

HOHENKLIMA
UND
BERGWANDERUNGEN
IN IHRER
WIRKUNG AUF DEN MENSCHEN



Biblioteka Gl. AWF w Krakowie



1800062616

41552

~~886~~

HÖHENKLIMA
UND
BERGWANDERUNGEN
IN IHRER
WIRKUNG AUF DEN MENSCHEN





HÖHENKLIMA
UND
BERGWANDERUNGEN
IN IHRER
WIRKUNG AUF DEN MENSCHEN

Ergebnisse experimenteller Forschungen im Hochgebirge und Laboratorium

von

Dr. N. ZUNTZ, Geh. Reg.-Rat, ord. Professor a. d. landw. Hochschule, Berlin

Dr. A. LOEWY, Universitätsprofessor, Berlin

Dr. FRANZ MÜLLER, Privatdozent a. d. Universität, Berlin

Dr. W. CASPARI, Privatdozent a. d. landw. Hochschule, Berlin

DEUTSCHES VERLAGSHAUS BONG & CO.

Berlin • Leipzig • Wien • Stuttgart



802

Übersetzungsrecht, sowie alle anderen Rechte vorbehalten

Published November 10, 1905. Privilege of Copyright in the United States,
reserved under the Act approved March 3, 1905 by
Deutsches Verlagshaus Bong & Co.

EDUARD PFLÜGER

ZU SEINEM

FÜNFZIGJÄHRIGEN DOKTORJUBILÄUM



Inhaltsübersicht.

Seite

Kapitel I.

Historischer Überblick.

- Bedeutung der Gebirgsreisen im modernen Leben. — Kenntnis des Altertums und des Mittelalters von der hygienischen Bedeutung des Hochgebirges. — Petrarca's Besteigung des Mont Ventoux. — Geßner und die Schweizer Humanisten. — Scheuchzer. — Rousseau. — Die Erschließung des Hochgebirges in der neuen Zeit. — Die physiologischen Forschungen im Hochgebirge 1—34

Kapitel II.

Das Höhenklima.

- Der Luftdruck im Höhenklima. — Veränderungen der Lufttemperatur mit der Höhe. — Ursachen der Temperaturabnahme der Luft mit der Höhe. — Temperaturumkehr. — Die Sonnenstrahlung im Höhenklima. — Die Bodenwärme. — Wirkungen des Lichtes. — Die Feuchtigkeitsverhältnisse der Höhenluft. — Regen- und Schnee- bildung im Hochlande. — Die Schneegrenze. — Die Luftbewegungen im Gebirge. — Das Auftreten lokaler Winde; Modifikation der allgemeinen Winde. — Der Föhn, die Bora. — Der Windschutz der Gebirge. — Die chemische Beschaffenheit und Reinheit der Höhenluft. — Ihre Keimfreiheit. — Die elektrischen Erscheinungen der Höhenluft. — Zusammenfassende Charakteristik des Höhenklimas 35—83

Kapitel III.

Leitende Gesichtspunkte unserer Untersuchungen.

- Die mechanische Bedeutung der Luftverdünnung: Wirkung der Luftdruckänderung auf die Darmgase. — Änderung der Vitalkapazität bei Änderung des Luftdrucks; ihre Ursachen. — Kroneckers und G. v. Liebig's Anschauungen. — Wirkung des Luftdrucks auf die Gelenke.
- Die chemischen Wirkungen der Luftverdünnung. — Untersuchungen im pneumatischen Kabinett.
- Die Oxydationsprozesse als Kraftquelle im Organismus. — Der Eiweißumsatz. — Berechnung der Energieentwicklung aus der Nahrung; ihre Berechnung aus der Atmung. — Der Alkohol als Energiequelle.
- Die Quellen der Muskelkraft. — Bedeutung des Sauerstoffs für die Muskelarbeit. — Bedeutung der einzelnen Nährstoffe für die Arbeit. — Berechnung des Stoffumsatzes aus den Ausscheidungen. — Der Eiweißbedarf.
- Anordnung unserer Versuche: Die Stickstoffausscheidung durch Harn und Schweiß, die Untersuchung des Kotes, die Bestimmung des Gaswechsels. — Die Körperwägungen und ihre Bedeutung. — Studium der Regulation der Körperwärme und der Atmung. — Der Blutkreislauf. — Das Training. — Die Blutbildung . . . 84—121

Kapitel IV.

Seite

Unsere Expedition.

- Vorbereitende Studien: Vorversuch im Dezember 1900; Fragestellung, Art der Ernährung. — Vorversuch im April 1901; Respirationsversuche in Berlin, Analyse der Nahrungsmittel für die Expedition.
- Ausrüstung der Expedition: Wahl der Nahrungsmittel. — Verpackung und Beförderung von Nahrung, Instrumenten und Apparaten an unsere Reiseziele.
- Verlauf: Reise bis Brienz. — Einrichtung des Laboratoriums und Tageseinteilung in Brienz. — Speisezettel. — Brienz I. Periode. — Trennung in 2 Gruppen: I. Gruppe fährt aufs Rothorn. Erste Zeichen von Höhenwirkung. — Ruhezeit auf dem Rothorn; kleine Märsche, große Märsche. — II. Gruppe inzwischen in Brienz. Dann aufs Rothorn. — Schluß der Versuche in Brienz. — Reise nach Gressoney. — Aufstieg der einen Gruppe zur Margherita-Hütte. — Bergkrankheit. — Besserung und Arbeiten oben. Panorama. — Marschversuche. — Aufenthalt der zweiten Gruppe auf dem Col d'Olen. Abstieg 122—149

Kapitel V.

Untersuchungsmethoden.

- Untersuchung des Eiweißgehaltes, des Fettgehaltes und Brennwertes der Nahrung, des Harnes und der Darmentleerungen. — Konservierung der Entleerungen für die spätere Analyse. — Beschreibung des Berthelot-Stohmannschen Kalorimeters und seiner Benutzung. — Vorbereitung der zu verbrennenden Substanzen.
- Bestimmung der gasförmigen Ausscheidungen. — Benutzung von Respirationskammern. — Der Zuntz-Geppertsche Apparat zur Untersuchung des Lungengaswechsels. — Gang einer Analyse der Ausatemluft. — Von uns benutzte Modifikation des Apparates. — Marschversuche. — Berechnung der beim Marschieren geleisteten Arbeit. — Unsere Tretbahn.
- Untersuchung der Wasserabgabe vom Körper und des im Schweiß enthaltenen Stickstoffs 150—171

Kapitel VI.

Die Wirkung des Höhenklimas auf das Blut und die blutbildenden Organe.

- Paul Berts Anschauungen. — Untersuchungen über die Zahl der Zellen im Kubikmillimeter Blut und über den Gehalt des Blutes an Farbstoff im Höhenklima. — Ansichten über die Ursachen, die den Mehrgehalt an Blutzellen und Hämoglobin in der Volumeneinheit Blut beim Aufenthalt im Höhenklima bedingen. — Die Steigerung der Blutzellenzahl im Kubikmillimeter Blut beweist nicht die Zunahme ihrer Gesamtzahl im Körper. — Einflüsse, die ohne vermehrte Bildung einen Mehrgehalt herbeiführen. — Der Nachweis junger Blutzellen im Blute als Mittel zur Feststellung gesteigerter Neubildungsprozesse. — Beweis der gesteigerten Neubildungsprozesse durch Bestimmung der gesamten Hämoglobinmenge im Körper. — Besprechung der Versuche Aberhaldens. — Unsere eigenen Versuche an Menschen: Blutkörperchenzählungen, Zuverlässigkeit der Zählkammer. — Spezifisches Gewicht des Bluteserums und des Blutes. — Unsere Versuche an Hunden: Blutkörperchenzählungen. — Bestimmung der gesamten Hämoglobinmenge bei den Hunden. — Untersuchungen des Knochenmarkes unserer Hunde. — Die Ursachen der gesteigerten Blutbildung im Höhenklima. 172—202

Kapitel VII.

Einfluß von Höhenklima und Muskelarbeit auf die Verdauung der Nahrung.

- Die Verdauungsvorgänge im allgemeinen. — Begriff der Resorption. — Beeinflussung der Menge des Kotes durch die Nahrung. — Der Trockenkot. — Begriff der Aus-

nutzung. — Änderung der Ausnutzung bei verschiedenartiger Ernährung. — Bekömmlichkeit der Nahrung.	Seite
Eigene Resultate: Kotzusammensetzung. — Kalorischer Quotient des Trockenkotes. — Individuelle Verschiedenheiten der Ausnutzung. — Einfluß der Marscharbeit und der Höhe auf die Ausnutzung. — Erklärung der Verschlechterung der Ausnutzung aus dem Sauerstoffmangel	203—227

Kapitel VIII.

Die Verbrennungsprozesse im Körper.

Was lehrt uns die Untersuchung des Gaswechsels?

1. Der Gaswechsel bei Körperruhe.

Erklärung der Anhangstabellen X—XV. — Vergleich des Gaswechsels in Berlin und Brienz. — Wirkung des Training. — Vergleich zwischen Brienz und höheren Berglagen. — Frühere Erfahrungen über die Wirkung größerer Höhen. — Eigene Versuche. — Wirkung der einzelnen Reize des Höhenklimas. — Wirkung der reinen Luftverdünnung. — Pneumatisches Kabinett. — Versuche im Luftballon. — Nachwirkung des Aufenthalts in verdünnter Luft. — Wirkung der klimatischen Reize an der See. — Nachwirkung des Höhengaufenthalts.

2. Der Gaswechsel bei Arbeit.

Erklärung der Anhangstabellen XVII—XXII. — Individuelle Unterschiede des Verbrauchs beim Gehen auf horizontaler Bahn. — Einfluß der Geschwindigkeit auf den Verbrauch pro Meter Weg. — Marsch bergauf. — Zunahme des Verbrauchs mit der Steilheit. — Einfluß des Training. — Einfluß mäßiger und großer Höhen und seine Modifikation durch Training. — Einfluß des Terrains, der Gletscher und Schneefelder. — Das Bergabgehen im Vergleich mit den anderen Gangarten. — Verbrauch beim Schwimmen. Besonderheiten der Atemmechanik beim Schwimmen

228—269

Kapitel IX.

Der Einfluß des Hochgebirges und des Bergsteigens auf den Eiweißumsatz.

Gesetze des Eiweißumsatzes. — Eiweißansatz durch Muskelarbeit. — Der Einfluß mäßiger Höhen auf den Eiweißumsatz. Chasseral, Brienz, Rothorn. — Einwirkung der Kombination von Aufenthalt in mittleren Bergeshöhen mit mäßiger und mit anstrengender Muskelarbeit. — Unterschied des Eiweißumsatzes bei Trainierten und Untrainierten. — Nachwirkung des Aufenthaltes auf dem Rothorn nach Rückkehr zu Tal. — Einfluß der Höhen von 2900—4650 m auf den Eiweißumsatz. — Störungen des Eiweißabbaues auf dem Monte Rosa. — Kalorischer Quotient des Harns. — Schlußfolgerungen

270—289

Kapitel X.

Die Blutgase unter der Einwirkung der Höhenluft.

Die Gesetze der Aufnahme von Gasen in Flüssigkeiten. — Aufnahme und Bindung des Sauerstoffs im Blute. — Über die Verminderung des Blutsauerstoffs bei Luftverdünnung.

Die Alkaleszenzveränderungen des Blutes im Hochgebirge. — Ihre Bedeutung. — Das Verhalten der Blutkohlensäure. — Die Akapnie

290—303

Kapitel XI.

Das Verhalten der Atmungsmechanik im Hochgebirge.

Kurze Übersicht der Atmungsmechanik des Menschen. — Die Atmungsfrequenz im Hochgebirge. — Die Atemtiefe. — Die Atemgröße bei Körperruhe. — Die Atemgröße bei Körperarbeit. — Die Anpassung der Atemgröße an die Luftverdün-

*

nung. — Über die Beeinflussung des Atmungszentrums im Hochgebirge. — Die Gasspannungen in den Lungenalveolen beim Aufstieg zur Höhe: Verhalten der Sauerstoff- und der Kohlensäurespannung bei Körperruhe und Muskularbeit. — Die Akapnie und ihre Bedeutung. — Veränderungen der Atmungsform im Hochgebirge. — Die willkürliche Suspension der Atmung im Hochgebirge. — Die Vitalkapazität	Seite 304—336
---	------------------

Kapitel XII.

Herztätigkeit und Blutkreislauf.

Die Pulsfrequenz im Höhenklima bei Körperruhe und bei Muskularbeit. — Die Ursachen der Pulssteigerung und ihre Bedeutung. — Die hohe Pulszahl an sich kein übles Zeichen; ihre Zweckmäßigkeit bei Muskularbeit. — Die Form des Pulses im Höhenklima. — Einfluß der Herzerermüdung auf das Sphygmogramm. — Die Disposition für Herzerermüdung im Gebirge. — Die Gefahren der Herzerermüdung. Kroneckers und v. Liebig's Anschauungen über den Einfluß der Luftverdünnung auf den Blutkreislauf. — Die im Hochgebirge beobachtete Cyanose, die Gefäß-erweiterungen und Blutungen. — Erklärung ihres Zustandekommens	337—359
---	---------

Kapitel XIII.

Sport.

Ist der Alpinismus ein Sport? — Einwirkung sportlicher Übungen auf die Muskulatur, die Atem- und Kreislaufapparate und auf das Nervensystem. — Bedeutung der Übung. — Der Sport und die seelischen Funktionen. — Spezielles sportliches Training	360—376
--	---------

Kapitel XIV.

Perspiration und Schweißabsonderung.

Vorgänge, die sich an der unmerklichen Gewichtsabnahme des Körpers beteiligen: eigentlicher Gaswechsel, Abgabe von Wasserdampf. — Berechnung der Wasserdampfausscheidung durch die Lunge und durch die Haut. — Bedeutung des Schweißes für die Stoffausscheidung und für die Abkühlung des Körpers. — Eigene Bestimmungen der Schweißabsonderung. — Ihr Verhältnis zur Wärme-produktion auf Märschen im Winter und im Sommer. — Ihr Verhalten in verschiedenen Berghöhen. — Beeinflussung der Schweißabsonderung: durch die klimatischen Faktoren, durch Individualität, durch Training.	
Die Stickstoffausscheidung durch den Schweiß. — Unterschiede im Stickstoffgehalt des Schweißes. — Seine Bedeutung für die Stickstoffbilanz. — Gibt es Wasserverdunstung der Haut ohne Tätigkeit der Schweißdrüsen? — Wirkung der Muskularbeit und des Schwitzens auf die Konzentration des Harns	377—393

Kapitel XV.

Die Körperwärme.

Tagesschwankungen der Körperwärme. — Temperaturunterschiede im menschlichen Körper. — Einwirkung der Temperatur der Organe auf den Stoffwechsel. — Mäßige Erwärmung fördert die Leistungsfähigkeit. — Beim Marsch ist die Körperwärme um 1° bis 2° erhöht. — Bergaufgehen erwärmt weniger, Bergabgehen mehr als dem Stoffumsatz entspricht. — Gefahr des Hitzschlags. — Sie wird gefördert durch Wassermangel des Körpers. — Individuelle Disposition zu starker Erhitzung auf Märschen. — Die Erhitzung wird durch Training vermindert. — Sie ist kein Maß der Wärme-produktion im Körper. — Steigerung der Körpertemperatur in großen Höhen. — Nachwirkung der Märsche auf die Körpertemperatur	394—407
---	---------

Kapitel XVI.

Seite

Bekleidung und hygienische Ausrüstung des Bergsteigers.

Anforderungen an die Kleidung bedingt durch jähe Temperaturwechsl. — Gefahr des Erfrierens von Körperteilen, gesteigert durch Druck und Umschnürung. — Bedeutung der Farbe des Stoffes, des Luftgehalts der Kleider für den Wärmeschutz. — Oberkleidung: sie muß porös und unbenetzbar sein; die Durchlüftung sei regulierbar. — Die Unterkleidung soll das Verdunsten des Wassers auf der Haut sichern, soll den Zutritt äußerer Feuchtigkeit zur Haut verhindern. — Experimentelle Prüfung des Wärmeschutzes durch Kleiderstoffe. — Fußbekleidung. Mittel gegen Schweißfuß. — Schutz gegen die Sonnenstrahlung. — Kopfbedeckung. — Gepäck des Bergsteigers. — Tracht der Damen im Gebirge 408—420

Kapitel XVII.

Die Einwirkung des Hochgebirges auf das Nervensystem.

Umstimmende Wirkung des Höhenklimas auf die nervösen Zentren: durch Sinnesreize, durch Sauerstoffmangel. — Wirkung auf die Psyche. — Toleranz gegen Alkohol. — Beeinflussung des Schluckmechanismus. — Der Schwindel 421—427

Kapitel XVIII.

Über die Wirkung des Sauerstoffmangels im Hochgebirge.

Wirkung fortschreitenden Sauerstoffmangels auf den Gaswechsel. — Erhöhung des respiratorischen Quotienten. — Individuell verschiedenes Verhalten bei Sauerstoffmangel, abhängig von Atemmechanik, Blutkreislauf und Hämoglobinreichtum des Blutes. — Durch Sauerstoffmangel bewirkte Bildung von Säuren im Blute, von Reizstoffen für die Atmung. — Die Kohlensäurespannung als Maß für die Menge der gebildeten Reizstoffe. — Muskeltätigkeit erzeugt bei Sauerstoffmangel viel reichlicher Reizstoffe. — Weichardts Ermüdungstoxin. — Niedrige respiratorische Quotienten im Hochgebirge. — Steigerung des Sauerstoffverbrauchs. — Die Harnveränderungen als Kennzeichen des Sauerstoffmangels schon in mittleren Höhen. — Die einzelnen Organe vertragen Sauerstoffmangel in sehr verschiedenem Maße: am schlechtesten das Hirn, relativ gut die Muskeln. — Verschiedene Toleranz gegen Sauerstoffmangel bei verschiedenen Organismen; Versuche von Engelmann, Kühne, Jacques Loeb 428—440

Kapitel XIX.

Die Bergkrankheit.

Präzisierung des Begriffes. — Geschichtliche und geographische Notizen: Mitteilungen über das Vorkommen der Krankheit in den Anden, den Alpen, im Kaukasus und Armenien, auf Hawaii, am Aconcagua, am Himalaja. — Bergkrankheit bei Tieren. — Über Erscheinungen und Auftreten der Bergkrankheit. — Bergkrankheit und Bergbahnen. — Theorien über das Wesen der Bergkrankheit. Hallers und Kroneckers mechanische Anschauung. — Analoge Krankheitsbilder im Tieflande. — Der Sauerstoffmangel als Ursache der Bergkrankheit: Jourdanet, Paul Bert, wir selbst. — Einwände gegen die ursächliche Bedeutung des Sauerstoffmangels und deren Widerlegung. — Dufours Ermüdungstheorie. — Mossos Akapnie. — Erklärung der individuell verschiedenen Widerstandskraft gegen die Erkrankung aus der verschiedenen Sauerstoffversorgung des Körpers. — Die Gewöhnung an die Höhe. — Einfluß klimatischer und persönlicher Elemente auf den Ausbruch der Krankheit. — Versuch ihrer Erklärung. — Verhütung und Heilung der Bergkrankheit 441—469

Kapitel XX.

Seite

Heilwirkungen und Gefahren des Höhenklimas.

Benutzung des Höhenklimas zu Heilzwecken auf Grund ärztlicher Beobachtung oder experimenteller Tatsachen. — Erklärung der Heilwirkungen aus letzteren. — Anzeigen für die Benutzung des Höhenklimas in Krankheiten. — Höhenkurorte. — Gefahren des Höhenklimas bei gewissen Erkrankungen und Gegenanzeigen gegen seine Verwendung	470—477
---	---------

Kapitel XXI.

Ernährung des Bergsteigers.

Nährstoffbedarf, bedingt durch den Verbrauch in Körperruhe. — Seine Steigerung durch die Verdauungsarbeit, durch Muskeltätigkeit und Kälte. — Das Körpergewicht als Kontrolle, ob die Nahrung den Bedarf deckt. — Einfluß der Körperoberfläche und des Lebensalters auf den Verbrauch. — Nahrungsbedarf für Marschleistungen. Zusammensetzung der Nahrung. — Eiweißreichtum nicht erforderlich. — Vorzüge des Fettes.	
Besprechung einzelner Nahrungsmittel. — Ernährung bei größeren Märschen. — Anregungsmittel — Alkohol — Arsen — Ermüdungsantitoxin. — Der Durst. — Schnee und Eis zur Durststillung. — Austrocknung des Mundes und ihre Bekämpfung. — Nasenatmung. — Bedeutung der Wurzeln in großer Höhe. — Konserven. — Warme und kalte Speisen	478—493
Schlußwort	493

Verzeichnis der Text-Abbildungen.

	Seite
Besteigung des Montblanc durch Saussure am 1. August 1787	1
Petrarca	10
Leonardo da Vinci	12
Dr. Conrad Geßner	14
Johann Jakob Scheuchzer	20
Jean Jacques Rousseau	24
de Saussure	25
Alexander von Humboldt	26
Angelo Mosso	29
Broad Peak (über 8500 m) Himalaja	32
Unsere meteorologische Ecke	35
Solarthermometer	44
Ludwigshöhe und Bahnenhorn vom Lysjoch	47
Doppelsonnenbild über dem Lyskamm	49
Aßmanns Aspirationspsychrometer	50
Anemometer zur Messung der Windstärke	56
Zwei Nährgelatineplatten mit an Menge und Art verschiedenen Keimkolonien	65
Blitzstein vom Gipfel des Monte Rosa	66
Schematische Darstellung der durch Unebenheiten der Erdoberfläche gestörten Niveauflächen des luftelektrischen Potentials	69
Gipfel des Brienzner Rothorn	70
Apparat zur Messung der Elektrizitätszerstreuung nach Elster und Geitel	73
Capanna Regina Margherita, 4560 m ü. M.	84
Tiefseefisch nach schnellem Emporziehen	85
Pneumatische Kammer	87
Mechanismus der Druckregulation im pneumatischen Kabinett	91
Antoine Laurent Lavoisier	92
Unsere Trägerkarawane oberhalb des Lysjochs	108
Rast beim Aufstieg nach Col d'Olen	122
Rast am Tunnel der Rothornbahn	135
Bau der Margherita-Hütte	141
Das Gasthaus auf dem Col d'Olen. 2900 m hoch	150
Berthelot-Stohmanns Kalorimeter	155
Untersuchung des Atmungsprozesses bei Körperruhe mittels des Zuntz-Geppertschen Apparates	159
Löbsches Atmungsventil geschlossen	160
Löbsches Atmungsventil im Durchschnitt	160
Trockene Gasuhr mit Gassammelrohr	163
Gasuhr, Ansicht von oben	164
Bereit zum Marschversuch	165
Neuer Gasanalysenapparat nach Durig	167
Unsere Tretbahn	169
Unsere Hunde am Brienzner Rothorn	172
Mischpipette	174
Zählkammer (Durchschnitt)	174
Zähltablett mit Blutkörperchen bei mikroskopischer Betrachtung	174
Unsere Küche in Brienz	203
Blick auf Brienz von unserer „unteren Versuchsstrecke“	213
Absturz des Lysgletschers (oberhalb der Grifetti-Hütte)	224
„Obere Versuchsstrecke“ in 2000 m Höhe auf dem Brienzner Rothorn	228
Blick vom Sesiajoch auf die Walliserberge. (Einsinken im tiefen Schnee)	240
Messung der Atmung, Registrierung des Pulses und der Atembewegungen	249
Unsere Marschstrecken am Monte Rosa in 4450 m Höhe	258
Messung des Stoffverbrauchs beim Schwimmen	264
Messung der Atmung in Ruhe nach dem Schwimmen	265
Lyskamm und Vincentpyramide	271
Monte Rosa-Gruppe von Süden, unterhalb Col d'Olen gesehen	282
Parrot-Spitze von der Gnifetti-Hütte aus gesehen	290
Blutgaspumpe	294
Graphische Darstellung der Beziehung von Sauerstoffdruck zu Sauerstoffsättigung im Blute	295

	Seite
Unser Instrumentarium	304
Unser Apparat zur Registrierung der Atembewegungen	306
Atempausen nach jeder Expiration (nach Mosso)	330
Wechselnde Atemtiefen (nach Mosso)	331
Abwechselnde Perioden tiefer und flacher Atmung (nach Mosso)	331
Allmählicher Übergang der Atmung in die Cheyne-Stokessche Form (nach Mosso)	332
Graphische Darstellung des Wechsels der Atemtiefe auf dem Monte Rosa	332
Dauer der willkürlichen Atmungssuspension ($\alpha-\omega$) in Turin (nach Mosso)	334
Dauer der willkürlichen Atmungssuspension ($\alpha-\omega$) auf dem Monte Rosa (nach Mosso)	334
Syphmograph für Marschversuche	337
Normaler Puls	349
Ermüdungspuls nach Marsch mit 22 kg Belastung in der Ebene (Zuntz-Schumburg)	349
Herz und Hauptschlagader eng infolge energischer Ausatmung nach Verschuß von Mund und Nase	352
Herz und Hauptschlagader erweitert durch Blutansaugung infolge tiefer Einatmung bei Verschuß von Mund und Nase	353
Puls von Conways Begleiter E.	354
Puls von Conway	354
Nase des Lyskamm	365
Ernst Platz, Ersteigung des Grand Pic de la Meije	369
Sanctorius von Padua, der Begründer des Stoffwechselversuchs	377
Station Hausstadt der Briener Rothornbahn (1350 m)	394
Abstieg von der Margherita-Hütte	408
Wolkenmeer im Hochgebirge	423
Capanna Gnifetti (3620 m)	428
H. v. Schrötters normale Schrift	450
Derselben Schrift bei Höhenkrankheit im Luftballon	450
Dufour- und Zunftsteinpitze vom Lysjoch	456
Paul Bert	459
Gressoney la Trinité	470
Monte Rosa und Lyskamm	475
Monte Rosa vom Fallerhorn gesehen	484

Verzeichnis der Beilagen.

	Seite
Karte vom Briener Rothorn	128—129
Karte vom Monte Rosa	128—129
Panorama vom Briener Rothorn	136—137
Panorama von der Margherita-Hütte	144—145
Normale und pathologische Blutzellen. 1000fach vergrößert	184—185
Knochenmarkquerschnitte. 20- und 50fach vergrößert	200—201
Kurventafel, betreffend unsere Pulsfrequenzen	344—345
Kurventafel, betreffend unsere Körpertemperatur	406—407

Anhang.

Zahlenmäßige Ergebnisse unserer Versuche in Tabellenform.

Tabelle I—II: Art, Menge, Zusammensetzung unserer Nahrung.
Tabelle III—VIII: Übersicht über unseren Stoffwechsel.
Tabelle IX: Darmausscheidungen und Nahrungsausnutzung.
Tabelle X—XV: Unsere Atmung bei Körperruhe.
Tabelle XVI: Atmung im pneumatischen Kabinett bei Luftverdünnung.
Tabelle XVII—XXIII: Atmung während der Marsche.
Tabelle XXIV—XXV: Ergebnisse der Blutkörperchenzählung.
Tabelle XXVI: Lungenventilation im Höhenklima.
Tabelle XXVII—XXVIII: Sauerstoff- und Kohlensäurespannung in den Lungenbläschen bei Ruhe und Arbeit in verschiedenen Höhen.
Tabelle XXIX: Atmungsvolum auf je 1 mm Kohlensäurespannung in den Lungenbläschen.
Tabelle XXX: Menge des im Schweiß ausgeschiedenen Stickstoffes.

Vorwort.

Die Anfänge der im folgenden mitgeteilten Untersuchungen liegen zwei Jahrzehnte zurück. Im Jahre 1885 begannen im Zuntz'schen Laboratorium Studien über den Stoffverbrauch des Menschen und der Tiere bei Muskelarbeit; 1895 erschienen als Ergebnis mehrjähriger Arbeit die „Untersuchungen über die Respiration und Zirkulation bei Änderung des Druckes der Luft“ von A. Loewy. Damit waren die beiden wesentlichsten Grundlagen für das Studium der Lebensprozesse im Hochgebirge selbst gegeben. Noch im selben Jahre folgte die erste Expedition ins Hochgebirge, der sich drei weitere bis 1903 anschlossen. Sie haben uns ein reiches Material zur Erkenntnis des Einflusses des Hochgebirges und des Bergsteigens auf den menschlichen Organismus geliefert, das wir im vorliegenden Bande mit den Resultaten anderer Forscher zu einem möglichst abgerundeten Bilde verarbeitet haben. — Unzweifelhaft sind die behandelten Fragen über den engeren Kreis der Biologen und Ärzte hinaus für jeden, der der Wissenschaft vom Leben Interesse entgegenbringt, bedeutungsvoll. Wir meinen vor allem die zahlreichen Freunde der Berge, die die Herrlichkeiten der Schöpfung nicht nur ästhetisch anschauend, sondern auch denkend und begreifend genießen wollen. Ebenso wie sie über Wesen und Entstehung der Berge, Täler, Gletscher aufgeklärt sein wollen, so haben sie auch ein Recht, die Vorgänge kennen zu lernen, die in ihnen selbst sich abspielen, während sie im Gebirge wandernd sich verjüngen. Wir haben deshalb versucht, eine Darstellung zu wählen, welche keine spezialistische Vorbildung erfordert. Allerdings liegt es in der Natur des Gegenstandes, daß eine gewisse Vertrautheit mit den Grundlagen der Physik und Chemie vorausgesetzt werden muß.

Unvermeidlich ist es bei der Mannigfaltigkeit der behandelten Fragen, daß nicht allen Lesern jedes Kapitel gleich leicht verständlich sein wird. Wir durften nicht darauf verzichten auch dem Laien fernerliegende Fragen zu erörtern, wenn unsere Arbeit der berechtigten Kritik des Fachmannes standhalten sollte. Jedemfalls haben wir uns bemüht, auch in diesen Fällen unsere Darstellung so faßlich als möglich zu gestalten. — Technisches Detail und minder wichtige Einzelheiten

sind in Kleindruck gegeben, das grundlegende Zahlenmaterial in einen Anhang verwiesen.

Forschungsreisen, wie die unsrigen, bedürfen vielfältiger Unterstützung. Sie ist uns in reichstem Maße zuteil geworden. An erster Stelle möchten wir unserem Kollegen und Freunde Angelo Mosso-Turin unseren Dank aussprechen. Er bahnte uns die Wege bis hinauf zum Gipfel des Monte Rosa. Dort oben genossen wir die generöse Gastfreundschaft des Club alpino Italiano. Wesentliche Unterstützung erfuhren wir auch von Herrn Prof. H. Kronecker-Bern, der uns die Räume seines Laboratoriums liebenswürdigst zur Verfügung stellte.

Die nicht geringen Mittel zur Ausrüstung und Durchführung unserer Expeditionen verdanken wir dem Kuratorium der Gräfin-Bosestiftung bei der Berliner medizinischen Fakultät, der königlich preußischen Akademie der Wissenschaften und dem Deutsch-Österreichischen Alpenverein. Ihnen und manch anderem Förderer unserer Bestrebungen sei hiermit unser aufrichtiger Dank abgestattet.

Berlin, im Oktober 1905.

Die Verfasser.



Besteigung des Montblanc durch Saussure am 1. August 1787.

Kapitel I.

Historischer Überblick.

In seinem Buche: „Die Kunst, das menschliche Leben zu verlängern“, sagt der berühmte Arzt Christoph Wilhelm Hufeland¹⁸⁾ über das Reisen: „Ich kann unmöglich unterlassen, diesem herrlichen Genuß des Lebens eine eigene Stelle zu widmen und ihn auch zur Verlängerung desselben zu empfehlen. Die fortgesetzte Bewegung, die Veränderung der Gegenstände, die damit verbundene Aufheiterung des Gemüths, der Genuß einer freien, immer veränderten Luft, wirken zauberisch auf den Menschen und vermögen unglaublich viel zur Erneuerung und Verjüngung des Lebens.

„Es ist wahr, die Lebenskonsumation kann dabei etwas vermehrt werden, aber dies wird reichlich durch die vermehrte Restauration ersetzt, die theils in Absicht des Körperlichen durch die ermunterte und gestärkte Verdauung, theils geistig durch den Wechsel angenehmer Eindrücke und die Vergessenheit seiner selbst bewirkt wird.“

Wenn Hufeland gegen Ende des 18. Jahrhunderts mit solcher Schärfe die Bedeutung des Reisens erfaßt hat, so ist seitdem die Erkenntnis von der sanitären Bedeutung des Reisens geradezu Allgemeingut des Volkes geworden. Diese Erkenntnis zu verwerten, ermöglichte die Beschleunigung und die Verbilligung des Verkehrs, welche heute auch den Minderbemittelten die Verwendung dieses Heilmittels gestattet. Gesteigert wurde der Reisetrieb durch die wachsende Konzentration

Einwirkung des Gebirgsklimas.

der Bevölkerung in den Städten, welche das Bedürfnis nach dem Genusse frischer Luft immer mehr zu einem dringenden macht, durch das aufreibende Leben in der Hast nach Erwerb und Genuß, welches ein zeitweises Ausruhen gebieterisch fordert, durch das Gewimmel der Menschen in den großen Zentren, welches in dem einzelnen die Sehnsucht erweckt nach der stillen Ruhe der Natur, nach der Einsamkeit, um sich in ihr wieder einmal auf sich selbst besinnen zu können. Hinzu kommt ferner, daß das Reisen zahlreichen Menschen, welche durch Beruf oder Geschäft verhindert sind, für die Ausbildung und Erhaltung ihrer körperlichen Tüchtigkeit die nötige Sorge zu tragen, die Möglichkeit gibt, in Wanderungen und Bergbesteigungen die Kraft ihres Körpers zu stählen und zu erneuern.

Gerade dieser Gesichtspunkt läßt die Gebirgsreisen in der jüngsten Zeit mehr und mehr in den Vordergrund treten, und zwar ist es besonders das Hochgebirge, dem sich die Aufmerksamkeit, das Interesse und die Sehnsucht des modernen Kulturmenschen zugewandt hat. Die ungeheure Zahl der Reisenden, welche jährlich die Alpen besuchen, die große Anzahl alpiner und touristischer Verbände in allen Kulturstaaten legen dafür ein beredtes Zeugnis ab. Es mag in dieser Hinsicht genügen, darauf hinzuweisen, daß der Deutsche und Österreichische Alpenverein heute mehr als 63000 Mitglieder zählt.

Aber es ist nicht nur der Gesunde, welcher die Alpen aufsucht, um in fröhlichem Wandern und im Genusse der freien Natur Sorgen und Hast des Alltagslebens zu vergessen. Auch als Heilfaktor ist das Gebirge besonders in den letzten Jahrzehnten sehr in Aufnahme gekommen. Bis in die Hochgebirgsregionen hinauf finden sich Sanatorien und Heilstätten, die der Bekämpfung bestimmter Krankheiten dienen. So ist es wohl keine Übertreibung, wenn man behauptet, daß der Gebirgsaufenthalt und das Bergsteigen in unserem modernen Kulturleben eine hohe Bedeutung erlangt haben.

Andererseits kann aber nicht geleugnet werden, daß sich besonders der Aufenthalt in höheren Bergregionen für eine nicht unbeträchtliche Zahl ihrer Besucher als unzweckmäßig, ja schädlich herausgestellt hat. Mehr und mehr hat sich so die zwingende Notwendigkeit ergeben, die Einwirkung des Hochgebirgsklimas und des Bergsteigens auf den menschlichen Organismus einer eingehenden wissenschaftlichen Analyse zu unterziehen, um nicht allein auf die Empirie angewiesen zu sein, sondern im voraus bestimmen zu können, in welcher Weise der Gesunde die zweckmäßigste und richtigste Ausnutzung der hygienischen Faktoren des Hochgebirges finden, und der Kranke seiner Genesung die besten Dienste leisten kann.

Es wäre aber durchaus falsch, wenn man annehmen würde, daß die Kenntnis von der Wichtigkeit des Gebirges für die Gesundheit und die kräftige Entwicklung des Menschengeschlechtes eine Errungenschaft der Neuzeit sei. Es kann vielmehr keinem Zweifel unterliegen, daß schon dort, wo die Geschichte der Menschheit sich in der grauen Dämmerung der Vorgeschichte verliert, diese Erkenntnis vorhanden gewesen ist. Wenn z. B. in dem Psalm des Alten Testaments die Worte stehen: „Ich hebe meine Augen auf zu den Bergen, von denen mir Hilfe kommt“ — so ist dies Wort wahrscheinlich viel weniger symbolisch aufzufassen, als wir meist anzunehmen geneigt sind. Jedenfalls ist so viel sicher, daß der alte Jahve, der Stammgott Israels, eine Berggottheit, „ein Gott der Berge und nicht der Gründe“

war. Und in demselben Sinne spricht der Umstand, daß der wichtigste Akt der Volkswerdung der Juden, die Gesetzesgebung, von dem Berge Sinai ausgeht, der zweifellos als eine uralte Kultusstätte anzusehen ist. Ob jedoch die Heilfaktoren des Hochgebirges von den Juden richtig erkannt und ausgenutzt worden sind, darüber scheint Zuverlässiges nicht bekannt zu sein. Dagegen ist gewiß, daß die Heilkräfte des klaren Bergwassers von den Israeliten, ebenso wie von den übrigen Völkern des Orients, genügend geschätzt und gewürdigt wurden. So ist besonders die Siloahquelle am Berge Zion berühmt und ebenso Emmaus, dessen Name schon auf das Vorhandensein warmer Quellen hindeutet.

Im Gegensatz zu der jüdischen entwickelte sich die griechische Kultur in einem vorwiegend gebirgigen Lande, und es ist daher erklärlich, daß die Hellenen auch von den Heilfaktoren der Berge eine vollkommnere Kenntnis besaßen; freilich sind wir auch hier vielfach auf Kombination und Vermutung angewiesen. Sicher ist, daß schon im grauen Altertum der Pelion wegen seiner guten Luft besonders berühmt war. Hierher brachte auch Apollo der Sage nach seinen schwächlichen Sohn Asklepios, um ihn dort aufziehen zu lassen.

Schwarz sagt in seinem Buche „die Erschließung der Gebirge“:³⁹⁾

„So mögen wohl auch im wirklichen Leben bereits damals manche Hellenen zu gleichem Zwecke die Gebirge aufgesucht haben, so daß wir also das heutzutage so florierende Institut der Sommerfrische kaum als ein rein modernes anzusehen berechtigt sind. Jedenfalls lag auch, wiewohl den betreffenden unbewußt, in den rituellen Bergfahrten und Bergfesten der Griechen ein ähnlicher Zug.“

An die Sage der Aufziehung des Asklepios anknüpfend, entwickelte sich in den Bergen die Einrichtung der Asklepieien, „die seit etwa 400 v. Chr. stark als Heilstätten aufkamen, zuerst nur als Zauber-, später in einer Art Naturheilkunde“. Doch lagen diese Heiligtümer des Asklepios nicht auf den Höhen, sondern in den anmutigen Tälern, und der Wert wurde hier, wie wir es schon bei den Israeliten sahen, im wesentlichen auf das frische und klare Wasser gelegt.

Herr v. Willamowitz-Möllendorf, dem wir für seine liebenswürdigen Mitteilungen zu großem Danke verpflichtet sind, fügt hinzu, daß ihm ein hochgelegener Luftkurort der alten Griechen nicht bekannt ist. Jedenfalls erwähnt auch Hippokrates nichts von der Heilwirkung der Berge, sondern weist lediglich auf die hygienische Bedeutung eines Ortswechsels unter bestimmten Umständen hin.

Eine gewisse Gleichgültigkeit der Griechen gegen die Gebirge ist dadurch zu erklären, daß der Zug der damaligen Zeit weit mehr nach der See gerichtet war, welche die wichtigste Vermittlerin des Handels und somit des Wohlstandes und der kulturellen Höhe dieser Nation gewesen ist. So ist es verständlich, daß Xenophon, welcher die gewaltigen Gebirge Vorderasiens bei seiner Anabasis überwand, derselben nur in strategischer Hinsicht Erwähnung tut, während der Anblick des ihm und den Seinen so vertrauten und Rettung verheißenden Meeres mit dem weltgeschichtlich gewordenen Jubelruf *θάλαττα, θάλαττα**) begrüßt wurde.

Dagegen finden wir bei den alten Germanen eine ganz zweifellose und klare

*) „Das Meer, das Meer!“

Erkenntnis von der Bedeutung der Berge für die Gesundheit und das Wohlergehen der Menschen. Hier wird wohl auch in erster Linie das Klima des Landes dazu Veranlassung gewesen sein. In die dichten Urwälder drang nur selten Licht und Wärme hinein, und daher erkannten die Germanen frühzeitig die Bedeutung der Sonnenwärme auf den Bergen. Ist doch Odin, der Allvater, nicht bloß der Gott des Lichtes, sondern auch der der Wärme. So spricht die Edda bereits von Heilbergen:

„Der Heilberg heißt er, dieweil da Hilfe die Lahmen und Siechen schon lange suchen. Verjährter Leiden ledig wird jede Frau und gestärkt, die den Gipfel ersteigt.“

„Solche sonnigen Heilstätten auf den Bergen heißen bei den Nordgermanen „Odinsäcker“ (odáins-akr), weil hier die ersten grünen Frühlingskräuter wuchsen. Dort am Sonnenfelde auf den früh grünenden „Feuerplätzen“ wohnten auch die neun heilkundigen Gesellinnen der weisen Mengleoedh (Frigg). Dorthin wallfahrten auch die kranken Weiber.“¹⁷⁾

Wenn wir uns jetzt den Römern zuwenden, so muß zunächst in Betracht gezogen werden, daß dieses Volk zwar mit der Kraft seines Schwertes allmählich die ganze damalige Welt unterwarf, seinerseits aber wiederum von der höheren Kultur der von ihm unterjochten Völker vielfach unterworfen wurde. Besonders in wissenschaftlicher Beziehung sind die Römer durchaus unter dem Einflusse des Griechentums: „Graecia victa vicit victorem.“*) Wir können uns daher nicht wundern, wenn sie erst sehr spät in ihrer Schätzung des Gebirges über den Standpunkt des griechischen Altertums hinausgekommen sind. Desto mehr leistete Rom für die Erschließung und Wegbarmachung desjenigen Gebirges, welches für den Europäer stets der Repräsentant des Hochgebirges sein wird, der Alpen. Es darf an dieser Stelle nicht unerwähnt bleiben, daß auch in dieser Beziehung die Römer Schüler der Griechen gewesen sind. Die ungeheueren Fortschritte in der Erschließung der asiatischen Gebirgswelt durch Alexander den Großen und seine berggewohnten Mazedonier stehen sowohl in ihrer Bedeutung für Geographie und Ethnographie wie in kriegerischer Beziehung erheblich über dem, was Rom jemals in den Gebirgen geleistet hat. Daß den Mazedoniern auch das Verständnis für die landschaftliche Schönheit der Gebirgswelt nicht ganz gefehlt hat, dafür spricht die Überlieferung, daß König Philipp V. den Hämus bestieg, um die Aussicht zu genießen, welche zugleich die beiden sein Reich umspülenden Meere zu sehen gestattete.

Immerhin verdanken wir dem Wirken der Römer in den Alpen, wenn es auch zunächst lediglich von strategischem Interesse geleitet wurde und seinen unmittelbaren Anstoß erst durch den Zug Hannibals und später Hasdrubals über die Alpen erhalten hat, auch heutigentags noch außerordentlich viel. Zahlreiche der bis in die neueste Zeit hinein benutzten Übergänge und Pässe entsprechen den alten strategischen Wegen der Römer, so der über den Großen St. Bernhard, Kleinen St. Bernhard, den Simplon, St. Gotthard, Luckmanier, St. Bernhardin, Splügen, Julier, Reschen-Scheideck, Brenner u. a. m. Auch heute noch genießt ja der Alpinist dankbar die Wohltaten der strategischen Bedeutung der Alpen, indem er die modernen Militärstraßen und -bahnen freudig für seine friedlichen Zwecke benutzt.

*) „Das besiegte Griechenland besiegte den Sieger“.

In der späteren Kaiserzeit trat auch die hygienische Bedeutung der Berge mehr und mehr in den Vordergrund. Wiederum entspricht es aber der von Griechenland übernommenen Kultur der Römer, daß es die Quellen waren, welche sie für ihre Stärkung und Gesundheit benutzten. So entstanden glänzende und vielbesuchte Badeorte, besonders in der Auvergne mit ihrem Reichtum an warmen Quellen. Dort hat man die Ruinen eines Pantheons aus der Zeit des Augustus sowie verschiedene römische Badeanlagen in dem 1064 m hoch am Fuße des Puy de Sanscy belegenen Mont Dore les Bains (Calentes Bajae) gefunden. Einer außerordentlichen Beliebtheit erfreuten sich ferner die Heilquellen in den Pyrenäen, in den Alpen die Thermen von Aix in Savoyen, die Bäder von Gastein, von Rohitsch in Steiermark, von Baden bei Wien und Baden im Aargau und vor allem Bormio, dessen Name aber bereits darauf hindeutet, daß die Römer die Quellen schon als ein den Kelten bekanntes Heilbad vorfanden. Borwo ist der Name des keltischen Heilgottes. Ja selbst in dem fernliegenden Kaukasus fanden die Heilquellen von Tiflis weiten Zuspruch. Die zahlreichen Quellen des deutschen Mittelgebirges, welche ja auch noch heute einen Weltruf genießen, wurden damals zuerst nach der Unterwerfung dieser Landstriche durch Trajan und Domitian benutzt. So Baden-Baden (Colonia aurelia aquensis), Wiesbaden (Aquae Mattiacae), Badenweiler, Schwalbach, Ems, Wildbad u. a. m.

Neben dieser Bewertung der Heilquellen der Gebirge dringt aber auch bei den Spätromern die Erkenntnis durch von der Zuträglichkeit des Aufenthaltes in den Bergen überhaupt. So hebt Galen (geb. 131 n. Chr. zu Pergamos, gest. 200 n. Chr.) die heilsame Wirkung der mittleren Berghöhen hervor. Er empfiehlt die mäßige Höhe, verbunden mit Milchkuren, für Lungenkranke. Aber noch deutlicher prägt sich die Anschauung Galens aus, wenn er „über die Winde“ folgendermaßen abhandelt:

„Es ist offenbar, daß die hochgelegenen Orte, welche von allen Seiten durchweht und für die Winde kein Hindernis sind, auch die besser ventilierten sind, und daß deshalb ihre Bewohner fast ganz gesund ihr Leben hinbringen. Die niedriger gelegenen Orte aber sind weniger gesund wegen der Wärme, besonders im Sommer, und weil sie schlechter ventiliert sind.“

Ganz ähnlich lautet eine Stelle des Antyllus (Ende des 3. und Anfang des 4. Jahrhunderts):

„Die hochgelegenen Orte sind die günstigsten, weil dort die Luft nicht stagniert, sondern von allen Seiten hinzufließt und dauernd von den Winden fortgetrieben wird.“

„Sie sind also gut durchlüftet und nützlich gegen alle Krankheiten der Brust und ebenso gegen die Affektionen des Kopfes und aller Sinnesorgane. Die niederen Orte dagegen sind solchen Kranken wenig nützlich, aber sie sind günstig den Individuen, welche an Erschöpfungskrankheiten leiden, und den Greisen.“³⁰⁾ Und ganz ähnlich bei Athenäus (aus Naucratis in Ägypten, später in Alexandria, dann in Rom, Ende des 2. Jahrh. n. Chr.): „Die hohen Orte sind kälter und besser ventiliert . . . daher kommt es, daß die Einwohner dieser Gegenden gewöhnlich eine gute Gesundheit genießen.“³⁰⁾

Ja, auch das Gefühl für die Schönheit der Hochgebirgswelt begann in der späteren Kaiserzeit sich allmählich Bahn zu brechen. An den Seen am Südbhänge

der Alpen entstanden die prächtigsten Villen der römischen Großen und Caligula trug sich mit dem Gedanken, auf der Höhe der Alpen eine Stadt zu erbauen. Noch bezeichnender ist die Besteigung des Ätna durch Kaiser Hadrian, welche der erwähnten Bergbesteigung des Hämus durch König Philipp V. von Mazedonien an die Seite gestellt werden muß. Im Jahre 126 n. Chr. bestieg der hochgebildete Kaiser den Ätna, um von der Höhe desselben den Sonnenaufgang zu genießen, welcher dort an Farbenpracht an den Regenbogen erinnern sollte: *Aetnam montem conscendit, ut solis ortum videret arcus specie, ut dicitur, varium.*³⁹⁾

Wenn trotz allem im Verlauf des gesamten Altertums die Kenntnis des eigentlichen Hochgebirges eine minimale und die Verwertung der Heilkräfte desselben relativ gering ist, so liegt dies daran, daß zwei mächtige Faktoren den Menschen von den unwirtlichen Höhen zurückschreckten: Glaube und Aberglaube.

Schon bei Betrachtung der Gebirgskenntnisse der Israeliten haben wir gesehen, daß der Sinai eine uralte Kultusstätte gewesen ist. Auch in den späteren Zeiten des jüdischen Monotheismus finden sich noch zahlreiche Überbleibsel und Reminiszenzen an einen alten Bergkult. Es lag ja auch dem Sinne der naiven Völker nahe, in den in die Wolken hineinragenden Bergen die Verbindungsbrücke zwischen der Erde und ihren Bewohnern und den himmlischen Göttern zu sehen, und so wurden denn die Berge mit Gottheiten bevölkert, allmählich aber, — und dies ist besonders wichtig, mit den Gottheiten selbst vielfach identifiziert. Besonders waren es die Griechen, welche ja alle Naturphänomene personifizierten und vielfach vergöttlichten, denen die Berge als Sitze der Gottheiten galten. So war bekanntlich der Olymp der Sitz der buntbewegten griechischen Götterwelt. Eine ähnliche Bedeutung muß in Kleinasien der Jda gehabt haben, ferner in Indien der Götterberg Meru, in Armenien der Ararat, auf welchem der Sage nach die Arche Noah landete, und noch heute heißt der Elbrus bei den Tscherkessen *Uasch hamagga*, d. i. Heiliger Berg. Eine große Rolle spielt auch das Elbruzgebirge in Persien, von dem es heißt:

„Es steht in der Mitte der Erde, die Sonne ruht auf ihm. Auf ihm erhielt Zoroaster das Gesetz und zieht sich auf ihn zurück nach Beschauung der Welt (wie Moses auf dem Berge Sinai das Gesetz empfängt und auf dem Berge Nebo stirbt). Auf ihm steht der Thron Ormuzd.“³⁹⁾

Hieran aber schließen sich bei den Persern, welche in viel innigerer Berührung mit der Gebirgswelt standen, als die Völker Europas, Betrachtungen, die darauf hindeuten, daß sie eine größere Kenntnis von der heilsamen Bedeutung des Hochgebirges für die Menschheit hatten.

„Dort ist kein Tod, keine Finsternis, kein Feind — sondern Heil und seliges Leben — eine Brücke führt von da ins Paradies.“

Wenn diese Worte vielleicht ein tieferes Verständnis der zentralasiatischen Völker für die Bedeutung des Hochgebirges vermuten lassen, so steht dies durchaus im Einklange mit den Erfahrungen, welche einige Jahrhunderte später einer der gewaltigsten Entdeckungsreisenden, der Venetianer Marco Polo, in diesen Gegenden gemacht hat. Derselbe berichtet nämlich von seinen Reisen im Hochlande von Baddachschan:

„Auf den Höhen der Berge ist die Luft so rein und heilsam, daß die, welche in den Städten und in den Ebenen wohnen, wenn sie vom Fieber oder von anderen Krankheiten befallen werden, sich augenblicklich hinaufbegeben und nach drei Tagen Weilen dortselbst ihre Gesundheit wieder erhalten.“ Marco Polo versichert, daß er an seiner eigenen Person diese Wirkung erfahren hat, denn da er nahe ein Jahr krank in diesem Lande daniederlag, wurde ihm der Aufenthalt auf diesem Berge geraten, wo er alsbald gesundete.³⁹⁾

Auch im fernen Osten finden wir die Verehrung der Berge als Sitze der Gottheiten. Besonders waren die Mandschus als echte Hochgebirgssöhne voll Verehrung für die eisbedeckten Höhen und der Kaiser Khien-long besang den Shan-alin im Norden Koreas als ein entzückendes Alpenland „voll Erinnerung an die alte Zeit, erquickend durch die schönen Wiesen, Quellen, Bäche, die vielen heiligen Berge, die herrliche Luft und die einfachen friedlichen Bewohner.“³⁹⁾

In Japan ist der Fusiyama eine berühmte Kultusstätte, zu dessen Höhe Tausend und Abertausend hinan wallfahrten. Weitere Berge, die uraltem Gottesdienste geweiht waren, sind der Adams Pic auf Ceylon und das Atlasgebirge, welches nach der Anschauung der alten Griechen das Himmelsgewölbe trug.

Während aber in Asien die göttliche Verehrung es war, die die Menschen bewog, die Höhe der Berge zu erklimmen, um den gütigen Gottheiten nahe zu sein, schreckte in Europa die Vergöttlichung der Berge die Menschen davor zurück, sie zu besteigen und kennen zu lernen. Dieser Gegensatz ist wiederum aus den klimatischen Verhältnissen wohl zu erklären. Den Bewohnern der fruchtbaren, aber heißen und vielfach von Krankheitskeimen, Schlangen und Mosquitos erfüllten Ebenen, der sonnendurchglühten Steppen Zentralasiens, den Männern, welche oft weite Wüsten durchwandern mußten, gequält von Durst und gepeitscht von atemberaubenden Sandstürmen, diesen mußte zuerst die segenspendende Bedeutung der Gebirgswelt klar werden.

Helles Wasser rieselt von den Höhen herab, weithin in der Ebene Fruchtbarkeit verbreitend, in reichen Wäldern herrscht kühlender Schatten. In der Ferne aber blicken die riesigen, weißschimmernden Eisberge herüber, von denen all dieser Segen ausgeht, die Sitze unendlich mächtiger, aber den Menschen wohlgesinnter Gottheiten. So verstehen wir, daß in Innerasien schon in alter Zeit die Liebe zu den Bergen empfunden wurde. Ähnlich mag es sich in den Anden Amerikas verhalten haben.

Ganz anders dagegen mußte die Hochgebirgswelt sich den in gemäßigten, günstigen Klimaten lebenden Anwohnern der Alpen darstellen. Diesen war der eisige Gebirgswall ein mächtiges Verkehrshindernis, eine erbarmungslose Scheidewand, aufgerichtet zwischen den Völkern. Die Gefahren, mit welchen die Berge durch Steinschläge und Lawinen Verkehrsstraßen und Ansiedelungen bedrohten, die Unwirtlichkeit der durch keine Vegetation belebten Natur, die unheimlich erschütternde Erhabenheit der Eismwelt wirkte deprimierend, erschreckend, abstoßend. So war es die Furcht vor diesen rauhen Bergen, die den Menschen erfüllte. Furcht aber erzeugt Haß. Furcht und Haß waren die Gefühle der Menschen gegen die Alpen, und es bedarf nun auch keiner weiteren Erklärung, warum damals ein wahres Empfinden für die Schönheiten der Hochgebirgswelt nicht aufkommen konnte.

Man hat gerade in dieser Furcht vor dem Hochgebirge einen wesentlichen Unterschied zwischen dem Empfinden der Menschen des Altertums und der neuen Zeit konstruiert. Wohl nicht ganz mit Recht. Es gibt vielleicht keinen Alpenbesteiger, der nicht ähnliches gefühlt hätte, wenn er etwa zum ersten Male nächtlich aus der freundlichen Hochhütte heraustritt und sich dem Schweigen der Alpenwelt gegenüber sieht, den kalten, mitleidlosen Eiswänden, den dunklen Felsen und unheimlich leuchtenden und glitzernden Sternen, der nicht erfüllt worden wäre von dem Gefühle der Kleinheit und Winzigkeit seiner selbst, und bedrückt von der unendlichen Einsamkeit dieser gewaltigen Naturwelt. Ganz ähnlichen Gefühlen hat auch Goethe in seinen Schweizerreisen Ausdruck gegeben, den wir gewiß im Empfinden der Natur und ihrer Schönheiten als den Typus eines modernen Kulturmenschen ansehen müssen. Noch deutlicher tritt dies hervor, wenn wir Sven Hedin inmitten des ungeheueren Hochgebirges Zentralasiens sehen, und wenn dieser Mann, der doch wohl zu den kühnsten der Jetztzeit gehört, eingesteht, daß er besonders des Nachts etwas wie Furcht empfunden habe in diesen Bergen, „wo die Ruhe des Todes sich mit der Kälte in die Herrschaft teilt“.¹⁶⁾

Wieviel mehr mußte eine solche Gebirgslandschaft auf die Völker des Altertums wirken und ihnen erscheinen als das Werk einer dem Menschen feindseligen, unzugänglichen und unnahbaren Göttlichkeit! Es scheint also, nicht in der Art des Empfindens liegt im wesentlichen der Unterschied zwischen dem Altertum und der neuen Zeit, sondern vielmehr darin, daß der moderne Mensch gerade dieses Alleinsein mit der Natur, gerade diesen tief ergreifenden Eindruck sucht, um ein Gegengewicht zu finden gegen das heutige Leben, das ihn mit seiner Hast und seinem Gewimmel nur gar zu häufig der Natur entzieht. Man vergesse aber auch nicht, daß heutzutage der Verkehr und der Aufenthalt auf den Höhen so unendlich erleichtert ist, und daß wir, nachdem wir uns dem erschütternden Genusse einer Hochgebirgslandschaft hingegeben haben, um so freudiger Einkehr halten in die Hochhütte, welche uns warme Gastlichkeit im Kreise gleichgesinnter Kameraden gewährt.

Wirkte die Unnahbarkeit, die Einöde und Kälte des Hochgebirges abschreckend auf die Völker des Altertums, so kann es uns nicht wundernehmen, daß im Mittelalter mit seinem Mystizismus diese Faktoren noch mächtiger hervortraten, um eine Erschließung und Ausnutzung des Gebirges für das Wohl der Menschheit zu verhindern. Wurden doch mit dem Eindringen des Christentums die Götter der alten Welt überall zu Teufeln und Dämonen und die Gebirgswelt im Mittelalter so ein Tummelplatz grausiger Spukgeschichten. In den Bergen hausten Teufel und Teufelinnen; Drachen, Riesen und Zwerge entfalteteten dort eine den Menschen abholde Tätigkeit.

Aber wie der moderne Mensch zu den Bergen hinanklimmt, um mit sich allein zu sein und die Wunder der Natur mächtig auf sich einwirken zu lassen, so hat es doch zu jeder Zeit Männer gegeben, welche die Einsamkeit suchten und sich darum in die Berge zurückzogen. Wohl war es nicht der Genuß des Lebens, welcher sie dort hinführte, vielmehr beschauliche Kontemplation, das Aufgehen in der Göttlichkeit und die Betätigung eines gottgefälligen Werkes. Daher haben überall, wo hohe einsame Gebirge liegen, Einsiedler die Höhen aufgesucht, und diese

Einsiedler und Mönche haben nicht wenig dazu beigetragen, die Gebirge den Menschen zu eröffnen. So entstanden im frühesten Mittelalter bereits die Niederlassungen der Mönche in den Alpen, welche allmählich zur Gründung von Siedelungen und Klöstern führten. Diese wurden dann sehr häufig zu Zufluchtsstätten der Wanderer oder der Kaufleute, die während des ganzen Mittelalters die Pässe der Alpen belebten, um den Austausch zwischen dem sonnigen Italien und den rauheren, aber erwerbsfreudigen Gegenden Frankreichs und Deutschlands zu vermitteln. Schon im Jahre 784 schreibt der Papst Hadrian an Karl den Großen, er möge es sich angelegen sein lassen, die Hospizien zu beschützen, welche an den Übergängen der Alpen gelegen sind. *Hospitalibus qui per calles (colles) alpium siti sunt, pro peregrinorum susceptione.*¹³⁾

Noch mehr mußte es den Asiaten locken, sich in die unendliche Einsamkeit seiner gewaltigen Bergwelten zurückzuziehen. Denn der Asiate liebte die Berge und ist ja auch zu stiller Beschaulichkeit eher geneigt, als der tätige Europäer. So gehen auch heute noch die indischen Mönche und Weisen hinauf in die Vorberge des Himalaja. Ein moderner Autor, Kipling, läßt uns in seiner Geschichte von Purun Daß das seelische Empfinden eines Mannes miterleben, der mitten aus der großen Welt heraus sich in die Einsamkeit der kalten Bergeshöhen zurückzieht, um dort, nach tatkräftig vollbrachtem Leben, dem Nirwana entgegenzuträumen. In den großen Hochplateaus Zentralasiens entstanden denn auch die zahlreichen Klöster der Mongolen, welche ja zur Bildung eines großen mystisch-religiösen und ethisch hochstehenden Staatswesens, des Staates des Dalai Lama, geführt haben.

Auch von den Gebirgen der neuen Welt wird uns ähnliches berichtet. So fanden die Spanier bei der Besteigung des Popocatepetl auf dem Abhange dieses ungeheuren Bergriesen Einsiedler als letzte menschliche Bewohner.

Wenden wir uns wieder den Alpen zu! Dort waren die Klöster und Hospizien nicht nur als Herbergen und Unterkunftsstätten für die Reisenden wichtig, sondern auch als Zufluchtsorte gegen Angriffe der Räuber und des zahlreichen Gesindels, das die Schlupfwinkel der Alpen aufsuchte und die Straßen unsicher machte, nicht minder der Raubritter, die von ihren festen Bergschlössern beutegierig herabschauten. So machen die Mönchsniederlassungen des frühen Mittelalters mehr den Eindruck kriegerischer Festungen als den von Stätten beschaulichen Gottesdienstes.

Noch weiter aber sind die Klöster mit ihren berggewohnten Mönchen von außerordentlicher Bedeutung geworden für die Erschließung der Gebirge aller Weltteile durch die Missionsreisen, welche von den frommen Patres unternommen wurden. Von ihnen wollen wir hier einige nennen, deren Namen unvergänglich sein werden, solange man von einer Geschichte des Alpinismus spricht.

Da ist der Pater José de Acosta, welcher uns in der berühmten *Historia Natural y Moral de las Indias*¹⁾ die Beschreibung seiner Reisen in den Andes gibt und darin zum ersten Male eine eingehende und in ihrer Klarheit überraschende Schilderung der Bergkrankheit entworfen hat. Ebenso wird man stets der Jesuitenpater Johannes Grüber und Albert de Dorville gedenken, die im Jahre 1661 von Peking aus auf der Rückreise nach Europa Tibet durchkreuzt und von dieser ihrer Reise außerordentlich wichtige Mitteilungen hinterlassen haben.⁴⁰⁾

An die Besiedlung der Gebirgswelt durch Mönche und Geistliche und die Bedeutung der hohen Bergspitzen als alte Kultusstätten schließen sich schon in früher Zeit zahlreiche Bergbesteigungen an, wie wir dies bereits für den Fusi-yama erwähnten, wie sie aber auch an anderen Orten, so besonders am Adams Pic in Ceylon, ferner aber auch in der Zeit der Krenzzüge auf den Sinai, den Libanon und die Berge des heiligen Landes unternommen wurden.

Auch war während des Mittelalters der Sinn für die Schönheit des Hochgebirges nicht völlig verloren gegangen. So preist der Bischof von Clermont, Sidonius Apollinaris (428—484), die landschaftlichen Reize der Auvergne, als er die schon bei Betrachtung des Wirkens der Römer erwähnten *calentes bajae*, die *bains du Mont Dore*, besuchte. Bezeichnungen bestimmter Aussichtspunkte der Schweiz, des Elsaß und Deutschlands mit den Namen: „das Paradies“ (im Berner

Oberland), „zur goldenen Lust“ (Strättligen), „zur schönen Aussicht“ (in den bayrischen Alpen) legen ferner Zeugnis dafür ab, daß Empfindung für die Schönheit der Bergwelt auch in jener Zeit vorhanden gewesen ist.¹³⁾

Selbst von eigentlichen Bergtouren wird uns berichtet. So wurde im Jahre 1358 die *Roccia Melone* (3537 m) bei Susa von Rotario d'Asti bestiegen, der dann sogar, um ein Gelübde zu lösen, nahe dem Gipfel eine Kapelle erbaute. Diese Kapelle wurde in der Folge ein oft besuchter Wallfahrtsort. Ferner wird uns von einer rein touristischen Besteigung des *Pic du Canigou* in den Pyrenäen durch Peter III. von Aragonien (Ende des 13. Jahrhunderts) erzählt. Im Jahre 1492 bestieg Julien de Beaupée im Auftrage Karls VIII. von Frankreich den *Mont Aiguille*, einen abenteuerlichen Felskegel in der Gegend von



Petrarca.

Grenoble, eine Klettertour ersten Ranges. Am berühmtesten aber von diesen Bergbesteigungen im Mittelalter ist diejenige des *Mont Ventoux*, eines Vorberges der Westalpen, durch Petrarcha. Diese Besteigung ist deswegen so bekannt geworden, weil uns der große Dichter eine genaue Beschreibung derselben und der Empfindungen, welche ihn dabei beherrschten, hinterlassen hat.¹¹⁾ Der Aufstieg fand am 24. April 1336 statt. Petrarcha bestieg den Berg allein mit seinem Bruder Gerhardt, da sich kein Anderer zu dieser mit Gefahren verknüpften Wanderung hatte bereit finden lassen. Dieses Gefühl des Alleinseins und die Schwierigkeiten des Marsches stärkten ihre Lust und erhoben den Mut. Von dem Blicke, welchen sie auf der Höhe des *Mont Ventoux* genossen, gibt uns Petrarcha eine sehr anschauliche Schilderung:

„Da stand ich staunend. Unter meinen Füßen schwebten die Wolken, vor meinen Augen ragten in die geliebten Fluren Italiens die schneebedeckten Alpen,

mir so unerreichbar fern und doch so nah scheinend, als wenn ich sie berühren könnte . . . und wiederum schweifte der Blick auf das großartige Naturschauspiel, das mich hierher gelockt hatte. Da erblickte ich im Westen die Küste Frankreichs und Spaniens. Dieses Landes Pyrenäengipfel vermochte zwar das Auge nicht zu erreichen, von jenem aber sah ich rechts die Gebirge von Lyonnais, links den Busen von Lyon, die Rhone gewährte ich unter unseren Füßen. Während ich so das Einzelne betrachtete, bald den Blick zur Erde senkte, bald Augen und Geist zum Himmel schweifen ließ, da nahm ich unwillkürlich Augustins Bekenntnisse heraus, ein Büchlein von geringem Umfang, aber doch unendlich reichen Inhalts, das ich immer bei mir trage, und traf gleich beim Öffnen des Buches auf die Stelle: Da gehen die Menschen und bewundern die Gipfel der Berge, die ungeheueren Meereshöhen, die breiten Flußbetten, die Weiten des Ozeans und das Kreisen der Sterne, vergessen sich aber selbst dabei. Darüber erschrak ich, schloß das Buch, zürnte mir selbst, daß ich noch Irdisches anstaunte, da ich doch längst schon von den heidnischen Philosophen hätte lernen können, daß nur der Geist das einzig bewunderungswürdige Große sei.“

Aus diesen Mitteilungen Petrarca's ist mancherlei Interessantes zu entnehmen. Erstens geht aus denselben hervor, daß in der That der Aufstieg von Petrarca unternommen wurde, um die schöne Aussicht, welche dieser Berg darbot, zu genießen. Ferner aber sehen wir aus der ganzen Schilderung und auch aus dem Umstande, daß gerade das Gefühl des Alleinseins dem Bergsteiger Lust und Mut zum Aufstieg verlieh, daß der Dichter ein Mann war, bei welchem die Sehnsucht nach der Einsamkeit als Triebkraft wesentlich mit in Betracht kam, ganz ähnlich, wie wir sie oben bereits als einen wesentlichen Reiz zur Bergbesteigung kennen gelernt haben. Dies geht vielleicht noch klarer aus dem Gespräche hervor, welches Petrarca viele Jahre später mit seinem Gönner Kaiser Karl IV. gehabt hat, und über das er folgendermaßen berichtet: Der Kaiser wollte wissen, welche Lebensart Petrarca wählen würde. „Das einsame Leben,“ sagte ich, unerschrocken und ohne Zögern, „denn keines ist ruhiger, ja glücklicher als dieses, das meinem Urteil nach selbst dein kaiserliches Prunkleben übertrifft. Dies will ich daher an seiner eigentlichen Stätte, d. h. in Wäldern, führen, wie ich schon oft getan habe, oder, wenn das nicht möglich ist, es auch in Städten zu erreichen suchen.“

Auch die sanitäre Bedeutung des Hochgebirges ist nicht ganz in Vergessenheit geraten. Es wird berichtet, daß der Dauphin Humbert II., welcher zu Anfang des 13. Jahrhunderts gelebt hat, sich zur Wiederherstellung seiner Gesundheit in Brandes in der Auvergne aufgehalten habe, um dort die gesunde Luft der Berge einatmen zu können.

Während des ganzen Mittelalters sind ferner die Bäder dauernd in Anwendung geblieben. Zu denen, welche aus der Römerzeit bereits in Benutzung waren, wie Bormio, Baden bei Wien usw., traten bald noch andere, so das Fiderisbad im Prätigau, Pfäfers, St. Moritz, Leuk. Im späteren Mittelalter besonders verband sich dieser Bädereufenthalt ganz wie im modernen Leben mit der Entfaltung eines großen Luxus. So schreibt Ryff in seinem Buche „Badenfahrt 1542“, daß die Bäder „mehr zu leiblicher Wohllust denn für Krankheiten, Zähen, Zählen,

Schreien, Spielen“ dienen. Und Huggelin: „Von den heylsamen Bädern des Teutschenlandes“, Basel 1559, bemerkt von dem Fiderisbad, es sei gut gegen die „Döwung, magenweh, herzgesperr, löscht aus das zornig hitzig blut, hilfft und heilet das podagram, das grimmen usw. Wo einer zu viel gelt in dem seckel hat, dem hilft es auch geschwint, daß er sein ledig wird.“

In der Tat scheint das Leben in den Gebirgsbädern der damaligen Zeit sich nicht wesentlich von demjenigen der heutigen Schweizer Modebäder unterschieden zu haben, wenigstens in dem letzten der von Huggelin genannten Gesichtspunkte.

Schwarz,³⁹⁾ dem wir die oben erwähnten Stellen entnehmen, fährt jedoch weiter fort: „Dabei rückte dieses BADELEBEN selbst in die einsamsten Alpenhöhen hinauf. So finden wir in der Schweiz entsprechende Etablissements auf der Schamser Alp, zu Ganney oberhalb Sewis, zu Schuls, St. Moritz usw.“

Man sieht also, daß trotz der Gespensterfurcht, trotz der Drachen und Dämonen, von welchen das Gebirge in der Phantasie des Mittelalters bevölkert war, dennoch auch während des Mittelalters die Ausnutzung der hygienischen Faktoren der Berge niemals ganz zum Stillstande kam.

Die Freude an den Bergen selbst aber beginnt in den Vordergrund zu treten, als in Italien die Sonne der Renaissance aufgeht, mit ihren Strahlen die hohen Gipfel der Schneeberge trifft und die verborgenen Gründe der Gebirgswelt beleuchtet. Mit dem warmen Empfinden für die Schönheit im allgemeinen lebte auch das Verständnis für die unvergleichliche Herrlichkeit der Berge auf. Dies ist schon zu



Leonardo da Vinci.

folgen aus der Betrachtung zahlreicher Gemälde der Renaissanceperiode, auf welchen man häufig eine Gebirgslandschaft oft mit ausgesprochen alpinem Charakter als Hintergrund benutzt findet. Auch begegnen uns in der Renaissancezeit zum ersten Male wirkliche Hochtouristen, Männer, welche aus Freude am Bergsteigen selbst bis zu den Höhen der Gletscher vordringen, ja Gipfelbesteigungen ausführen, welche wir auch heute noch als alpine Leistungen betrachten können. Unter diesen ist vor allem einer zu nennen, dessen Bergfahrten uns wohl deswegen überliefert worden sind, weil er zu den unsterblichen Größen der Menschheit gehört: Leonardo da Vinci.

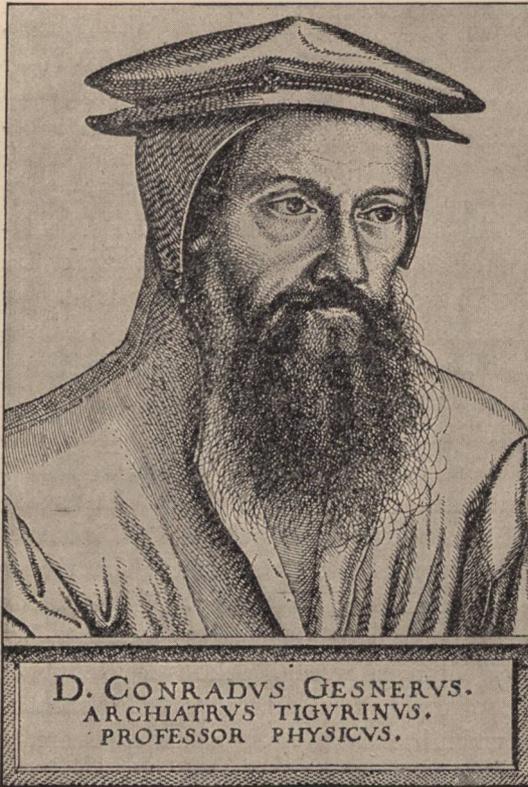
Es ist zweifellos, daß derselbe vom Jahre 1511 ab zahlreiche Touren in den Alpen gemacht hat. Zu den von ihm besuchten Bergen gehören die Tre Signori, der Monte della Disgrazia (3678 m), die Bernina (4050 m), wobei es allerdings zweifelhaft ist, ob er die Gipfel dieser Riesen erreicht hat. Ferner wird unter den Bergen, welche Leonardo bestieg, auch einer angeführt, dessen Name uns heute nicht mehr bekannt ist: der Monboso. Es bestehen zahlreiche Gründe für die Annahme, daß dieser Monboso nichts anderes gewesen ist, als unser Monte Rosa. Auch findet sich oberhalb des Col d'Olen, von dem in der Folge ja häufig die Rede sein wird, in einer Höhe von über 3000 m ein Stein mit der Jahreszahl 1516, welcher vielleicht auf diese Besteigung hindeuten und zweifellos den Beweis liefern würde, daß der Tourist jener Zeit bis über den Col d'Olen hinaus vorgedrungen ist.

Auch darf nicht vergessen werden, daß dem berühmtesten Arzt des 16. Jahrhunderts, Theophrastus Bombastus Paracelsus, welcher im Jahre 1525 das Veltlin kennen lernte, die wunderbare Heilkraft der Schweizer Luft wohl bekannt war.

Hier ist eines Ereignisses zu gedenken, das für die Kenntnis der Gebirgswelt von ebenso großer Bedeutung war wie für das gesamte Kulturleben der europäischen Völker überhaupt: die Entdeckung der Neuen Welt und die Folgen, welche sich an diese Entdeckung unmittelbar anknüpften. Es wurde ja durch die verwegenen spanischen Eroberer damals eine Gebirgswelt erschlossen, der gegenüber die Alpen an Mächtigkeit und Großartigkeit weit zurückstehen: die Anden. Es ist interessant zu sehen, daß die Sucht nach Gold und Gewinn alpine Taten gezeitigt hat, die uns heute noch mit Erstaunen und Bewunderung erfüllen, zu einer Zeit, in der die Erschließung der europäischen Hochgipfel immerhin noch in den Kinderschuhen steckte. Übrigens haben die Eroberer bereits im Inkareiche eine gewisse Ausnutzung der sanitären Wirkungen des Hochgebirges vorgefunden, jedenfalls wissen wir, daß in den Anden Gebirgsbäder und wohl auch eine Art von klimatischen Kurorten bestanden haben. Ferner wurde die Unterwerfung der alten Kulturgegenden Süd- und Mittelamerikas deswegen besonders wichtig, weil hier zu Höhen vorgedrungen wurde, welche die schweren Schädigungen der Gesundheit durch die Bergkrankheit besonders stark hervortreten ließen. So haben wir zahlreiche Berichte und Mitteilungen, welche uns die schrecklichen Leiden der kühnen Eindringlinge und ihrer Begleiter auf den hohen Paßübergängen der Anden schildern. Unter diesen ist, wie bereits erwähnt, die Mitteilung des Jesuitenpaters Acosta von besonderem Interesse.

Kehren wir nach Europa zurück, so sehen wir, wie, zweifellos unter dem Einflusse der ganzen Geistes- und Bildungsrichtung der Renaissance, die wahre Schätzung alpinen Lebens und all dessen, was das Hochgebirge für den Menschen bedeutet, sich allmählich Bahn bricht und zwar, was besonders interessant ist, immer noch begleitet von übertriebener Anschauung von den Schrecken des Hochgebirges und gehemmt durch abergläubische Furcht. Nur einzelnen hervorragenden Männern gelang es, diese Furcht abzustreifen und den Bergen ohne Vorurteil und Bangen gegenüberzutreten. Einen solchen finden wir in dem unvergeßlichen Manne, welcher der Vater des modernen Alpinismus genannt zu werden verdient: dem

Züricher Arzt und Professor der Physik Dr. Conrad Geßner.¹²⁾ Geßner hat uns einen hochinteressanten kleinen Aufsatz zurückgelassen, welcher betitelt ist: „*Descriptio montis fracti, sive montis Pilati, ut vulgo nominant, juxta Lucernam in Helvetia.*“ Die hier beschriebene Besteigung des Pilatus ist zunächst deswegen interessant, weil sie uns ein klassisches Beispiel für die damals herrschende abergläubische Furcht gibt. Gerade nämlich der von Geßner bestiegene Pilatus war ein besonderer Tummelplatz für die Spukphantasie des Mittelalters. Die Seele des einstigen Landpflegers sollte nach der Anschauung der damaligen Zeit auf dem nach ihm benannten Berge ihr Unwesen treiben. Dieselbe



Dr. Conrad Geßner.

hauste in einem kleinen See und zeichnete sich durch große Ungemütlichkeit bei jedweder Störung aus. Warf jemand etwa Steine in den See oder benahm sich ungebührlich und laut, so wurde der augenscheinlich sehr nervöse Geist in heftige Erregung versetzt und erzeugte gräßliche Ungewitter, die dann die Stadt Luzern und Umgegend heimsuchten. Das Ergötzliche ist, daß die Wahrheit dieser Anschauung von den städtischen Behörden Luzerns gleichsam offiziell beglaubigt wurde. Nur zuverlässigen Personen wurde in Begleitung besonders dazu angestellter Führer der Aufstieg gestattet, nachdem sie vorher die Erlaubnis der weisen Stadtväter erhalten hatten. So erging es auch unserem Conrad Geßner, welcher von dem Spuk übrigens nichts wissen wollte und in seiner Beschreibung gegen die Anschauung lebhaften Protest erhoben hat. Die Bemerkungen, welche Geßner bei seiner Bergfahrt macht, sind so interessant, daß wir uns nicht versagen können, die wichtigsten Stellen in sinngemäßer Übersetzung wiederzugeben, damit die Bedeutsamkeit dieses Mannes für den Alpinismus die rechte Würdigung erfahre.

Geßner beschreibt zunächst kurz Luzern und Umgegend und erzählt dann, wie er mit seinen Genossen den Aufstieg begonnen und auf dem Heuboden einer Sennhütte übernachtet habe. Hierbei gedenkt er mit besonderer Dankbarkeit der gastlichen Aufnahme durch die Hirten, welche ihn mit Milch und Milchspeisen bewirteten. Diese mundeten ihm und seinen Gefährten vortrefflich, so daß sie dem Weine nicht zusprachen, den der offizielle Führer mitgebracht hatte. Am nächsten

hauste in einem kleinen See und zeichnete sich durch große Ungemütlichkeit bei jedweder Störung aus. Warf jemand etwa Steine in den See oder benahm sich ungebührlich und laut, so wurde der augenscheinlich sehr nervöse Geist in heftige Erregung versetzt und erzeugte gräßliche Ungewitter, die dann die Stadt Luzern und Umgegend heimsuchten. Das Ergötzliche ist, daß die Wahrheit dieser Anschauung von den städtischen Behörden Luzerns gleichsam offiziell beglaubigt wurde. Nur zuverlässigen Personen wurde in Begleitung besonders dazu angestellter Führer der Aufstieg gestattet, nachdem sie vorher die Erlaubnis der weisen Stadtväter erhalten hatten. So erging es auch unserem Conrad Geßner, welcher von dem Spuk übrigens nichts wissen wollte und in seiner Beschreibung gegen die Anschauung lebhaften Protest erhoben hat. Die Bemerkungen, welche Geßner bei seiner Bergfahrt macht, sind so interessant, daß wir

Morgen ging dann die Fahrt weiter, die Bergsteiger erfreuten sich am frischen Quellwasser und mit demselben befeuchteten Brote. Bei dieser Gelegenheit wendet sich Geßner einigen allgemeinen Betrachtungen zu, welche gerade die außerordentliche Bedeutung seiner kurzen Schrift ausmachen:

„Ich weiß nicht, welches Vergnügen die menschlichen Sinne angenehmer und epikuräischer berühren kann. Wir lesen auch von Epikur, dem Philosophen des Lebensgenusses, daß er zuweilen mit einer Mahlzeit aus Brot und Wasser sich begnügt habe, sicherlich deswegen, damit er aus jener frugalen Lebensweise nicht nur für die Gegenwart ein einfaches und natürliches Vergnügen, sondern auch für spätere Zeit Frische der Sinne und des Hirns und Klarheit des Kopfes empfangen.“

Geßner führt dann an, daß gerade im Gegensatz der verschiedenen Einwirkungen ein Hauptreiz liege, und daß nirgends ein wahres Vergnügen bestehen kann, „wenn nicht eine entgegengesetzte, dem Sinne lästige Einwirkung vorhergegangen ist.“

„Daher muß man gestehen, daß ein kühler Trunk der Natur niemals angenehmer ist, als wenn wir am meisten glühen vor Durst, Hitze und Ermattung, was am meisten eintritt auf Bergen nach langem Aufstieg. Wenn wir also zugleich ausruhen von stärkster Arbeit, zugleich uns abkühlen von größter Glut, zugleich uns durch Trinken von heftigstem Durste, durch Essen von ungewöhnlichem Hunger befreien, zumal wenn dabei unser ruhiger und sicherer Sinn erheitert wird durch die angenehme Gesellschaft, Begleitung und Gespräche der Freunde, — wer sollte nicht dabei die höchste Lust empfinden? Welcher Sinn wird hier nicht erfreut?“ Und nunmehr setzt Geßner auseinander, welche Freuden bei einer Bergbesteigung die verschiedenen Sinnesqualitäten des Menschen genießen.

Zunächst werden die Freuden des Gefühlssinnes besprochen. Wir würden heute vielleicht besser Hautsinn übersetzen. Geßner sagt:

„Denn was den Gefühlssinn betrifft, so wird der ganze erhitzte Körper durch die Kühle der Bergluft, welche die Oberfläche von allen Seiten umweht und mit vollen Zügen eingeatmet wird, außerordentlich erfrischt . . . andererseits wird der, welcher Wind und Kälte erlitten hat, wieder erwärmt durch die Sonne, die Körperbewegung oder schließlich durch das Feuer in der Hütte der Hirten.“

Besonders interessant ist es, daß bei diesen Ausführungen zum ersten Male der Körperbewegung als eines günstigen Faktors Erwähnung geschieht. Wir werden sehen, daß Geßner noch näher darauf eingeht. Zunächst aber wendet er sich den Freuden des Gesichtssinnes zu und stellt hierüber Betrachtungen an, welche ganz ebenso aus der Feder eines modernen Alpinisten stammen könnten:

„Das Auge wird entzückt durch den ungewohnten wunderbaren Anblick der Berge, Joche, Felsen, Wälder, Täler, Bäche, Quellen, Wiesen. Infolge der Farbenpracht — alles grünt und blüht ringsum — und infolge der Form der Dinge, welche man sieht — merkwürdig und seltsam ist der Anblick der Bergspitzen, der Felsen, der Kuppen, staunenswert an Gestalt, Größe und Höhe. Gefällt es, die Schärfe der Augen anzuspannen, den Blick schweifen zu lassen und weit und breit Umschau zu halten, dann finden sich glitzernde Flächen und Berge, deren Haupt bis in die Wolken zu ragen scheint. Wenn du dagegen den Nahblick vorzieht,

so wirst du Wiesen und grüne Wälder betrachten oder auch betreten, oder, wenn du weiter blickst, schattige Täler, düstere Felsen und finstere Schluchten. Abwechslung und Mannigfaltigkeit sind stets angenehm, besonders aber bei allem, was mit den Sinnen wahrgenommen wird. Nirgends aber gibt es wahrlich sonst so viel Abwechslung, wie sie in den Bergen in einer selbst so kurzen Entfernung wahrgenommen wird, in welchen man, um anderes zu übergehen, an einem Tage vier Jahreszeiten: Sommer, Herbst, Frühling und Winter sehen und erleben kann. Hierzu kommt, daß von den höchsten Gebirgskämmen aus die ganze Hemisphäre des Himmelsgewölbes deinen Blicken offen liegt und du Auf- und Niedergang der Gestirne ohne jedes Hindernis leicht beobachten wirst. Du wirst bemerken, daß die Sonne langsamer untergeht, aber schneller aufgeht.“

Und über den Gehörssinn: „Das Ohr werden die anziehenden Gespräche der Genossen erfreuen, ihre Scherz- und Witzreden, der Vöglein lieblicher Gesang in den Wäldern und schließlich das Schweigen der Einsamkeit selbst. Nichts kann hier dem Ohre lästig und unbequem sein, kein städtisches Getöse und Lärmen, kein Streit der Menschen. Du wirst hier in dem tiefen und heiligen Schweigen von den hohen Bergkämmen fast die Harmonie der Himmelssphären zu hören vermeinen“ — und kritisch fährt er fort: „si quae est“ — wenn es sie überhaupt gibt.

Äußerst interessant sind dann die Bemerkungen über die Wirkung der Bergwelt auf den Geruchssinn:

„Auch die lieblichen Gerüche der Kräuter, Blumen und Bergpflanzen bieten sich dar, denn diese Pflanzen sind auf den Bergen sowohl duftreicher als auch wirksamere Heilmittel als in der Ebene. Die Luft ist hier viel freier und gesünder und nicht so mit dicken Dämpfen erfüllt, wie in der Ebene und nicht, wie in den Städten und anderen menschlichen Wohnstätten, mit ansteckenden und übelriechenden Stoffen beladen. Durch die Nase zum Hirn geleitet, schädigt sie hier nicht die Adern, die Lungen und das Herz, sondern frommt ihnen.“

Besonders ausführlich bespricht Gebner die Wirkungen auf den Geschmackssinn, der ja überhaupt in den materiellen Zeiten des Mittelalters eine große Rolle gespielt zu haben scheint.

„Schon oben habe ich die außerordentliche Ergötzung des Geschmackssinnes gepriesen, den Trunk kalten Wassers. Dasselbe wird hier die Ermatteten und Dürstenden ohne Schaden erfreuen oder mit viel geringerem, als in der Ebene oder zu Hause. Zunächst ist nämlich das Wasser selbst in den Bergen reiner und besser, besonders in mittleren Bergeshöhen, wenn ich mich nicht irre, wo es nämlich nicht allzu kalt und schneeig ist, und doch rein, filtriert und bisher der freien Luft ausgesetzt. Nächst den Gipfeln findet sich entweder kein Wasser oder es ist fast gefroren und schneeig, auch nicht genügend rein und filtriert. Am Fuße der Berge ist es weniger frisch und deswegen weniger angenehm und meist in weniger freier Luft und ungesünder.“

Dann folgt eine ziemlich umfangreiche Auseinandersetzung über das Trinken kalten Wassers auf dem Marsche, das augenscheinlich damals ebenso gefürchtet war, wie es ja auch bis in die neueste Zeit hinein als schädlich verworfen wurde.

Bei dieser Gelegenheit macht Geßner wiederum eine außerordentlich treffende Bemerkung, indem er sagt:

„Übrigens bewirkt die Bewegung und das Marschieren, das dem Trunk bald folgt, daß das Wasser teils im Harn und Schweiß wieder ausgeschieden wird, teils sich erwärmt.“ Beinahe dreieinhalb Jahrhunderte hat es gewährt, bis diese Anschauung Geßners zu ihrem Rechte kam!

Die übrigen Auseinandersetzungen, warum das kalte Wasser in den Bergen gesund, in der Ebene schädlich wirkt, muten uns seltsam an, doch können wir dieselben übergehen, denn Geßner selbst fügt einige Worte hinzu, welche ihn uns als einen vollkommenen Naturforscher im modernen Sinne zeigen. Er sagt nämlich:

„Aber daß sich das so verhält, daß man nämlich kühles Wasser sicherer in den Bergen trinken kann, sogar in reichlicher Menge, möge man nicht unseren Überlegungen glauben, sondern vielmehr der Erfahrung. Denn sowohl die Anwohner des Pilatus (Montis fracti) bestätigen dies, und auch ich mit vielen Freunden habe es nicht nur auf diesem Berge, sondern auch auf vielen anderen früher oft ohne Schaden versucht, während ich sonst ein „homo phlegmaticus“ bin und einen kalten Magen habe und daher leicht durch Wassertrinken Schaden leide.“ Es geschieht dann noch einer Heilquelle Erwähnung und darauf fährt Geßner fort:

„Außerdem werden dem Geschmacke gefallen die Bergfrüchte und die äußerst angenehmen Milchspeisen, die in den Bergen besonders vorzüglich sind. Schließlich wird jede Speise und Trank nach derartiger Anstrengung dem Gaumen und Magen mehr zusagen als in Muße und Ruhe.“

Und nun zieht Geßner den Schluß aus seinen Betrachtungen folgendermaßen:

„Wir wollen also endlich schließen, daß aus den Bergtouren, welche mit Freunden unternommen werden, überhaupt die größten Vergnügungen und die angenehmste Ergötzung aller Sinne gewonnen werden, wenn nicht in der Witterung, in Seele oder Körper ein Hindernis liegt. Denn ein Mensch, welcher krank ist oder von schwächlichen Gliedern, kann nichts Derartiges erreichen. So auch werden vergeblich die Freuden für Körper und Sinne gesucht werden, wenn der Geist krank ist und Sorgen und Leidenschaften nicht abgelegt hat. Aber gebt mir einen Menschen von nur mäßig guter Geistes- und Körperkonstitution und angemessener Erziehung, der nicht allzusehr dem Müßiggange, dem Luxus und der Sinnenlust hingegeben ist, am liebsten einen, der die Natur liebt und bewundert, so daß aus der Betrachtung und Bewunderung dieser großen Werke des höchsten Meisters und der großen Mannigfaltigkeit der Natur, welche sich in den Bergen gleichsam gehäuft zeigt, das Vergnügen des Geistes zugleich mit dem aller Sinne hinzukommt, dann frage ich: welche Art Ergötzung kannst du, wenigstens innerhalb der Grenzen der Natur, finden, die anständiger und in jeder Hinsicht vollständiger wäre?“

Die folgenden Bemerkungen zeigen uns Geßner von einer anderen, uns nicht minder interessanten Seite: als Touristen. „Aber der Marsch selbst und die Ermüdung sind mühsam und lästig, ja es ist auch Gefahr vorhanden durch die Schwierigkeiten des Geländes und die Abgründe! Es fehlen die Genüsse der Speisen und Betten! Das mag ja wahr sein, aber es ist angenehm, sich später an



Mühen und Gefahren zu erinnern, es wird erfreuen, sie im Geiste nochmals zu erleben und den Freunden zu erzählen.“

Ob Geßner hier wohl bereits auf die oft getadelte Lust mancher Alpinisten anspielen wollte, die Gefahren und Leiden, welche sie erlebt haben, ihren Freunden in etwas vergrößerter Form mitzuteilen?

„Aber auch die Freude an der Ruhe, welche der Arbeit folgt, ist un so größer und die Gesundheit auch wird gefestigter bei einem Menschen, wie ich ihn fordere, von leidlich guter Konstitution. Es werden nämlich alle Teile des Körpers geübt, wenn man marschirt, und bisweilen auch springt, alle Nerven und Muskel werden angespannt und sind tätig, aber andere beim Aufstieg, andere beim Abstieg und anders bei jedem derselben, wenn er bald gerade, bald schräg vor sich geht, wie dies in den Bergen der Fall ist.

„Aber man kann und muß beim Marschieren ein gewisses Maß halten, und es ist wahr, was Aristoteles in den Problemen schreibt, daß man beim Marschieren durch unebenes Terrain weniger ermüdet wird als durch gleichförmiges.“

Hier finden wir also wohl nachweislich zum ersten Male die Bedeutung der besonderen Art von Körperbewegung in den Bergen in ihrem Werte für die Gesundheit und das Wohlergehen klar erkannt.

Nach dieser wichtigen Bemerkung wendet sich Geßner wiederum mit großer Ausführlichkeit den Speisen, besonders den Milchspeisen und dem Genusse des kalten Wassers zu, ohne jedoch hier etwas wesentlich Neues zu bringen. Und dann schließt er seine Betrachtung mit folgenden Worten: „Aber ein Bett, Kissen, Daunen und Polster fehlen. O du weichlicher und verzärtelter Mensch, Heu wird dir dies ersetzen! Es ist weich, wohlriechend, aus mannigfaltigen Kräutern und heilsamen Blumen zusammengetragen, viel ruhiger, süßer und erfrischender wird daher deine nächtliche Atmung sein. Du wirst es als Kissen unter dein Haupt, als Polster unter deinen Körper breiten und als Decke über dich ausbreiten.“

Soweit die allgemeinen Ausführungen Geßners, welche klar erkennen lassen, daß diesem Manne sicherlich Erfahrung und Nachdenken eine sehr umfangreiche und zutreffende Kenntnis von dem Werte des Wanderns in den Bergen verschafft hatten. Er stand aber mit seiner Freude an den Bergen und am Alpinismus nicht allein. Die Schweizer Humanisten scheinen vielmehr vielfach von gleichen Empfindungen und Interessen beseelt gewesen zu sein. So war Geßner bei der Pilatusbesteigung von einer Anzahl Freunden begleitet, welche er in seinem Widmungsschreiben an den Dr. Chrysostomus Hueber in Luzern namentlich aufführt. Aus diesem Widmungsschreiben geht auch hervor, daß Geßner aus seinen Kenntnissen von der günstigen Einwirkung der Gebirgsreisen auf Körper und Geist die gebührenden Konsequenzen gezogen hat, denn das Schreiben beginnt: „Da ich meiner alten Gewohnheit gemäß sowohl wegen meines geistigen Befindens als meiner körperlichen Gesundheit wegen entweder jedes Jahr oder ein Jahr um das andere eine kurze Wanderung am liebsten in die Berge zu unternehmen pflege“ usw.

Brief und Aufsatz Geßners stammen aus dem Jahre 1540!

Auch von anderen Bergbesteigungen aus damaliger Zeit ist uns Kunde erhalten

geblieben. So bestieg schon 1536 Joannis Rhellicanus³⁴⁾ (J. Müller aus Rhelikon im Kanton Zürich) bonarum literarum Professor, das Stockhorn (2193 m) und schildert diese Besteigung in einem längeren lateinischen Gedicht, das er seinem Genossen Petro Cunzeno (Peter Kunzen), ecclesiastae Bernensi, gewidmet hat.

Auf welcher Höhe die alpine Technik der damaligen Zeit bereits stand, das geht am besten aus dem 1574 veröffentlichten Werke des Josias Simmler: „De Alpibus“ hervor. Hier wird das Rüstzeug der Alpinisten jener Zeit erwähnt: Alpenstöcke (baculi quos alpini nominant), Steigeisen, Schneeschuhe, Schne Brillen und das Seil werden ausdrücklich genannt und in ihrer Anwendungsweise beschrieben.

Es nahm also der Alpinismus in der Schweiz selbst einen vielversprechenden erfreulichen Anlauf, und es schien zu hoffen, daß die Freude an den Bergen und der Touristik, verbunden mit der bewundernswert klaren Wertschätzung der Bedeutung des Hochgebirges für Körper und Geist, sich immer mehr vertiefen und sich auch den Bewohnern der anderen Kulturländer der damaligen Zeit mitteilen würde. Leider war dies nicht der Fall. Die Reformation und ihre Folgen, welche ja auch in der Schweiz zu den blutigsten Kämpfen führten, absorbierten das Interesse und die Kraft des Schweizer Volkes.

Im 17. Jahrhundert trat dann völlig das Interesse für die Berge zurück. Für die Zeiten der Stöckelschuhe, seidenen Strümpfe und des höfischen Wesens paßte schlecht die rauhe Luft der freien Berge. Nur das Bäderleben hat auch in der Folgezeit weitergeblüht, aber nichts wird uns berichtet von Ersteigungen in den Alpen, von dem Genusse alpiner Schönheiten oder fröhlichen Wanderlebens.

Erst zu Beginn des 18. Jahrhunderts erstelt der Nachfolger der alten Schweizer Humanisten in der Gestalt des Züricher Arztes Johann Jakob Scheuchzer, welcher in den Jahren 1706—1708 seine „Beschreibung der Naturgeschichte des Schweizerlands“³⁶⁾³⁷⁾ herausgegeben hat. Diese Beschreibungen sind auch insofern wichtig, als sie uns zeigen, daß die Aufklärung über die Nichtigkeit der zahlreichen Spukgeschichten und abergläubischen Vorstellungen seit Geßner und seinen Genossen durchaus keine weiteren Fortschritte gemacht hat und Scheuchzer wieder auf demselben Punkte einsetzen muß, auf welchem Geßner begonnen, wobei er ihn aber weder an Klarheit der Ausdrucksweise noch an frischer Bergfreudigkeit, selbst nicht an Aufgeklärtheit erreicht.

Auch Scheuchzer bespricht sicherlich in Anlehnung an Geßner „die Lust-Nutzbarkeit und Kömlichkeit der Bergreisen“: „Es ist jederman bekant durch die Erfahrung, dass bey gähem auf- und absteigen der Bergen grosse mühe und beschwerde. Wer die wahrhaften auss Anatomischen und Mathematischen Grundsätzen gezogenen ursachen solcher Mühesamkeit zu wissen verlanget, findet sie in dem herrlichen Werk Joh. Alphonsi Borelli de Motu Animal usw. Hierauss scheineth, die Berg-Reisen seyen so mühesam und beschwerlich, das darvon sich jederman solte abschrecken lassen. Ich wil aber zum trost des Reisenden beweisen, daß ihre durch die Schweizerischen oder andere hohe Gebirge vorzunehmende Reisen mit mehr lust und weniger arbeit zugehen, als auf der Ebene. Es hat disen widersinnigen Vortrag schon längsten getan der grosse Aristoteles in seinen sogenannten Problematibus. Die eigentliche ursach diser Begebenheit besteheth kurz darinn, weilen bey abwechselnder auf- und ab-

steigung alle Glieder des Leibs in bewegung kommen, nicht aber zugleich, sondern also, das, wann die einten Mäuslein arbeiten, andere, so kurz zuvor sich abgemattet haben, ruhen können, und in der zeit, da dise an dancz müssen, jene hergegen durch die ruh sich widerum erholen. Nebst deme ist in betrachtung zu zeuhen, das durch fortgesetzte bewegung aller Leibsässer den Lauff des Geblüts und der Geisteren



Johann Jakob Scheuchzer.
 Nach einem Kupferstich von Jos. Nutting.

Einfluß merklich gefördert wird, welches nicht wenig beytraget zur gesundheit der fremden Reisenden, sowol als Einwohneren selbs, deren starke, ansehnliche und gesunde Leiber derganzen Welt bekant seyn. Betrachtet man überdiss die ausdehnung der inneren, in denen Aderen des Leibs enthaltenen Luft, die geringere schwere und rauhe kälte der ausseren, so wird sich finden, das der Kreisslauff aller Säfte beförderet, und die aussdämpfung des Leibs verhindert wird, welches beides vil zur unterhaltung der Leibes Kräften, so zu fortsetzung einer Reise nöthig sind, beytraget. Halte man das mühesame Leben der Bauern, ja das beweglich beschwerliche Leben unser Älpleren, welche bald alle tage ein hohes Gebirge von der Wurtzel an unter fortwährender Gesundheit, mit beständiger Leibes-

kräften besteigen, gegen die weiche Lebensart zarter Höflingen, oder der Gelehrten bald immerwährendes stillsitzen in ihren Studierstuben, so wird sich bald zeigen, wie jene durch allerhand unordenlichkeiten ihr wollüstiges Leben bald abkürzen, und dise nicht nur ihre Geister durch oft unmässiges studieren verzehren, sondern überdiss zu allerhand verstopfungen, so sich in ihrem Leibe samlen, anlas geben, folglich zur Milzesucht und anderen schweren Krankheiten zurüsten. Disem allem kommen

die Äpler, ja auch andere, so die Bergstrassen und Reisen vil brauchen, vor theils durch ihre einfältige Lebensart, teils durch tägliche von Jugend auf angewehnte Bewegung. Wahr ists, das einer, sonderlich der der Bergreisen nicht gewohnt ist, auf denen höchsten Alpfirsten eine merkliche schwerigkeit des Athems empfindet, welche aber, meines bedunkens nicht so fast herkommet von müdigkeit der Gliederen, als aber von oben bemeldter aussdehnung der inneren die Lungen umgebenden, und folglich zusammen truckenden Luft, welcher zwar widerstehet die innere in denen äderlein der Lungen selbs enthaltene, auch mehr als zuvor aussgedehnte Luft, aber nicht genugsam, weilen die aussere die Lungenbläslein selbs aufblasende Luft allzu schwach in ihrer Trukkraft. Wer die aussdehnung einer zusammen getrukten auf die Berge getragenen Luft vor ein Hirngedicht haltet, der nemme eine nicht gar aufgeblasene Schweinsblateren, binde sie in solchem stand unten in dem Thal zu, steige damit auf die höhe des Bergs, so wird er finden, das sie droben föllig aufgeblasen, da doch kein andere Luft hineinkommen, als die mit heraufgetragen worden. Auss eben disem oben bey verschiedenen anläsen angezogenen Fundament lasset sich herleiten die vierschrötige, grosse, ahnsehnliche gestalt der Äpleren, und insgemein der Schweizeren, ja auch die merkliche grösse des Viehs.“

Wir sehen also, daß Scheuchzer wohl eine richtige Wertschätzung der gesundheitlichen Zuträglichkeit alpiner Reisen gehabt hat, und auch die Bemerkung über die Schwierigkeit des Atmens auf höchsten Alpenfirsten läßt erkennen, daß damals bereits die Grenzen häufiger überschritten worden sein müssen, in welchen die physiologische Wirkung des Höhenklimas in die pathologische übergeht. Andererseits sind aber die von Scheuchzer gegebenen Erklärungen der ungünstigen sowohl wie der günstigen Wirkungen der Höhe äußerst naiv.

Während diese Bemerkungen recht kurz sind, nehmen diejenigen „von gefahr und schaden, so denen Bergreisenden aufstosset vom Schnee und Eis und wie dem zu begegenen“, sowie „von der Kälte welche denen Bergreisenden beschwer- und schädlich ist“, „von abstürzung der Felsensteinen, und Enge der Wegen, so den Reisenden auch beschwerlich seyn“, einen unverhältnismäßig viel größeren Raum in Anspruch. Interessant ist jedoch die folgende Auseinandersetzung, welche zeigt, daß das Rüstzeug der damaligen Gletscherwanderungen schon fast vollständig demjenigen entspricht, welches der heutige Alpinist verwendet: „Diejenige, welche über die Eisberge oder Gletscher selbs reisen, stehen auch grosse gefahren auss, etwan wirffet dises Berg-Eis breite und Thurn-tieffe Spalte, welche denen, so hineinfallen zum Grab dienen. Es wird aber diese Gefahr vermehret, wann ein neuer Schnee auf dise Gletscher gefallen, oder von dem Wind zusammen gewähet worden, weilen der die Spalte kan obenhin bedecken und also denen reisenden selbs eine Falle werden. Zu dem end, damit man sicher durch dergleichen gefahrliche Ort komme, pflegen die Wegweisere eine stangen mitzunemmen, um darmit zuforschen, ob und wo die Spalte seyen: finden sie dieselben, so geben sie ihren Gefehrten anleitung, wie sie darüber springen, oder auf angelegtem Brettlein (daß sie zu solchem end mit sich tragen) hinübergehen können: damit man aber der ganzen Gesellschaft, und dero glücklichen durchkunft besicheret seyn könne, pflegt man mehrmalen je einen an den anderen mit einem starken Seil in gewisser weite zu binden, damit, wann je einer sollte in einen

Spalt fallen, die übrigen ohne wiederum retten können. Wovon auch zu lesen Simlerus de Alpib. p. III b. Sonsten müssen die Bergsteiger an solchen Eissglatten und schlipfrigen Ohrten ihre Pferde wol spitzen, auch selbs ihre Schuhe versehen mit spizigen Fussesisen, wie dergleichen allezeit mit sich tragen die Gemsjäger, oder die Schuhsolen selbs beschlagen mit spitzigen Eisen oder Nägeln; darneben auch an der Hand tragen einen mit Eisen beschlagenen starken langen Stock, um, wo es gefährlich, sich darauf zu lehnen.“

Es ist also in damaliger Zeit Seil, Bergstock und Steigeisen schon ganz im Sinne unserer modernen Eistechnik verwandt worden. Der Eispickel allerdings, welcher dem heutigen Alpenwanderer mehr und mehr unentbehrlich erscheint und den Alpenstock allmählich verdrängt, wird nicht erwähnt. Es ist aber durchaus möglich, daß er zwar im Oberlande noch nicht bekannt, in der Südschweiz dagegen schon verwandt worden ist. Wenigstens trägt bei einer Abbildung der Besteigung des Montblanc durch Saussure, Basel 1798, einer der Führer ein Instrument, welches ohne jeden Zweifel eine Eisaxt darstellt. (Siehe Titelvignette.) Dagegen ist das Holzbrettchen nicht mehr in Verwendung, wenn auch an einigen viel begangenen Gletscherstraßen auch heute noch große Spalten durch eine Leiter überbrückt sind, wie am Montblanc und am Ortler. Aus weiteren Bemerkungen Scheuchzers geht hervor, daß auch der Gebrauch der Führer schon damals Sitte war und das Führerwesen zum Teil bereits wohl organisiert gewesen ist.

Zu wiederholten Malen kommt Scheuchzer auf die Gesundheit der Luft seiner heimatlichen Berge zu sprechen. So sagt er: „Es stürmen auf dieses Haupt oder obersten Gipfel von Europa nicht nur alle Element, sondern auch alle Winde mit grösserer Freyheit und leichteren Wirkung, als auf andere Lande, und were in betrachtung dessen unser Vatterland das ungesundeste von allen, wann nicht dem gütigsten Schöpfer gefallen hette, dieser kränklichen blösse entgegen zusetzen die reinigkeit und Gesundheit der Luft und Wasserren, die Fruchtbarkeit der Erde, die kostlichkeit der Gewächsen und andere dergleichen Gaben, vor welche wir dem barmherzigen Gott zu danken haben. Unsere Entfernung von dem Meer haltet von uns ab vil grobe, schwere, saltzichte Dünste, welche bald an denen Küsten oder auch angränzenden Landen sich herab lassen, und also nur zu uns geführt werden die leichteren wässerigen theil, welche dann an unsern Bergen anstossen und sich in Nebel, Regen, Schnee, Brünnen, Bäche und Flüsse verwandlen.“

Bei dieser Erkenntnis von der gesunden und reinen Luft seines schweizerischen Gebirgslandes kann man es Scheuchzer nicht verdenken, wenn ihn eine allzu törichte entgegengesetzte Behauptung ein wenig in Harnisch bringt. So schreibt er: „Unsere Landsleuthe, die Teutschen selbs, und unter denen sonderlich diejenige, welche das Schweizerland niemahl anderst als in den Charten oder in ihrer Einbildung gesehen, haben von unsers Landes Beschaffenheit ganz falsche Gedanken. Georg Detharding in einer Disp. von der Gesunden Luft zu Rostock, gehalten daselbst An. 1705, schreibt von unserer Schweizerluft, gleich auch von der Tyrol-Kärndtischen und anderer Bergluft, dass wegen ihrer ungesund- und Grobheit die Gemüther der Einwohneren ganz tumm werden, und wir Schweizer ins besonder eben desswegen das Heimwehe bekommen, weil wir eine reinere und gesündere Luft nicht können ver-

tragen, gleich denen Widhopfen, welche an den stinkenden Mist gewehnt, anderstwo nicht leicht trühen, oder jenem Wittenbergischen Henkersknecht, dessen Salmuth gedenket Centur. 3 Obf. 71, dass er von einer Ohnmacht, in die er bey Anlas einer wolriechenden Apotheck gefallen, nicht eher haben können zurecht gebracht werden, bis sein Meister ihn in ein Secret geleet.“ Wir haben hier wieder ein Beispiel des alten Kampfes zwischen Berg- und Seeklima, welcher auch heut noch dauert, des Kampfes, der bis auf den Gegensatz zwischen Galen und Celsus zurückverfolgt werden kann.

Auch über die Bäder und deren Wirkungen berichtet Scheuchzer zu wiederholten Malen in ziemlicher Ausführlichkeit, wobei er besonders eines Punktes gedenkt, der uns wiederum durchaus an die Verhältnisse der Gegenwart gemahnt. Scheuchzer erwähnt nämlich, wie sehr der Gebrauch der einen oder anderen Heilquelle der Einwirkung der Mode unterworfen sei.

„Es ligt hier und da eine kostliche Quell öde und unbesucht etwan wegen entfehrnung und einsamkeit des Orts, oder weil sie einen alzuarmen, alzureichen oder ungeschikten oder eigensinigen Besitzer hat, oder weil es jezund nicht die mode ist, dahin zugehen: hingegen kan eine andere Quell bey anlas einer aussgestreuten Wundercur oder in Truk gegebenen hochtrabenden Beschreibung in aufnehmen kommen und grossen zulauff erhalten, welche gleichwol keinen Vortheil hat vor anderen Wassern, als eine schöne situation nebst guter Schnabelweid oder nicht mehr Mineralien in sich hat, als ein gemeiner in allen Stätten und Dörferen befindlicher Brunn, oder nicht mehrere kräfte, als die von der Einbildung herrühren und in allen gewärmten See-, Fluss- und Brunnenwassern zufinden seyn. Exempla sunt odiosa.“

Der Schönheit der Alpenwelt wird bei Scheuchzer zuweilen Erwähnung getan. Doch wird dieselbe bei weitem nicht mit der Begeisterung geschildert, wie wir es bei Geßner gesehen haben.

Wenn aber Scheuchzer an packender Kraft und Eindringlichkeit der Darstellung sein Vorbild Geßner nicht erreicht, so war er insofern mehr vom Glücke begünstigt, als die Zeit sein Wirken unterstützte. In der Tat datiert von Scheuchzer ab ein fortdauerndes Ansteigen des Interesses am Hochgebirge und der Wertschätzung des Aufenthaltes in den Alpen.

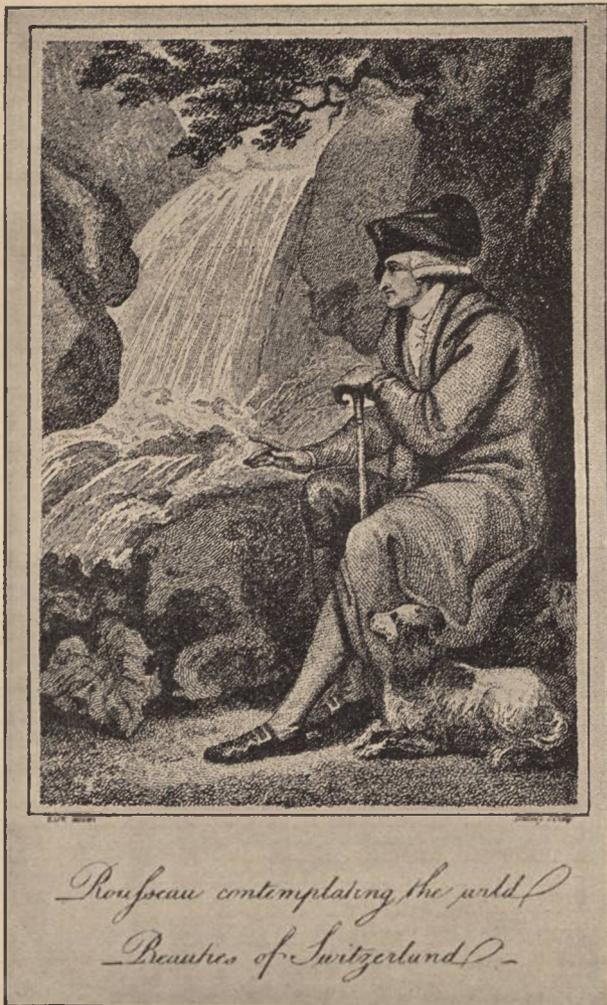
Es sind gerade 20 Jahre nach dem Erscheinen des Werkes Scheuchzers, daß Albrecht von Haller sein bekanntes Gedicht „Die Alpen“ niedergeschrieben hat.¹⁵⁾ Dies Gedicht ist von einem ungeheueren Einfluß auf die damalige Zeit geworden. Dem unbefangenen Leser der Hallerschen Strophen mag dies heut ziemlich seltsam erscheinen. Die Darstellungsweise Hallers ist außerordentlich schwerfällig, und man merkt es den Versen an, daß, wie er selbst in der Vorrede schreibt, dieses Gedicht dasjenige gewesen ist, welches ihm am schwersten geworden. Und wenn Haller sein Gedicht ein didaktisches nennt, so verdient es diese Bezeichnung im schlimmen Sinne des Wortes. Wenn wir trotzdem lesen, daß es über 30 Auflagen erlebte, in alle Kultursprachen übersetzt wurde, und allerwärts einen tief ergreifenden Eindruck hervorrief, so mag ja dabei zum Teil die Persönlichkeit Hallers selbst mitgespielt haben, dessen Wirken als Gelehrter schon damals anerkannt

war und ihm auch heute noch in der Geschichte der Medizin einen ehrenvollen Platz sichert. Vor allem ist es aber ein Beweis, wie sehr sich die damalige Gesellschaft heraussehnte aus Perücke und Puderstaub und wie sie daher mit einem Jubelruf dieses Gedicht begrüßte, welches an der Hand eines prägnanten Beispiels

den Wahlspruch der neuen Zeitepoche verflucht: *retournons à la nature!*

Es ist danach eigentlich selbstverständlich, daß der Mann, der dies Wort geprägt hat, der geistige Führer dieser ganzen Zeit, auch seinerseits den Alpen und dem alpinen Leben sein Interesse zugewandt hat: Jean Jacques Rousseau. Ein zeitgenössisches Bild zeigt uns den großen Schriftsteller und Reformator versunken in der Bewunderung der Schönheiten der Alpenwelt. Rousseau hat in der „Nouvelle Héloïse“ seinem Empfinden Ausdruck gegeben und den kräftigenden Einfluß der Berge auf Körper und Geist klar auseinandergesetzt, wobei es uns natürlich nicht wundernehmen kann, daß bei Rousseau das moralische Element in den Vordergrund tritt:

„C'est une impulsion générale qu'éprouvent tous les hommes, quoi-qu'ils ne l'observent pas tous, que sur les hautes montagnes où l'air est pur et subtil, on se sent plus



Jean Jacques Rousseau.

de facilité dans la respiration, plus de légèreté dans le corps, plus de sérénité dans l'esprit; les plaisirs y sont moins ardents, les passions plus modérées. Les méditations y prennent je ne sais quel caractère grand et sublime, proportionné aux objets qui nous frappent, je ne sais quelle volupté tranquille, qui n'a rien d'acre et de sensuel. Il semble, qu'en s'élevant au-dessus du séjour des hommes on y laisse tous les sentiments bas et terrestres, et qu'à mesure, qu'on s'approche des régions éthérées l'âme contracte quelque chose de leur inaltérable pureté. On y est grave sans mélancolie, paisible sans indolence, content d'être et de penser: tous les désirs

trop vifs s'émoussent; ils perdent cette pointe aiguë qui les rend douloureux; ils ne laissent au fond du coeur qu'une émotion légère et douce, et c'est ainsi qu'un heureux climat fait servir à la félicité de l'homme les passions qui font, ailleurs, son tourment. Je doute qu'aucune agitation violente, aucune maladie de vapeurs pût tenir contre un pareil séjour prolongé, et je suis surpris que des bains de l'air salubre et bienfaisant des montagnes ne soit pas un des grands remèdes de la médecine et de la morale.“

So haben wir denn die großen Vorläufer des modernen Alpinismus kennen gelernt, wenigstens des Alpinismus in dem Sinne, in welchem er das Leitmotiv dieses Werkes bildet! Es ist kein Zufall, daß es drei Ärzte und Naturwissenschaftler sind: Geßner, Scheuchzer, Haller, und daß sich diesen dann Rousseau zugesellt, der große unerbittliche Arzt der menschlichen Gesellschaft.

Mit dem Fortschreiten der neuen Zeit und ihrer Empfindungen wuchs jetzt das Interesse und die Vorliebe für die Berge überall. Die Wissenschaft bemächtigte sich mit stetig erneu-tem Eifer des Hochgebirges. Physiker, Botaniker, Mineralogen, Geographen und Ethnographen wählten die Gebirge der Alten und Neuen Welt zu ihren Untersuchungen. In unvergänglichem Glanze strahlen unter ihnen die Namen: de Saussure, Alexander von Humboldt, Bonpland, Boussingault, Charles Darwin, Agassiz und, der späteren Zeit angehörend, Tyndall. Eine große Anzahl dieser Männer, welche zunächst das Interesse an der Wissenschaft in die Alpenwelt führte, sind



de Saussure.

aber auch für die Erschließung der Gebirge und für die Touristik von wesentlichem Einfluß gewesen. Hier ist zunächst zu nennen die berühmte Montblancbesteigung, die Saussure am 1. August 1787 ausgeführt hat. Er war nicht der erste, welcher den Monarchen der europäischen Berge bezwang. Schon am 8. August 1786 war dem Chamounixführer Balmat mit dem Dr. Pacard der Aufstieg gelungen. Dennoch ist die Ersteigung des Montblanc durch Saussure stets mit Recht als die epochemachende angesehen worden, sowohl wegen der Hartnäckigkeit, mit der dieser große Forscher viele Jahre hindurch immer wieder und wieder das Problem angegriffen hat, als auch ganz besonders wegen der wichtigen wissenschaftlichen Resultate und der hochinteressanten und lehrreichen Beschreibung der Ersteigung, welche wir Saussure verdanken. Mit dieser Besteigung, welche in der ganzen gebildeten Welt Europas einen tiefen Eindruck hinterließ, beginnt nun die Seite des Alpinismus mehr und mehr in den Vordergrund zu treten, welche man als alpine Touristik zu bezeichnen gewöhnt ist.

Paul Bert, dessen große Bedeutung für das Verständnis der Wirkung des Hochgebirges wir sogleich rühmend erwähnen müssen, spricht sehr abfällig über diese Touristen. Er sagt von ihnen: „Ils grimpent pour grimper, ou encore pour voir ou souvent pour dire qu'ils ont grimpé et vu.“²⁾

Sicherlich ist dieses Urteil ein durchaus einseitiges, und wir werden Gelegenheit haben, auch diese Seite des Alpinismus, die ja heute eine der bedeutungsvollsten ist, an anderer Stelle eingehender zu würdigen. Hier sei nur darauf hingewiesen, daß es doch diese Touristen waren, welchen wir die völlige Aufschließung der Alpen verdanken, ein Eroberungszug, der immerhin mit Gefahren und Leiden verknüpft war, von welchen der heutige Alpenwanderer sich nur schwer einen Begriff machen kann. Im Anfange des 19. Jahrhunderts wurden allmählich die gewaltigsten



Alexander von Humboldt.

Berggipfel der West- und Ostalpen bezwungen. Besonders machten sich um die Monte Rosa-Gruppe verdient Zumstein, Parrot, Vincent, deren Namen durch die Bezeichnung der von ihnen erstiegenen Berggipfel die Unsterblichkeit verliehen worden ist. Annähernd zu gleicher Zeit wurde auch die Erschließung der Ostalpen mächtig gefördert, hauptsächlich unter den Auspizien des Erzherzogs Johann von Österreich. Im Jahre 1800 wurde durch eine Expedition unter Führung des Fürstbischofs Salm von Gurk der Glockner, im Jahre 1804 durch Dr. Gebhardt und den Passeyrer Führer Josele Pichler der Ortler bezwungen. Es ist hier nicht die Stelle, näher auf diese Geschichte der alpinen Touristik einzugehen. Wer sich dafür interessiert, findet sie ausführlicher

behandelt in dem schönen Buche von Dent „die Hochtouren“,⁷⁾ einem Werke, dessen Ausführungen auch wir in unseren bisherigen Darstellungen wiederholt gefolgt sind.

Gleichzeitig wandte sich das Interesse in hohem Maße der ungeheueren Gebirgswelt der Anden zu, hier anknüpfend in erster Linie an die unvergeßlichen Forschungen Alexander von Humboldts und der drei französischen Akademiker Bouguer, la Condamine und Godin. Außer diesen und den schon erwähnten Bonpland, Boussingault, Darwin und Agassiz sehen wir dort in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts eine ganze Anzahl hervorragender Männer tätig, deren Leistungen für die Kenntnis der Einwirkung des Hochgebirges auf den menschlichen Organismus in dem Kapitel über die Bergkrankheit des weiteren anerkannt und beleuchtet werden sollen. Hier seien nur die Namen d'Orbigny, v. Tschudi, Pöppig und Archibald Smith genannt. Weit weniger erschlossen wurden dagegen die zentralasiatischen Berge. Erst in den sechziger Jahren führten dort die

Brüder Schlagintweit ihre berühmten Reisen aus und auch heute noch, nach den gewaltigen Entdeckungsfahrten Sven Hedins, ist die Erforschung dieses höchsten Gebirges der Erde nicht in vollem Maße abgeschlossen.

Die eigentliche Touristik hat sich erst in allerneuester Zeit den großen amerikanischen und asiatischen Hochgebirgen zugewandt. Unter den bedeutendsten der kühnen Alpinisten sind zu erwähnen: in den Anden Gießfeldt,¹⁴⁾ Whymper,⁴¹⁾ Fitz Gerald und Vines,¹⁰⁾ im Kaukasus im Jahre 1900 Willi Rickmer-Rickmers, im Jahre 1903 Cenci und Heinz v. Ficker, Adolph Schulze und Leuchs,^{8) 9)} im Himalaja Conway,⁶⁾ Bullock Workmann und seine Gattin³⁾ (1899) und die neueste Expedition aus dem Jahre 1902, unternommen von den Engländern Eckenstein, Crowley, Knowles, dem Dr. Jacot Guillarmod und den Deutsch-Österreichern Dr. Pfannl und Wessely. Von diesen hat Pfannl in den Mitteilungen des D. u. Österr. Alpenvereins aus dem Jahre 1904³¹⁾ Jacot Guillarmod¹⁹⁾ in seinem kürzlich erschienenen Buche: „Six mois dans l'Himalaya“ Bericht erstattet. Fast alle diese Expeditionen haben übrigens auch wissenschaftlich nicht unwesentliches Material gesammelt.

Physiker, Meteorologen, Botaniker, Zoologen, Mineralogen, Geographen, Ethnographen, Touristen haben den modernen Alpinismus ausgebaut, diesen Alpinismus, den zuerst der Arzt und Physiologe begründet hat. Zu diesen gesellte sich dann der Künstler, der Dichter und Schriftsteller, der den mächtigen Eindruck der Alpenwelt und deren landschaftliche Schönheit schilderte. Goethe, der Erzieher zum Schönen, ging auch hier voran, ihm folgte Schiller, der zwar die Alpen nie gesehen, dennoch aber in seinem „Tell“ packend zu schildern wußte. Dankbar singt Conrad Ferdinand Meyer:

„Leben wird mein Volk und dauern
Zwischen seinen Felsenmauern,
Wenn die Dioskuren gerne
Segnend ihm zu Haupte stehn.“

Neben Goethe und Schiller ist besonders noch Byron zu erwähnen, dessen „Manfred“ die ergreifendste Darstellung alpiner Herrlichkeiten enthält. Und dann folgen die anderen, Große und Kleine! Ihre Zahl ist Legion. Es würde den Rahmen dieser Betrachtungen weit überschreiten, wollten wir näher auf sie eingehen und ihr Wirken und ihren Einfluß würdigen. Nur soviel sei gesagt, daß sie die Freude an den Bergen und dem Wandern und die Sehnsucht nach der Pracht des Hochbirges mächtig angefaßt und verbreitet haben:

„Noch einmal ein flüchtiger Wandergesell —
Wie jagen die schäumenden Bäche so hell,
Wie leuchtet der Schnee an den Wänden so grell!

Hier oben mischet der himmlische Schenk
Aus Norden und Süden der Lüfte Getränk,
Ich schlürf es und werde der Jugend gedenk.

O Atem der Berge, beglückender Hauch!
Ihr blutigen Rosen am hangenden Strauch,
Ihr Hütten mit bläulich gekräuseltem Rauch.“ —

Erst verhältnismäßig spät erscheint der Mediziner wieder auf dem Plan, um die Einwirkung der klimatischen Faktoren der Hochgebirgswelt auf den gesunden und kranken Organismus zu studieren. Es ist dabei nicht uninteressant zu bemerken, daß der erneute Anstoß hierzu von einem Theoretiker ausgeht, welcher niemals selbst Forschungen in den Alpen unternommen hat, von Paul Bert, dessen wir bereits oben gedacht haben. Im Jahre 1878 erschien Paul Berts berühmtes und für alle Zeiten grundlegendes Buch: „La pression barométrique, Recherches de Physiologie expérimentale,²⁾ in welchem der französische Gelehrte, ausgehend von einer klassischen Diskussion der Bergkrankheit und ihrer Symptome, die Einwirkung der verdünnten Luft auf den Organismus einer eingehenden experimentellen Untersuchung unterzogen hat. Allerdings verdanken wir schon aus früherer Zeit einigen Bergsteigern gelegentliche Mitteilungen über physiologische Beobachtungen, welche sie in den Gebirgen gemacht haben. Die systematische Forschung dagegen kann man mit gutem Rechte auf die Untersuchungen Paul Berts zurückführen.

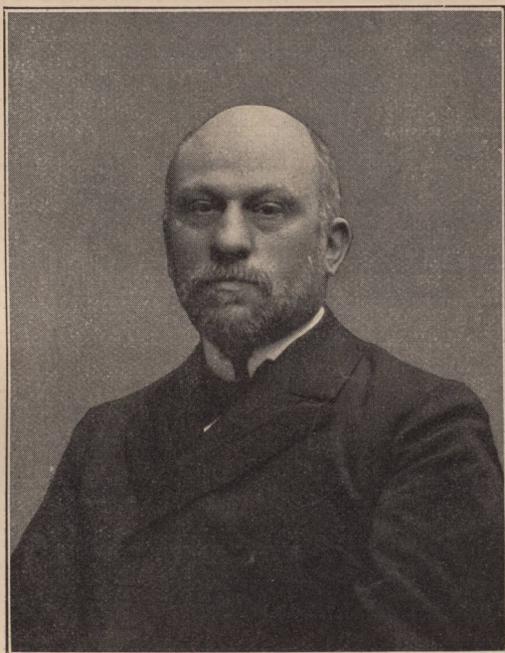
Die Bedeutung des Hochgebirges in seiner Einwirkung auf den menschlichen Organismus kennen zu lernen, war aber zu einer um so zwingenderen Notwendigkeit geworden, als schon längere Zeit vorher das Gebirgsklima seine feste Position in der Therapie errungen hatte und in immer größerem Umfange zur Heilung von Krankheiten benutzt wurde, wobei teils wohl alte Reminiszenzen an Galen und Andere mitgewirkt haben mögen, teils aber auch die einfache Erfahrung den richtigen Weg wies.

Als ersten schüchternen Versuch einer Gebirgskur können wir die Appenzeller Milchkuren betrachten, welche von dem Schweizer Arzt Meyer im Jahre 1749 bei Lungenkranken angewandt wurden. Mit Nachdruck aber vertreten wurden diese Bestrebungen zuerst durch den schottischen Arzt Archibald Smith, welcher sich um die Mitte des 19. Jahrhunderts in Lima niederließ und dort die Tatsache vorfand, daß die Ärzte die Lungenleidenden seit alters her aus den niederen Gegenden in die Berge hinaufschickten. Smith fand diese Methode der dortigen Ärzte bewährt und trat in der Literatur für sie ein. An diese Erfahrungen knüpfte das bahnbrechende Wirken des deutschen Arztes Dr. Brehmer an, der im Jahre 1859 die erste Anstalt für Lungenkranke in Görbersdorf im Waldenburger Gebirge eröffnete. Die günstigen Ergebnisse, welche in den Mittelgebirgen mit dieser Bergbehandlung der Lungenleidenden erzielt wurden, veranlaßten im Jahre 1861 einen anderen deutschen Arzt, Dr. Spengler, ähnliche Kuren im Hochgebirge selbst zu versuchen, und so entstand der Kurort Davos, dessen Erfolg zuerst ein geringer war, von den 70er Jahren ab aber stetig wuchs, und schließlich zu dem ungeheuren Aufschwunge der Hochgebirgskuren in den Schweizer Alpen geführt hat. Es seien hier neben Davos (1540 m) noch genannt: Les Avants (1000 m) und Caux (1100 m) oberhalb Montreux, Leysin (1450 m) und Arosa (1856 m). Während diese Kurorte im wesentlichen der Behandlung Lungenleidender dienen, ist in neuester Zeit der Winteraufenthalt im Hochgebirge zur Kräftigung des Nervensystems herangezogen worden. Dieser Kur, bei welcher sportliche Übungen eine große Rolle spielen, dienen außer Davos besonders St. Moritz und andere Orte des oberen Engadin, Chamounix, Grindelwald usw.

Wir haben oben erwähnt, daß uns von älteren Forschern, Reisenden und Bergsteigern gelegentlich nicht unwichtige Daten über physiologische Erscheinungen hinterlassen worden sind, abgesehen von den Beobachtungen, welche sich ja mit zwingender Notwendigkeit dem Ersteiger größerer Bergeshöhen aufdrängen mußten: den Symptomen der Bergkrankheit. Die Einwirkung des Höhenklimas und des Bergsteigens auf Puls und Atmung sind wiederholt schon in früherer Zeit untersucht worden. So von Saussure bei seiner Montblancbesteigung³⁵⁾ und besonders bei seinem Aufenthalte auf dem Col du Géant (3.—19. Juli 1788), von Hugi bei seinen Bezwingungen des Finsteraarhorns (1839) und eingehender von Dr. Lepileur auf dem Montblanc (1844), von J. Wood (1836—38) auf seinen Reisen im Himalaja, von Faiz Buksh (1870) im Pamir. 1869 veröffentlichte Lortet²⁵⁾ die ersten Kurven der Atmung auf höheren Bergespitzen und 1866 nahm der berühmte französische Physiologe Chauveau⁵⁾ die ersten Pulskurven gelegentlich einer Montblancbesteigung auf. Umfangreicher sind die Versuche, welche Marcet auf Teneriffa 1878 vornahm. Er untersuchte an einer großen Anzahl von Personen Puls, Temperatur und Atmung in verschiedenen Höhen des Pic.

Die eigentliche systematische Forschung über die physiologische Wirkung des Aufenthaltes in den Bergen beginnt jedoch erst in dem Jahre 1890 mit den Untersuchungen von Viault⁴¹⁾ über die Blutveränderung im Hochgebirge, eine Untersuchung, welche evident auf die theoretischen Betrachtungen Paul Berts zurückgeht. In dem Kapitel über Blut werden wir sehen, daß dieser Frage eine

außerordentliche Anzahl von Arbeiten bis in die neueste Zeit gewidmet wurden. Es seien hier nur die Verdienste des Baseler Gelehrten Miescher und seiner Schüler hervorgehoben. Die erste physiologische Expedition größeren Stils ist diejenige, welche der Berner Physiologe Kronecker,²³⁾ der jetzige Inhaber des Lehrstuhls Albrecht von Hallers, im Jahre 1894 auf das Breithorn unternahm, um im Hinblick auf das Projekt der damals zuerst geplanten Bahn auf den Jungfraugipfel die Symptome der Bergkrankheit zu studieren und speziell, um festzustellen, ob eine passive Hinaufbeförderung auf solche Höhen ein Verschontbleiben von diesem Übel bewirke. Schon einige Jahre vorher hatte der Meteorologe Vallot nahe dem Gipfel des Montblanc ein Observatorium errichtet, das zwar in erster Linie physikalischen Zwecken dient, aber doch auch die Geburtsstätte einiger physiologischer Entdeckungen geworden ist. Hier weilten zu physiologischen Zwecken Egli-Sinclair (1892) und Angelo Mosso.



Angelo Mosso.

Damit erscheint der Mann auf dem Plan, welchem die moderne physiologisch-alpine Forschung in jeder Beziehung unendlich viel verdankt. Mosso gebührt das Verdienst, den Forschungen der Physiologie in den Bergen die Wege geebnet und zugleich selbst diese Untersuchungen in großem Umfange unternommen zu haben. Denn bei der Verschiedenheit, mit welcher sich das Einzelindividuum den Einwirkungen des Gebirgsklimas und des Bergsteigens gegenüber verhält, ist es ersichtlich, daß die Fragen an einer beträchtlichen Anzahl von Personen untersucht werden mußten. So führte Mosso denn im Jahre 1894 eine größere Expedition, im ganzen bestehend aus 12 Gelehrten und italienischen Bergsoldaten, auf die Capanna Regina Margherita, welche von dem Club Alpino Italiano unter Beihilfe der Königin Margherita von Italien auf der Höhe der Punta Gnifetti des Monte Rosa in 4560 m Höhe erbaut worden war. Um den Plan und die Anregung zum Bau dieser Hütte hat A. Mosso sich große Verdienste erworben. Die hochinteressanten Resultate seiner umfangreichen Versuche machte Mosso auch zuerst dem großen Publikum zugänglich, durch sein Buch „Der Mensch auf den Hochalpen“, welches durch den Assistenten Mossos, Dr. Kiesow, auch ins Deutsche übersetzt ist.²⁹⁾ Wir werden wieder und wieder im Verlaufe unserer Betrachtungen auf Mosso und seine bahnbrechenden Forschungen zurückkommen, und wenn auch an manchen Stellen hinsichtlich der Deutung der Ergebnisse sich Gegensätze zwischen uns und unserem italienischen Freunde herausstellen werden, so werden wir dennoch stets mit Bewunderung die wichtigen Resultate seiner Forschungen würdigen und mit uneingeschränkter Dankbarkeit die Verdienste hochhalten, die sich Mosso um die alpine Forschung überhaupt und speziell auch um unsere eigene Expedition erworben hat.

Das folgende Jahr 1895 sah zum ersten Male deutsche Forscher bei der Arbeit, die physiologische Wirkung des Höhenklimas und Bergsteigens aufzuklären, es war die erste Expedition, welche Zuntz in Gemeinschaft mit Dr. Schumburg, jetzt Oberstabsarzt und Professor in Hannover, unternahm.⁴³⁾ Auch der Ort dieser Forschungen war das Gebirgsmassiv des Monte Rosa. Doch war die Nordseite gewählt worden und als Standquartiere dienten Zermatt (1632 m) und die Bétempshütte (ca. 2800 m). Schon im folgenden Jahre schloß sich die zweite Expedition an, ausgeführt von A. Loewy, J. Loewy und Leo Zuntz dem Jüngeren,²⁶⁾ welche nun auch ihrerseits den Südabhang des Monte Rosa für ihre Versuche wählten und ihr Standquartier auf Col d'Olen (2900 m) und in der Capanna Gnifetti (3620 m) nahmen.

Im Jahre 1899 folgte dann eine weitere Untersuchung, welche von dem bereits genannten Physiologen Kronecker angeregt wurde. Dieselbe wurde von dem Berner Arzt Dr. Bürgi,⁴⁾ am Brienzer Rothorn ausgeführt. Sie ist, abgesehen von ihren interessanten wissenschaftlichen Ergebnissen, für uns auch deswegen von besonderer Bedeutung gewesen, weil sie uns lehrte, wie günstig gerade dieser Berg für derartige Untersuchungen ist. Im selben Jahre fand eine weitere Expedition statt, die zwar ebenso wie diejenige Bürgis nicht das eigentliche Hochgebirge zu ihren Versuchen gewählt hat, vielmehr diejenige Höhe, welche für Heilzwecke in erster Linie in Betracht kommt. Die Versuche wurden in Basel (270 m) und auf dem Chasseral im Jura (1600 m) angestellt. Auch diese Untersuchungen, welche

wir den Herren Jaquet und Stähelin²¹⁾ verdanken, werden im Verlaufe unserer Betrachtungen mehrfach eingehend besprochen werden. Im Jahre 1901 unternahmen wir dann unsere Expedition. Wir wählten als Standquartiere Brienz, das Briener Rothorn im Anschlusse an die Versuche Bürgis, und die Südseite des Monte Rosa, den Col d'Olen bezw. die Capanna Regina Margherita.

Die beiden letzteren Stationen werden nun wohl vielfach auch weiterhin die Ausgangspunkte der alpinen Forschung sein. Nachdem nämlich auf dem Physiologenkongresse in Turin im Jahre 1901 unmittelbar nach unserer Rückkehr vom Monte Rosa die Capanna Regina Margherita als internationales Laboratorium erklärt worden ist und der bekannte wissenschaftliche Mäcen, Ernest Solvay, zunächst 10000 Francs zum Ausbau dieser Hochhütte gestiftet hat, wird dort mehr und mehr ein verhältnismäßig ungestörtes Arbeiten gestattet sein, während wir, wie des weiteren ausgeführt werden wird, immerhin noch durch die damalige primitive Einrichtung des Höhenlaboratoriums in unseren Arbeiten behindert und beschränkt waren. Außerdem aber wird auf dem Col d'Olen ein großes internationales Gebirgslaboratorium erstehen, das von allen Kulturstaaten in ähnlicher Weise wie die internationale zoologische Station in Neapel subventioniert werden wird. Dort sollen dann hauptsächlich physiologische und physikalische Untersuchungen angestellt werden. Auch um diese glückliche Entwicklung hat Mosso, der Vorsitzende des internationalen Monte Rosa-Komitees, sich die allergrößten Verdienste erworben, indem er seinen vielfachen Einfluß, seine unermüdliche Tatkraft, seine große Sachkenntnis und nicht zum mindesten sein hervorragendes Organisationstalent eifrig in den Dienst dieser guten Sache gestellt hat.

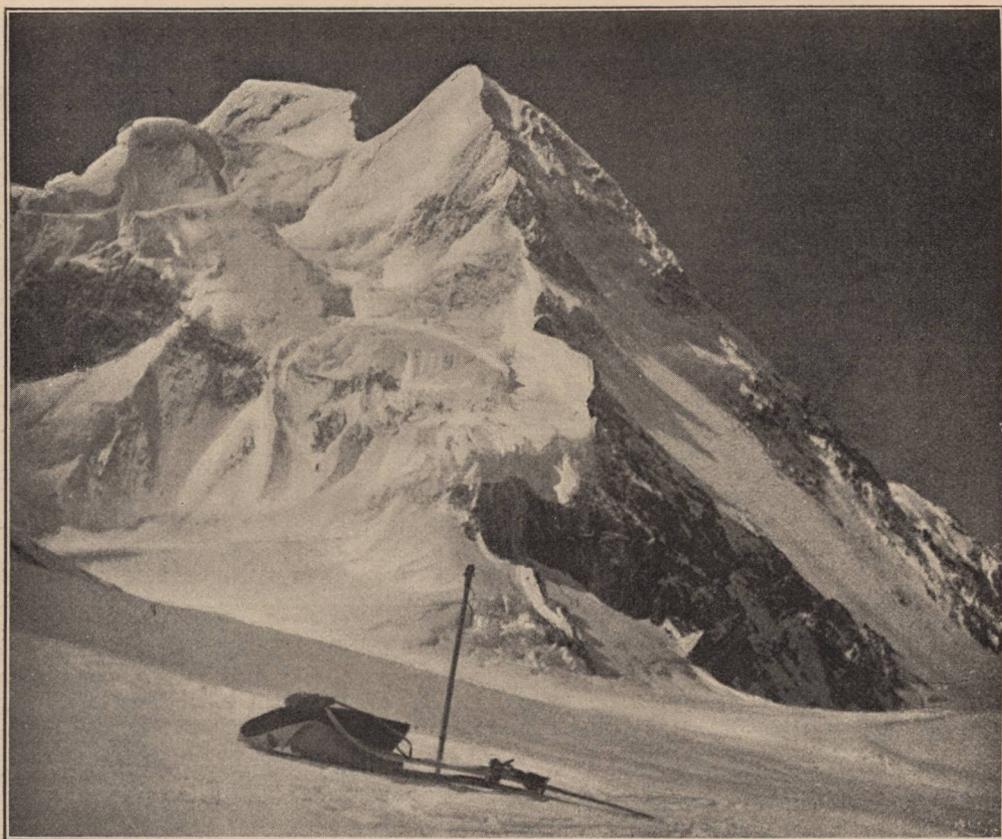
In den Jahren 1902 und 1903 sehen wir wiederum Angelo Mosso auf der Capanna Regina Margherita, im Jahre 1903 abgelöst durch N. Zuntz und Durig, welche dann drei Wochen lang auf der Hütte ausharren konnten. Auch im letzten Sommer (1904) hat die Hütte nicht leer gestanden, sondern diente dem finnischen Physiologen v. Wendt als Aufenthalt während seiner Stoffwechseluntersuchungen.

Aus dieser Zusammenstellung ist ersichtlich, ein wie großes wissenschaftliches Material bereits über das uns interessierende Gebiet zusammengetragen ist, und wie gewaltig der Aufschwung ist, den diese Forschungen besonders im Laufe des letzten Dezenniums genommen haben. Dem Leser unseres Buches jedoch wird nicht entgehen, daß eine große Anzahl diesbezüglicher Fragen auch heute noch der Lösung harret, zum Teil erst ganz kürzlich in Angriff genommen ist, daß vielleicht selbst für einige Probleme die erlösende Fragestellung noch nicht einmal gefunden wurde. Wenn wir trotzdem den Versuch wagen, die bisherigen Ergebnisse systematisch zusammenzufassen, so bedarf dies wohl einiger Worte der Erklärung.

Es ist ja im allgemeinen, wenigstens in Deutschland, nicht gebräuchlich, schwierigere wissenschaftliche Probleme vor einem größeren Leserkreise ausführlich zu diskutieren, vor allem, bevor sie zu einem endgültigen Abschlusse gebracht sind. Das hat gewiß in vielen Fällen seine volle Berechtigung. Aber uns scheint, daß man unter Umständen wohl von dem Gebräuchlichen abweichen darf. Bei Fragen, welche, wie die in diesem Buche behandelten, für weite Kreise ein unzweideutiges Interesse haben, mag es doch anregend und ersprießlich sein, die Forscher

einmal bei der Arbeit selbst zu sehen, zuzuschauen, wie die Tatsachen gesammelt werden und wie, indem diese Bausteine durch den Mörtel der Logik verbunden werden, allmählich das wissenschaftliche Gebäude entsteht.

In unserem Falle aber erscheint der Appell an das allgemeine Interesse besonders gerechtfertigt. Denn hier kann auch der Laie, besonders der naturwissenschaftlich vorgebildete Bergsteiger, selbständig manchen Baustein herbeitragen und durch sorgsame Selbstbeobachtung an der Lösung und Klärung der uns interessierenden Fragen



Broad Peak (über 8500 m) Himalaja.

Aus Jacob Guillaumel.

mitarbeiten, besonders weil Menschen der verschiedensten Körperkonstitutionen in jedem Sommer das Hochgebirge in allen seinen Höhenlagen zu besuchen pflegen.

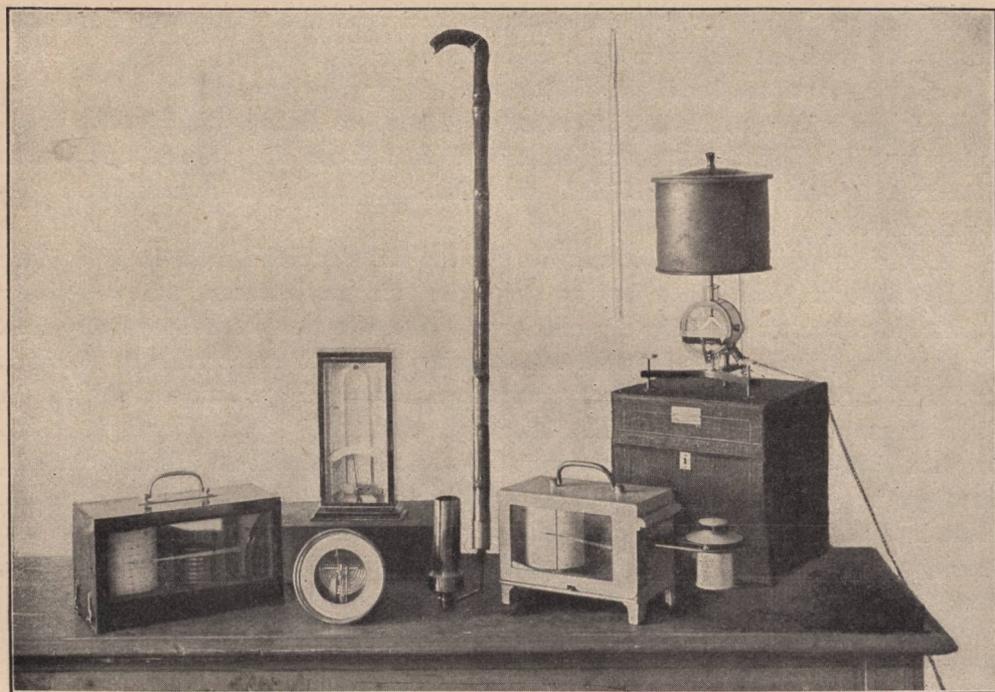
Auch hoffen wir, daß das vorliegende Material doch immerhin bereits eine ganze Anzahl praktisch wichtiger Schlüsse gestattet, welche hier und dort dem Bergsteiger, dem Arzte, dem Kranken und dem Wanderer zugute kommen mögen.

Schließlich ermunterte uns das Beispiel Mossos, der es verstanden hat, die Erfahrungen, welche er im Jahre 1894 auf dem Monte Rosa gesammelt hat, in seinem Buche einem weiteren Leserkreise zugänglich zu machen.

Literatur.

- ¹⁾ Gioseffo di Acosta: „Historia naturale e morale delle Indie“. Italienische Übersetzung. Venetia MDXCVI.
- ²⁾ Paul Bert: „La pression barométrique. Recherches de physiologie expérimentale“. Paris 1878.
- ³⁾ Frau Bullock-Workmann: Jahresbericht der Sektion Berlin des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins 1900.
- ⁴⁾ Bürgi: „Der respiratorische Gaswechsel bei Ruhe und Arbeit auf den Bergen“. Engelmanns Archiv für Physiologie 1900.
- ⁵⁾ Chauveau: Revue scientifique 1894.
- ⁶⁾ Conway: „Climbing and Explorations in the Karakorum Himalayas“. London 1884.
- ⁷⁾ Dent: „Hochtouren“. Ein Handbuch für Bergsteiger. Deutsch von Walther Schultze. Leipzig 1893.
- ⁸⁾ v. Ficker, Cenci: „Über die Laila nach Swanetien“. Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins 1904.
- ⁹⁾ v. Ficker, Heinz, Adolf Schulze, G. Leuchs: „Uschbafahrten 1903“. Ebenda.
- ¹⁰⁾ Fitz Gerald: „The Highest Andes“. London 1899.
- ¹¹⁾ Geiger: „Petrarca“. Leipzig 1874.
- ¹²⁾ Conrad Geßner: „Descriptio montis fracti sive montis Pilati ut vulgo nominant, juxta Lucernam in Helvetia. 1540“. Abgedruckt als Anhang zu Scheuchzers Stoicheiographia usw. Zürich 1716.
- ¹³⁾ John Grand-Carteret: „La montagne à travers les âges“. Grenoble und Montiers 1903.
- ¹⁴⁾ Güßfeldt: „Reise in den Andes von Chile und Argentinien“. Berlin 1888.
- ¹⁵⁾ Albrecht v. Haller: „Versuch Schweizerischer Gedichte“. Neunte, rechtmäßige, vermehrte und veränderte Auflage. Göttingen 1762.
- ¹⁶⁾ Sven Hedin: „Durch Asiens Wüsten“. Leipzig 1899.
- ¹⁷⁾ Hopf: „Die Heilgötter und Heilstätten des Altertums“. Tübingen 1904.
- ¹⁸⁾ Ch. W. Hufeland: „Die Kunst, das menschliche Leben zu verlängern“. 2. Auflage. Jena 1798.
- ¹⁹⁾ J. Jacot Guillarmod: „Six mois dans l'Himalaya“. Neuchâtel 1904.
- ²⁰⁾ A. Jaquet: „Über die physiologische Wirkung des Höhenklimas“. Basel 1904.
- ²¹⁾ Derselbe und Stähelin: Archiv für experimentelle Pathologie und Pharmakologie 1901.
- ²²⁾ Kipling: „The miracle of Purun Bhagat“. 2. Dungle-Book.
- ²³⁾ H. Kronecker: „Die Bergkrankheit“. Berlin und Wien 1903.
- ²⁴⁾ Küchenmeister: „Geschichtliche Darstellung der Lehre von dem Nutzen des Höhenklimas besonders für Phthisiker“. Wiener medizinische Zeitung 1869.
- ²⁵⁾ Lortet: „Deux ascensions au Mont Blanc“. Recherches physiologiques sur le mal de montagne. Lyon médicale 1869.
- ²⁶⁾ A. Loewy, J. Loewy und Leo Zuntz: „Über den Einfluß der verdünnten Luft und des Höhenklimas auf den Menschen“. Pflügers Archiv der gesamten Physiologie. Bd. 66. 1897.
- ²⁷⁾ Marcet: Proceeding of the Royal Society. London 1879.
- ²⁸⁾ Konrad Meyer-Ahrens: „Die Bergkrankheit oder der Einfluß des Ersteigens großer Höhen auf den tierischen Organismus“. Leipzig 1854.
- ²⁹⁾ Angelo Mosso: „Der Mensch auf den Hochalpen“. Leipzig 1899.
- ³⁰⁾ Oribasius: Edidit Dahremberg. Paris.
- ³¹⁾ Pfannl: „Eine Belagerung des Tschogo-Ri (K₂) in der Mustagkette des Hindukusch (8720 m)“. Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins 1904.
- ³²⁾ Ramsauer: „Die Alpenkunde im Altertum“. Ebenda 1901.
- ³³⁾ Derselbe: „Die Alpen im Mittelalter“. Ebenda 1902.
- ³⁴⁾ Joannis Rhellicanus: „Stockhornias“. Qua Stockhornus mons altissimus in Bernensium Helvetiorum agro versibus heroicis describitur. 1536. Als Anhang an Scheuchzers „Helvetiae Stoicheiographia“. Zürich 1716.

- ³⁵⁾ de Saussure: „Voyage dans les Alpes“. Genève 1786—1796.
- ³⁶⁾ Johann Jacob Scheuchzer: „Beschreibung der Naturgeschichten des Schweizerlands“. Zürich 1706—1708.
- ³⁷⁾ Derselbe: „Helvetiae Stoicheiographia, Orographia et Oreographia oder Beschreibung der Elementen, Grenzen und Bergen des Schweizerlands“. Zürich 1716.
- ³⁸⁾ H. v. Schrötter: „Zur Kenntnis der Bergkrankheit“. Wien u. Leipzig 1899.
- ³⁹⁾ Bernhard Schwarz: „Die Erschließung der Gebirge von den ältesten Zeiten bis auf Saussure“. Leipzig 1888.
- ⁴⁰⁾ Tronnier: „Die Durchquerung Tibets seitens der Jesuiten Johannes Grüber und Albert de Dorville“. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde 1904.
- ⁴¹⁾ Viault: Comptes rendues de l'Académie des sciences. 1890. 1891. 1892.
- ⁴²⁾ Whymper: „Travels amongst the great Andes of the Equator“. London 1892.
- ⁴³⁾ N. Zuntz und Schumburg: Pflügers Archiv d. gesamten Physiologie 1896. Bd. 63.
-



Unsere meteorologische Ecke.

Kapitel II.

Das Höhenklima.

Bevor wir uns mit den Wirkungen des Höhenklimas auf den menschlichen Organismus beschäftigen, ist es erforderlich, zunächst den Begriff Höhenklima näher zu präzisieren, sein Wesen, seine Eigenschaften, die charakteristischen Eigentümlichkeiten, durch die es sich vor den anderen Klimaten auszeichnet, zu besprechen. Die so gewonnene Kenntnis wird uns dann ermöglichen, genauer in die Ursachen der so mannigfachen, vom' Höhenklima ausgehenden Einflüsse einzudringen und wenigstens einen Teil dieser Wirkungen als notwendige Folge der physikalischen Verhältnisse zu verstehen.

Das Klima eines Punktes unserer Erdoberfläche, d. h. der mittlere Zustand der Atmosphäre über ihm, wie Hann^{2a)} den Begriff Klima treffend definiert, ist in erster Linie abhängig von seiner Lage zur Sonne und damit von der Wärmemenge, die diese Quelle aller Wärme auf der Erde spendet. Von diesem Gesichtspunkte aus teilt man ja auch die Klimate in heiße, gemäßigte und kalte ein. Danach müßten nun alle Punkte gleicher geographischer Breitenlage theoretisch das gleiche Klima haben, denn sie empfangen ja die gleiche Wärmemenge. Aber die Beschaffenheit unserer Erdoberfläche weist zwei Momente auf, die sehr wesentlich die Wirkung der Sonne modifizieren und Klimate in Orten gleicher geographischer Breite ganz

verschieden gestalten; das ist einmal die verschiedene Verteilung von Land und Wasser und zweitens die wechselnde Höhenlage.

Uns interessiert hier allein die letztere.

Steigen wir vom Meeresniveau in die Höhe, so finden wir fortschreitende Änderungen des Klimas, Änderungen, die in allen Zonen die gleichen und von so besonderer Art sind, daß schließlich ein Klima mit ganz charakteristischen Merkmalen entsteht.

Allerdings geht die Umbildung des Klimas mit der Höhe nicht in jeder Zone gleichschnell vor sich. Je näher an den Polen wir uns befinden, um so geringer ist die Erhebung, in der die Eigenheiten des Höhenklimas schon ausgeprägt sind, je näher dem Äquator, um so mehr müssen wir von der Meeresoberfläche aufsteigen, um ein Klima zu erreichen, das unserem Begriffe vom Höhenklima entspricht. In Mitteleuropa genügt hierzu eine Erhebung von etwa 1000 m, in Norwegen schon eine von 500—600 m, in den bolivianischen und peruanischen Anden und im Himalaja ist dagegen eine Erhebung von über 1500—2000 m erforderlich, und selbst in 4000 m Höhe hat in der Nähe des Äquators das Klima noch nicht alle Charaktere des Klimas, das in unseren Alpen sich in 1800—2000 m Höhe findet, erreicht.

Aus rein praktischen Gründen, insbesondere im Hinblick auf die Verwertung des Höhenklimas zu Heilzwecken, ist man übereingekommen, die Höhenlagen mit Bezug auf ihr Klima in verschiedene Abschnitte zu zerlegen. Als Grundlage für diese Teilung gilt das Klima der Alpen, und sie ist daher nur berechtigt für die Gebirge der gemäßigten Zone. Bei Erhebungen zwischen 300 und 700 m spricht man vom sog. Gebirgs- oder Voralpenklima, bei solchen über 700 m vom Höhenklima im engeren Sinne, und scheidet dieses wieder in das subalpine Klima bis zu 1200 m, das alpine bis zu 1900 m und das hyperalpine, besser vielleicht das hochalpine, jenseits dieser Höhe. —

Das Klima ist das Resultat des Zusammenwirkens einer Reihe verschiedener Faktoren, die als Klimaelemente oder auch als Klimafaktoren bezeichnet werden. Solche Klimafaktoren sind: der Druck der Luft, die Luftwärme, die Feuchtigkeit, die Luftbewegungen, das elektrische Verhalten u. a.

Nicht alle an der Bildung eines bestimmten Klimas beteiligten Elemente sind aber als gleichwertig zu betrachten; nur wenige sind es meist, die in ihrem Zusammenwirken einem Klima sein charakteristisches Gepräge verleihen. Dabei müssen wir uns bewußt bleiben, daß wir die Besonderheiten eines Klimas im allgemeinen nach den Wirkungen beurteilen, die es auf uns und auf unsere belebte Umgebung äußert. Wir sind in dieser Beziehung eigentlich nicht über den Standpunkt A. v. Humboldts hinausgekommen, der als Klima „alle Veränderungen der Atmosphäre, die unsere Organe merklich affizieren“, definierte.

So kann es kommen, daß Klimaelemente, die in ganz spezifischer und einziger Art ein Klima beeinflussen, in dem Bilde des betreffenden Klimas, wie wir es mit unseren Sinnen unmittelbar wahrnehmen, uns nicht zum Bewußtsein kommen, vielmehr nur durch Beobachtung mit Hilfe von Instrumenten und besonderen Vorrichtungen kenntlich gemacht werden können.

Das ist gerade beim Höhenklima der Fall. Derjenige Klimafaktor, der allein in ihm wesentliche und gesetzmäßige Änderungen erfährt, der Luftdruck, macht sich uns in seinem Verhalten nicht direkt bemerkbar. Erst wenn seine Änderungen eine gewisse Grenze überschreiten, treten Wirkungen ein, die wir auf ihn beziehen müssen.

Diese Wirkungen sind aber nicht mehr physiologische, sondern bereits pathologische (Krankheit erzeugende), und sie hängen nur indirekt mit den Änderungen des Druckes zusammen, direkt mit den Änderungen der chemischen Zusammensetzung der Luft, die durch die Druckänderungen verursacht werden.

Nicht nur der Luftdruck, sondern auch die für das Gedeihen aller organischen Wesen — Tier und Pflanze — weit wesentlicheren Klimafaktoren: Luftwärme, Intensität der Sonnenstrahlung und Luftfeuchtigkeit, ebenso auch das elektrische Verhalten und die Bewegung der Luft verändern sich mit zunehmender Höhe in charakteristischer Weise.

Wir wollen diese Veränderungen zunächst im einzelnen durchgehen. Die Zusammenfassung der so gewonnenen Tatsachen wird uns dann ein übersichtliches Bild des Höhenklimas als eines Ganzen gewähren.

Der Luftdruck im Höhenklima. Die atmosphärische Hülle unserer Erde übt auf die Erdoberfläche einen Druck aus. Wir messen ihn mittels des Barometers und wissen, daß er in Meereshöhe im Mittel dem Druck einer Quecksilbersäule von 760 mm Höhe entspricht.

Steigen wir nun vom Meeresniveau empor, so wird dieser Druck immer geringer; die drückende Last nimmt mehr und mehr ab und dementsprechend dehnen sich die einzelnen Luftschichten mehr und mehr aus, die Luft verdünnt sich. Das Barometer zeigt dies ohne weiteres an: je höher wir steigen, um so weniger wird die Quecksilbersäule in die Höhe gehoben.

Die Beziehung zwischen Höhe und Luftdruck ist keine ganz einfache, sie wird dadurch kompliziert, daß die Temperatur der Luft dabei eine Rolle spielt. Daher kommt es, daß in gleicher Höhe der Luftdruck von den Polen zum Äquator hin sich ändert, daß er an ein und demselben Orte in den verschiedenen Jahreszeiten, ja selbst zwischen Tag und Nacht differiert. Dabei gilt das Gesetz, daß, je höher die Temperatur, um so höher der Luftdruck in gleichen Höhenlagen ist. Die physikalischen Umstände, die zu diesem Gesetz führen, sind sehr durchsichtige. Mit der Wärme dehnt die Luft sich aus; es kommt zu aufsteigenden Strömungen, durch welche Luft in die Höhe geführt wird. Die oberen Luftschichten enthalten somit einen größeren Teil der gesamten Luftmasse und üben demgemäß auch einen stärkeren Druck aus. Bei niedriger Temperatur zieht sich die Luft zusammen, eine größere Luftmasse sinkt zur Erde hin, die Masse der oberen Luftschichten nimmt ab und übt einen geringeren Druck.

Im Hochgebirge muß demnach der Luftdruck im Winter niedriger sein als im Sommer. Das ist praktisch sehr wichtig, denn damit hängt, wie wir noch sehen werden, die bekannte Tatsache zusammen, daß die Witterung im Hochgebirge im Winter schöner und beständiger ist als im Sommer. Einer der Gründe, der das Hochgebirge mehr und mehr gerade im Winter zum Zwecke des Sports oder zur Erholung aufsuchen läßt.

Man muß nach den vorstehenden Auseinandersetzungen, wenn man aus dem Barometerstande genau die Ortshöhe bestimmen will, die Temperatur der Luft kennen; dann kann man mittels einer einfachen mathematischen Formel bequem die Höhe aus dem Barometerstande berechnen.*)

Um eine Vorstellung von dem Zusammenhange zwischen Temperatur am Grunde der Luftsäule, Luftdruck und Höhe über dem Meere zu geben, wollen wir nach einer von Hann aufgestellten Tabelle folgende Zahlenwerte mitteilen:

Seehöhe	Mittlerer Luftdruck in mm Quecks. bei einer Temperatur im Meeresniveau von				Für 1 mm Druckdifferenz beträgt die Höhenänderung bei 0° Meter
	0°	10°	20°	25°	
500	716	717	719	720	11.1
1000	671	675	678	679	11.8
2000	590	596	601	604	13.4
3000	517	525	532	536	15.1
4000	452	461	470	475	17.2
5000	394	404	415	420	19.6

Bei 2000 m Höhe, also einer Höhe, die um ca. 200 m die der höchstgelegenen Kurorte der Alpen, nämlich die des Engadins: Pontresina, St. Moritz u. a., sowie Arosa übertrifft, haben wir noch einen Luftdruck von $\frac{3}{4}$ Atmosphären, bei 5000 m noch mehr als $\frac{1}{2}$ Atmosphäre.

Je höher man kommt, um so mehr muß man steigen, um gleiche Erniedrigungen der Barometersäule zu finden. Darüber belehrt uns die letzte Spalte der vorstehenden Tabelle. In 1000 m Seehöhe entsprechen dem Sinken des Barometers um 1 mm 11.1 m Anstieg, in 3000 m sind dazu schon 13.4 m erforderlich, in 5000 m 19.6 m.

Wir werden später sehen, daß die Fähigkeit des Menschen, Luftverdünnungen zu ertragen, eine ziemlich beschränkte ist.

Es gibt nur wenige körperlich bevorzugte Naturen, denen ein Aufenthalt bei dem halben Atmosphärendruck noch keine Beschwerden bereitet. Für die Mehrzahl der Menschen liegt die Grenze, der sie sich ungestraft aussetzen können, bei ungefähr $\frac{3}{5}$ Atmosphärendruck, d. h. ca. 4000 m Höhe, sehr viele aber beginnen schon in 3000 m Höhe Krankheitserscheinungen zu zeigen. Worauf diese erheblichen individuellen Differenzen der Widerstandskraft gegen die Luftverdünnung beruhen und wie die schließlich auftretenden Krankheitserscheinungen zu erklären sind, wird in einem späteren Kapitel besprochen werden.

Hier soll nur eine Übersicht einiger der höchsten, dauernd bewohnten menschlichen Niederlassungen gegeben werden:

*) Für diese Berechnung gilt die folgende logarithmische Formel:

$$\log b = \log B - \frac{h}{72(256.4 + t)},$$

in der h den Höhenunterschied in Metern, t die mittlere Temperatur einer Luftsäule von der Höhe h , B den Barometerdruck im unteren, b den im oberen Niveau bedeutet.

	Höhe m	Luftdruck mm Quecks.
Mexiko	2270	586
St. Bernhard Hospiz	2478	564
Quito (Peru)	2850	549
Leh (Tibet)	3517	497
Meteorolog. Observat. Pikes Peak (Colorado)	4300	451
San Vincente (Bolivia)	4580	436
Kloster Hanle (Tibet)	4610	433
Daba (Tibet)	4800	415
Thok Djalank (Tibet)	4980	405

Während die Änderungen des Luftdruckes uns nicht direkt wahrnehmbar sind, ist dies in ausgesprochenem Maße mit denjenigen der Fall, die sich auf die Lufttemperatur, auf die Intensität der Sonnenstrahlung, auf die Feuchtigkeit der Luft beziehen. Wir fühlen die vor sich gehenden Veränderungen. Das Organ, mit dem wir sie wahrnehmen, ist unsere Haut, genauer gesagt, diejenigen Punkte derselben, die der Temperaturwahrnehmung dienen. Das ist ohne weiteres einleuchtend für die Änderungen, welche die Temperatur der Luft und die Sonnenstrahlung betreffen. Für die der Feuchtigkeit der Luft ist der Zusammenhang im ersten Moment vielleicht nicht klar; daß er aber besteht, wird sich aus dem Folgenden ergeben.

Veränderungen der Lufttemperatur mit der Höhe. Die Temperatur der Luft nimmt mit fortschreitender Erhebung über das Meeresniveau ab. Diese Tatsache hat theoretisch zuerst de Saussure,^{52a)} der erste Montblancbesteiger, schon im Jahre 1788 verfolgt. Er beobachtete die Temperatur auf dem Col du Géant und ließ sie gleichzeitig in Chamonix und in Genf feststellen. Er fand so, daß ein Höhenunterschied von 100 m eine Temperaturerniedrigung um 0.63° bewirkt.

Alle späteren Messungen haben an dieser Zahl nicht viel zu ändern vermocht. Man fand, daß die Temperaturabnahme in allen Höhenlagen bei gleicher Höhendifferenz die gleiche ist; die Abnahme erfolgt also in arithmetischer Progression. Man fand weiter, daß sie in allen geographischen Breiten die gleiche ist. In den tropischen Gebirgen Amerikas und Asiens betrug sie nach den Beobachtungen und Berechnungen Alexander v. Humboldts, Boussingaults, Hills, Hanns u. A. für 100 m im Durchschnitt 0.58° , für die Gebirge der gemäßigten Zone: die Alpen, das Erzgebirge, das Siebengebirge, den Kaukasus, die südlichen norwegischen Berge, die nordamerikanischen Gebirge, im Mittel 0.57° , also denselben Wert.

Allerdings darf man diesen Mittelwerten keine einzelnen Beobachtungsdaten zugrunde legen, muß vielmehr längere Beobachtungsreihen zum Vergleich heranziehen, und muß genau die lokalen Verhältnisse der Beobachtungsorte berücksichtigen. Auch dann bleiben allerdings noch Schwankungen zwischen 0.43° und 0.8° bestehen.

Einzelne Beobachtungen darf man darum nicht heranziehen, weil die Jahreszeiten einen erheblichen Einfluß auf die Temperaturabnahme mit der Höhe haben. Sie ist im Winter geringer als im Sommer. Das hat sich in den Alpen ebenso wie in den norddeutschen Mittelgebirgen, im Kaukasus, in den nordamerikanischen Gebirgen gezeigt.

Für die norddeutschen Mittelgebirge ergibt sich das aus der folgenden kleinen Tabelle. Einem Aufstieg um 100 m entspricht eine Temperaturabnahme:

	Riesen- gebirge	Erz- gebirge	Thüringer Wald	Harz
Im Winter	0.38°	0.45°	0.43°	0.54°
„ Frühling	0.63°	0.65°	0.68°	0.74°
„ Sommer	0.64°	0.63°	0.66°	0.72°
„ Herbst	0.53°	0.55°	0.54°	0.54°

Die Messung der Lufttemperatur geschieht entweder mit einem gewöhnlichen Thermometer im Schatten, oder, was viel sicherer ist, mit dem Abmannschen Aspirationspsychrometer. Seine Beschreibung wird später gegeben werden. Man liest die Temperatur des trockenen Thermometers ab.

Anders ausgedrückt müssen wir in den mitteleuropäischen Gebirgen, nach einer Berechnung Hanns, emporsteigen, um eine Erniedrigung der Luftwärme um 1° C. zu erhalten:

Im Winter	um 222 m
„ Frühling	„ 149 „
„ Sommer	„ 143 „
„ Herbst	„ 188 „
„ Jahresmittel	„ 170 „

Im Winter ist demnach die Temperaturdifferenz zwischen Gebirge und Ebene geringer als im Sommer und Frühjahr.

In den Tropen bestehen keine ausgeprägten jahreszeitlichen Gegensätze; hier sind die Differenzen in der Wärmeabnahme mit der Höhe im Verlauf des Jahres auch sehr gering. Dafür zeigt sich eine Abhängigkeit der Wärmeabnahme von der Menge der Niederschläge: in den regenreichen Perioden erfolgt sie schneller als in den regenarmen. Dasselbe Verhalten läßt sich im Mittelgebirge erkennen und hierher gehört auch die Tatsache, daß auf der Regenseite von Gebirgen die Temperatur mit der Höhe schneller abnimmt als auf der trockenen. So ist es im Riesengebirge, Erzgebirge, Harz festgestellt, so in den Tropen auf Ceylon und in den Nilgiris.

Daneben spielen nun noch die lokalen Verhältnisse der Beobachtungsorte eine wesentliche Rolle, und sie sind geeignet, die bestehende Gesetzlichkeit mehr oder weniger zu verwischen. Es hat sich gezeigt, daß über isoliert aufsteigenden Bergen die Temperatur rascher abnimmt als über Tälern gleicher Höhenlage, besonders ist das bei Bergkegeln mit geringer Masse der Fall. Dagegen ist über sanft ansteigenden, mehr plateauartigen Gebirgen die Temperaturabnahme eine geringe.

Es ist interessant, den Ursachen der Temperaturabnahme mit der Höhe nachzugehen. Sie erklären sich aus den physikalischen Eigenschaften des Luftmantels, der unsere Erde umgibt, und aus dem Verhalten des Erdbodens gegenüber der Wärme. Besonders klar hat Hann die in Betracht kommenden Verhältnisse dargestellt. Fehlte unserer Erde die umgebende Atmosphäre, so wäre sie schutzlos der intensiven Wärmestrahlung der Sonne bei Tage und der eisigen Kälte des

Weltraums bei Nacht ausgesetzt; sie würde sich in einem jedes Leben vernichtenden Grade am Tage erhitzen und in der Nacht wieder abkühlen. Beide Wirkungen werden durch das Dazwischentreten der Atmosphäre gemildert.

Wir können bei der Strahlung, die von der Sonne ausgeht, leuchtende und dunkle Strahlen unterscheiden. Bei beiden handelt es sich um Ätherwellen, die sich nur durch die Wellenlänge unterscheiden. Der leuchtenden Strahlung kommen Wellen von mittlerer Länge zu; wir nehmen sie nicht nur mit dem Wärmesinne unserer Haut, sondern auch mit dem Auge wahr. Die dunkle Strahlung besitzt teils längere, teils kürzere Ätherwellen, die unser Auge nicht wahrzunehmen vermag. Es sind das die sog. ultraroten und ultravioletten Strahlen.

Die energischste Wärmewirkung üben die ultraroten Strahlen. Läßt man Licht unter Zwischenschaltung einer Wasserschicht oder eines farblosen Glases, die die ultraroten Wärmestrahlen zurückhalten, auf die Haut wirken, so ist die Wärmeempfindung erheblich abgeschwächt. Auch die Erde nimmt diese Strahlen reichlich auf, um sie durch Rückstrahlung an die Atmosphäre abzugeben. —

Die Atmosphäre hält von den leuchtenden wie dunklen Strahlen einen Teil zurück, von letzteren jedoch mehr als von den leuchtenden. Die Atmosphäre wirkt demnach wie eine farblose Glasscheibe oder nach einem dem täglichen Leben entnommenen Vergleiche Hanns, wie die Glasdächer der Gewächshäuser; die leuchtende Strahlung hält sie weit weniger zurück als die dunklen Wärmewellen, besonders die vom Erdboden zurückstrahlenden. So kommt es zu einer Aufspeicherung von Wärme in den dem Erdboden benachbarten Luftschichten.

Nun ist die Absorption der Wärmestrahlen um so ausgiebiger, je dichter die Luft und je wasserdampfreicher sie ist. Sie ist also in den untersten Schichten am erheblichsten und je mehr wir vom Meeresniveau aufsteigen, um so geringer wird die Zurückhaltung der Wärme sein müssen, um so stärker die Abstrahlung der aufgenommenen Wärme, um so niedriger die Temperatur der nicht direkt von der Sonne bestrahlten Körper; denn mit der Erhebung über das Meeresniveau nimmt ja die Dichte der Luft, wie wir schon gesehen haben, ab und ebenso ihr Wasserreichtum, worauf wir noch zu sprechen kommen.

Das Verhalten des Erdbodens gegenüber der Sonnenwärme gibt auch eine Erklärung für die oben erwähnten Differenzen der Lufttemperatur in gleichen Höhen, die durch lokale Besonderheiten bedingt werden. Die Erde hält die Wärme in weit größerem Maßstabe zurück als die Luft, sie erwärmt sich stärker als diese und wirkt ihrerseits als Wärmequelle für die ihr aufruhenden Luftschichten. Diese Wärmequelle ist natürlich um so ergiebiger, je mehr die Masse des wärmeausstrahlenden Erdreiches ausmacht. Daher die Luft über großen Gebirgsmassen oder Hochplateaus wärmer sein muß als über einzeln aufstrebenden Spitzen. —

Das vorstehend entwickelte Gesetz der Temperaturabnahme mit der Höhe erfährt nun eine eigentümliche Ausnahme, die geradezu eine Umkehrung des normalen Verhaltens darstellt und die für die belebte Natur, für das Gedeihen des Pflanzenwuchses wie für das Wohlbefinden des Menschen von großer Wichtigkeit ist.

Man fand nämlich, daß nach Sonnenuntergang, des Abends und Nachts, die Temperatur in Tälern niedriger liegt als auf den sie begrenzenden Abhängen und

Bergspitzen. Man kann dies während des ganzen Jahres beobachten, am ausgesprochensten jedoch in der kalten Jahreszeit und stets nur bei ruhigem und heiterem Wetter.

So kommt die eigentümliche Erscheinung zustande, daß die Vegetation an Hängen entwickelter ist als im Talgrunde und die noch eigentümlichere, daß unter Umständen Nachtfrost das Pflanzenleben im Tale ertötet, während es in größerer Höhe an den Berglehnen nicht leidet. Diese Tatsache muß schon früh bekannt gewesen sein, denn schon die Römer pflanzten den gegen Kälte empfindlichen Weinstock nicht in die Täler, sondern an die Hänge, und heute geschieht es noch ebenso.

Wie erheblich die Temperaturdifferenzen sein können, zeigt eine Zusammenstellung von Hann, die die Verhältnisse aus dem Dezember 1879 wiedergibt:

	Höhe	7 ^h	2 ^h	9 ^h	Mittel
{Klagenfurt . . .	440 m	- 19.1°	- 13.0°	- 16.4°	- 16.2°
{Obir	2040 „	- 5.9°	- 1.2°	- 5.5°	- 4.5°
{Ischl	467 „	- 13.7°	- 7.3°	- 13.0°	- 11.8°
{Schafberg . . .	1776 „	- 0.1°	+ 0.6°	- 1.3°	- 0.5°

Also im Tale scharfe winterliche Kälte, auf den Höhen eine im Vergleich dazu fast milde Witterung. Daß dasselbe Verhalten auch in den deutschen Mittelgebirgen zu beobachten ist, dafür gibt Determann ^{12a)} lehrreiche Zusammenstellungen aus dem Riesengebirge, dem Erzgebirge, dem Harz, dem Thüringer Wald und dem Schwarzwald. Als Beispiel sei das Monatsmittel für den Dezember 1879 in verschiedenen Höhenstationen des Erzgebirges mitgeteilt:

Oberwiesenthal . . .	927 m	Höhe = - 3.1° C.
Reitzenhain	778 „	„ = - 4.6° „
Chemnitz	310 „	„ = - 6.9° „
Leipzig	119 „	„ = - 7.3° „

Die Steigerung der Temperatur in den Herbst- und Wintermonaten, die so die Höhen gegenüber den Tälern bieten, ist hygienisch von nicht geringer Bedeutung. Sie gestattet den Aufenthalt auf ersteren weit länger und macht ihn angenehmer auch aus dem weiteren Grunde, weil in der sich stark abkühlenden Luft der Talsohle der Wasserdampf sich verdichtet und Nebel bildet, während die Luft der Höhe klar und trocken ist. — Als Beweis, wie sehr Orte, die an Berglehnen oder auf Berggipfeln gelegen sind, klimatologisch gegenüber Orten, die sich in gleicher Höhenlage oder selbst in niedrigerer, aber im Tal befinden, bevorzugt erscheinen, mögen noch folgende bei Hann sich findende Zahlen dienen:

Bevers, im Hochtale des oberen Engadins 1715 m hoch gelegen, hat eine mittlere Januar-temperatur von -10.4°, ein mittleres Winterminimum von -26.9°, Rigi Kulm in 1784 m, also in fast gleicher Höhe, demgegenüber eine Januar-temperatur von -5.1°, ein mittleres Winterminimum von -18.9°. Selbst der Julierpaß in 2244 m Höhe hat im Januar durchschnittlich nur -8.8°, als Winterminimum -23.9°.

Bei der Auswahl von Winteraufenthaltssorten im Gebirge muß man also die Lage des Ortes in Beziehung auf seine Umgebung, nicht allein seine Höhenlage, sehr in Betracht ziehen!

Auch diese sog. Temperaturumkehrung erklärt sich rein physikalisch. Ein weiteres Eingehen hierauf würde jedoch zu weit führen. Wir wollen nur hervor-

heben, daß im Tale die Sonne weit später auf- und weit früher untergeht als auf den Höhen. Die Erwärmung des Bodens ist also im Tale eine weniger lange, die Wärmeausstrahlung umgekehrt eine länger dauernde. Die Luft der Täler muß deshalb kälter sein. Diese kältere Luft bleibt nun, weil schwerer, am Talboden haften. Kühlt sich in der Nacht die Luft an den Hängen ab, so fließt sie wiederum nach dem Gesetz der Schwere talwärts und wird durch wärmere, von oben nachströmende Luft ersetzt.

Noch nach einer anderen, klimatologisch weniger wichtigen Richtung zeigen Hochtäler und Bergabhänge einen gewissen Gegensatz, nämlich in bezug auf den Umfang der jährlichen Temperaturschwankungen. Im allgemeinen nehmen diese mit der Höhe ab, sie sind im Gebirge geringer als im Tieflande, nur die Hochtäler machen in dieser Hinsicht eine Ausnahme; das jährliche Temperaturmaximum und -Minimum liegen in ihnen weit auseinander. Das erklärt sich daraus, daß die Luft in Hochtälern im Sommer sich intensiv erwärmt, im Winter sich energisch abkühlen kann. Im Einzelfalle spielt natürlich die Richtung des Tales, Windschutz, Beschaffenheit der Talwände hier eine bedeutende Rolle, hinter der die Höhenlage etwas zurücktritt.

In noch höherem Maße sind die lokalen Verhältnisse maßgebend für den Umfang der täglichen — klimatologisch bedeutsameren — Temperaturschwankungen. Nur für die freie Atmosphäre und demnächst für Berggipfel gilt der Satz, daß diese mit der Höhe abnehmen, für Berghänge, Hochplateaus, Gebirgstäler kommen als wesentlichstes Moment die vorstehend genannten örtlichen Wirkungen in Betracht. Sehr schön ließ sich die Abnahme der täglichen Wärmeschwankung in der freien Atmosphäre mit zunehmender Höhe am Eiffelturme nachweisen. Hier zeigte sich folgendes:

	Tägliche Wärmeschwankung		
	in 123 m	in 197 m	in 302 m
Winter	3.0° C.	2.5° C.	2.0° C.
Frühling	5.8° „	5.0° „	4.6° „
Sommer	6.1° „	5.2° „	5.2° „
Herbst	4.7° „	3.6° „	2.9° „
Jahr	4.9° „	4.1° „	3.7° „

Die Sonnenstrahlung im Höhenklima. Vom rein meteorologischen Standpunkte aus, d. h. allein unter Berücksichtigung der Vorgänge in der Atmosphäre spielt nur die Luftwärme, wie sie durch Thermometermessung im Schatten ermittelt wird, eine Rolle.

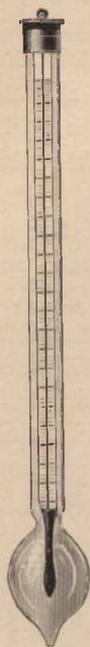
Vom klimatologischen Standpunkte dagegen, d. h. bei der Betrachtung der Klimawirkungen auf das organische Leben der Erde, stellt die Lufttemperatur nur einen der Wärmefaktoren dar und im Höhenklima nicht einmal den wichtigsten. Für das Höhenklima ist das Verhalten der Wärmestrahlung der Sonne, die sog. Insolation von wesentlicherer Bedeutung.

Die einfachste Beobachtung zeigt, daß beim Aufenthalt in der Sonne das Wärmegefühl ein viel erheblicheres ist als im Schatten, und ein in der Sonne

hängendes Thermometer gibt ja auch meist einen höheren Wärmegrad an. Das ist aber nicht etwa eine Folge davon, daß, wie irrtümlich meist angenommen wird, die Luft entsprechend höher temperiert sei. Würde ein in der Sonne hängendes Thermometer einfach die erhöhte Lufttemperatur anzeigen, so müßte die Differenz zwischen Schatten und Sonne bei allen Thermometern gleich sein. Dies ist jedoch, wie man sich leicht überzeugen kann, durchaus nicht der Fall. Es kommt auf die Größe der Thermometerkugel an, auf ihre Form, die Beschaffenheit ihrer Oberfläche, ob blank, ob matt, ob hell, ob dunkel; danach erhält man ganz wechselnde Werte.

Die Temperatur, welche der Sonne ausgesetzte Thermometer anzeigen, hängt, außer von der Luftwärme, von der Wärmemenge ab, die sie durch Strahlung aufnehmen, und die sie durch Ausstrahlung wieder abgeben. Beides wechselt mit der Beschaffenheit des Thermometers. Die Angaben einer sog. „Temperatur in der Sonne“, die mit gewöhnlichen Thermometern aufgenommen ist, sind also im allgemeinen wertlos und, wie Hann bemerkt, ist „Temperatur in der Sonne“ überhaupt kein bestimmt definierter Begriff.

So leicht die Temperatur der Luft zu messen ist, so schwer exakt die Intensität der Sonnenstrahlung. Man hat komplizierte und kunstvolle Instrumente dafür angegeben, so Langley, ein ausgezeichnete amerikanische Physiker, sein „Bolometer“, ferner Pouillet ein „Pyrheliometer“. Aber diese sind für praktische Zwecke nicht einfach genug und daher nicht gut zu verwerten. Hierfür eignet sich am meisten das sog. Schwarzkugelthermometer im Vakuum, auch Solarthermometer oder Aktinometer genannt, ein Thermometer, dessen Quecksilbergefäß mit einem matten schwarzen Überzug versehen ist und in einer gläsernen Hülle steckt. Der Raum zwischen dieser Hülle und der Quecksilberkugel ist luftleer gemacht.



Solar-
thermo-
meter.

Mit einem solchen Thermometer kann man zwar nicht die absolute Intensität der Sonnenstrahlung messen, aber es gibt doch bei vergleichenden Bestimmungen ziemlich sichere Werte. Es hat den Vorzug, daß die dunkle Strahlung der Umgebung durch den Glasmantel abgehalten wird, daß der schwarze Überzug die leuchtende Strahlung stark absorbiert, daß durch den evakuierten Mantelraum die Ableitung der Wärme verhindert wird, auch Luftströmungen, die Wärme fortführen könnten, ferngehalten werden. Allerdings müssen bei Benutzung mehrerer Solarthermometer die Angaben der Instrumente unter gleichen Bedingungen miteinander verglichen, auch dasselbe Thermometer häufiger kontrolliert werden, denn die Dicke und Durchlässigkeit der äußeren Glashülle, die Dicke und Unversehrtheit der Rußschicht, der Grad der Evakuierung sind von Einfluß auf die Angaben der Thermometer. — Immerhin sind die Solarthermometer diejenigen Instrumente, mit denen bis jetzt die strahlende Wärme in ausgedehnterem Maße für klimatologische Untersuchungen gemessen worden ist.

Mißt man nun mittels dieser Instrumente die Sonnenstrahlung in verschiedenen Höhen, so sieht man, daß sie mit der Höhe zunimmt und zwar nicht der Abnahme des Luftdruckes parallel, vielmehr weit schneller.

Das erklärt sich daraus, daß mit der Höhe nicht nur die Masse der Luft, die die Wärmestrahlen zu durchlaufen haben, abnimmt, sondern auch der die Wärmestrahlen besonders stark absorbierende Wasserdampfgehalt der Luft sich vermindert und zwar schneller, als es der Abnahme des Luftdrucks entspricht. Hierauf werden wir noch zu sprechen kommen.

Daß der Wasserdampfgehalt von sehr wesentlichem Einfluß auf die Zurückhaltung von Wärmestrahlen durch die Atmosphäre ist, zeigt die alltägliche Erfahrung; bei trübem Wetter, Nebel und Wolkenbildung ist die Wärmestrahlung eine minimale, je trockener die Luft, um so mehr brennt die Sonne.

Die Steigerung der Wärmestrahlung im Gebirge gibt sich objektiv durch die wachsenden Differenzen zwischen den Angaben des Solarthermometers und der mit dem gewöhnlichen Thermometer im Schatten gemessenen Lufttemperatur zu erkennen. Die Differenzen fallen um so größer aus, als — wie im Vorhergehenden auseinandergesetzt — die Lufttemperatur den umgekehrten Gang wie die Sonnenstrahlung zeigt, d. h. progredient niedriger wird.

Hann gibt nach Beobachtungen Francklands folgende Zusammenstellungen:

	Höhe m	Thermometer(Celsius) Schatten	Sonne	Differenz der Temperaturen
Oatland Park	46	30.0°	41.5°	11.5°
Riffelberg	2570	24.5°	45.5°	21.0°
Hörnli	2890	20.1°	48.1°	28.0°
Gornergrat	3140	14.2°	47.0°	32.8°
oder				
Pontresina	1800	26.5°	44.0°	17.5°
Bernina Hospiz	2330	19.1°	46.4°	37.3°
Diavolezza	2980	6.0°	59.5°	53.5°

Auch wir haben analoge Untersuchungen angestellt und sind zu gleichen Ergebnissen gekommen. In einer unserer Beobachtungen zeigte das Solarthermometer auf der Monte Rosa-Spitze (4560 m) eine Temperatur von 54°, während die Lufttemperatur im Schatten bei - 14° lag.

Durch die starke Wärmestrahlung im Gebirge erfahren wir eine so erhebliche Wärmezufuhr, daß wir dadurch von der Lufttemperatur ziemlich unabhängig werden. So erklärt es sich, daß man sich im Hochgebirge selbst in der kalten Jahreszeit in der Sonne ohne Kältegefühl ergehen kann, in leichter Kleidung und ohne weiteren Wärmeschutz. Rubner hat darauf hingewiesen, daß die starke Wärmezufuhr durch Strahlung noch eine andere Wirkung hat. Die strahlende Wärme dringt zu unserem Körper durch die Kleidung. Auch diese und die in ihr und an unserer Körperoberfläche befindliche Luft muß also erwärmt werden. Wird sie aber wärmer, so wird sie relativ trockner, entzieht dem Körper weniger Wärme, ist aber im Bedarfsfalle auch fähig, mehr Wasser von der Haut aufzunehmen.

Wie bedeutungsvoll in großen Höhen die Wirkung der Wärmestrahlung wird, schildert sehr anschaulich Con way bei Gelegenheit der Beschreibung seines Aufstieges auf den fast 7000 m hohen Pioneer Peak im Himalaja. „Wir waren alle dem Erfrieren nahe und schützten uns nur durch die gewaltsamsten Maßnahmen. Während der Rast kam die Sonne hervor, und obwohl unsere Füße den Tag hindurch vor Kälte eingeschlafen blieben, war unser Körper bald viel zu heiß, als daß wir uns hätten behaglich fühlen können. Dieser Wechsel zwischen beißender

Kälte und röstender Hitze (grilling heat) ist eines der größten Hindernisse des Bergsteigens in bedeutenden Höhen.“

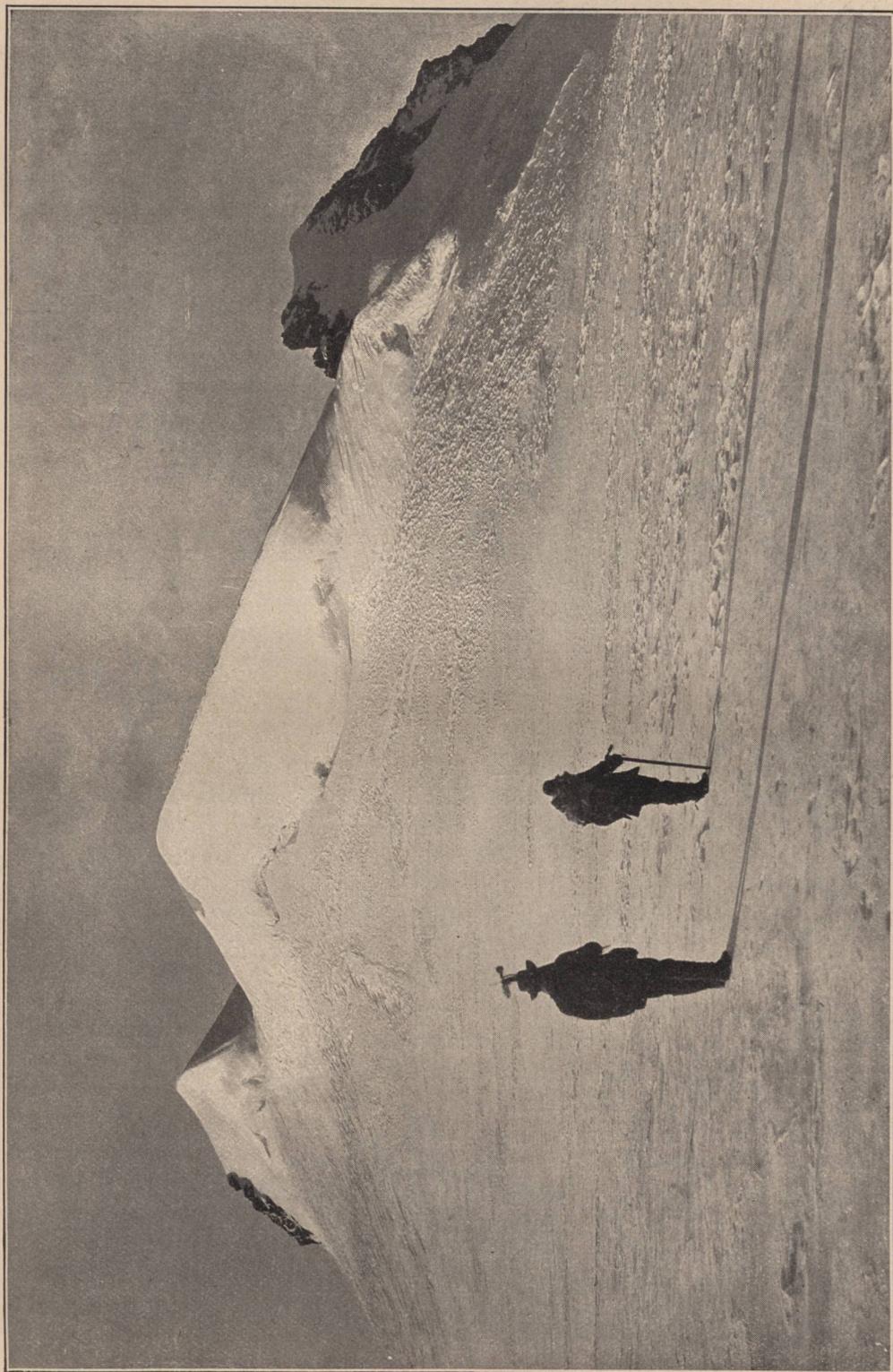
„Nicht nur sind Kälte und Hitze gleichschwer zu ertragen, es scheint auch der Wechsel von einem Extrem zum anderen die Kräfte zu schwächen und den ganzen Körper matt zu machen.“

Wie wir selbst von der Sonne des Hochgebirges Wärme empfangen, so erwärmt sich der feste Erdboden, das ihn bedeckende Wasser, Mauern, Häuser, über Lufttemperatur. Aber sie absorbieren nicht nur Wärme, sondern sie strahlen sie auch wieder zurück. Diese zurückgestrahlte Wärme erhöht nun ihrerseits wieder die Temperatur der Luft.

Durch die vom Erdboden absorbierte Wärme wird die Temperatur der oberen Bodenschichten gesteigert und entsprechend der stärkeren Zustrahlung in der Höhe ist die Steigerung erheblicher als im Tieflande. Z. B.: auf dem Pic du Midi (2877 m) war die mittlere Temperatur der Luft (an drei Septembertagen) 10.1° und in Bagnères (551 m) zur selben Zeit 22.3° . Die Bodenwärme an der Oberfläche auf dem Pic 33.8° , in 5 cm Tiefe 17.1° , in Bagnères die Temperatur der Erdoberfläche 36.1° , in 5 cm Tiefe 25.5° . — Es war also die Bodenwärme auf dem Pic an der Oberfläche um 23.7° , in 5 cm Tiefe um 7° höher als die der Luft; in dem tieferen Bagnères übertraf erstere die letztere nur um 13.8° bzw. 3.2° .

Neben dieser Wärmeausstrahlung findet nun auch eine direkte Reflektion der Wärmestrahlen von großen Wasserflächen aus statt. Auch durch diese erfolgt eine Erwärmung der Umgebung. Dufour hat dafür zahlenmäßige Beweise für den Genfer See erbracht und auch gezeigt, daß die Wirkung der reflektierten Wärme bei niedrigem Sonnenstande am ausgiebigsten ist. Dies erklärt sich daraus, daß die von der Seeoberfläche reflektierten Strahlen die benachbarten Höhen dann direkt treffen.

Die Wirkung der Sonnenstrahlung muß sich natürlich um so intensiver geltend machen, je länger die Bestrahlung dauert, je trockener die Luft ist, je mehr von der zugestrahlten Wärme die Erdoberfläche zurückhält oder wieder abgeben kann. Es sind, wenn wir von der Erhebung über den Meeresspiegel absehen, im wesentlichen lokale Momente für den Wärmeeffekt durch Strahlung maßgebend. In erster Linie die sog. Exposition eines Ortes, d. h. seine Lage zur Sonne. Auf unserer nördlichen Halbkugel ist es die Südseite, die am meisten von der Sonnenstrahlung getroffen wird, weniger die Ost- und Westseite. Am ungünstigsten bedacht ist die Nordseite. Die Bedeutung der Exposition ergibt sich schon aus dem Verhalten der Vegetation. An den nach Süden gelegenen Gebirgswänden steigt die Grenze des Pflanzenwuchses höher als an den nach Norden sehenden und auch die Schneegrenze ist nach oben gerückt. Daher das Bestreben, Kranke und Schwache, die Wärme brauchen, in Räumen unterzubringen, die nach Süden liegen, eine Maßnahme, die mit zunehmender Höhe immer bedeutungsvoller wird. — Ferner empfangen Orte, die an einer Berglehne liegen, länger die strahlende Wärme als Orte auf einer Talsohle gleicher Höhe. — Für die Trockenheit der Luft ist einmal die Gegenwart oder der Mangel größerer Wasserflächen bestimmend, dann das Vorherrschen feuchter Winde, weiter die Beschaffenheit der Bodenoberfläche, besonders ob sie kahl oder ob sie mit Vegetation bedeckt ist.



Nach einer photographischen Aufnahme von Vittorio Sella, Biella,
Ludwigshöhe und Balmenhorn vom Lysjoch.

Man muß also bei der Auswahl eines Höhenortes in hygienischer Hinsicht eine Menge von Einzelheiten in Betracht ziehen und darf nicht schematisch verfahren.

Die Vorzüge, die eine starke Erwärmung durch Strahlung mit sich bringt, werden aber nicht ohne gewisse Nachteile erkaufte. Dahin gehört schon der bereits erwähnte starke Temperaturunterschied zwischen besonnten und im Schatten liegenden Punkten. Mit einem Schritt kann man so unter ganz andere Wärmeverhältnisse kommen und nur gesunde Naturen können sich ohne Schädigung solchem Wechsel aussetzen. — Andererseits führt allerdings ein längerer Aufenthalt im Höhenklima eine gewisse Abhärtung gegen Erkältungskrankheiten herbei.

Wesentlicher aber ist folgendes. Wie die dünne und trockene Luft des Hochgebirges am Tage eine sehr intensive Zustrahlung von Wärme erlaubt, so findet umgekehrt des Nachts eine sehr starke Wärmeausstrahlung statt. Der Erdboden strahlt nun weit energischer Wärme ab als die Luft. Er kühlt sich daher leicht unter die Temperatur der Luft ab, um so leichter, je klarer, reiner, trockener diese ist. Der Boden ist daher häufig schon mit Reif bedeckt, während die Lufttemperatur in der Nähe des Bodens noch einige Grade über 0 liegt.

Die Lichtverhältnisse im Höhenklima. Wir haben schon erwähnt, daß die Wärme, die durch die Sonnenstrahlung hervorgerufen wird, nur einen Teil der Wirkungen darstellt, die von der strahlenden Energie der Sonne ausgehen. Eine weitere sehr wesentliche Äußerung nehmen wir als Licht wahr.

Wie im Höhenklima die strahlende Wärme gegenüber dem Tieflande modifiziert ist, so auch das Verhalten des Lichtes. Das ist eine Erfahrung, die sich in mannigfacher Weise kundgibt. — Unser Auge erkennt die gesteigerte Lichtintensität des Höhenklimas. Es wird empfindlich gegen das Übermaß von Licht, geblendet, und wenn man nicht durch dunkle Gläser die abnorm starke Belichtung mindert, kommt es leicht zu Blutüberfüllung der Bindehautgefäße, zu lästigen Katarrhen, zu einer Überreizung der Netzhaut, die zur Abnahme des Sehvermögens, sogar zu plötzlicher Blindheit führen kann. Letzteres wird allerdings meist nur beobachtet, wenn man sich längere Zeit sehr grellem reflektiertem Licht aussetzt, besonders beim Überschreiten längerer Schneefelder, aber auch heller Felspartien. Diese „Schneeblindheit“ ist eine vorübergehende.

Auch unsere Haut gibt Zeugnis von der gesteigerten Lichtintensität. Es ist jedem, durch Erfahrungen an eigener Person oder an anderen, bekannt, daß eine stärkere Pigmentierung der Haut im Hochgebirge eintritt. Das ist derjenige Effekt, der sich am gewöhnlichsten geltend macht. Aber es gibt zahlreiche Personen, die unangenehmere Folgen verspüren. Die Haut der dem Lichte ausgesetzten Körperteile, der Lider, der Nase, der Ohren, des Nackens, mehr noch der gewöhnlich bedeckten, so z. B. der Kniee, wenn sie freigetragen werden, rötet sich, sie schwillt an, die Oberhaut löst sich in Gestalt kleinerer oder größerer Fetzen ab, oder es bilden sich Bläschen oder Pusteln, die sich öffnen und juckende und nässende Stellen hinterlassen, die nur langsam heilen.

Die Trockenheit und starke Bewegung der Höhenluft mögen Anteil an diesen Erscheinungen haben, aber im wesentlichen sind sie eine Wirkung des Lichtes, und zwar derjenigen Lichtstrahlen, die man als chemische zu bezeichnen pflegt, da sie

auch die stärksten chemischen Effekte hervorrufen. Es sind die im blau-violetten Teile des Sonnenspektrums und mehr noch die jenseits des violetten Endes gelegenen, die sog. ultra-violetten Strahlen, die unser Auge nicht mehr wahrnehmen kann, die jedoch sehr scharf von der photographischen Platte wiedergegeben werden.

Das Licht des Höhenklimas ist nicht nur an sich intensiver, es ist auch besonders reich an den kurzwelligigen blau-violetten und ultra-violetten Strahlen. In den tieferen, wasserreichen Schichten der Atmosphäre werden gerade diese sehr stark absorbiert, so daß das Licht im Tieflande an ihnen relativ arm ist.

Daß die chemisch-wirksamen Sonnenstrahlen die Hautveränderungen hervorrufen, ergibt sich daraus, daß ihre Abhaltung von der Haut durch gelbe oder rote



Doppelsonnenbild über dem Lyskamm.

Schminke und Salben, durch Kohlenruß, durch dunkle Schleier sie verhütet und daß andererseits auch im Tieflande dieselben Hauterkrankungen entstehen, wenn man sich einem Lichte aussetzt, das sehr reich an den wirksamen blau-violetten Strahlen ist. Das ist z. B. das Licht der elektrischen Bogenlampen. Es ist bekannt, daß die Arbeiter, die in Bogenlampenfabriken beschäftigt sind, nicht selten an analogen Hautentzündungen erkranken.

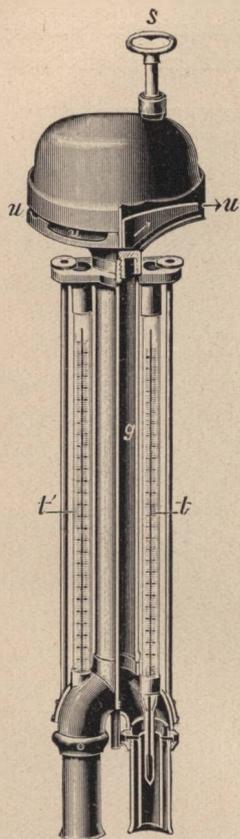
Die blauvioletten und ultravioletten Strahlen sind, wie erwähnt, die chemisch wirksamsten. Man wird deshalb erwarten können, daß die vom Lichte abhängigen chemischen Prozesse, die photochemischen, auch im Höhenklima intensivere sind als im Tieflande.

Wir wollen in dieser Beziehung wenigstens auf einen praktisch wichtigen und allgemeiner interessierenden Fall hinweisen, nämlich den der Photographie in

höheren Regionen. Diese will besonders gelernt sein. Da die Wirkung des Lichtes auf die photographische Platte im Hochlande eine sehr intensive ist, darf die Belichtung unter Anwendung engster Blenden nur eine äußerst kurze sein, wenn nicht Überlichtung eintreten soll. — Das zeigt schon die Benutzung der wohl den meisten mit Photographie sich Befassenden bekannten Lichtmeßapparate, z. B. Wynnes Expositionsmesser. Man mißt dabei mit der Sekundenuhr die Zeit, die erforderlich ist, um ein lichtempfindliches Chlorsilberpapier in bestimmtem Grade zu dunkeln.

Dazu sind in der Tiefebene gewöhnlich mehrere Sekunden erforderlich. Auf dem Monte Rosa-Gipfel war der Apparat nicht mehr zu benutzen, da im Moment der Exposition des Papiers die Dunkelung in unmeßbar kurzer Zeit eintrat.

Steht die Sonne kurz nach ihrem Aufgang oder vor ihrem Untergange nahe dem Horizonte, so ist die Intensität ihrer Strahlung eine geringere, aber doch noch hinreichend, um Effekte zu erzielen, zu denen die Kraft des Sonnenlichtes im Tieflande unter gleichen Bedingungen nicht mehr hinreichen würde. So können unter Benutzung engster Blenden noch die langen Abend- und Morgenschatten gut im Bilde wiedergegeben werden. Das erweist die Abbildung auf Seite 47. Ein weiteres prägnantes Beispiel dafür ist die ganz einzigartige Photographie auf Seite 49. Sie ist auf dem Monte Rosa-Gipfel am Abend aufgenommen. Die Sonne war eben hinter dem Montblanc unseren Blicken entschwunden. Am westlichen Himmel sah man in Wolken zwei rotglühende Sonnenbildchen. Sie müssen als Reflexerscheinungen aufgefaßt werden, als Analogien zu dem bekannten Phänomen des Alpenglühens. Aber während es sich hier um diffuse Reflexe handelt, wurden bei unserer Beobachtung die Lichtstrahlen durch die Wolkenmassen wohl wie von Konvexlinsen gesammelt und erzeugten an zwei Stellen das Bild der untergehenden Sonne. Beide Bilder konnten auf der Platte fixiert werden.



Asmanns Aspirationspsychrometer.

Die Feuchtigkeitsverhältnisse der Höhenluft. Ein weiterer meteorologisch wie klimatologisch wichtiger Faktor ist der Wasserdampfgehalt der Luft. Unsere Atmosphäre enthält stets Wasser in Dampfform, dessen Menge jedoch unterliegt sehr starken Schwankungen.

Man kann die Wasserdampfingen physikalisch oder chemisch bestimmen. In letzterem Falle führt man gemessene Luftmengen durch Wasser zurückhaltende Substanzen, wie Phosphorsäure, Schwefelsäure, Chloraecium u. a., und wiegt die Mengen des zurückgehaltenen Wassers. Die physikalische Bestimmung geschieht mittels sog. Hygrometer oder Psychrometer. Bei den ersteren wird die mit dem Wasserdampfgehalt der Luft schwankende Ausdehnung einer hygroskopischen Substanz, z. B. eines Haares (Haarhygrometer), unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Temperatur bestimmt, bei den letzteren vergleicht man die Temperaturen eines trockenen und eines mit feuchtem Musselin unwickelten Thermometers. Das bekannteste und verbreitetste

Psychrometer ist das Augustsche, das beste und zuverlässigste das Abmannsche Aspirationspsychrometer. Das trockene und das feuchte Thermometer stecken, thermisch isoliert, in dünnen, außen und innen polierten Metallröhren, durch welche vermittels einer am Instrument befindlichen, durch ein Uhrwerk in schnelle Drehung versetzten sog. Exhaustorscheibe ein kräftiger Luftstrom hindurchgesogen wird. Die Thermometer sind dadurch vor den Wirkungen der Strahlung der Sonne wie des beobachtenden Individuums geschützt, die Luft strömt an den Thermometern mit konstanter Geschwindigkeit vorbei und sonst störende Luftströmungen können keinen Einfluß üben. — Die Temperaturdifferenzen zwischen dem trockenen und feuchten Thermometer lassen an der Hand besonderer dafür aufgestellter Tabellen den Feuchtigkeitsgrad der Luft erkennen.

Bestimmt man auf irgendeine Weise die Wassermenge, die sich in einem Kubikmeter Luft findet — der Kubikmeter gilt als Einheit — so kennt man die sog. absolute Feuchtigkeit. Meteorologisch ist diese in mehrfacher Hinsicht wichtig, besonders in bezug auf das Maß an Sonnenstrahlung, das zur Erdoberfläche gelangt. In klimatologischer und hygienischer Beziehung dagegen spielt die absolute Feuchtigkeit eine geringere Rolle. Bedeutsamer ist hier die sog. relative, d. h. das Verhältnis der vorhandenen Wasserdampfmenge zu der unter den herrschenden Temperaturverhältnissen überhaupt aufnehmbaren.

Der Grad der relativen Luftfeuchtigkeit ist von hohem Einflusse auf alles organische Leben der Erde. Wachstum und Ernährung der Pflanzen sind von ihm abhängig, das Wohlbefinden von Tier und Mensch wird durch ihn gefördert oder beeinträchtigt. Für den tierischen Organismus ist es insbesondere die Größe der Wasserabgabe vom Körper und damit der Wärmehaushalt, der durch die Verschiedenheiten der Luftfeuchtigkeit beeinflusst wird; aber auch unser Hautorgan und die an der Oberhaut haftenden und entwicklungsgeschichtlich und histologisch ihr zugehörigen Gebilde erfahren Veränderungen mit dem Wechsel der relativen Luftfeuchtigkeit. — Über den Einfluß auf den Wärmehaushalt wird in einem späteren Kapitel ausführlich gehandelt werden. Hier sei nur erwähnt, daß die Oberhaut und die Haare bzw. Federn und Nägel sog. hygroscopische Gebilde sind; auch unsere Kleidung besteht aus hygroscopischen Geweben. Sie ziehen aus feuchter Luft Wasser an und geben an trockene Luft Wasser ab. Wird die Luft abnorm trocken, so geben sie übermäßig Wasser her, sie werden spröde, Haut und Nägel werden rissig und springen auf. Ist umgekehrt die Luft abnorm feucht, so ziehen die Oberhaut, Haare und Federn übermäßig Wasser an und werden weich; das Federkleid und der Pelz der Tiere verlieren dann größtenteils ihre Fähigkeit, als wärmende Hülle zu dienen.

Vergleicht man nun den Wassergehalt der Luft, und zwar den absoluten, in verschiedenen Höhen, so findet man, daß er mit der Höhe mehr und mehr abnimmt und zwar nicht parallel mit dieser, sondern weit schneller.

Wir geben darüber nach Hann die folgende Zusammenstellung. In ihr ist der Wassergehalt und der Luftdruck an der Meeresoberfläche gleich 100 gesetzt, und die analogen Werte in den verschiedenen Höhen sind Prozentwerte der ersteren.

Man ersieht aus nachstehender Tabelle, daß der Wassergehalt der Atmosphäre bei 2000 m Höhe schon auf die Hälfte gesunken ist, während der Luftdruck noch

mehr als $\frac{3}{4}$ des vollen Druckes beträgt; bei 6000 m Höhe ist der Luftdruck auf etwas weniger als die Hälfte gefallen, der Wassergehalt auf ca. $\frac{1}{10}$!

Seehöhe m	Wasserdampf- sättigung	Luftdruck
0	100	100
1000	73	88
2000	49	78
3000	35	69
4000	24	61
5000	17	54
6000	12	47
7000	8	42

Da nun, wie früher hervorgehoben, der Wassergehalt der wesentlichste Faktor für die Absorption der strahlenden Energie der Sonne ist, so versteht man, wieso einerseits die Sonnenstrahlung im Gebirge eine soviel intensivere als im Tieflande ist und wie andererseits die wasserreiche Atmosphäre des Tieflandes die von der Erdoberfläche zurückstrahlende Wärme sammelt und zurückhält.

Entgegen der absoluten Feuchtigkeit zeigt die relative keine gesetzmäßige Beziehung zur Höhe. Sie ändert sich mit dieser nur wenig. Besonderheiten hat allerdings auch sie im Höhenklima. Sie bestehen in den sehr schnellen Schwankungen der relativen Sättigung, so daß extreme Trockenheit und extreme Feuchtigkeit rasch aufeinander folgen können. Die Ursache für diese Schwankungen ist in dem Wechsel der herrschenden Luftströmungen gegeben. Steigen sie vom Tale aufwärts, so bringen sie aus der wasserreicheren Atmosphäre der Tiefe Wasser mit nach oben. Dieses muß natürlich die niedrig temperierte Luft der Höhe relativ stark sättigen, da ja kalte Luft viel weniger Wasser aufzunehmen vermag als warme, und es kann zur Kondensation des Wassers, zu Wolken- und Nebelbildung kommen. Umgekehrt führen aus der Höhe kommende Luftströmungen zu relativer Trockenheit der Luft.

Je niedriger temperiert die Luft ist, um so eher kommt es zu vollkommener Sättigung mit Wasserdampf und zu Wolkenbildung. Im Winter wird daher die Sättigung in geringeren Erhebungen, in niedrigeren Luftschichten erfolgen als im Sommer, und die höheren Luftschichten werden dann wasserarm sein. Das hat eine sehr große klimatologische Bedeutung, denn daraus folgt, daß das Hochgebirge — im Gegensatz zum Tieflande — trockene heitere Winter hat bei feuchten, wolkenreichen Sommern.

Je trockener die Luft, um so intensiver auch die Sonnenstrahlung: Wenn also der Winteraufenthalt im Gebirge mehr und mehr in Aufnahme kommt, so ist das nicht nur Modesache, ist vielmehr klimatologisch wohlbegründet.

Allerdings kann es sich immer nur um Stationen des eigentlichen Hochgebirges handeln, die als Winterkurorte dienen, nicht etwa um solche der deutschen Mittelgebirge. Denn die Zone, in der die Kondensation des Wasserdampfes der Luft stattfindet, liegt gerade so, daß sie den höchsten Erhebungen der deutschen Mittelgebirge entspricht. Diese sind also im Winter sehr wolken- und nebelreich.

Determann hat hierüber genaue Zusammenstellungen gemacht. Danach war die Zahl der Nebeltage, die er als Maß wählte, im Mittel einer zehnjährigen Periode (1886—1895) in den sechs Herbst- und Wintermonaten folgende:

Schneekoppe (1600 m) . . .	134.3	Nebeltage in 6 Wintermonaten
Brocken (1140 m) . . .	149.8	„ „ „ „
Inselsberg (915 m) . . .	133.0	„ „ „ „
Schmücke (911 m) . . .	100.0	„ „ „ „

Demgegenüber hat der Rigi-Gipfel (1800 m) nur 69.3 und Sils Maria (1810 m) im Engadiner Hochtal gar nur 8.3 Nebeltage!

Mit der Trockenheit der Luft im Höhenklima hängen bekannte ärztliche Erfahrungen zusammen. Nässende Hautausschläge pflegen schnell zu trocknen und in Heilung überzugehen, ebenso auch fließender Schnupfen und mit Absonderung einhergehende Luftröhrenkatarrhe sich zu bessern.

Durch sie erklärt sich auch die im Hospiz des großen St. Bernhard gemachte Erfahrung, daß die in den Schneewehen des Winters oben Umgekommenen in der Leichenhalle liegen können, ohne zu faulen. Sie trocknen bald ein und mumifizieren.

Regen- und Schneebildung im Hochlande. Die Feuchtigkeitsverhältnisse der Luft sind auch von grundlegender Bedeutung für einen weiteren wichtigen Klimafaktor, für die Niederschlagsmengen, für Tau-, Reif-, Regen- und Schneebildung.

In allen Fällen handelt es sich um Kondensation des atmosphärischen Wassers, sei es in flüssiger, sei es in fester Form. Am bedeutsamsten ist die Bildung von Regen. Von einer genügenden Regenmenge hängt das Gedeihen der Vegetation ab, die Art und Menge des Bodenertrages und damit die Bewohnbarkeit ganzer Erdstriche. Hygienisch ist der Regen — mehr übrigens noch der Schnee — dadurch wichtig, daß er die Staubteilchen der Luft niederschlägt, daß er die Luft von Sand, von Ruß, von organischen Bestandteilen, speziell auch von niedersten Lebewesen, Bakterien, befreit, daß er sie reinigt. Diese Bedeutung der Niederschläge kommt allerdings im wesentlichsten für Großstädte und deren Umgebung, weniger für das offene Land und das Gebirge in Betracht. — Aber nicht nur ein Zuwenig, auch ein Zuviel an Niederschlägen ist vom Übel. Wie die Pflanze zu ihrem Gedeihen ein genügendes Maß an Sonne und Trockenheit braucht, das nicht allzusehr verkürzt werden kann, so ist auch der Organismus des Menschen einer Atmosphäre angepaßt, die nicht längere Zeit hindurch mit Wasserdampf gesättigt sein darf.

Die Gebirge üben nun auf die Niederschlagsbildung einen eigenartigen Einfluß. Die zu ihnen hinströmende Luft findet hier einen Widerstand, sie wird gezwungen, an den Bergen aufwärts zu strömen. Dabei kommen die Luftmassen unter immer niedrigeren Luftdruck, sie dehnen sich infolgedessen aus, kühlen sich dabei ab, werden relativ immer feuchter, bis schließlich bei genügender Abkühlung der Sättigungspunkt erreicht wird und eine Kondensation des Wasserdampfes in flüssiger Form beginnt.

So wirken die Berge also direkt wolken- und regenbildend. Man kann danach im Gebirge drei übereinanderliegende Zonen unterscheiden: eine untere, noch nicht vollkommen mit Wasserdampf gesättigte, eine mittlere, mit Wasser vollgesättigte, in der es zu Wolken- und Regenbildung kommt, eine obere trockene.

Die Grenzen zwischen diesen Zonen wechseln mit der Temperatur der Luft und der Menge Wasserdampf, die sie enthält. Sie müssen also in den verschiedenen Jahreszeiten verschieden hoch liegen, im Winter tiefer als im Sommer. Sie müssen ferner tiefer liegen über einem feuchten und kühlen Erdboden, speziell also über einem mit reicher Vegetation bedeckten, als über trockenem, kahlem, felsigem.

Die Grenze, bei der die obere trockene Zone beginnt, liegt so hoch, daß sie in den deutschen Mittelgebirgen nicht erreicht wird. In ihnen nimmt die Regenmenge bis zu 1000 m Höhe dauernd zu. Sie beträgt in:

1— 200 m Höhe	58 cm
200— 700 „ „	78 „
700—1000 „ „	100 „

Interessant ist auch die Zahl der Regentage.

Wir wollen aus einer Zusammenstellung Determanns einige Zahlen wiedergeben, die die Regen- und Schneetage zusammenfassen.

Ort	Höhe in m	Zahl der Regen- und Schneetage in den 6 Wintermonaten
Breslau	147	57.5
Eichberg	349	68.0
Schreiberhau	637	85.4
Schneekoppe	1603	96
Glatz	286	65.5
Landeck	450	68.8
Gr. Schneeberg	1217	103.0
Liebenstein	341	23.9
Großbreitenbach	648	88.4
Inselsberg	906	101.6
Osterode	234	87.0
Brocken	1148	110.0
Basel	278	69.9
Davos	1560	61.1
Sils Maria	1810	46.3

In den deutschen Mittelgebirgen nimmt also die Zahl der Tage mit Niederschlägen von der Tiefe bis zu den Gipfeln stetig zu. In den Hochtälern des Engadin dagegen befinden wir uns in der trockenen oberen Zone mit sehr wenigen Niederschlagstagen. Während daher das Klima des Engadin sich sehr gut zu Klimakuren im Winter eignet, sind die deutschen Mittelgebirge hierzu wenig zu empfehlen.

Andererseits stellen in regenarmen Gegenden die Gebirge und der durch sie erzeugte Regenfall einen günstigen Klimafaktor ersten Ranges dar. Hann hebt hervor, daß die höheren Plateaus der Wüste Sahara, der nubischen und arabischen Küste zeitweise Regenfall und damit eine gewisse Vegetation haben, daß in den Steppen Mittelasiens in gewissen Höhen Baumwuchs und Wald sich findet, der in den tieferen Regionen fehlt und nach den Beobachtungen von O. Loew soll in den

Rocky Mountains von Kolorado und der Sierra Nevada in Kalifornien alles Wüste sein, was unter 1000 m Höhe liegt, Halbwüste, was sich zwischen 1000 und 1500 m findet. Höher hinauf bedeckt sich der Boden mit Vegetation „und bei 2000—2400 m treten großartige Urwälder mit fetten Gründen und zahlreichen Quellen auf“ — Wirkungen der durch die Gebirge verursachten atmosphärischen Niederschläge.

Für die Menge des Regenfalles spielt aber nicht nur das Gebirge an sich eine Rolle. Sehr wesentlich ist auch seine Lage und seine Richtung. Meist sind die Gebirge den vorherrschenden Luftströmungen quer vorgelagert. Handelt es sich nun um feuchte Luftströmungen, also um solche, die vom Meere her oder aus dem Äquator näheren Breiten kommen, so verhalten sich die beiden Seiten der Gebirge betreffs der Niederschlagsmengen ganz entgegengesetzt. Es gibt dann eine feuchte Seite, die den Winden zugewendete, und eine trockene, die von ihnen abgewendete. Das erklärt sich daraus, daß sich in den an der Windseite aufsteigenden und sich dabei abkühlenden Luftschichten der Wasserdampf kondensiert und diese Luft nun trocken auf der entgegengesetzten Seite von den Höhen ins Tal fällt. Sie langt unten um so trockener an, da sie sich beim Niedersinken erwärmt.

Die Alpen haben an ihrer nördlichen und südlichen Außenseite keine deutliche Differenz der Regenverteilung, weil sie ziemlich parallel mit den Regenwinden verlaufen, nicht quer gegen sie gelagert sind. Dafür sind die Täler, die von ihnen eingeschlossen werden, regenarm. Deutlich zeigt sich aber das Vorherrschen einer regenreichen und regenarmen Seite in Norwegen, wo die Regenmenge an der Westküste 100—190 cm, an der Ostküste nur 40—50 cm ausmacht. Die Westseite von Schottland hat 120—300 cm Regen, die Ostseite nur 60—80 cm. Weitere interessante Beispiele aus Java und aus Australien findet man bei Hann.

Schon bei unseren Mittelgebirgen: Harz, Thüringer Wald, Schwarzwald zeigt sich eine deutliche Scheidung in eine feuchte und eine trockene Seite (eine „Luv“- und eine „Lee“-Seite) und es ist ja bekannt, wie sehr die verschiedene Niederschlagsmenge das Klima, unter sonst gleichen klimatischen Bedingungen stehender Orte beeinflusst.

Im Anschlusse an das Vorstehende sei noch kurz das Verhalten der sog. Schneegrenze besprochen. Als Schneegrenze bezeichnet man die Höhe, bei der der „ewige Schnee“ beginnt, bei der auch im Sommer keine vollkommene Schneeschmelze mehr eintritt.

Sind schon für die Regenmenge lokale Bedingungen von Wichtigkeit, so ist das noch mehr für die Schneegrenze der Fall. Im allgemeinen muß sie sich nach der Wärmemenge, die die Sonnenstrahlung spendet, und nach der Masse der Niederschläge richten, die beide in einander entgegengesetztem Sinne wirken. Beide hängen, wie die vorausgehenden Abschnitte gezeigt haben, sehr wesentlich von der Exposition gegen die Sonne, der Lage gegen warme oder kalte, trockene oder feuchte Winde, der Enge und Tiefe der Täler, der Neigung der Talwände ab. — Daher ist die Schneegrenze selbst an nahe beieinander gelegenen Orten eine verschiedene. Im allgemeinen liegt sie auf unserer nördlichen Halbkugel an den südlichen Abhängen höher als an den nördlichen, infolge der stärkeren Insolation an ersteren. In den Alpen liegt sie bei 2700 m auf der Nordseite, bei 2800 m auf der Südseite. Ist das Verhalten ein anderes, dann ist es gewöhnlich durch die Differenz in der Menge

der Niederschläge bedingt. So am Kaukasus, wo die Schneegrenze an den Südabhängen 300—400 m tiefer liegt, als an den Nordhängen. Am Himalaja reicht sie an den südlichen Abdachungen sogar um 500 m tiefer, trotz der höheren Mitteltemperaturen.

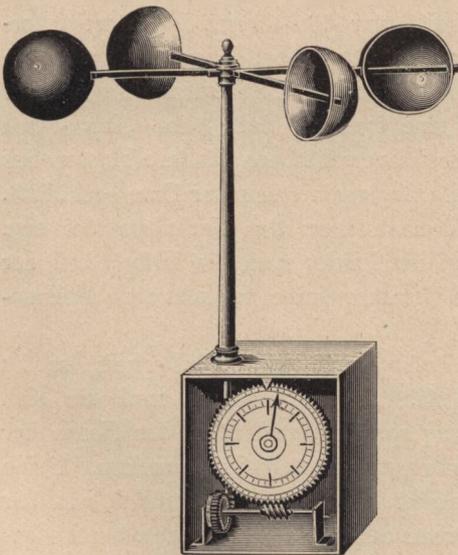
Die Schneebedeckung hat eine nicht geringe klimatologische Bedeutung. Die Luft über dem Schnee erwärmt sich nicht, es bilden sich also keine aufsteigenden Luftströmungen, keine lokalen Winde; das Wetter bleibt ruhig und heiter. Auch in dieser Hinsicht sind die Hochtäler der Alpen, speziell die des Engadins, vor unseren Mittelgebirgen bevorzugt, denn in ihnen bleibt der Schnee von Mitte oder Ende November bis in den April hinein liegen, während er in unseren Gebirgen höchstens $2\frac{1}{2}$ —3 Monate andauert. Die Zeit der Schneeschmelze ist hygienisch ungünstig, die Luft ist feucht, der Boden durchnäßt. Wesentlich ist hierbei, ob das Schmelzwasser leicht abfließen kann und der Boden leicht zu trocknen vermag. Dann gehen wenigstens die mit ihr verbundenen Schädlichkeiten bald vorüber.

Die Luftbewegungen im Gebirge. Es ist schon wiederholt von den Beziehungen, die zwischen den Gebirgen und den Bewegungen der Luft bestehen, die Rede gewesen. Wir wollen hier im Zusammenhange kurz die Eigentümlichkeiten der Windverhältnisse in den Bergen betrachten.

Eine besonders klare Darstellung und eine leicht verständliche Erklärung hat Hann gegeben. Nach ihm ist der Einfluß des Gebirges auf die Luftströmungen ein doppelter: „Es ruft einerseits selbständig gewisse Luftströmungen hervor, andererseits modifiziert es die allgemeinen Luftströmungen in mannigfacher Weise.“

Analog wie der Gegensatz von Wasser und Land an der Meeresküste das Wehen von Land- bzw. Seewinden veranlaßt, ruft das Gebirge Winde hervor, die als Tag- und Nachtwinde in einander entgegengesetzter Richtung dahinziehen. Die Tagwinde sind talaufwärts zu den Gipfeln hin, die Nachtwinde sind umgekehrt von den Gipfeln talabwärts gerichtet. Am ausgesprochensten ist das in den Gebirgstälern, aber auch schon in den Gebirgen nahen Niederungen machen sich solche Luftströmungen bemerkbar.

Der Vorgang erklärt sich durch die Erwärmung, die die Atmosphäre und der Erdboden mit dem Sonnenaufgang erfahren, und durch die Abkühlung, die mit Sonnenuntergang eintritt. Erwärmt sich die Luft unter der Wirkung der Sonne, so dehnt sie sich aus, stärker, entsprechend der größeren Luftsäule, über dem Tale als an den Berghängen. Dadurch steigt der Luftdruck über den Tälern mehr als an den Berghängen. Die Flächen gleichen



Anemometer zur Messung der Windstärke.

Luftdruckes bleiben infolgedessen nicht horizontal, sondern werden gegen das Gebirge geneigt und, dem Gefälle entsprechend, fließen die Luftmassen gegen das Gebirge hin. Dazu kommt, daß infolge der Wärmestrahlung von den Bergwänden die ihnen anlagernde Luft sich ihrerseits erwärmt, ausdehnt und emporsteigt. — Beide Vorgänge gemeinsam bringen so den dem Gebirge zuströmenden Tagwind zustande.

Umgekehrt ist es bei Nacht. Die Höhenluft erfährt eine stärkere Abkühlung als die in der Tiefe, besonders wo sie Berglehnen, die durch Strahlung viel Wärme abgeben, anliegt. Mit der Abkühlung kontrahiert sie sich, wird schwerer und sinkt, der Schwerkraft folgend, zu Tale.

Das Auftreten der Tag- und Nachtwinde ist so typisch und an vielen Orten so auffällig, daß die Winde zum Teil besondere Namen erhalten haben. So am Gardasee der Tagwind, der gegen Norden hin zum Gebirge weht: Ora, der Nachtwind, der vom Gebirge kommt: Paesano. Oder am Comersee der Tagwind: Brevia, der Nachtwind: Tivano. Bekannt sind auch derartige Winde in den Nebentälern des Rheins: der Wisperwind, der Höllentalwind.

Diese Lokalwinde sind besonders dann gut ausgesprochen, wenn keine stärkeren allgemeinen Luftströmungen herrschen. Diese lassen die ersteren nicht zur Ausbildung kommen. Daher gilt, wie Hann erwähnt, in den Alpentälern mit einem gewissen Rechte die populäre Wetterregel, daß das Ausbleiben des typischen Tag- und Nachtwindes auf einen Witterungsumschlag hindeutet.

Die auf- und absteigenden Lokalwinde haben sowohl eine klimatologische wie eine hygienische Bedeutung.

Klimatologisch sind sie darum wichtig, weil von ihnen die Verteilung der Feuchtigkeit der Atmosphäre, der Dunst-, Nebel- und Niederschlagsbildung abhängig ist. Die aufsteigenden Tagwinde bringen feuchte Luft aus der Tiefe herauf, erhöhen also den Wassergehalt der Höhenluft. Mit dem Aufsteigen kühlt die Luft sich ab, so daß es leicht zur Kondensation des in ihr enthaltenen Wasserdampfes kommen kann. So erklärt sich die von Sonnenaufgang bis gegen Sonnenuntergang hier fortschreitend zunehmende Dunstbildung und Trübung der Luft und die in den Nachmittagsstunden häufige Wolken- und Regenbildung. — Sie ist der Grund für die allbekannte Erfahrung, daß die Aussichten auf Bergspitzen des Morgens am klarsten und schönsten sind, im Laufe des Tages jedoch immer beschränkter werden und durch Nebel- und Wolkenbildung ganz verhüllt werden können.

Die Nachtwinde führen demgegenüber den Wasserdampf der Atmosphäre zu Tale. Die Luft der Höhen wird trocken, die in der Tiefe feucht und zu Nebelbildung geneigt.

Die hygienische Bedeutung der lokalen Winde beruht darauf, daß sie zu einer ergiebigen Durchlüftung der Täler führen, und damit auf die Temperatur und Feuchtigkeit der Atmosphäre regulierend einwirken.

Neben der Bildung lokaler Winde hat, wie schon erwähnt, das Gebirge die Fähigkeit, die allgemeinen, ein größeres Gebiet betreffenden und auf den herrschenden Luftdruckverhältnissen beruhenden Luftströmungen in eigentümlicher Weise zu modifizieren. — Die Winde, welche auf diese Weise zustande kommen, gehören der Gruppe der sog. Fallwinde an.

Man versteht darunter warme, trockene, meist mit großer, oft orkanartiger Heftigkeit von den Höhen ins Tal stürzende Winde. Sie sind in den Tälern der nördlichen Schweiz am längsten bekannt, sind dort zuerst genauer studiert worden und haben dort den Namen Föhn erhalten. Die Richtung des Föhns ist aus Südost oder aus Süden, seltener aus Südwesten. Darum werden die Alpentäler, die diese Richtungen einhalten, am meisten von ihm betroffen. Am häufigsten und intensivsten wird er im Illtal (Vorarlberg) beobachtet, dann in den oberen Rheintälern, im Reußtale, im unteren Rhonetal. Die von Ost nach West verlaufenden Täler, wie das obere Wallis und das Aaretal zwischen Brienz und Thun, werden nicht von ihm heimgesucht.

Auf Grund der Wärme und Trockenheit des Föhnwindes nahm man früher an, er komme aus dem nördlichen Afrika, aus der Sahara, über das Mittelmeer her. Hann hat gezeigt, daß das nicht der Fall ist, daß er vielmehr an der Gebirgskette der Alpen seine charakteristischen Eigentümlichkeiten annimmt und in seiner Eigenschaft als Fallwind auf die nördlichen Alpentäler beschränkt ist. Nur in ihnen ist der Wind heiß und trocken, auf der Südseite der Alpen dagegen und auf den Kämmen ist er feucht und kühl und im Gegensatz zu der Hitze in den Tälern kommt es auf den Kämmen nicht selten zu Regen- oder gar Schneefall.

Einige Beispiele sollen zeigen, in wie hohem Grade die Temperatur und Trockenheit der Luft durch den Föhn gesteigert werden kann.

So war in Bludenz (Vorarlberg) am 25. November 1870

um 6^h früh: die Temp. 17.3°, die relative Feuchtigkeit der Luft 13^o/_o, Wind aus SO
 „ 2^h mittags: „ „ 22° „ „ „ „ 10^o/_o

In Altdorf war im Januar 1877

um 6^h früh: die Temp. 13.8°, die relative Feuchtigkeit der Luft 31^o/_o, Wind aus S
 „ 2^h mittags: „ „ 15.8° „ „ „ „ 29^o/_o

In Altstätten war im Januar 1877

um 6^h früh: die Temp. 15.1°, die relative Feuchtigkeit der Luft 25^o/_o, Wind aus SSW
 „ 2^h mittags: „ „ 16.0° „ „ „ „ 29^o/_o

Wir haben also mitten im Winter geradezu sommerliche Wärme!

Für die charakteristische Beschaffenheit der Föhnwinde, ihre Wärme und Trockenheit, hat Hann eine einleuchtende Erklärung gegeben und beide mit bekannten physikalischen Gesetzen in Beziehung gebracht. Die von Süden her wehenden Winde steigen an der Mauer der Alpen aufwärts. Dabei kühlen sie sich so sehr ab, daß ihre Feuchtigkeit sich als Regen oder in höheren Regionen als Schnee kondensiert. Die so eines Teiles ihres Wassers beraubte und trockenere Luft steigt nun über die Käme in die nordwärts liegenden Täler nieder. Sie verdichtet sich beim Niedersinken und infolge der Verdichtung tritt eine Erwärmung ein. Diese müßte nach den Gesetzen der mechanischen Wärmetheorie je 1° C. bei 100 m Höhendifferenz ausmachen, und eine dementsprechende erhebliche Erwärmung ist nun wirklich gefunden worden. Je wärmer aber die Luft wird, um so mehr Wasser kann sie aufnehmen, um so geringer ist daher bei gleichem Wassergehalt ihre relative Feuchtigkeit. Und so kommen die Luftmassen, die auf den Kämmen noch mit Wasser gesättigt waren, nun zu 20—25^o/_o und weniger gesättigt, also sehr trocken, in den Tälern an.

Wird uns auf diese Weise die Natur des Föhnwindes verständlich, so bleibt noch die Frage zu erörtern, welches denn die Ursachen sind, die zur Ausbildung dieser Fallwinde führen. Auch hierfür hat Hann eine Erklärung gegeben.

„Wenn ein Barometerminimum im Westen oder Nordwesten der Alpen sich befindet, auf der Linie der Bai von Biscaya und Irland, so strömt die Luft über dem Alpenvorland als Südost- oder Südwind gegen den Ort kleinsten Luftdruckes hin, aber auch die Luft aus den Alpentälern wird gegen diese Stelle hingezogen, gleichsam aus den Tälern herausgesaugt. Da die Alpenmauer hier das direkte Zufießen aus Süden hemmt, so muß die Luft aus der Höhe, von den Alpenkämmen herab, zum Ersatz herbeifließen.“

Ist diese rein physikalische Erklärung zutreffend, so steht zu erwarten, daß föhnartige Winde auch anderwärts als in den Nordalpen zustande kommen, wenn die nötigen meteorologischen und lokalen Bedingungen gegeben sind. Das ist auch tatsächlich der Fall. Befindet sich einmal ein barometrisches Minimum im Südosten der Alpen anstatt im Nordwesten, dann kommt es in den Tälern am Südabhang der Alpen zu warmen, trockenen, aus Norden wehenden Winden. Solche werden am Gardasee, am Comer-, Luganersee, im Bergell beobachtet.

Auch andere Gegenden der Erde zeigen dieselbe Erscheinung, so die Nordhänge der Pyrenäen, Westgrönland, das Südufer des Kaspischen und Schwarzen Meeres.

Selbst unsere norddeutschen Mittelgebirge haben, wenn auch in abgeschwächter Weise, föhnartige Winde. Sie sind im Riesengebirge, im Thüringer Wald und Harz bekannt.

Die folgende Zusammenstellung, die Determann entnommen ist, soll das illustrieren:

Riesengebirge. November 1894, 7^h früh:

	Höhe in m	Temperatur	Relat. Feuchtigkeit
Schneekoppe	1603	- 3.0°	63%
Wang	873	+ 5.7°	20%!
Schreiberhau	633	+ 7.5°	9%!

Thüringer Wald. Februar 1894, 2^h mittags:

	Höhe in m	Temperatur	Relat. Feuchtigkeit	
Meiningen (Südseite)	311	6.3°	91%	} Wind aus SW
Liebenstein (Südseite)	350	6.3°	90%	
Inselsberg (Gipfel)	906	2.0°	100%	
Stadtilm (Nordseite)	364	7.2°	78%	
Erfurt (Nordseite)	215	8.9°	74%	

Harz. Januar 1896, 7^h früh:

	Höhe in m	Temperatur	Relat. Feuchtigkeit	
Nordhausen (Südseite)	219	1.2°	100%	} Wind aus W
Klaustal (Südseite)	592	0.0°	100%	
Brocken (Gipfel)	1142	- 1.4°	100%	
Ilseburg (Nordseite)	280	5.3°	78%	
Quedlinburg (Nordseite)	132	5.8°	85%	

Die sehr erhebliche Trockenheit und die Steigerung der Temperatur ist besonders beim Föhn des Riesengebirges bemerkenswert. Im Harz und Thüringer Wald ist beides weniger ausgeprägt. Dafür lassen die Tabellen sehr schön den Gegensatz von Nord- und Südseite des Gebirges, vornehmlich hinsichtlich der Luftfeuchtigkeit erkennen.

In den Alpen weht der Föhn vorwiegend in den Herbst- und Wintermonaten, seltener im Sommer. Nach einer Übersicht Hanns kommen in der Nordschweiz 30—40 Föhntage auf das Jahr, und sie verteilen sich folgendermaßen:

	Zahl der Föhntage.				
	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Jahr
Nordschweiz . . .	9.1	17.3	4.9	9.6	40.9
Vorarlberg (Bludenz)	10.6	8.2	3.1	10.0	31.9

Für die Täler, in denen der Föhn häufiger auftritt, hat er eine große klimatische Bedeutung, eine um so größere als er hauptsächlich in der kalten Jahreszeit einsetzt. Er erhöht durch die Wärme und Trockenheit, die er bringt, die mittlere Temperatur und setzt die mittlere relative Feuchtigkeit der Luft herab. Er fördert so das Gedeihen der Vegetation, gestattet Weinbau und Maiskultur auch noch in höheren Lagen. Er führt zu schneller und früher Schneeschmelze und wirkt nach Hann in 24 Stunden so viel, wie die Sonne allein in 14 Tagen.

So günstig aber der Föhn nach dieser Richtung hin wirkt, so hat er andererseits doch auch seine Nachteile. Mensch und Tier fühlen sich nicht wohl beim Wehen des Föhns. Die plötzliche enorme Temperatursteigerung, die er herbeiführt, wirkt ermattend und niederdrückend. Diese Wirkung ist insofern auffallend, als ja die große Trockenheit eigentlich den Beschwerden entgegenwirken müßte. — Eine andere Erklärung der Föhnwirkung wird später diskutiert werden.

Noch in anderer Hinsicht ist der Föhn von Bedeutung. Jedem Bergsteiger ist bekannt, das beim Föhn die Aussichten in den nördlichen Alpen besonders klar und farbenprächtig sind. Die Trockenheit der Luft und ihre Reinheit, eine Folge der Wasserdampfkondensation auf der Südseite, sind wohl die Ursache dieser Erscheinung. Leider kann man sich der Naturschönheiten nicht lange erfreuen. Da der Föhn durch eine im Westen liegende Depression bedingt ist, folgt ihm alsbald trübes, regnerisches Wetter.

Ein zweiter Fallwind verdient noch eine kurze Erwähnung, die sog. Bora, welche die nördlichen Küsten des Adriatischen Meeres: Dalmatien, Istrien, das Karstgebiet heimsucht.

Auch sie weht meist in den Wintermonaten, im November, Dezember, Februar, März. Dabei stürzen vom Plateau des nordwestlichen Balkangebirges die Luftmassen oft orkanartig als Nordostwind in die Tiefe. In der Höhe haben sie sich enorm abgekühlt, zuweilen erreicht ihre Temperatur -20° .

Sie erwärmen sich zwar auch beim Niedersinken durch Verdichtung, aber die Höhe, aus der sie herabsinken, ist zu gering, als daß sie unten als warmer Wind ankommen sollten. Sie behalten ihre niedrige Temperatur und bringen so starke Abkühlung, daß häufig der Wasserdampf der Luft sich als Eis niederschlägt, das alles mit einer Eiskruste überzieht.

Die Bora ist in klimatischer wie hygienischer Hinsicht von ungünstigem Einfluß.

Wir haben bisher die Beziehung zwischen Gebirge und Luftbewegung nur nach der Richtung hin betrachtet, daß bestimmte Winde erzeugt, andere in ihrem Verhalten geändert werden. Unsere Betrachtung würde einseitig sein, wenn wir nicht auf eine zweite, dieser ersten gewissermaßen entgegengesetzte Bedeutung des Gebirges hinweisen wollten, nämlich die: Schutz vor Winden zu gewähren.

In von Bergen umschlossenen Tälern ist die Luftbewegung eine schwächere als in der freien, offenen Ebene, und wenn man in ihnen eine üppigere Vegetation,

einen kräftigeren Baumwuchs findet, so spielt neben den Verschiedenheiten der Sonnenbestrahlung und der Feuchtigkeit auch die geringere Luftbewegung eine Rolle. Stärkere Winde sind der Entwicklung der Vegetation schädlich und es ist bekannt, daß in Gegenden mit häufigen und starken Winden junge Anpflanzungen nur schwer fortkommen.

In klimatologischer Hinsicht besonders bedeutungsvoll ist der Effekt, den große Gebirgsketten auf die ihnen benachbarten Gebiete des Flachlandes äußern. Gebirge, zumal außerhalb der Tropen, die in westöstlicher Richtung verlaufen, stellen richtige Klimascheiden dar. Sie halten die von den Polargegenden kommenden kalten Luftströmungen ab und die Klimaunterschiede zwischen den Nord- und Südabhängen sind ganz auffallende.

Auf der nördlichen Halbkugel ist es die Südseite der Gebirge, die klimatisch die begünstigste ist. Wie schroff und unvermittelt der Übergang ist, kommt einem heutzutage besonders zum Bewußtsein, wenn man unter Benutzung einer der zahlreichen, die Alpen von Nord nach Süd durchquerenden Bahnen in der kälteren Jahreszeit aus dem nordischen Winter heraus in wenigen Stunden sich in das milde italienische Klima versetzt sieht, oder im Sommer für das gemäßigte Klima der Nordalpen das fast subtropische der südlichen Abhänge eintauscht.

Diese subjektiven Beobachtungen werden durch die meteorologischen Feststellungen bekräftigt und erweitert. Der Windschutz, den die Nähe großer Gebirgsmassen gewährt, bewirkt es, daß die Orte am Südfuße der Alpen eine höhere Jahres- und Wintertemperatur haben als die zwar südlicher, doch ungeschützt gelegenen Orte der oberitalienischen Tiefebene. So ist die Wintertemperatur bei der Villa Carlotta am Comersee um 2.4° , die von Riva am Gardasee um 1.5° höher als die von Mailand. Sogar Bozen hat noch ein etwas höheres mittleres Jahresminimum als Mailand.

Der Lage am Südfuße der Seealpen verdankt die Riviera ihre einzigartigen klimatischen Verhältnisse. Alle Italienfahrer wissen, daß, wenn sie sich im Frühjahr von der Riviera aus weiter nach Süden begeben, sie in Oberitalien und selbst noch in Mittelitalien unter weit ungünstigere Temperaturverhältnisse kommen. Erst Unteritalien — Neapel — ist in seinem Klima dem der Riviera wieder gleich.

Bedeutender noch als die Wirkung der Alpenkette ist die des mächtigen Himalaja. Die Temperaturdifferenzen zwischen den Orten, die in Nordindien unter dem Schutze des Gebirges liegen, und den in gleicher geographischer Breite, doch ungeschützt gelegenen Südchinas sind sehr erhebliche. So ist die Wintertemperatur in Kanton (China) — nach Hanns Angaben — 12.5° , die Kalkuttas (Nordindien) 20.9° . Die Differenz beträgt 8.4° ; dabei liegen beide fast auf demselben Breitengrade ($23^{\circ} 12'$ zu $22^{\circ} 33'$). — Die Temperatur Schanghai's ($31^{\circ} 12'$) beträgt im Winter 3.9° , die Lahores ($31^{\circ} 34'$) 14.0° . Hier ist sogar eine Temperaturdifferenz von 10° vorhanden!

Für den Wert hoher, westöstlich ziehender Gebirge als Klimascheiden spricht noch eine andere Beobachtung. In den Kontinenten, in denen die Gebirge eine nordsüdliche Richtung haben, wie in Nordamerika, ist den Polarwinden kein Wall entgegengesetzt. Sie können weit nach Süden vordringen und dem Äquator nicht mehr sehr fernen Breiten erhebliche Kälten zutragen. Bis in die Südstaaten der nordamerikanischen Union und zum Golf von Mexiko machen sich die Wirkungen der Polarwinde in starken winterlichen Kälteperioden geltend.

Die nordamerikanischen Gebirge haben dafür aber eine andere klimatische Bedeutung. Sie verlaufen längs der Küste des Stillen Ozeans und lassen die kühlen Seewinde nicht ins Innere dringen. Sie bewirken so, daß im Sommer trotz der Nähe des Meeres hohe Temperaturen sich ausbilden können, wie das besonders von Kalifornien bekannt ist.

Die chemische Beschaffenheit und Reinheit der Höhenluft. Wir haben uns bisher ausschließlich mit dem physikalischen Verhalten der Höhenluft beschäftigt und zwar darum, weil ihre Besonderheiten in meteorologischer wie klimatischer Beziehung allein auf ihrer eigentümlichen physikalischen Beschaffenheit beruhen. Ihr gegenüber tritt das chemische Verhalten ganz in den Hintergrund.

Mit der beim Aufstieg in die Höhe allmählich fortschreitenden Abnahme des Luftdruckes muß natürlich das Gewicht der die Luft zusammensetzenden Gase, und zwar im gleichen Verhältnis wie der Luftdruck, abnehmen. Eine physiologische Bedeutung hat diese Abnahme nur für einen Bestandteil der Luft, für den Sauerstoff. Bei der großen Wichtigkeit dieses Faktors für das Leben in der Höhe soll den Wirkungen des verminderten Sauerstoffgehaltes der Luft ein eigenes Kapitel (XVIII) gewidmet werden. Hier sei nur erwähnt, daß, sobald die Sauerstoffmenge der Luft unter ein bestimmtes Maß herabsinkt, die Sauerstoffzufuhr, auf die alle organischen Wesen — wenn wir von manchen niedrigsten, zur Gruppe der Bakterien gehörigen, absehen — angewiesen sind, schließlich nicht mehr ausreicht, um einen normalen Ablauf der Lebensprozesse zu ermöglichen. Die zunächst geringen Abweichungen von der Norm steigern sich bei zunehmendem Sauerstoffmangel mehr und mehr, bis schließlich ein wohlcharakterisiertes Krankheitsbild sich ausbildet, das man mit dem Namen der Bergkrankheit bezeichnet. Diese soll bei dem Interesse, das ihre Ursachen und ihr Auftreten in wissenschaftlicher und auch praktischer Hinsicht bieten, gleichfalls eine ausführliche Besprechung in einem eigenen Kapitel (XIX) erfahren.

Die Zusammensetzung der Luft jedoch ändert sich, abgesehen vom Wasserdampfgehalt, der bereits Erwähnung gefunden hat, mit der Höhe nicht. Das zeigen Bestimmungen des Sauerstoffs in verschiedenen Höhen. Seine Menge beträgt:

am Mittelländischen Meer	20.91—20.98%	Sauerstoff
in Berlin	20.92—20.96%	„
in Genf	20.91—20.99%	„
in mittleren Höhen	20.95—20.99%	„
in 4560 m Höhe	20.87—20.89%	„

Die atmosphärische Luft stellt ein Gemenge mehrerer Gase dar. Neben dem Sauerstoff enthält sie Stickstoff zu im Mittel 78.8%. In dem als Stickstoff bezeichneten Anteil ist noch der Gehalt an Gasen inbegriffen, die neuerlich erst entdeckt und in geringer Menge vorhanden sind, besonders der an Argon, das sich zu fast 1% findet.

Ein weiterer konstanter Bestandteil ist dann die Kohlensäure, in einer Menge von 0.03%; endlich ist der Wasserdampf zu nennen, der in den unteren, den belebten Organismen allein zugänglichen Schichten der Atmosphäre nie vollkommen fehlt. Bei 15° und einer Sättigung zu 75% macht seine Menge im Meeresniveau 1.25% aus.

Daneben findet man Spuren von Ammoniak, Salpetersäure, salpetrige Säure, die jedoch als zufällige, wenn auch häufige Bestandteile bezeichnet werden müssen.

Sie entstammen dem Boden oder den Rauchgasen, die bei der Verbrennung organischer Substanzen entstehen. Auch beim Gewitter werden sie gebildet. Bei ihrer äußerst geringen Menge kommt ihnen weder eine klimatische noch hygienische Bedeutung zu.

Hoher Wert wurde früher der Gegenwart eines Stoffes beigemessen, der dem Sauerstoff sehr nahe steht, dem Ozon. Es ist das bekanntlich ein modifizierter Sauerstoff, bei dem, der allgemeinen Annahme nach, nicht zwei, sondern drei Atome zu dem Komplex eines Moleküles zusammentreten. Dieses größere Molekül ist aber viel labiler als das gewöhnliche, es spaltet leicht sein drittes Atom wieder ab, und das freigewordene Atom ist zu energischen chemischen Wirkungen befähigt. So erklärt man sich die hohen oxydierenden Eigenschaften des Ozons, die sicher festgestellt sind. — Nicht erwiesen, vielmehr nur Hypothese ist es dagegen, wenn man auf Grund eben dieser starken Oxydationskraft annimmt, daß die Heilsamkeit einer Luft von ihrem mehr oder weniger hohen Ozongehalt abhängt und daß speziell die hygienische Bedeutung der Waldesluft, der Seeluft und auch der Luft im Hochgebirge durch ihren höheren Ozongehalt bedingt sei.

Wie man das Ozon künstlich durch sog. dunkle elektrische Entladungen in großen Mengen herstellt, so ist der Ozongehalt der Atmosphäre durch die in ihr vor sich gehenden elektrischen Vorgänge bedingt. Nach Gewittern findet man ihn erheblich gesteigert; auch intensive Belichtung und Verdunstung über großen Wasserflächen vermehren ihn. Im Mittel enthält 1 cbm Luft des Tieflandes etwa 1—2 mg Ozon.

Dem Ozon in seinen Wirkungen nahe steht eine ihm auch chemisch verwandte Substanz, das sog. Wasserstoffsperoxyd, das durch Anlagerung eines Sauerstoffatoms an ein Molekül Wasser entsteht. Auch das Wasserstoffsperoxyd spaltet dieses Sauerstoffatom leicht wieder ab und vermag oxydierende Wirkungen hervorzubringen. Es findet sich neben dem Ozon in der Atmosphäre, im wesentlichen in den atmosphärischen Niederschlägen. Seine Menge ist nur sehr gering; der Liter Niederschlag enthält etwa 0.18 mg.

Ist auch eine direkt die Gesundheit fördernde Wirkung des in der Atmosphäre enthaltenen Ozons höchst zweifelhaft, und speziell ein Einfluß auf die Verbrennungsprozesse im menschlichen und tierischen Körper ganz unbewiesen, so könnte doch ein indirekt günstig wirkender Einfluß angenommen werden. Durch seine oxydierende Kraft kann das Ozon zerstörend auf organische Verbindungen wirken. Es greift die in der Luft verteilten organischen Staubteilchen und sonstige organische Stoffe, die den Lebensprozessen der Tiere und des Menschen oder der gewerblichen Tätigkeit des letzteren entstammen, an, es macht sie unschädlich, es reinigt also die Luft von ihnen.

Daß die Höhenluft arm an organischen Teilen, speziell an niedrigsten Lebewesen ist, haben direkte Zählungen der Luftbakterien ergeben. Pasteur schon fand nur eine geringe Zahl bakterieller Keime am Montblanc, Miquel gab sogar an, daß die Luft in 2000 m Höhe ganz bakterienfrei sei, während Freudenreich in 2336 m Höhe ein annäherndes Fehlen, nämlich nur 6—7 Keime im Kubikmeter Luft fand.

Regnard⁵⁴⁾ gibt nach Untersuchungen Freudenreichs folgende interessante Vergleichsdaten für die Zahl der Keime in 10 cbm Luft:

Höhe	2000—4000 m =	0
Thuner See	500 „ =	8
Höhe des Hotel Bellevue am Thuner See	=	25
Zimmer des Hotels	=	600
Park von Montsouris	ca. 50 „ =	7600
Straße in Paris	=	55 000

Man darf diese Keimfreiheit keineswegs in erster Linie auf die keimvernichtende Tätigkeit des Ozons schieben, vielmehr spielt die Entwicklung des organischen Lebens, die geringe Zahl menschlicher Ansiedelungen eine wesentliche Rolle. — Was man an organischem Material in der Höhenluft findet, sind meist pflanzliche Bestandteile: Pollen und Blütenstaub.

Man hat mit dem Mangel an niedersten Lebewesen eine in manchen Teilen der Alpen sehr bekannte Erscheinung in Zusammenhang gebracht, nämlich die auffallend geringe Neigung zur Fäulnis organischen Materials. Im Engadin benutzt man dies Verhalten zum Zwecke der Konservierung frischen Fleisches, das in Strähnen geschnitten ins Freie gehängt wird. Hier trocknet es sehr schnell infolge der hohen Verdunstung in der dünnen, trockenen Luft und wird dadurch zur Fäulnis unfähig. — Was hier fäulniswidrig wirkt, ist also mehr die Trockenheit als die Keimfreiheit der Luft.

In demselben Sinne sind wohl auch die interessanten Beobachtungen zu deuten, über die Dr. Bernhardt, Arzt in Samaden (Engadin 1800 m), berichtet hat. Er fand nämlich, daß die Heilungstendenz von Wunden in Samaden viel größer ist als im Tieflande und daß eingreifende operative Eingriffe leichter ertragen werden und die Gefahr einer Infektion weit geringer ist.

Aber die sprichwörtlich gewordene Reinheit der Höhenluft beruht nicht nur auf dem Mangel organischer Keime, auch andere Verunreinigungen, die in reichem Maße die Luft des bewohnten Tieflandes erfüllen, sind spärlich vorhanden. Es fehlen die mannigfachen gas- oder staubförmigen Produkte, die den Rauchfängen, besonders der Fabriken und technischen Etablissements, entströmen: vor allem Kohlenruß, dann größere Mengen von Kohlenoxyd, Schwefel- und schweflige Säure, auch Kohlenwasserstoffe verschiedener Art.

Die Reinheit der Höhenluft in Verbindung mit ihrer Wasserarmut führen zu einem hohen Grade von Durchsichtigkeit und diese erklärt die vielbemerkte Erscheinung, daß die Schätzung von Entfernungen sehr schwer ist. Gegenstände, die viele Kilometer weit entfernt sind, werden noch so deutlich gesehen, als ob sie sich noch nicht einen Kilometer weit befänden.

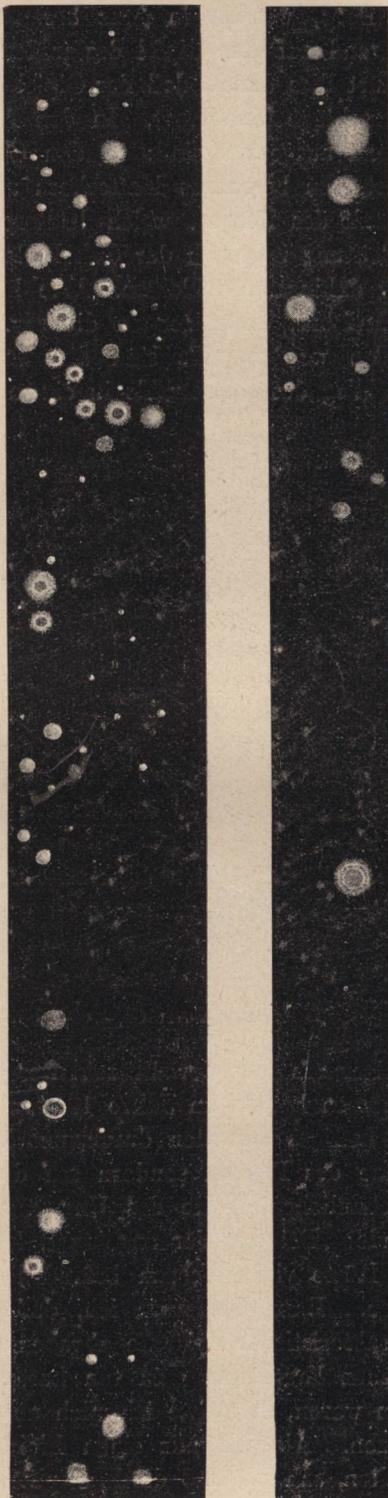
Man kann die Zahl der in der Luft enthaltenen Staubteilchen feststellen mit Hilfe des von Aitken angegebenen Stäubenzählers. Der Apparat beruht darauf, daß nach Aitkens Theorie und experimenteller Feststellung bei der Kondensation der atmosphärischen Feuchtigkeit die Staubteilchen die Zentra für die sich bildenden Wassertröpfchen bilden. Soviel Staubteilchen, soviel Wassertröpfchen. Er hat an seinem oberen Ende einen flachen Zylinder, der durch befeuchtetes Fließpapier feucht erhalten wird. In ihn wird zunächst durch Watte filtrierte staubfreie Luft eingesaugt, dann läßt man eine bestimmte Menge der zu untersuchenden Luft in ihn eintreten und verdünnt diese mit Hilfe einer Luftpumpe. Die Luft kühlt sich dabei ab; sie wird auf den Taupunkt gebracht und nun scheiden sich soviel Wassertröpfchen ab, wie Staub-

partikelchen vorhanden sind. Sie fallen auf eine quadrierte Glasplatte und werden mit Hilfe einer an der Oberseite des Zylinders befindlichen Lupe gezählt.

Für die Zählung der in der Luft enthaltenen Keime hat Hesse ein vielbenutztes Verfahren ausgebildet. Man läßt gemessene Mengen der zu untersuchenden Luft durch $\frac{3}{4}$ bis 1 m lange, einige Zentimeter weite Röhren so langsam hindurchstreichen, daß in 2—3 Minuten ein Liter Luft hindurchgeht. Die innere Oberfläche der Röhre ist mit einer Schicht von sog. Nährgelatine ausgekleidet, die besonders den Boden reichlich bedeckt. Bei dem langsamen Hindurchstreichen der Luft senken sich die in ihr enthaltenen Keime auf die Gelatine. Diese enthält zugleich Fleischpreßsaft, Pepton und Kochsalz und stellt ein sehr gutes Entwicklungsmedium für die Keime dar. Sie vermehren sich auf ihr, bilden Kolonien, wie es unsere nebenstehenden Figuren zeigen, und man braucht nur die Menge der gebildeten Kolonien zu zählen, um die Zahl der ursprünglich vorhanden gewesenen Keime zu kennen. Da Form, Farbe und Geschwindigkeit des Wachstums der Kolonien bei den verschiedenen Bakterien differiert, ist es möglich, durch die einfache Betrachtung auch die Art der Bakterien im Groben zu erkennen.

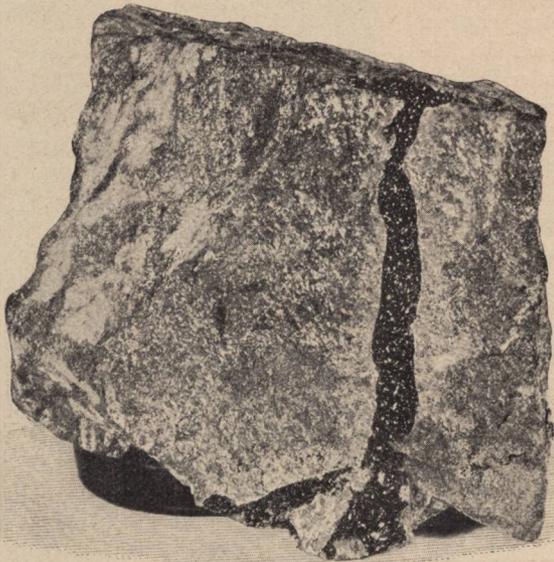
Elektrische Erscheinungen. Jeder alpine Wanderer kennt den großen Eindruck, den ein Gewitter in den Bergen hervorruft. Grelle Blitze folgen sich in ununterbrochener Reihenfolge, der Donner rollt mit furchtbarem Krachen, Regen und Hagel prasseln hernieder, der Sturm wütet mit elementarer Gewalt. Im allgemeinen sind wohl in der Tat die Gewitter in den Bergen heftiger als in der Ebene. Das ist zum Teil darauf zurückzuführen, daß die Wolken sich an den Berghängen verfangen und so das Gewitter häufig längere Zeit an derselben Stelle verweilt und seine Wut austobt. Auch die Gefahr des Blitzschlages auf hohen Bergen ist wohl eine gesteigerte, denn die Spitzen dieser Riesen müssen wie Blitzableiter des gesamten Gebäudes der Hochalpen wirken. Dabei ist auffallend, daß einige solcher Gipfel wahre Lieblingsstellen für den Blitzschlag sind, während andere, zuweilen höhere, nur verhältnismäßig selten vom Blitze getroffen werden. So ist z. B. in Kleinasien der kleine Ararat

Einwirkung des Gebirgsklimas.



Zwei Nährgelatineplatten mit an Menge und Art verschiedenen Keimkolonien. Nach Hesse.

ein Berg, welcher in ganz besonderer Weise von Blitzschlägen heimgesucht wird, während auf dem Gipfel des großen Ararat der Blitz nur selten einschlägt. Hann⁴²⁾ erklärt dies damit, daß der Gipfel des großen Ararat über die Höhe der häufigsten Blitzschläge hinausragt. In den Alpen sind Berge, welche dem Blitzschlage auffallend ausgesetzt sind: in den Ostalpen der Tribulaun und der Greiner, in den Westalpen besonders Matterhorn und Monte Rosa. Ob neben der Lage, Höhe und Gestalt des Berges, welche letztere ja für das Matterhorn sicher von wesentlicher Bedeutung ist, auch der Gehalt der Felsen an leitendem Gestein eine Rolle spielt, mag dahingestellt bleiben. Wie häufig auf den Gipfel des Monte Rosa der Blitz niederfährt, dafür zeugen die sog. Fulminati, die in großer Zahl dort oben gefunden werden. Es sind dies Steine, welche vom Blitze getroffen wurden und den Weg des Blitzstrahls in einem Schmelzen und Verglasen des harten Urgesteins



Blitzstein vom Gipfel des Monte Rosa.

zeigen. Infolge der Blitzgefahr mußte auch die Capanna Regina Margherita besonders gesichert werden. Das ist der Grund, weshalb man diese Hütte mit einer Kupferdecke bekleidet und so einen vollkommenen Faradayschen Isolierkasten aus ihr gebildet hat. Von dieser Kupferhülle ragen nach oben und seitwärts zahlreiche Spitzen als Blitzableiter. Wie wichtig diese Vorsichtsmaßregel ist, erfahren wir selbst. Nach einem mehrstündigen Gewitter waren nicht

weniger als vier der Blitzableiterspitzen abgeschmolzen. Auch Mosso und seine Genossen hatten im Jahre 1894 während ihres Aufenthaltes auf dem Monte Rosa ein heftiges Gewitter durchzumachen. Allerdings traf sie dasselbe nicht auf der Spitze des Berges, sondern auf der Capanna Gnifetti. Mosso schildert in seiner anschaulichen Weise das Unwetter und die damit verbundenen elektrischen Zustände: „Bei der Tür angelangt, hörte ich ein Gesumme, als wenn sich im Innern der Hütte viele Wespen befänden — ich blickte hinein, konnte aber nichts darin sehen. Dann bemerkte ich, daß es die Ecken der Hütte waren, welche jenes charakteristische Gezische abgaben und ich begriff sofort, daß ich es mit einer elektrischen Erscheinung zu tun hatte. Da das Wetter drohend und die Blitze sehr nahe waren, so stellte ich mich unter die steinernen Bogen, welche die obere Hütte stützen. Als ich mir einen Bleistift spitzen wollte, um mir einige Notizen zu machen, sah ich, daß die Holzsplitterchen an dem Messer und an den Fingerspitzen

haften blieben.“ Es geht daraus hervor, daß Mosso sich im Zustande vollkommenen elektrischen Geladenseins befunden haben muß.

Ähnliche Erscheinungen wie die hier von Mosso beschriebenen sind ja dem Alpinisten hinlänglich bekannt. Jeder weiß, daß, wenn die Pickel anfangen zu summen, äußerste Gefahr im Verzuge ist und man eilen soll — unter Zurücklassung des Pickels — sich im Schutze von Felsen oder dergl. in Sicherheit zu bringen.

Wenn der Eindruck, den ein Gewitters in den Bergen auf den Menschen hervorbringt, ein besonders imponierender ist, so darf man doch nicht außer acht lassen, daß er der Schwere des Unwetters durchaus nicht immer zu entsprechen braucht. Der Widerhall des Donners in den Felsen, das Sausen des Windes in den Bäumen, das Heulen in den Schluchten, das Brechen der Zweige, das Rauschen der angeschwollenen Gebirgswässer verstärken den Eindruck des großartig gewaltigen Naturereignisses. Andererseits erlebt man gerade in den höchsten Gebirgsregionen außerordentlich schwere Gewitter, welche aber durchaus nicht als solche imponieren. Denn in der stark verdünnten Luft sind die Schallwellen des Donners von geringer Intensität. Zudem fehlt gerade auf den Spitzen der einzelstehenden Bergriesen, wo die Gefahr des Blitzschlages am größten ist, der Widerhall des Donners. Wir hatten bei dem erwähnten Gewitter in der Capanna Regina Margherita keineswegs einen Eindruck, der der Heftigkeit und Nähe desselben entsprach.

Im allgemeinen ist es ein Irrtum, wenn angenommen wird, daß in den Bergen Gewitter besonders häufig sind. Nur an den Rändern der Gebirge kommt es oft zur Gewitterbildung, in den inneren Tälern sind Gewitter verhältnismäßig selten, ja seltener als in der Ebene. Diese Zunahme der Gewitter von der Niederung gegen den Rand des Gebirges und die Abnahme im Gebirge selbst wird sehr gut veranschaulicht durch die folgende Tabelle, welche die Beobachtungsergebnisse Reimanns im Mittel der Jahre 1880—1885 im Riesengebirge enthält. Die Tabelle ist dem Lehrbuche Hanns⁴²⁾ entnommen.

Zahl der Gewitter.

	Breslau	Eichberg	Schreiberhau	Kirche Wang	Schneeegruben	Schneekoppe
Im Jahr .	18.5	28.3	23.2	19.0	18.6	18.1
April-Juni	7.8	11.8	7.5	6.5	—	5.2

Einen interessanten Beitrag liefert in dieser Hinsicht auch Jacot Guillarmod. Derselbe teilt mit, daß im Quellgebiete des Indus Gewitter außerordentlich selten sind. Ja, die tibetanische Sprache besitze nicht einmal ein Wort für diese Naturerscheinung.

Allerdings muß hinzugefügt werden, daß ganz bestimmte Partien der Gebirge durch Bildung lokaler Gewitter ausgezeichnet sind. Solche Gewitterherde sind z. B. in der Schweiz der Baseler Jura und das angrenzende Solothurner Gebiet, dann das obere Ende des Züricher Sees und das Vorland des Säntis, Appenzell und St. Gallen. Wie man sieht, Gegenden, welche an der Grenze der Niederung und des Hochgebirges gelegen sind. Ganz ebenso verhält es sich in den Ostalpen, wo besonders die Gebiete zwischen dem Ammersee, Starnbergersee, Chiemsee und den Alpen als Gewitternester in Betracht kommen.

Es ist vorher Bezug genommen worden auf das Sausen des Pickels als eines Zeichens besonders starker elektrischer Spannung. Häufig genug kann man das

Sausen begleitet sehen von dem Ausstrahlen feinen bläulichen Lichtes, einem Vorgang, den man bekanntlich als St. Elmsfeuer bezeichnet. Dieses St. Elmsfeuer entspricht durchaus den Glimmlicht- und Büschelentladungen, welche man im Laboratorium mit jeder Elektrisiermaschine hervorrufen kann. St. Elmsfeuer kommen im Gebirge verhältnismäßig oft vor. Der Grund ist darin zu suchen, daß diese Art elektrischen Ausgleiches nur dann vor sich geht, wenn die Wetterwolke sich in außerordentlich geringer Entfernung von der Erdoberfläche befindet. So wird denn auch St. Elmsfeuer in der Ebene häufig bei den Wintergewittern beobachtet, welche erfahrungsgemäß besonders tief liegend sind.

So sehr die großen elektrischen Spannungsausgleiche die Aufmerksamkeit des Unbefangenen auf sich ziehen, so sind doch wohl für unser Thema gewisse feinere elektrische Vorgänge der Atmosphäre von viel größerer Bedeutung, Vorgänge, welche sich meist der gröberen Wahrnehmung entziehen, andererseits aber gerade im Hochgebirge ganz exzeptionelle Eigenart aufweisen. Es handelt sich hier im wesentlichen um zwei Phänomene: das elektrische Potentialgefälle und die Elektrizitätszerstreuung.

Seit der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts wissen wir, daß die atmosphärische Luft nicht nur bei Gewittern, sondern überhaupt fast immer elektrisch ist. Wir verdanken die ersten diesbezüglichen Feststellungen den fast gleichzeitigen Forschungen De Romas und des Abbé Mazéas in Europa, Benjamin Franklins in Amerika. Diese Forscher bedienten sich bekanntlich der fliegenden Drachen, die sie in die Luft aufsteigen ließen und durch leitende Schnüre mit den Beobachtungsapparaten verbanden. Um den weiteren Ausbau der Methoden und unserer Kenntnis dieser Vorgänge haben sich später u. a. de Saussure und Volta besondere Verdienste erworben. Saussure konstruierte einen zweckmäßigen kompendiösen Apparat, den er auch bei seinen alpinen Besteigungen und Forschungen mit sich nehmen und im Gebirge verwenden konnte. Volta führte zuerst in die Methodik die sogenannten Kollektoren ein. Unter Kollektoren versteht man Vorrichtungen, welche die Eigenschaft haben, sich stets auf die in ihrer unmittelbaren Umgebung befindliche elektrische Spannung zu laden. Solche Eigenschaften besitzen Flammen, glimmende Lunten und dergl., ferner feine Wasserstrahlen an denjenigen Stellen, wo sie sich in Tropfen auflösen. In neuester Zeit sind auch vielfach Radiumpräparate als Kollektoren verwandt worden.

Unter den Forschern der Jetztzeit hat sich auf unserem Gebiete besonders der österreichische Physiker F. Exner verdient gemacht. Was zunächst die Methodik betrifft, so konstruierte Exner³⁰ einen möglichst handlichen Apparat, welcher auf Reisen mitgeführt werden kann und daher in zweckmäßiger Weise die Form eines Spazierstockes erhielt, wie er auf der Titelvignette dieses Kapitels zu sehen ist. Der Griff dieses Stockes ist abschraubbar, der Stock selbst birgt im Innern eine Anzahl kleinerer Ebonitstücke, welche auf den großen aufgesetzt, beziehungsweise einzeln verwendet oder beliebig zusammengesetzt werden können. Man erhält so eine Variationsmöglichkeit der Stockhöhe von ca. $\frac{1}{3}$ bis 1.5 m. Der Stock wird mittels seiner Eisenspitze in den Boden gerammt. Auf seiner Höhe wird der Kollektor befestigt, der bei der Exnerschen Einrichtung aus einer kleinen Spirituslampe besteht. Diese Lampe ist zum Schutze gegen Wind mit einem kleinen Schornstein versehen. Mit diesem Kollektor wird ein handliches, kleines, aber vorzüglich isoliertes Elektroskop leitend verbunden, dessen Gehäuse zur Erde abgeleitet wird. Die Ableitung wird am leichtesten dadurch erreicht, daß der Be-

obachter den Apparat in die Hand nimmt. Wenn man einen derartigen Versuch vornimmt, so bemerkt man einen Ausschlag der feinen Aluminiumblättchen des Elektroskops. Diese Divergenz gibt ein Maß der Spannungsdifferenz der Elektrizität der Luft in der Höhe des Kollektors und derjenigen des Erdbodens. Das Elektroskop ist geeicht, so daß man weiß, wie groß die Spannung ausgedrückt in Volt ist, die dem jeweiligen Ausschlage der Aluminiumblättchen entspricht. Kennt man dann den Niveauunterschied zwischen Kollektor und Erdboden, so kann man leicht die elektrische Spannungsdifferenz pro Meter in Volt ausdrücken.

Auch wir nahmen bei unseren Expeditionen derartige Apparate mit und stellten wiederholt Untersuchungen über das Potentialgefälle an den verschiedenen Orten unseres Aufenthaltes an. Der Grund, weswegen diese atmosphärischen Vorgänge unser besonderes Interesse erregten, muß einer Besprechung an späterer Stelle vorbehalten bleiben. Hier mag nur ein Überblick über die wichtigsten Tatsachen gegeben werden, welche in Hinsicht des elektrischen Potentialgefälles bekannt sind, ohne auf die eventuelle Bedeutung dieser Vorgänge für den Organismus einzugehen.

Hauptsächlich aus den Forschungen Exners und seiner Mitarbeiter geht mit Sicherheit hervor, daß die Luft bei heiterem, klarem Wetter stets positiv-elektrisch gegen die Erde ist, letztere also negativ-elektrisch gegen die umgebende Atmosphäre sich verhält. Denkt man sich die Punkte gleicher elektrischer Spannung über dem Erdboden durch Flächen verbunden, so entstehen zur Erdoberfläche parallele Flächen, welche man als „Flächen gleicher Spannung“, „Luftelektrische Niveauflächen“ oder „Äquipotentialflächen“ bezeichnet. Bei klarem Wetter sind die höheren Niveauflächen stärker positiv-elektrisch gegen die Erdoberfläche als die niederen und es herrscht dieses normale positive Potentialgefälle bei schönem Wetter überall auf der Erde, vom Äquator bis zu den Polen.

Die Berge bieten nun ganz eigenartige Verhältnisse des Potentialgefälles. Dasselbe nimmt nämlich an der Erdoberfläche im allgemeinen mit der Höhe zu. Dies spricht sich z. B. deutlich in Versuchen von Exner aus, welcher auf dem Schafberg bei Salzburg bei heiterem Wetter ein Gefälle von 2000 Volt pro Meter feststellte, während gleichzeitige Untersuchungen in der Ebene ein Potentialgefälle von nur 100 Volt pro Meter ergaben.

Doch nicht nur die absolute Höhe über dem Meere ist maßgebend für die Größe des elektrischen Gefälles, sondern auch die relative Erhebung über die Umgebung, selbst wenn der Niveauunterschied gar kein sehr erheblicher ist. Diese Beobachtung hat bereits Saussure gemacht, der feststellte, daß auf der Spitze eines isolierten Felsens, auch wenn er keine bedeutende Höhe hatte, die Stärke der elektrischen Spannung eine größere war, als in der Umgebung. Die Erscheinung



Schematische Darstellung der durch Unebenheiten der Erdoberfläche gestörten Niveauflächen des luftelektrischen Potentials.

Nach Hann.

erklärt sich durch ein Zusammendrängen der Niveauflächen über jeder Bodenerhebung, wie umstehendes Bild deutlich illustriert. Es ergibt sich aus dieser Tatsache, daß selbst niedrige Häuser, Bäume, ja ein nahe herantretender Mensch die Niveauflächen stören und einen Vergleich der Messungen mit anderen unmöglich machen. Auf dem Dache eines Gebäudes, z. B. dem Turme des umstehenden Bildes, ist das Potentialgefälle erhöht. In unmittelbarer Nachbarschaft des Gebäudes jedoch treten die Niveauflächen weiter auseinander als in der sonstigen Umgebung. Das Potentialgefälle liegt also hier unterhalb des normalen Wertes.



Gipfel des Brienzer Rothorn.

Für dieses Zusammendrängen der Niveauflächen durch geringe Bodenerhebungen fanden auch wir ein ganz gutes Beispiel auf dem Brienzer Rothorn. Es sei hier mit einigen Worten darauf eingegangen, obgleich in der Literatur viel prägnantere Angaben vorliegen. Doch ist es besonders anschaulich, weil sich auf dem obestehenden Bilde die Orte der verschiedenen Beobachtungen genau erkennen lassen. Es wurde zunächst das Gefälle auf der Spitze der kleinen Kuppe bestimmt, welche zwischen dem Kamm und dem Kulm des Rothorn gelegen ist. Hierbei ergab sich, daß bei einer Entfernung des Kollektors von nur 43 cm über dem Erdboden unser empfindliches Elektroskop nicht mehr imstande war, das Gefälle zu messen. Die Ladung, die dem Elektroskop mitgeteilt wurde, war nämlich eine so starke, daß die Aluminiumblättchen alle zwei Sekunden an die Schutzbacken des Elektro-

skops anschlugen und sich dort entluden. Daraus folgt, daß auf dieser Kuppe das elektrische Potentialgefälle mehr als 550 Volt pro Meter betrug. Unmittelbar darauf wurde eine zweite Bestimmung an der Hundehütte angestellt, welche rechts am Abhang des Rothorns zu sehen ist. Diese Untersuchung wurde in geeigneter Entfernung von dem niedrigen Gebäude vorgenommen und ergab ein Gefälle von 231 Volt pro Meter. Eine identische Zahl, nämlich 229 Volt pro Meter, wurde auf dem Kamm gefunden, 10.5 m vom Hotel und 4.6 m von einem kleineren Gebäude entfernt, welches dem Dienstpersonal zum Aufenthalte angewiesen ist.

Wie geschaffen für Demonstrationen des Zusammendrängens der Niveaulinien erscheinen die Pyramiden Ägyptens, deren eigenartige Gestalt ein Zusammenpressen der Äquipotentialflächen in besonderem Maße begünstigt. In der Tat hat Exner³¹⁾ auf der Spitze der großen Pyramide bei Kairo ein Potentialgefälle von 1100 Volt pro Meter gefunden, einen Wert, welcher demjenigen entspricht, den Elster und Geitel auf dem Hohen Sonnblick (3100 m) angetroffen haben. Wir selbst haben auf dem Gipfel des Monte Rosa keinen Wert festgestellt, welcher diese Höhe erreicht, und auch die Resultate, welche Le Cadet⁷⁾ auf dem Gipfel des Montblanc fand, liegen unterhalb dieser Zahl.

Wenn das normale Potentialgefälle stets ein positives ist, so liegen doch eine ganze Anzahl von Beobachtungen vor, welche ein negatives Potentialgefälle zeigen, derart also, daß die Luft gegenüber der Erde negativ-elektrisch erscheint. Dies tritt besonders dann ein, wenn ein heftiger Wind die Atmosphäre mit Staubteilen erfüllt oder auch, wenn stark negativ geladene Wolken das normale Potentialgefälle stören.

Wir haben oben gesehen, daß mit der Erhebung der Erdoberfläche das normale Potentialgefälle steigt. Das ist eine Folge des unmittelbaren Einflusses der Erde und des Zusammendrängens der Niveauflächen durch die Bodenerhebung. Mißt man dagegen das Potentialgefälle in der Atmosphäre oberhalb des Erdbodens, von der Erde selbst losgelöst, also im Luftballon, so stellt sich heraus, daß das positive Potentialgefälle mit wachsender Höhe abnimmt, dann ein Punkt erreicht wird, in dem zwischen zwei in verschiedenen Höhen angebrachten Kollektoren ein Potentialunterschied nicht mehr besteht und schließlich ein negatives Potentialgefälle folgt. Solche Feststellungen sind gemacht worden von Le Cadet, Börnstein, Baschin, André, Lecher und Tuma. Aus der Publikation Tumas⁵⁷⁾ entnehmen wir nachstehende Tabelle (S. 72), welche ein anschauliches Bild dieser Vorgänge gibt.

Aus diesen Feststellungen geht mit Sicherheit hervor, daß man das normale positive Potentialgefälle in der Atmosphäre nicht, wie man es früher getan hat, aus einer Induktionswirkung des negativ geladenen Erdkörpers herleiten kann.

Zu erwähnen ist schließlich, daß das Potentialgefälle bei Beobachtungen an selben Orte eine deutliche tägliche und jährliche Periode zeigt, daß ferner verringerte Durchsichtigkeit der Luft mit erhöhtem Potentialgefälle einhergeht. Dagegen sind Regen und Hagel häufig negativ-elektrisch und es ist eine alte Erfahrung, daß starke Wolkenmassen in ihrem Zentrum negativ-, an ihrem Rande positiv-elektrisch sind. Mächtige Wolkenmassen sowohl wie auch die Entwicklung von Wasserdampf in der Luft bewirken eine Schwächung der positiven Elektrizität. Sie können

aber auch, wie wir bereits oben gesehen haben, sogar einen Umschlag in negative Elektrizität herbeiführen. Da bei steigender Temperatur der Gehalt der Luft an Wasserdampf steigt, so vermindert sich auch damit das positive Potentialgefälle. Gewitter und Blitze verändern das Potentialgefälle in sehr heftiger und wechselnder Weise.

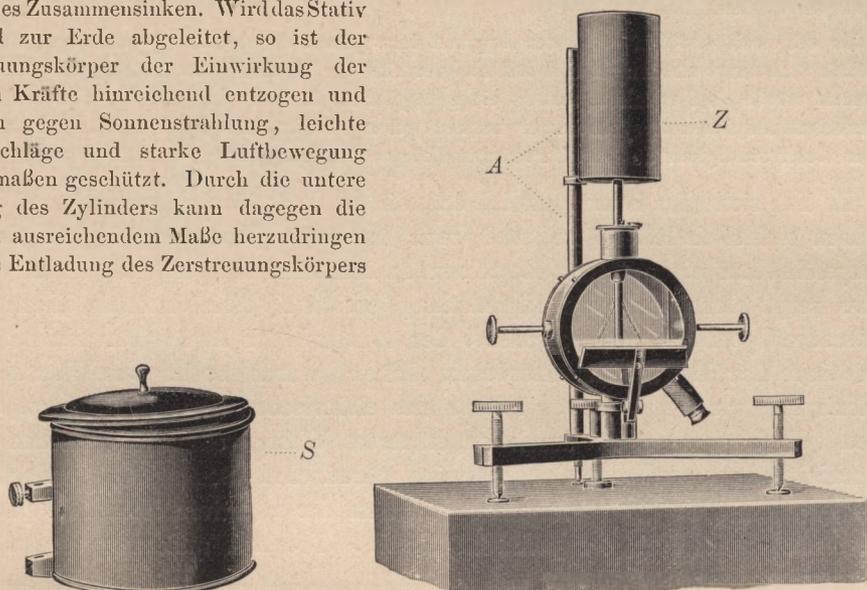
Potentialgefälle im Ballon.

Nr.	Zeit	Höhe in m	Volt pro m
1	10 ^h 40''	1220	+ 48
2	11	2220	+ 40
3	11 15	2330	+ 53
4	11 25	2570	+ 53
5	11 40	2650	0
6	12 20	3000	0
7	12 35	3600	- 43
8	12 52	3800	- 43
9	12 56	3820	- 64
10	1 3	3950	- 64
11	1 10	4050	- 73
12	1 12	4000	- 73
13	1 20	2000	+ 43
14	1 25	2000	+ 64

Mit dem Potentialgefälle steht eine weitere Gruppe von elektrischen Erscheinungen in Zusammenhang, welche wir als „Elektrizitätszerstreuung“ bezeichnen. Es war schon längere Zeit bekannt, daß ein gut isolierter elektrisch geladener Körper in der Luft allmählich seine Elektrizität verliert. Aber man nahm an, daß es sich hierbei nur um eine scheinbare elektrische Leitung der Luft handle, welche durch suspendierte Staubpartikelchen und dergl. bewirkt werde. Erst die Forschungen der letzten Jahre haben uns gelehrt, daß die atmosphärische Luft kein absoluter Isolator ist, vielmehr stets ein gewisses Leitvermögen besitzt. Diese Tatsache wurde zuerst von Linß⁴⁷⁾ festgestellt und dann von den Physikern Elster und Geitel in Wolfenbüttel weiter verfolgt und methodisch ausgebaut. Heute, nach Verlauf von vier Jahren, stehen diese Forschungen im Mittelpunkt des Interesses und haben nicht nur für die physikalischen, sondern für unsere allgemeinen naturwissenschaftlichen Anschauungen auf das Fruchtbringendste gewirkt.

Der Apparat, dessen sich Elster und Geitel bedienen, ist auf nebenstehender Figur abgebildet. Er besteht aus einem feinen Elektroskop, welches im allgemeinen mit gewissen, durch die Art der Verwendung bedingten Veränderungen dem von Exner entspricht. Dieses Elektroskop ruht auf einem Dreifuß und enthält oben an der Platte, welche die Aluminiumblättchen trägt, eine kleine Vertiefung. In diese Vertiefung wird der sogenannte Zerstreungskörper *Z*, vom Gehäuse isoliert, eingeführt, ein geschlossener zylindrischer Hohlkörper aus geschwärztem Messingblech von etwa 9 cm Höhe und 5 cm Durchmesser. Zum Schutze gegen äußere Einflüsse wird ein durch einen Deckel geschlossener, geschwärzter Zylinder *S* aus Messingblech an einem dem Dreifuß angeschraubten Stabe *A* derartig befestigt, daß der Zerstreungskörper in seiner Achse liegt.

Dieser Schutzzylinder hat eine Höhe von etwa 14 cm und eine Weite von etwa 19 cm. *) Will man nun die Elektrizitätszerstreuung beobachten, so ladet man zunächst den Zerstreungskörper mit positiver oder negativer Elektrizität. Auf diese Weise bringt man die Aluminiumblättchen zur Divergenz und beobachtet dann ihr allmähliches Zusammensinken. Wird das Stativ dauernd zur Erde abgeleitet, so ist der Zerstreungskörper der Einwirkung der äußeren Kräfte hinreichend entzogen und zugleich gegen Sonnenstrahlung, leichte Niederschläge und starke Luftbewegung einigermaßen geschützt. Durch die untere Öffnung des Zylinders kann dagegen die Luft in ausreichendem Maße herzdringen und die Entladung des Zerstreungskörpers



Apparat zur Messung der Elektrizitätszerstreuung nach Elster und Geitel.

bewirken. Das Elektroskop ist natürlich genau geeicht, so daß man die Abnahme der elektrischen Ladung innerhalb einer gewissen Zeit in Volt ausdrücken kann. Als Beobachtungszeit wird nach dem Vorgange von Elster und Geitel, wenn nicht besondere Umstände dagegen sprechen, der Zeitraum von 15 Minuten gewählt. Als Symbol für die Elektrizitätszerstreuung dient der Wert E_+ resp. E_- je nach der Ladung mit positiver oder negativer Elektrizität, welche dem Zerstreungskörper mitgeteilt worden ist. Es ist dann:

$$E = \frac{1}{t} \log \frac{V_0}{V} - \frac{n}{t'} \log \frac{V_0'}{V'}$$

In dieser Formel bedeutet V_0 die Anfangsablesung, V die Endablesung an dem mit Zerstreungskörper versehenen Apparate in der Zeit t , wobei die Beobachtungsdauer von 15 Minuten als Einheit rechnet. V_0' , V' , t' sind die entsprechenden Werte für eine Kontrollbestimmung, welche an die eigentliche Beobachtung von Zeit zu Zeit angeschlossen wird, um die genügende Isolation des Elektroskops festzustellen. n ist ein Korrekturwert, welcher das Verhältnis der Kapazitäten des Elektroskopes allein zur Summe der Kapazitäten von Elektroskop und Zerstreungskörper ausdrückt. Dieser Wert ist bei den nach den Angaben von Elster und Geitel hergestellten Elektroskopen ein geringer. Der nach der Formel berechnete Endwert wird, da er stets klein ist, mit 100 multipliziert. Später hat dann Ebert¹³⁾ eine andere Formel für die Elektrizitätszerstreuung eingeführt und durch bestimmte Zeichen ausgedrückt. Diese letzteren haben sich bereits allgemein eingebürgert. Ebert bezeichnet mit a_+ einen Wert, welcher entspricht: $\frac{E}{15 \cdot 0.4343(1-n)}$. Es handelt sich dabei also um eine Reduktion des Wertes E auf die Zeiteinheit und einen Ausdruck dieses Wertes in natürlichen Logarithmen, statt der in der

*) Auf dem Bilde ist der Schutzzylinder neben dem Apparat abgebildet. Auf der Titelvignette ist er an seinem Stabe befestigt und verdeckt so den Zerstreungskörper.

ersten Gleichung benutzten Briggischen. Von besonderer Wichtigkeit ist ferner der Wert q , welcher den Quotienten $\frac{a_-}{a_+}$ angibt. Da im Verlaufe unserer Besprechung sich eine Benutzung dieser Zeichen nicht völlig umgehen läßt, mußte hier wenigstens mit einigen Worten darauf eingegangen werden.

Es sei noch erwähnt, daß der Apparat inzwischen durch Lupen- und Spiegelablesung wesentlich verbessert worden ist und daß andererseits von Ebert¹⁴⁾ ein umfangreicherer Apparat konstruiert wurde, bei welchem mittels eines Aspirators ähnlich demjenigen, den wir bei dem Abmannschen Aspirationspsychrometer kennen gelernt haben, die Luft mit beliebiger gleichmäßiger Geschwindigkeit an dem Zerstreuungskörper vorüber gesaugt werden kann.

Es hat sich also herausgestellt, daß die atmosphärische Luft unter allen Verhältnissen elektrisch leitend ist, und zwar hat man diese Leitfähigkeit der Luft zurückgeführt auf einen Gehalt derselben an kleinsten Körperchen, welche elektro-positive resp. elektro-negative Eigenladung besitzen. Man hat sie „Ionen“ (die Wandernden) genannt und bezeichnet den Zustand der Atmosphäre daher als die Ionisation der Luft. Der Ausdruck „Ionen“ wurde zuerst von Faraday bei der Zerlegung von Flüssigkeiten mittels des elektrischen Stromes (Elektrolyse) verwendet. Wenn man z. B. durch angesäuertes Wasser einen elektrischen Strom hindurchleitet, so wird dasselbe in seine chemischen Bestandteile zerlegt. Von diesen sammeln sich die Wasserstoffteilchen an der negativen Elektrode (Kathode), die Sauerstoffteilchen an der positiven (Anode). Dieser Wanderung verdanken die Teilchen ihre Namen Anionen und Kationen. Doch ist der Vorgang der Luftionisation keineswegs identisch mit der elektrolytischen Ionisierung von Flüssigkeiten. So besitzt in ionisierter Luft das positive Ion stets eine beträchtlich größere Masse als das negative, während dies in durch Elektrolyse zerlegten Flüssigkeiten durchaus nicht der Fall zu sein braucht.

Die Ionisation der Luft gestaltet sich bei wechselnden lokalen und meteorologischen Verhältnissen durchaus verschieden. Wiederum zeigt das Hochgebirge ganz exzeptionelle Verhältnisse. Zunächst nämlich wächst die Ionisation der Luft mit der Erhebung über den Meeresspiegel. Dieses Anwachsen der Elektrizitätszerstreuung mit der Höhe ist nicht an die Gebirge als solche gebunden. Auch bei Untersuchungen im Luftballon hat man diese Tatsache bestätigt gefunden, und zwar in der Weise, daß das Anwachsen der Ionisation sprungweise in verschiedenen Schichten der Atmosphäre vor sich geht. Doch unterscheiden sich die Zustände der Luftionisation im Hochgebirge in einem wesentlichen Punkte von denen, welche in gleichen Höhen bei Luftballonfahrten festgestellt wurden. In der Ebene und bei der Erhebung im Luftballon ist die Anzahl der Ionen mit positiver Eigenladung, welche in der Zeiteinheit auf den Zerstreuungskörper auffallen und dessen Ladung neutralisieren, annähernd gleich derjenigen der negativen; also das Verhältnis $\frac{a_-}{a_+} = q$ um die Einheit schwankend. Da das positive Ion eine erheblich größere Masse besitzt, als das negative, so ist es weit schwerer beweglich als dieses. Wenn also das Verhältnis $\frac{a_-}{a_+} = 1$ ist, so ergibt sich, daß zwar in der Zeiteinheit gleiche Mengen positiver und negativer Elektrizität entladen werden. Dies ist aber

bei der geringeren Geschwindigkeit der positiven Ionen nur dadurch möglich, daß sie an Zahl gegenüber den negativen überwiegen, was ja auch in dem normalen positiven Potentialgefälle seinen Ausdruck findet. Auf den Spitzen der Berge nun zeigt die Lufterlektrizität den höchst bemerkenswerten Zustand, daß der Wert q außerordentlich wächst, daß also der schon normal überwiegende Gehalt der Luft an positiver Elektrizität ein erheblich gesteigerter ist. Dieses Überwiegen der positiven Ionen, die sogenannte unipolare Leitfähigkeit, welche sich in der schnelleren Entladung eines negativ geladenen Zerstreungskörpers, d. h. in einem wachsenden Werte von q kundgibt, kann auf den Berggipfeln ganz außerordentlich groß sein.

So fanden wir am 2. September 1901 an der Capanna Gnifetti (3700 m) folgende Werte:⁸⁾

a_-	a_+	q
6.18	2.05	3.0.

Auf dem Gipfel des Montblanc stellte Le Cadet⁷⁾ u. a. folgende Werte fest:

a_-	a_+	q
27.89	1.675	16.65.

Elster¹⁹⁾ fand auf dem Piz Languard (3220 m) bei Pontresina:

a_-	a_+	q
18.41	1.09	16.9.

Sehr erhebliche Steigerung der Elektrizitätszerstreuung einerseits, der Unipolarität andererseits konstatierte ferner Knoche⁴⁵⁾ auf dem Pico de Teyde (Pic von Teneriffa). Er beobachtete dort auf der sogenannten Alta Vista (3250 m) am 6. September 1904 Werte, welche im Mittel ergeben:

a_-	a_+	q
13.83	7.31	3.19,

und auf dem Gipfel selbst im Mittel von fünf Untersuchungen:

a_-	a_+	q
23.84	2.30	11.24.

Unter diesen Beobachtungen auf dem Gipfel des Pic finden sich jedoch einige, welche wesentlich höhere Werte der Unipolarität ergeben, z. B.:

a_-	a_+	q
23.09	1.36	16.98.

Bei den Befunden Knoches spielt aber sicherlich nicht nur die Erhebung über dem Erdboden die ausschlaggebende Rolle, sondern es sind hier die vulkanischen Verhältnisse von Bedeutung. Knoche beobachtete, daß die Aluminiumblättchen plötzlich zusammengingen unter den Einflüssen der Eruptionen der dem Inneren des Vulkans entströmenden Solfatarengase, welche alle 2—5 Minuten erfolgten. Diese Einwirkung der vulkanischen Gasausströmungen zeigt sich auch in den Versuchen, welche Freiherr von Trautenberg⁵⁶⁾ am Vesuv angestellt hat.

Die höchsten Werte, welche unseres Wissens für die Unipolarität gefunden worden sind, haben Zuntz und Durig auf dem Dache der Capanna Regina Margherita am 6. September 1903 festgestellt. Es ergaben sich folgende Werte:

a_-	a_+	q
8.57	0.31	27.96.

Bemerkenswert ist bei diesen Zahlen, daß die hohe Unipolarität nicht allein einem Steigen des Wertes für a_- zuzuschreiben ist, sondern auch dem außerordentlich niedrigen Werte für a_+ . Hiermit vergleiche man die Durchschnittswerte, welche wir im Jahre 1901 in Brienz im Tal als Mittel zahlreicher Untersuchungen gefunden haben:⁸⁾

a_-	a_+	q
1.18	1.16	1.08

und diejenigen, welche z. B. Ebert bei Ballonfahrten von München aus in einer Höhe von 3710—3770 m feststellte:¹³⁾

a_-	a_+	q
2.76	2.96	0.93.

Wir sehen, daß auch beim Aufstieg im Luftballon die Zerstreuungswerte gegenüber denen im Tal gesteigert sind, aber in gleichmäßiger Weise für a_+ und a_- , so daß die für das Gebirge charakteristische Unipolarität fehlt.

Fragen wir nach der Ursache der Unipolarität in den Bergen, so ist dieselbe zweifellos auf die negative Eigenladung der Erdoberfläche zurückzuführen, welche an den Bergspitzen besonders stark wirksam hervortritt und genau wie die negative Ladung eines Zerstreuungskörpers die Ionen mit positiver Eigenladung an sich heranzieht.

Was die Abhängigkeit der Elektrizitätszerstreuung von anderen meteorologischen Momenten betrifft, so ist zunächst sehr in die Augen springend die Beeinträchtigung der Zerstreuung durch Dunst und Regen. Die Elektrizitätszerstreuung ist groß bei klarem, schönem Wetter und durchsichtiger Luft, gering bei Nebelbildung. Dies wird gut illustriert durch Werte, welche wir im Jahre 1901 auf dem Col d'Olen (ca. 3000 m) feststellten.⁹⁾ Es wurden dort gefunden bei Nebel am 6. September:

a_-	a_+	q
1.88	1.03	1.85,

dagegen bei sonnigem, klarem Wetter am 8. September:

a_-	a_+	q
4.02	4.14	0.97.

Dieser Vorgang ist dadurch zu erklären, daß die Ionen nachweislich als Kondensationskerne vom Wassertropfen dienen. Hierdurch wird ihre Masse vergrößert und entsprechend die Geschwindigkeit verlangsamt. Zunächst werden, wie ebenfalls experimentell erwiesen werden konnte, die negativen Ionen zu Kondensationskernen. Es müßte daher der Gehalt an positiven Ionen gegenüber den negativen noch

weiter wachsen, d. h. der Quotient q größer werden. Dieses ist jedoch meist nicht der Fall. Wenigstens hat Gockel auf dem Brienzer Rothorn gefunden,³⁶⁾ daß der Wert von q gegenüber dem bei schönem Wetter beobachteten herabgedrückt war. Er erklärt dies dadurch, daß die in der Höhe sich kondensierenden Nebel sich in einem aufsteigenden Luftstrome bilden. Dieser Luftstrom könne nun die positiven Ionen mit sich emporreißen, während den mit Wassermasse beschwerten negativen eine Fallbewegung zukommt.

Von anderen meteorologischen Faktoren, welche die Werte der Elektrizitätszerstreuung beeinflussen, ist natürlich in erster Linie das Gewitter zu nennen, während dessen außerordentlich hohe Werte für die Ionisation der Luft gefunden worden sind.

Ein Zusammenhang zwischen dem elektrischen Potentialgefälle und der Elektrizitätszerstreuung scheint insofern zu bestehen, als sich diese beiden Faktoren im allgemeinen umgekehrt verhalten: je stärker die Ionisation ist, um so schwächer wird das Potentialgefälle. Dies muß ja auch theoretisch gefordert werden, da der Ausgleich zwischen der Elektrizität der Atmosphäre und derjenigen der Erde um so schneller vor sich gehen muß, je stärker leitend die Luft ist.

Eine erhebliche Veränderung der Verhältnisse der Elektrizitätszerstreuung kommt ferner gewissen Winden zu, nämlich dem Föhn und der Bora. Beide erhöhen stets sehr erheblich die Elektrizitätszerstreuung und bringen auch zuweilen eine deutliche Unipolarität mit sich. Es ist dies von besonderem Interesse deswegen, weil ja Föhn sowohl wie Bora Windarten sind, bei welchen rasch Luftschichten aus großer Höhe in die Täler hinuntertreten. Schließlich sei erwähnt, daß auch die Elektrizitätszerstreuung eine tägliche und jährliche Periodizität zeigt.

Bemerkenswert ist ferner, daß neuere Untersuchungen auf einen deutlichen Zusammenhang zwischen der Größe des Quotienten q und den Änderungen des Luftdrucks hinweisen, derart, daß bei sinkendem Luftdruck die Werte für q wachsen, bei steigendem Luftdruck abnehmen. Dies läßt sich allerdings nur dann deutlich nachweisen, wenn störende Nebenumstände, wie wechselnde Luftfeuchtigkeit usw., ausgeschaltet sind. Der Nachweis dieser Tatsache ist aber deswegen von Wichtigkeit, weil ein solches Verhalten eine Stütze für gewisse neuere Theorien darstellt, welche über die Quelle der atmosphärischen Ionisation aufgestellt worden sind.

Bevor wir auf diese Theorien eingehen, müssen wir nunmehr einer sehr merkwürdigen Tatsache gedenken, welche die Grundlage dieser Theorie bildet. Derartige Zustände nämlich, wie sie die atmosphärische Luft in ihrer Ionisation darbietet, können künstlich in derselben hervorgerufen resp. enorm gesteigert werden durch gewisse Strahlen, die ultravioletten Strahlen, die Röntgenstrahlen, Kathodenstrahlen und besonders die Becquerelstrahlen, welche vom Radium und den anderen selbststrahlenden Elementen ausgesandt werden. Es hat sich nun herausgestellt, hauptsächlich durch die Forschungen der Herren Elster und Geitel,²⁵⁻²⁸⁾ daß die atmosphärische Luft in der Tat „Emanation“ des Radium und anderer „radioaktiver“ Elemente enthält. Das Radium und andere strahlende Elemente, wie Thor und Aktinium, senden nämlich nicht nur strahlende Energie aus, sondern auch eine eigentümliche Substanz, die sog. Emanation, welche in zahl-

reichen Eigenschaften einem Gase gleicht, ja, von vielen Physikern direkt als Gas aufgefaßt wird. Da diese Emanation gleichfalls radioaktiv ist, so vermag sie, ebenso wie die Strahlen des Radiums selbst, Luft, welche mit ihr in Berührung kommt, zu ionisieren, d. h. in positiv und negativ geladene Partikelchen zu zerlegen. Wenn man nach dem Vorgange von Elster und Geitel einen Kupferdraht auf ein hohes negatives Potential auflädt (ca. 2000 Volt) und ihn so einige Zeit der Einwirkung der Atmosphäre aussetzt, so schlägt sich auf diesem Drahte die radioaktive Emanation nieder und kann z. B. mit einem Lederlappen abgerieben werden, derart, daß der Lederlappen die Eigenschaften der Radioaktivität erhält, der Draht dieselben verliert und daß z. B. nach Veraschung des Lederlappens die Asche radioaktive Eigenschaften zeigt. Elster und Geitel einerseits, Allen und Bumstead andererseits haben auch eine Messung des Gehaltes der Luft an Emanation vorgenommen, indem sie die Elektrizitätszerstreuung feststellten, die durch einen derartig aktivierten Draht an einem mit Zerstreungskörper versehenen Elektroskop bewirkt wurde. Sie führten als Bezeichnung die Aktivierungszahl A ein. A ist gleich 1, wenn die von 1 m Draht in einer Stunde bewirkte Entladung des Elster-Geitelschen Zerstreungskörpers 1 Volt beträgt. Es war nach diesen und anderen Erfahrungen zunächst sicher, daß in der Luft radioaktive Emanation vorhanden ist, und es handelte sich nunmehr darum festzustellen, woher diese Emanation stammt.

Die Beobachtungen, welche zur Lösung dieser Frage angestellt wurden, knüpfen an eine Erfahrung an, die schon früher wiederum zuerst von Elster und Geitel gemacht und dann durch zahlreiche andere Untersucher bestätigt worden war. Es ist die Tatsache, daß in abgeschlossenen Räumen, lange verschlossenen Kellern, Höhlen usw. auffallend hohe Werte für die Elektrizitätszerstreuung gefunden werden, welche die im Freien festgestellten oft erheblich übertreffen. So wurde von Elster und Geitel³³⁾²⁴⁾ in der Baumannshöhle im Harz eine außerordentlich starke Luftionisation nachgewiesen. Es war nun in derartigen Räumen auch die Aktivierungszahl in gleicher Weise gesteigert, so daß also die erhöhte Ionisation in einer erhöhten radioaktiven Emanation ihren Grund hatte. Bei den Forschungen der Herren Elster und Geitel nach der Herkunft der radioaktiven Emanation in diesen abgeschlossenen Räumen stellte sich dann heraus, daß die gesteigerte Radioaktivität und Elektrizitätszerstreuung an verschiedenen Orten verschieden groß ist,²³⁾ ja in dem großen Raum eines Kalisalzbergwerks in Vienenburg am Harz war die Ionisation der Luft sogar kleiner als in der freien Atmosphäre. Es ergab sich nun, daß die Höhe der Aktivierungszahl in derartigen Räumen abhängig ist von der Art des Bodens und daß aus den meisten Bodenarten sich ein radioaktives Gas gewinnen ließ. Manche Bodenarten sind außerordentlich stark radioaktiv,²⁷⁾²⁸⁾⁵¹⁾ so der Höhlenlehm (Löß) von Capri, ferner Sedimente und Schlamm zahlreicher Thermalquellen, besonders derjenigen aus dem „Ursprung“ in Baden-Baden und der Fango von Battaglia. In der Folge haben dann zahlreiche Autoren die Radioaktivität der Thermalquellen untersucht⁴³⁾ und vielfach eine mehr oder minder große Radioaktivität des Wassers, besonders aber des Bodens und Sinters dieser Quellen festgestellt. Das Ergebnis der genannten Untersuchungen war also, daß die erhöhte Ionisation und Aktivierung der Luft in

abgeschlossenen Räumen ihre Entstehung einer radioaktiven Emanation des Bodens verdankte, welche bei dem Mangel an Ventilation dort stagnierte und dadurch die hohen Werte bedingte.

Zugleich wurde von Elster und Geitel und auch von anderen Forschern die bereits erwähnte Emanation im Freien weiter verfolgt. So fanden Elster und Geitel,²⁷⁾ im allgemeinen eine Zunahme der Aktivierung der Luft von der Nordseeküste nach den Alpen hin. *A* wurde gefunden in Juist an der Nordsee = 5, in Wolfenbüttel = 20, in Alt-Joch am Fuße der Bayrischen Alpen = 137, während das ganz in der Nähe außerhalb der Alpen gelegene Benediktbeuren nur eine Aktivierungszahl von 43.4 ergab. Sehr hohe Werte der Aktivierungszahl erhielt Saake⁶²⁾ in Arosa. Er stellte dort eine etwa dreimal so hohe Aktivierung der Luft fest, wie sie Elster und Geitel in Wolfenbüttel beobachtet hatten. Einen noch viel höheren Gehalt an radioaktiver Emanation fand Gockel auf dem Kamm des Briener Rothorns,⁴⁰⁾ einem Platze, welcher auch für unsere Untersuchungen bedeutungsvoll ist. Gleichfalls hohe Aktivierungszahlen wurden in Karasjoh in Norwegen von Simpson⁶⁵⁾ festgestellt.

Doch ist wohl nur ein Teil der Luftionisation auf die Radioaktivität der Luft zurückzuführen. Schon die Untersuchungen von Elster und Geitel in Alt-Joch lehrten nämlich, daß die Aktivierung der Luft nicht wie die Ionisation mit der Höhe anwächst, denn es ergaben sich auf dem Herzogenstand (1732 m) geringere Werte für die Radioaktivität, als sie zu Alt-Joch im Tal gefunden worden waren. Übereinstimmend lassen auch die Untersuchungen von Saake, Elster und Geitel, Gockel u. a. erkennen, daß Luftionisation und Radioaktivität nicht parallel gehen. Gegen eine unmittelbare Beziehung der Radioaktivität der Luft zum Zerstreuungskoeffizienten spricht ferner der Umstand, daß bei Nebel und Luftfeuchtigkeit, die, wie wir oben sahen, die Zerstreuung herabsetzen, meist Aktivierungszahlen erhalten werden, welche das Jahresmittel übertreffen. Es wäre ferner das sprungweise Ansteigen der Ionisation in den verschiedenen Schichten der Atmosphäre, wie es hauptsächlich Ebert und seine Mitarbeiter bei ihren Ballonfahrten nachgewiesen haben, kaum auf die Radioaktivität der Bodenluft zurückzuführen. Man wird daher neben dieser einen Quelle der Elektrizitätszerstreuung noch eine oder mehrere andere anzunehmen haben, von denen wir bereits die eine mit Sicherheit kennen. Denn Lenard hat zuerst nachgewiesen,⁴⁶⁾ daß ultraviolette Strahlen gleichfalls die Luft zu ionisieren vermögen.

Auf die Radioaktivität der Bodenluft hat nun Ebert eine neue Theorie der atmosphärischen Elektrizität aufgebaut, welche die negativ-elektrische Eigenladung der Erde zu erklären imstande ist.¹⁶⁻¹⁸⁾ Ebert nahm Bezug auf Versuche, aus welchen hervorgeht, daß elektrische Ladungen von einem ionisierten Gase abgegeben werden, wenn dieses aus Gebieten höherer Ionenkonzentration durch enge Kanäle und Röhren in solche niederer Ionenkonzentration überströmt. Wenn gleichviele positive und negative Ionen in der Volumeneinheit enthalten sind, so wird negative Elektrizität abgegeben. Da nun der Erdboden Radium bzw. Thorium enthält, so steigt eine Luft mit hohem Ionengehalt durch die engen Kapillaren des Erdbodens auf und gibt auf ihrem Wege negative Elektrizität ab. Dadurch

erkläre sich sowohl die negative Ladung der Erde gegenüber der Umgebung, als auch der überwiegende Gehalt der Atmosphäre an freien positiven Ionen. Hiermit würde das positive Potentialgefälles hinreichend erklärt und es würden sich ziemlich zwanglos auch andere elektrische Erscheinungen der atmosphärischen Luft auf die Radioaktivität des Erdbodens zurückführen lassen. Es darf nicht verschwiegen werden, daß von Simpson Bedenken gegen diese Theorie erhoben worden sind, derart, daß jener Autor zwar die Wahrscheinlichkeit zugibt, daß diese Vorgänge sich abspielen, dieselben aber quantitativ für zu gering hält, um die negative Eigenladung der Erde und ihre Folgeerscheinungen daraus abzuleiten. Andererseits wird jedoch die Ebertsche Anschauung gestützt durch die oben erwähnte Tatsache, daß der Quotient q in deutlicher Abhängigkeit ist von dem atmosphärischen Luftdruck. Denn bei sinkendem Luftdruck wird die Absaugung der Emanation aus dem Erdboden eine lebhaftere sein, bei steigendem wird sie gering werden, sistieren oder gar atmosphärische Luft mit vorwiegendem Gehalt an positiven Ionen in die Kapillaren des Erdbodens zurückgepreßt werden.

Was speziell die Verhältnisse im eigentlichen Hochgebirge anbetrifft, so sind uns Messungen der Radioaktivität dort nicht bekannt. Es ist daher auch vorläufig nicht zu entscheiden, wie weit die erhöhte Ionisierung in einem Gehalte an aktiver Emanation ihre Erklärung findet. Einerseits sind ja die Berge besonders stark von Winden umweht, und es wird daher leicht mit radioaktiver Emanation beladene Luft dort hingetragen werden können. Dieser Vorgang muß durch die an den Bergspitzen besonders wirksame negative Ladung der Erdoberfläche erheblich unterstützt werden. Hierzu kommt, daß, wie Allen¹⁾ nachgewiesen hat, Schnee stets, wenn auch in geringem Maße, radioaktiv ist und daher auch seinerseits als Ionisator wirken kann. Auf der anderen Seite jedoch wird man bedenken müssen, daß durch die hohe Decke von Eis und Schnee die Bodenluft nur schwer durchzudringen vermag. Man kann auch hier für die Erhöhung der Ionisation auf die ultravioletten Strahlen zurückgreifen, an welchen ja die Luft mit wachsender Höhe immer reicher wird. Es sind nämlich in dieser Hinsicht gerade die kurzwelligsten ultravioletten Strahlen von Wirksamkeit. Diese aber werden von der Luft leicht absorbiert, gelangen also nicht in die tieferen Schichten der Atmosphäre. Wohl aber dürften sie auf den größeren Bergeshöhen ihre Wirksamkeit entfalten.

Nachdem wir nun die einzelnen Klimafaktoren und ihr charakteristisches Verhalten im Höhenklima kennen gelernt haben, können wir mit wenigen Worten eine zusammenfassende Übersicht der Eigentümlichkeiten des Höhenklimas geben.

Das Höhenklima zeichnet sich aus: durch verminderten Luftdruck und dementsprechende Sauerstoffverarmung, durch niedrige Lufttemperaturen, durch intensive und langdauernde Wärme- und Lichtstrahlung seitens der Sonne, durch jäh Wechsel im Wasserdampfgehalt der Luft mit Vorwiegen großer Trockenheit.

Die Luftbewegung ist stark — es bilden sich vielfach lokale Winde und eigentümliche Modifikationen der allgemeinen Luftströmungen. — Die Verdunstung geht energisch vor sich. — Die Höhenluft ist rein, klar, enthält wenig Staub und organische Keime. Ihr Ozongehalt ist höher als im Tieflande.

Gewitter sind in den Bergen im allgemeinen nicht häufiger als in der Ebene, doch ist die Blitzgefahr auf Bergspitzen eine gesteigerte.

Das elektrische Potentialgefälle ist auf den Bergen erhöht. Die Ionisation der Luft wächst mit der Höhe, und es herrscht besonders auf Bergspitzen eine ausgesprochene unipolare Leitfähigkeit, infolge des Überwiegens der positiven Ionen.

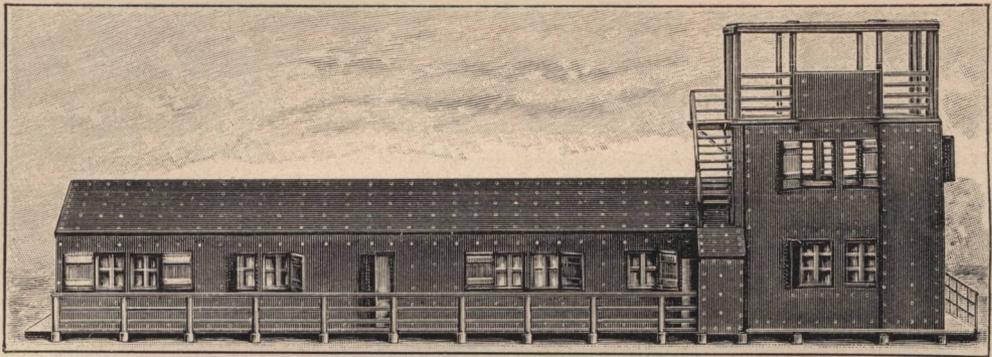
Wie weit die erhöhte Ionisation der Luft im Gebirge auf eine radioaktive Emanation zurückzuführen ist, ist zurzeit noch nicht genügend geklärt.

Literatur.

- 1) S. J. Allen: „Radioaktivität von frisch gefallenem Schnee“. Monthly weather review. 30. 1902.
- 2) Derselbe: „Radioaktivität der Atmosphäre“. Phil. Mag. 7. 1904.
- 2a) Abmann: „Das Klima“. In Th. Weyls Handb. d. Hygiene. Jena 1894.
- 2b) van Bebbber: „Hygienische Meteorologie“. Stuttgart.
- 3) Börnstein: „Leitfaden der Wetterkunde“. Braunschweig 1901.
- 4) Derselbe: „Luftelektrische Messungen im Ballon“. Wissenschaftl. Luftfahrten. Bd. 2 u. Bd. 3. 1900.
- 5) Derselbe: „Einige Versuche über Elektrizitätszerstreuung in der Luft“. Physikal. Zeitschr. 1904. Bd. 5.
- 6) Bumstead: „Atmosphärische Radioaktivität“. Physikal. Zeitschr. Bd. 5. 1904.
- 7) Le Cadet: „Etude de l'électricité atmosphérique au sommet du mont Blanc par beau temps“. Comptes rendus de l'Académie des sciences. Bd. 136. 1903.
- 8) W. Caspari: „Beobachtungen über Elektrizitätszerstreuung in verschiedenen Bergeshöhen“. Phys. Zeitschr. 1902. Bd. 3.
- 9) P. Curie et A. Laborde: „Sur la radioactivité des gaz qui se dégagent de l'eau des sources thermales“. Comptes rendus de l'Acad. des sciences. 1904.
- 10) Mme. Curie: „Untersuchungen über die radioaktiven Substanzen“. Übersetzt von W. Kaufmann. Braunschweig 1904.
- 11) P. Czermak: „Über Elektrizitätszerstreuung bei Föhn“. Physik. Zeitschr. Bd. 3. 1902.
- 12) Derselbe: „Über Elektrizitätszerstreuung in der Atmosphäre“. Physik. Zeitschr. Bd. 4. 1903.
- 12a) Determann: „Das Höhenklima im Winter und seine Verwendbarkeit für Kranke“. Sammlung klin. Vorträge. Nr. 308. Leipzig 1901.
- 13) H. Ebert: „Messungen der elektrischen Zerstreuung im Freiballon“. Berichte der Münchener Akad. d. Wissensch. 1900 u. 1901.
- 14) Derselbe: „Aspirationsapparat zur Bestimmung des Ionengehaltes der Atmosphäre“. Physik. Zeitschr. Bd. 2. 1901.
- 15) Derselbe: „Über die in München im Jahre 1901/1902 ausgeführten luftelektrischen Arbeiten“. Phys. Zeitschr. Bd. 4. 1902.
- 16) Derselbe: „Über die Ursachen des normalen atmosphärischen Potentialgefälles und der negativen Erdladung“. Physik. Zeitschr. Bd. 5. 1904.
- 17) Derselbe: „Über das normale elektrische Feld der Erde“. Ebenda.
- 18) Derselbe und Ewers: „Über die dem Erdboden entstammende radioaktive Emanation“. Phys. Zeitschr. Bd. 4. 1902.
- 19) J. Elster: „Messungen der elektrischen Zerstreuung in der freien atmosphärischen Luft an geographisch weit voneinander entfernt liegenden Orten“. Physik. Zeitschr. Bd. 2. 1900.
- 20) Derselbe und Geitel: „Über einen Apparat zur Messung der Elektrizitätszerstreuung in der Luft“. Physik. Zeitschr. Bd. 1. 1899.

- ²¹⁾ Dieselben: „Über die Existenz elektrischer Ionen in der Atmosphäre“. *Terrestr. magnetism and atmospheric electricity*. Bd. 4. 1898.
- ²²⁾ Dieselben: „Über Elektrizitätszerstreuung in der Luft“. *Annalen d. Physik*. Bd. 2. 1900.
- ²³⁾ Dieselben: „Beiträge zur Kenntnis der atmosphärischen Elektrizität“. *Physikal. Zeitschr.* Bd. 1. 1900.
- ²⁴⁾ Dieselben: „Weitere Versuche über die Elektrizitätszerstreuung in abgeschlossenen Luftmengen“. *Physik. Zeitschr.* Bd. 2. 1901.
- ²⁵⁾ Dieselben: „Über eine fernere Analogie in dem elektrischen Verhalten der natürlichen und der durch Becquerelstrahlen künstlich leitend gemachten Luft“. *Physik. Zeitschr.* Bd. 2. 1901.
- ²⁶⁾ Dieselben: „Über die radioaktive Emanation in der atmosphärischen Luft“. *Physik. Zeitschr.* Bd. 4. 1903.
- ²⁷⁾ Dieselben: „Über die radioaktive Substanz, deren Emanation in der Bodenluft und der Atmosphäre enthalten ist“. *Physik. Zeitschr.* Bd. 5. 1904.
- ²⁸⁾ Dieselben: „Über Radioaktivität von Erdarten und Quellsedimenten“. *Ebenda*.
- ²⁹⁾ F. Exner: „Über die Ursache und die Gesetze der atmosphärischen Elektrizität“. *Berichte der Wiener Akademie d. Wissensch.* Bd. 93. 1886.
- ³⁰⁾ Derselbe: „Über transportable Apparate zur Beobachtung der atmosphärischen Elektrizität“. *Ebenda* Bd. 95. 1887.
- ³¹⁾ Derselbe: „Beobachtungen über atmosphärische Elektrizität in den Tropen“. *Repertorium d. Physik*. Bd. 27. 1891.
- ³²⁾ Derselbe: „Bericht über die Tätigkeit der luftelektrischen Stationen der Wiener Akademie“. *Physik. Zeitschr.* Bd. 4. 1902.
- ³³⁾ H. Geitel: „Über die Elektrizitätszerstreuung in abgeschlossenen Luftmengen“. *Physik. Zeitschr.* Bd. 2. 1900.
- ³⁴⁾ Derselbe: „Über die Anwendung der Lehre von den Gasionen auf die Erscheinungen der atmosphärischen Elektrizität“. *Vortrag auf der 73. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte*. 1901.
- ³⁵⁾ A. Gockel: „Beobachtungen des elektrischen Zerstreungsvermögens der Atmosphäre und des Potentialgefälles im südlichen Algier und an der Küste von Tunis“. *Physik. Zeitschr.* Bd. 3. 1902.
- ³⁶⁾ Derselbe: „Über Elektrizitätszerstreuung bei nebligem Wetter“. *Ebenda*. Bd. 4. 1903.
- ³⁷⁾ Derselbe: „Über die Emanation der Bodenluft“. *Ebenda*.
- ³⁸⁾ Derselbe: „Potentialgefälle und elektrische Zerstreuung in der Atmosphäre“. *Ebenda*.
- ³⁹⁾ Derselbe: „Bemerkungen über die Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit der Atmosphäre von meteorologischen Faktoren“. *Ebenda*. Bd. 5. 1904.
- ⁴⁰⁾ Derselbe: „Radioaktive Emanation in der Atmosphäre“. *Ebenda*.
- ⁴¹⁾ Derselbe: „Über die in Thermalquellen enthaltene radioaktive Emanation“. *Ebenda*.
- ⁴²⁾ Hann: „Lehrbuch der Meteorologie“. Leipzig 1901.
- ^{42a)} Derselbe: „Handbuch der Klimatologie“. Stuttgart 1892.
- ⁴³⁾ Himstedt: „Über die radioaktive Emanation der Wasser- und Ölquellen“. *Physik. Zeitschr.* Bd. 5. 1904.
- ⁴⁴⁾ W. Knoche: „Einige Messungen luftelektrischer Zerstreuung auf dem Pico de Teyde und in Puerto Orotava“. *Physik. Zeitschr.* Bd. 6. 1905.
- ⁴⁵⁾ Lenard: „Über die Elektrizitätszerstreuung in ultraviolett durchstrahlter Luft“. *Annalen d. Physik*. Bd. 3. 1900.
- ⁴⁶⁾ Linß: „Über einige die Wolken- und Luftelektrizität betreffenden Probleme“. *Meteorologische Zeitschr.* Bd. 4. 1887.
- ⁴⁷⁾ A. Loewy und Franz Müller: „Einige Beobachtungen über das elektrische Verhalten der Atmosphäre am Meere“. *Physik. Zeitschr.* Bd. 5. 1904.
- ⁴⁸⁾ Mache: „Über die Polarität der elektrischen Zerstreuung bei Gewittern“. *Physik. Zeitschr.* Bd. 4. 1903.

- ⁴⁹⁾ Derselbe: „Über die im Gasteiner Wasser enthaltene radioaktive Emanation“. Ebenda. Bd. 5. 1904.
- ⁵⁰⁾ Franz Müller: „Beobachtungen über die radioaktive Substanz im Fango“. Ebenda.
- ⁵¹⁾ Regnard: „La cure d'altitude“. Paris 1897.
- ⁵²⁾ Saake: „Messungen des elektrischen Potentialgefälles, der Elektrizitätszerstreuung und der Radioaktivität der Luft im Hohtal von Arosa“. Physik. Zeitschr. Bd. 4. 1903.
- ^{52a)} de Saussure: „Voyage dans les Alpes“. Neuchâtel 1796.
- ⁵³⁾ G. C. Simpson: „Über Ladung durch Ionenadsorption und ihre Beziehung zu der permanenten negativen Ladung der Erde“. Phil. Mag. 6. 1903.
- ⁵⁴⁾ Derselbe: „Über das normale elektrische Feld der Erde“. Physik. Zeitschr. Bd. 5. 1904.
- ⁵⁵⁾ Derselbe: „Atmosphärische Elektrizität in hohen Breiten“. Ebenda. Bd. 6. 1905.
- ⁵⁶⁾ Rausch von Traubenberg: „Über die elektrische Zerstreuung am Vesuv“. Ebenda. Bd. 4. 1903.
- ⁵⁷⁾ Tuma: „Luftelektrizitätsmessungen im Luftballon“. Berichte der Wiener Akademie der Wissenschaft. 1899.
- ⁵⁸⁾ Vincent: „Die Wirkung ultravioletten Lichtes auf feuchte Luft“. Cambridge Proc. Bd. 2. 1904.
- ⁵⁹⁾ Wilson: „Über Elektrizitätszerstreuung in staubfreier Luft“. Cambridge. Proc. Bd. 11. 1900.
- ⁶⁰⁾ Derselbe: „Über radioaktiven Regen“. Ebenda. Bd. 11 u. 12. 1902.
- ^{60a)} Woeickoff: „Die Klimate der Erde“. Jena 1883.
- ⁶¹⁾ Zölls: „Über Elektrizitätszerstreuung in der freien Luft“. Physik. Zeitschr. Bd. 5. 1904.
- ⁶²⁾ Derselbe: „Messungen des atmosphärischen Potentialgefälles in Kremsmünster“. Ebenda.
- ⁶³⁾ Derselbe: „Elektrizitätszerstreuung in Kremsmünster“. Ebenda. Bd. 6. 1905.



Capanna Regina Margherita, 4560 m ü. M.

Kapitel III.

Leitende Gesichtspunkte unserer Untersuchungen.

Höhenaufenthalt und Übergang aus dem Flachlande in die Höhe wirken mit mehr oder weniger ungewohnter körperlicher Tätigkeit in mannigfachster Kombination zusammen zur Erzeugung von Bergheil und Bergleid. Das wissenschaftliche Verständnis der mächtigen Einwirkungen, welche die Ferien im Gebirge auf den Gesunden, die Höhenkur auf den Kranken besitzen, erheischt daher eine getrennte Untersuchung der Einwirkung des Höhenklimas an sich, und der Einwirkung der körperlichen Tätigkeit in ihren verschiedenen Graden vom einfachen Wandern bis zum angestregten Bergsteigen. Erst auf Grund der durch diese Einzelstudien gewonnenen Einsicht können wir an die Analyse des Zusammenwirkens der beiden Momente beim Aufenthalt im Gebirge und bei Hochtouren herantreten.

Von den im Hochgebirge wirksamen Faktoren hat man vor allem einen sorgfältig untersucht, welcher in allen geographischen Breiten und neben allen klimatischen Besonderheiten mit der Erhebung über das Meeresniveau untrennbar verbunden ist, die Luftverdünnung. Sie steht übrigens mit vielen anderen charakteristischen Eigenschaften des Hochgebirges, wie sie in Kapitel II geschildert sind, in direktem Zusammenhang. Sie ist die Ursache der stärkeren Durchlässigkeit der Höhenluft für die Sonnenstrahlen, speziell für die chemisch wirksamen Anteile derselben, sie bewirkt infolgedessen die gewaltigen Temperaturunterschiede zwischen Sonne und Schatten, sie bedingt ferner die starke Wasserverdunstung.

Abgesehen von diesen höchst wichtigen, aber doch nur indirekt mit ihr zusammenhängenden Momenten hat man die Luftverdünnung selbst von zwei verschiedenen Seiten zu betrachten: in ihrer rein mechanischen Wirkung, insofern der Druck der Atmosphäre, welche unseren Körper allseitig umgibt und im Meeresniveau bekanntlich mit 1 kg auf jedem Quadratcentimeter der Oberfläche lastet, sich entsprechend der Abnahme des Barometerstandes vermindert — und vom chemischen Gesichtspunkte angesichts der geringeren Sauerstoffmenge, welche mit dem gleichen Volumen gemessener Luft unseren Lungen zugeführt wird.

Die mechanische Bedeutung der Luftverdünnung. Diese wird in neuerer Zeit meist nicht hoch eingeschätzt; man sagt sich, daß der Druck der Luft, allseitig wirkend, keine mechanischen Effekte ausüben könne. Jedenfalls sind grobe derartige Wirkungen, wie man sie früher für möglich hielt, nicht mehr ernstlich diskutierbar. Früher dachte man, die Luftverdünnung beim Übergang in die höheren Regionen der Atmosphäre wirke ähnlich wie Schröpfköpfe oder Verdünnung der Luft in einem Metallzylinder, welcher ein Glied luftdicht einschließt. Blutungen der Schleimhäute im Hochgebirge und mehr noch bei Ballonfahrten hat man auf solche mechanischen Einwirkungen, auf ein Ansaugen des Blutes nach der Haut und den Lungen beziehen wollen. Man beachtete dabei nicht genügend, daß die Änderungen des Luftdrucks alle inneren und äußeren Oberflächen des Körpers gleichmäßig treffen. So wenig wie die Flüssigkeit in einem Manometer ihren Stand ändert, wenn man über beiden Schenkeln die Luft verdünnt oder komprimiert, so wenig ändert sich der Druck, mit welchem das Blut in unsere Haut- oder Lungengefäße eintritt, wenn gleichzeitig alle inneren und äußeren Oberflächen des Körpers einer Änderung des Luftdrucks ausgesetzt werden. Nur wo Gase in inneren Organen eingeschlossen sind und nicht frei mit der Atmosphäre kommunizieren, können sie bei raschen Druckänderungen mechanische Wirkungen ausüben. Sehr grob treten solche Erscheinungen der Volumänderung von Gasen mit Änderung des Druckes an der geschlossenen Schwimmblase der Tiefseefische in die Erscheinung. Die Ausdehnung der Schwimmblase kann beim raschen Emporziehen der Fische so bedeutend werden, daß der ganze Körper



Tiefseefisch nach schnellem Emporziehen.

zu einer unförmigen Kugel anschwillt oder gar platzt. In anderen Fällen drängt die sich mächtig dehnende Schwimmblase den Magen und andere Eingeweide zum Maule heraus. Hier handelt es sich aber auch um Druckdifferenzen von vielen Atmosphären. Am bekanntesten unter den analogen Erscheinungen beim Menschen sind die manchmal heftigen Schmerzen in der Paukenhöhle, bedingt durch Spannung des Trommelfells nach innen oder außen bei starker Luftdruckänderung, wie sie Caissonarbeiter und Taucher bei ihrer Arbeit treffen; auch bei Ballonfahrten können diese Wirkungen recht unangenehm sein, und in geringem Maße machen sie sich auf steil ansteigenden Zahnradbahnen im Gebirge bemerkbar. Der Gesunde kann die genannten Spannungserscheinungen leicht beseitigen, indem er durch eine Schluckbewegung die gewöhnlich aneinanderliegenden Wandungen der Ohrtrumpete zum Klaffen bringt. Aber auch wo der Weg zwischen Rachen- und Paukenhöhle, sei es infolge von Schleimansammlung in der Ohrtrumpete, sei es durch Schwellung

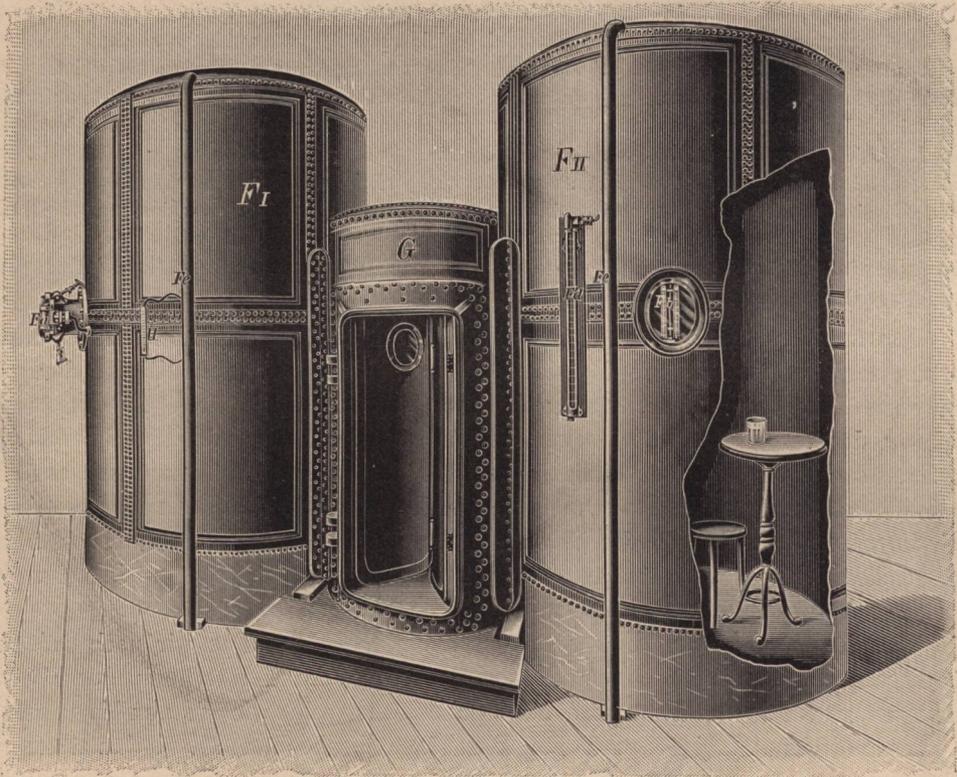
ihrer Schleimhaut derart verlegt ist, daß der Schluckakt ihn nicht freimachen kann, gleicht sich die Spannung doch allmählich aus, indem das Blut, welches in den Wandungen der Paukenhöhle strömt, Gase absorbiert oder abgibt.

Wirkung der Luftdruckänderung auf die Darmgase. Teils durch Absorption, teils durch die natürlichen Kommunikationen nach außen, durch Mund und After, können sich, wie man gewöhnlich annimmt, die Volumänderungen bald ausgleichen, welche die Darmgase in verdünnter Luft erfahren. Die Ausdehnung der Magen- und Darmgase infolge der Abnahme des Luftdrucks führt zu einem Empordrängen des Zwerchfells und dadurch zu einer Erschwerung der Atmung, deren Bedeutung in Kapitel XI noch erörtert werden soll. Hier sei nur der Umstand betont, welchen man bisher vielfach außer acht gelassen hat, daß im Gegensatz zum Paukenhöhlengas, welches sich, wie gesagt, schnell dem veränderten Luftdruck anpaßt, die Volumzunahme der Darmgase in verdünnter Luft nicht schnell vorübergeht. Der größte Teil dieser Gase entsteht durch Gärungsprozesse im Darm selbst, und der Füllungsgrad des Darmes hängt von dem Verhältnis dieser Gasentwicklung zur Abfuhr der Gase ab, welche letztere hauptsächlich durch Aufnahme ins Blut und Abdünstung aus diesem in den Lungen erfolgt.⁵⁰⁾ Solange die Gärungs- und Aufsaugungsprozesse unverändert bleiben, ist auch die Masse der Darmgase, d. h. ihr Gewicht dasselbe, ihr Volum aber in demselben Verhältnis vergrößert, wie der Luftdruck abgenommen hat. Ihre Aufsaugung ist aber in verdünnter Luft erschwert, denn die Absorption eines Gases durch eine Flüssigkeit (hier das Blut) erfolgt dem Drucke proportional, nimmt also beim Sinken desselben ab. Wir werden daher in verdünnter Luft auf längere Dauer der stärkeren Darmblähung und ihrer Wirkung auf den Stand des Zwerchfells rechnen müssen.

Abnahme der Vitalkapazität in verdünnter Luft. Daß beim Übergange eines Menschen vom gewöhnlichen Luftdruck in verdünnte Luft das Zwerchfell emporrückt, das mittlere Lungenvolumen dadurch ein geringeres wird, ist eine allgemein anerkannte Tatsache. Wir und andere haben sie ebensowohl beim Aufenthalt im pneumatischen Kabinett (siehe nebenstehende Abbildung), dessen Luft durch Maschinenkraft verdünnt wurde, gefunden, wie im Hochgebirge und bei Ballonfahrten. Mißt man unter solchen Umständen die Luftmengen, welche ein Mensch nach tiefster Einatmung aus seiner Lunge herauspressen kann, die sog. Vitalkapazität, so ist dieselbe erheblich, um 200—1100 ccm, verkleinert. Diese Verkleinerung wurde nach dem Übergange aus der Ebene in Berghöhen von 1600 m und darüber von Schumburg und Zuntz,⁵³⁾ sowie von Loewy²⁸⁾ und seinen Mitarbeitern mehrere Tage lang beobachtet. Ob diese Abnahme der Lungenfüllung durch die Blähung der Darmgase im wesentlichen bedingt ist oder ob auch andere Momente dabei mitwirken, ist noch strittig.

Eine eigenartige Erklärung für die Abnahme der Vitalkapazität in verdünnter Luft hat Aron¹⁾ gegeben. Er hat durch Messungen des „intrapleurales Druckes“ unsere Kenntnisse über die mechanischen Wirkungen der Luftverdünnung bereichert. Bekanntlich sind die Lungen während des Lebens ständig über ihre natürliche Gleichgewichtslage ausgedehnt und der auf ihre Innenfläche wirkende Luftdruck erhält

diesen Dehnungszustand, solange nicht ein gleicher Druck ihre äußere Oberfläche trifft. Daher zieht sich die Lunge augenblicklich von der Brustwand zurück und schnurrt auf einen kleinen Raum zusammen, sobald der Luft etwa durch eine sog. penetrierende Brustwunde Zutritt zu dem kapillaren Raum zwischen innerer Oberfläche der Brustwand und äußerer Lungenoberfläche, dem „Pleuraraume“, gewährt wird. Führt man durch die Brustwand, ohne daß gleichzeitig Luft eindringt, ein U-förmiges Manometer in den Pleuraraum, so steigt die Flüssigkeit in dem ihm zugewandten Schenkel empor. Die Niveaudifferenz in beiden Schenkeln mißt den „negativen intrapleurale Druck“, welcher natürlich um so erheblicher sein muß, je stärker die Lunge sich zu verkleinern



Pneumatische Kammer.
(Krankenhaus der jüdischen Gemeinde zu Berlin.)

strebt, also je stärker sie gedehnt ist. Er wächst daher bei der Einatmung und sinkt bei der Ausatmung; bei gewaltsamer Ausatmung wird der Druck im Pleuraraume sogar positiv. — Brachte nun Aron Kaninchen in verdünnte Luft, so wurde der negative Druck in ihrer Pleurahöhle geringer. Im Mittel betrug er:

während der Einatmung	5.7 mm	bei normalem Druck,	3.1 mm	bei $\frac{1}{2}$ Atmosphäre
„ „ Ausatmung	2.6 „	„ „ „	0.8 „	„ $\frac{1}{2}$ „

Diese Änderung des intrapleurale Druckes entspricht offenbar einem geringeren Dehnungsgrade der Lungen in der verdünnten Luft; sie sagt aber nichts über

die Ursache desselben aus. Die von Aron²⁾ gemachte Annahme, in der Pleurahöhle befände sich Luft, die beim Sinken des Außendruckes sich dehne und so den Lungenraum verkleinere, könnte zwar die Tatsache erklären, entbehrt aber jeder objektiven Stütze. Öffnet man die Pleurahöhle eines normalen eben getöteten Tieres unter Wasser, so steigt auch nicht die kleinste Luftblase auf. Wenn aber die Erklärung von Aron richtig wäre, müßte eine erhebliche Luftmenge im Pleuraraume vorhanden sein. Sollte beispielsweise eine Abnahme der Vitalkapazität eines Menschen um 200 ccm bei Absinken des Druckes um $\frac{1}{4}$ Atmosphäre im Sinne Arons erklärt werden, so müßte jede Pleurahöhle normalerweise 400 ccm Luft enthalten!

Die Frage, ob Luft in den geschlossenen Pleuraraum ohne Verletzung der Lungenoberfläche gelangen könne, ist von J. R. Ewald und Kobert¹²⁾ untersucht worden. Sie bliesen Tieren unter hohem Drucke, wie er etwa bei stärkstem Pressen und Husten entwickelt wird, Luft in die Lungen ein. Wenn diese Prozedur eine Stunde lang fortgesetzt wurde, konnte man erheblichere Luftmengen sowohl im Pleuraraum, als auch im Herzblute nachweisen. Verfasser schließen selbst aus ihren Versuchen, daß die Bedingungen des Eintritts von Luft in den Pleuraraum beim Lebenden nur ganz ausnahmsweise erfüllt werden. Falls es aber geschehe, werde die eingetretene Luft durch das zirkulierende Blut bald wieder resorbiert und die Luftleere des Pleuraraumes hergestellt. In der Tat dürften die vielfach von Physiologen und Chirurgen wiederholten Versuche, welche das schnelle Verschwinden eingepreßter Luft aus dem Pleuraraum dartun, ein starkes Argument gegen Aron sein.

Kroneckers Erklärung der mechanischen Wirkungen verdünnter Luft. Kronecker²¹⁾ unterwirft die Hypothese Arons einer scharfen Kritik, der wir, dem eben Gesagten zufolge, nur zustimmen können. Aber auch er erklärt die Wirkung der verdünnten Luft, soweit es sich um das Lungenvolumen handelt, in der Hauptsache nicht aus der Blähung der Darmgase, vielmehr nimmt er an, es führe die Luftverdünnung zu Blutstauungen im Lungenkreislaufe und diese seien auch die wesentliche Ursache der Erscheinungen der Bergkrankheit. Kronecker bekämpft die auch von uns anerkannte und später noch ausführlicher zu begründende Ableitung dieser Krankheit aus dem Mangel an Sauerstoff.

Bei Besprechung der Herztätigkeit und des Pulses werden wir noch Gelegenheit haben, die hohen Verdienste Kroneckers um die Erforschung der Höhenwirkungen zu würdigen. Dort wird auch zu erörtern sein, wie die von Kronecker im pneumatischen Kabinett und auf Berghöhen beobachteten Kreislaufstörungen erklärt werden können, ohne daß man direkte mechanische Wirkungen der Luftverdünnung anzunehmen braucht.

Liebigs Hypothese. Auf Grund eigenartiger theoretischer Überlegungen und Messungen an einem Modell plädiert G. von Liebig^{24a)} für folgende mechanische Erklärung der Verminderung des Lungenvolumens bei Luftverdünnung: Die Bewegung eines bestimmten Luftvolumens durch enge Röhren, wie sie bei der Ein- und Ausatmung erfolgt, findet um so weniger Widerstand, je stärker die Luft verdünnt ist. Dieser Umstand beeinflusse die durch kräftige Muskeln bewirkte Einatmung nur wenig, er habe aber erheblichen Einfluß auf die Ausatmung, weil diese wesentlich durch die elastischen Kräfte der Lungen und der Brustwandungen erfolgt. Da diese Kräfte unveränderlich sind, müsse in verdünnter Luft

die Entleerung der Lungen weiter gehen und schneller erfolgen. Da ferner nach beendeter Ausatmung sofort eine neue Einatmung ausgelöst wird („Selbststeuerung“ der Atmung), versteht man wohl, wie die in verdünnter Luft fast regelmäßig beobachtete größere Häufigkeit der Atembewegungen zustande kommen kann. Auch für die im Durchschnitt geringere Füllung der Lungen kann dieser Gesichtspunkt wenigstens als Hilfsmoment in Betracht kommen, dagegen erklärt er nicht die Abnahme der Vitalkapazität, welche durch die Blähung der Darmgase leicht verständlich wird.*)

Andere mechanische Wirkungen des Luftdrucks. Eine mechanische Bedeutung hat noch der Luftdruck, wie die Gebrüder Weber nachgewiesen haben, zur Befestigung der Knochen in den Gelenken. In den beweglicheren Gelenken unseres Körpers, wie Hüft- und Schultergelenk, müssen die Kapselbänder nachgiebig sein, um die umfänglichen Bewegungen der Knochen gegeneinander zu ermöglichen. Hier ist es neben der Adhäsion der einander innig berührenden geglätteten Oberflächen der Luftdruck, welcher die Knochenenden aneinander gedrückt hält. Wenn der Luftdruck aufgehoben wäre, würde die Last des Beines den Knochen aus der Pfanne herausziehen, indem im Gelenk ein luftleerer Raum entstände. Wirklich sinkt der Oberschenkel aus der Pfanne heraus, sobald man letztere vom Becken her anbohrt und dadurch den Luftdruck auch von oben wirken läßt. Die Oberfläche der einander berührenden Gelenkenden ist groß genug, um bei normalem Luftdruck durch diesen allein die ganze Last des Schenkels im Hüftgelenk festzuhalten. Ähnlich ist es mit dem Oberarm im Schultergelenk. In verdünnter Luft reicht, wie manche Autoren annehmen, der Luftdruck zur Fixierung des Schenkels nicht mehr ganz aus; hier muß also Muskelkraft den fehlenden Druck ersetzen; das würde eine ständige Mehrarbeit der Muskulatur und damit einen Mehrverbrauch von Energie und Nährstoff bedeuten, freilich nur in sehr geringem Umfange.

Man könnte endlich noch an Wirkungen der Druckverminderung denken, welche daraus resultieren, daß das Volumen der Flüssigkeiten und Gewebe, aus welchen sich unser Körper aufbaut, durch wechselnden Druck in ungleicher Weise verändert wird. Bekanntlich nimmt das Volumen einer Wassermasse unter dem Überdruck einer Atmosphäre um etwa $\frac{1}{20000}$ ab, für andere Flüssigkeiten und wohl auch für feste Körper ist diese Komprimierbarkeit eine andere, zum Teil wesentlich verschiedene. Daraus könnten wohl Unterschiede, z. B. im Verhältnis der Weite der Blutgefäße zu ihrem Inhalte, resultieren.

Mit Recht betont aber Regnard,³⁹⁾ daß schon ganz mäßige Temperaturschwankungen stärkere Volumänderungen bewirken als die größten in Betracht kommenden Änderungen des Luftdruckes. Ähnliche Erwägungen machen es uns unwahrscheinlich, daß die geistvollen Ausführungen Liebreichs²⁵⁾ über die Wirkung, welche die Abnahme der Schwere mit der Höhe auf den Organismus haben könnte, für die Erklärung der Höhenwirkungen ernstlich in Betracht kommen. Wäre dies der Fall, so müßte jede Annäherung zum Äquator um etwa 9 Breitengrade, also etwa eine Reise von Hamburg nach Turin, ebenso wirken, wie ein Aufstieg um 4000 m, da die Abnahme der Schwere in beiden Fällen gleich groß ist.

*) Zur Kritik der Lehre Liebig's vgl. H. von Schroetter, Zur Kenntnis der Bergkrankheit. Braumüller. Wien u. Leipzig 1899. S. 13 ff.

Wir dürfen die vorstehenden Überlegungen wohl dahin resumieren, daß die erörterten mechanischen Wirkungen der Höhe, falls sie überhaupt von Bedeutung sind, unser Befinden nur unwesentlich beeinflussen können und daher gegen die chemischen, bedingt durch die Verminderung der Sauerstoffmenge, welche mit einem bestimmten Luftvolum eingeatmet wird, in zweite Linie zu stellen sind. Die chemischen Veränderungen der Atmosphäre sind denn auch namentlich von Paul Bert⁵⁾ in seinem umfassenden Werke: „La Pression barométrique“ in ihren Beziehungen zu den krankmachenden Einflüssen des Hochgebirges, zur Bergkrankheit, eingehender studiert worden.

Chemische Wirkungen der Luftverdünnung. Wie schon in unseren früher veröffentlichten Studien auf diesem Gebiete, betrieben wir auch diesmal die Untersuchung des Atemprozesses, speziell der Sauerstoffaufnahme, mit besonderer Sorgfalt. Wir dachten dabei allerdings nicht allein an direkte Wirkungen einer ungenügenden Zufuhr des Sauerstoffs zu den Lungen; wußten wir doch aus zahlreichen älteren Versuchen, daß recht erhebliche Abnahmen des Sauerstoffgehalts der eingeatmeten Luft vorkommen können, ohne daß die Verbrennungsprozesse im Körper dadurch beeinflußt werden. Wir erwogen vielmehr, daß auch andere im Hochgebirge wirksame Momente, wie stärkere Belichtung, jäher Temperaturwechsel, heftiger Wind, die eigentümlichen elektrischen Zustände der Atmosphäre, auf den Organismus derart einwirken können, daß der Stoffwechsel eine Änderung erleidet.

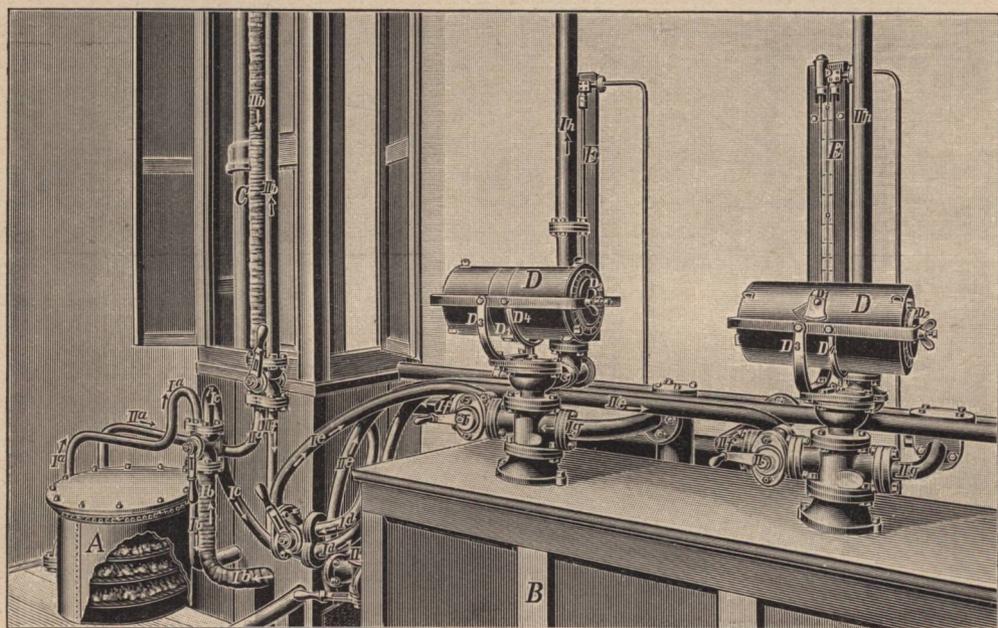
Darüber, was in bezug auf die Oxydationsprozesse im menschlichen Körper die Luftverdünnung als solche bei kürzerer Einwirkung macht, lag uns, abgesehen von den in diesem speziellen Punkte etwas mangelhaften Versuchen Paul Berts,⁵⁾ eine große Untersuchung von A. Loewy²⁷⁾ vor, welche gewissermaßen den Anfang unserer Studien auf diesem Gebiete darstellt. Trotzdem hielten wir es für nötig, vor Beginn der Hochgebirgsstudien an uns selbst nochmals den Effekt der reinen Luftverdünnung zu studieren und zu diesem Behufe Versuche im pneumatischen Kabinett zu machen.

Untersuchungen im pneumatischen Kabinett. Als pneumatisches Kabinett bezeichnet man Kammern, in welchen zu Heilzwecken ein Mensch längere Zeit der Einwirkung veränderten Luftdruckes unterworfen werden kann. Eine sehr vollkommene Einrichtung der Art befindet sich im Krankenhaus der jüdischen Gemeinde zu Berlin. Wir sind dem Kuratorium dieser Anstalt und dem dirigierenden Arzte derselben, Herrn Prof. Lazarus,^{23a)} für die Erlaubnis, dort zahlreiche Versuche anstellen zu dürfen, zu großem Danke verpflichtet, und möchten es nicht unterlassen, die mustergültige Einrichtung und die vorzügliche technische Leitung dieses Instituts durch den Mechaniker Herrn Gast hier gebührend hervorzuheben.

Die Abbildung Seite 87 zeigt uns die äußere Form der Kammern, von welchen jede drei Personen bequem aufnehmen kann. — Während zu Heilzwecken fast ausschließlich Verdichtung der Luft verwendet wird, gestattet doch der Apparat ebenso leicht Verdünnungen bis zur äußersten, mit unserem Leben verträglichen Grenze. Von besonderer Bedeutung sind die auf nebenstehender Abbildung dargestellten Einrichtungen zur Regulierung des Druckes, welchen

man beliebig lange auf jeder gewollten Höhe konstant erhalten kann, und dessen langsame Ab- oder Zunahme am Anfang und am Schluß des Aufenthalts in sehr sinnreicher Weise durch die Regulierzylinder *D* vermittelt wird. Jeder dieser Zylinder besteht aus zwei Hälften, deren eine zu Beginn der Auspumpung mit Wasser gefüllt ist. Indem man das Wasser langsam von der einen Hälfte in die andere fließen läßt, neigt sich der Zylinder um seine Querachse und das an der Gabel *D* sitzende Ventil verengt das Rohr *Ig*, durch welches frische Luft als Ersatz für die ausgepumpte in die Kammer einströmt. In dem Maße wie dies Einströmen durch das Ventil erschwert wird, sinkt der Luftdruck in der Kammer, um schließlich bei dem gewollten Werte konstant zu bleiben.

In der Kammer benutzten wir zur Untersuchung der Atmung die in Kapitel V zu beschreibende trockene Gasuhr. Um gleichzeitig eine genau gemessene Arbeit zu leisten, verwandte A. Loewy ein Bremsrad, den von Gärtner angegebenen



Mechanismus der Druckregulation im pneumatischen Kabinett.

Ergostaten. Die Ergebnisse dieser Studien und ihre Beziehungen zu den Wirkungen der Höhe auf die Atmung werden in Kapitel VIII behandelt. Sie bilden einen Teil der grundlegenden Vorstudien, mit welchen die Arbeiten im Gebirge zu vergleichen waren. Bei beiden hatte die Untersuchung der Atmung den doppelten Zweck, Einblicke in den Stoffwechsel, die Oxydationsprozesse, zu gewähren und andererseits aus der Mechanik der Atmung Rückschlüsse auf den Zustand des diese regulierenden nervösen Apparates und indirekt auch des ganzen Nervensystems zu ziehen.

Die Oxydation als Kraftquelle des Organismus. Was den ersten Teil der Aufgabe betrifft, so wissen wir, daß die Spaltung und Oxydation der Nährstoffe die einzige Kraftquelle unseres Organismus ist. Wenn wir von gewissen Spezialfällen, wie sie z. B. die elektrischen Fische und die leuchtenden Tiere darstellen,

absehen, gibt der lebende Organismus des Menschen und der Tiere in zwei Formen beständig Kräfte nach außen ab, in der Form mechanischer Arbeit und in der von Wärme. Die Erkenntnis, daß diese Kräfte aus der Umwandlung chemischer Spannkraft hervorgehen, verdanken wir den Ideen und Experimenten von Lavoisier, welcher die Ähnlichkeit der im Körper sich abspielenden chemischen Vorgänge mit der Verbrennung erkannte und dartat, daß brennbare organische Stoffe im lebenden Organismus sich in ganz ähnlicher Weise wie bei der Verbrennung im Ofen mit dem Sauerstoff der Luft vereinigen, wobei der Kohlenstoff dieser Verbindungen im wesentlichen zu Kohlensäure, der Wasserstoff zu Wasser wird. Im Verein mit Laplace maß Lavoisier die vom Tierkörper abgegebene Wärme und gleichzeitig die Sauerstoffmenge, welche das Tier aufnahm. Die abgegebene Wärme stimmte annähernd



Antoine Laurent Lavoisier.

überein mit derjenigen, welche die gleiche Sauerstoffmenge bei Verbrennung von Fett in einer Lampe erzeugt hatte. — Es bedurfte übrigens fast eines Jahrhunderts angestrebter Arbeit in Erforschung der chemischen Bestandteile des Körpers und ihrer Umwandlungen und in Verfeinerung der Meßmethoden, ehe die Idee Lavoisiers als festbegründete Tatsache dastand.

Wir verdanken diese Begründung den exakten Bestimmungen der Verbrennungswärme durch Berthelot und Stohmann, sowie den Messungen der Wärmeabgabe von Tieren und Menschen durch Rubner,⁴⁴⁾ und durch Atwater und Benedict,³⁾ auf deren grundlegende Arbeiten später noch zurückzukommen ist.

Umsetzung des Eiweiß im Organismus. Kompliziert wird der Vergleich der Umsetzungen im Tierkörper mit der Verbrennung namentlich durch den Umstand, daß ein wesentlicher Bestandteil unseres Organismus, die Eiweißstoffe, sich bei den Umsetzungen im Körper anders verhält, als bei der Verbrennung in der Flamme. Der im Eiweiß enthaltene Stickstoff wird bei der Verbrennung als gasförmiges Element abgespalten; bei der Umsetzung im Tierkörper dagegen bleibt er mit Wasserstoff verbunden als Ammoniak, und dieses haftet seinerseits zum größten Teil an Kohlenstoff und verläßt den Körper durch den Harn, hauptsächlich in Form von Harnstoff, teilweise auch in komplizierteren Verbindungen, Harnsäure, Kreatinin u. a. Ein kleiner Teil dieser Verbindungen wird auch mit dem Schweiß ausgeschieden.

Außerdem geht fortwährend ein wenig von dem im Körper vorhandenen Stickstoff in Form organisierter Gebilde verloren. Die Haare, Nägel, Oberhautzellen und Epithelien des Darmes, welche die äußere und innere Oberfläche des Körpers

mechanisch schützen, stoßen sich ständig ab und müssen durch Nachwuchs ersetzt werden.

Wenn auch die skizzierte Art des Zerfalls der stickstoffhaltigen Körperbestandteile im Prinzip unanfechtbar feststeht, müssen wir doch in eine kurze Erörterung der Frage eintreten, ob nicht ein Bruchteil des Stickstoffs in unserem Körper ebenso wie beim gewöhnlichen Verbrennen in der Flamme gasförmig frei wird. Die Möglichkeit ist uns durch das Verhalten mancher niedriger Organismen nahegelegt. Es gibt bekanntlich Spaltpilze, welche die aus dem Eiweiß entstehenden Ammoniakverbindungen zu Salpetersäure und salpetriger Säure oxydieren. (Die nitrifizierenden Bakterien.) Aus dem so gebildeten Ammonitrit wird dann ähnlich wie beim Erhitzen dieses Salzes Stickstoffgas und Wasser. Die Annahme, daß auch in unserem Körper in analoger Weise gasförmiger Stickstoff abgespalten werde, fand eine starke Stütze in vielen älteren Respirationsversuchen.

Man ließ Tiere in einem abgeschlossenen Raume verweilen, absorbierte die von ihnen ausgeatmete Kohlensäure und ließ reinen Sauerstoff zuströmen in dem Maße, wie das Tier denselben verbrauchte. Am Schlusse des Versuches wurde die Luft des Raumes analysiert. In den älteren Versuchen fand man bei diesem Verfahren oft eine erhebliche Zunahme des Stickstoffs. Man nahm dann an, der Überschuß sei von dem Tiere ausgeatmet worden.

In den technisch mustergültigen Versuchen von Regnault und Reiset³⁰⁾ war zwar meist der Stickstoffgehalt des Atemraumes am Schlusse etwas größer, oft aber wurde er auch vermindert gefunden. Hierdurch wird es in hohem Maße wahrscheinlich, daß es sich bei den Schwankungen des Stickstoffgehalts im Atemraume um Versuchsfehler handelt, welche wohl im wesentlichen daraus resultieren, daß es unmöglich ist, in einem Raume, in welchem ein lebendes Tier sich befindet, die wahre Durchschnittstemperatur und damit auch die genaue Menge des vorhandenen Gases zu bestimmen. Auch bei den Versuchen von Seegen und Nowak⁴⁷⁾, welche mit noch größerer Bestimmtheit für eine Abgabe gasförmigen Stickstoffs zu sprechen schienen, konnten Pettenkofer und Voit³²⁾ eine Anzahl Fehler nachweisen, welche wahrscheinlich diese Ausscheidung gasförmigen Stickstoffs vortäuschten. Später führte denn auch Leo²⁴⁾ unter Pflügers Leitung Versuche an Kaninchen durch, in welchen der Stickstoffgehalt der Atemluft so gut wie vollkommen unverändert blieb. Die gleichen Resultate erzielte Tacke in unserem Laboratorium und in jüngster Zeit hat Dr. Karl Oppenheimer eine größere Reihe noch nicht publizierter Versuche mit einem verbesserten Apparat nach dem Prinzip von Regnault-Reiset durchgeführt, welche ebenfalls keine Vermehrung des Stickstoffs der Atemluft aufweisen.

Es gibt aber noch einen anderen indirekten Weg, welcher auch zeigt, daß aller im Körper umgesetzter Stickstoff mit den flüssigen und festen Ausscheidungen denselben verläßt. Wenn ein erwachsenes Tier so ernährt wird, daß sein Gewicht monatelang konstant bleibt, muß die Nahrungszufuhr den Verbrauch gerade decken, die Masse der Gewebe und also auch die der stickstoffhaltigen Körperbestandteile und der Stickstoffgehalt des gesamten Körpers müssen unverändert bleiben. Es sind nun solche Versuche vielfach an den verschiedensten Tieren ausgeführt worden, durchgehends mit dem Resultate, daß die Ausscheidungen durch Harn und Kot, unter Berücksichtigung des Verlustes durch die Oberhautgebilde, gerade von der Stickstoffaufnahme gedeckt wurden. Ein erheblicherer Stickstoffverlust in Gasform wäre unter diesen Umständen nur durch ein stetes weniger Werden der stickstoffhaltigen Körpersubstanz möglich, was durch das ganze Verhalten der Tiere und ihres Gewichtes ausgeschlossen war.

Wir glaubten die Tatsache, daß die stickstoffhaltigen Körpersubstanzen bei ihrem Zerfall im Körper den ganzen Stickstoff in flüssiger oder fester Form abgeben, deshalb hier etwas genauer besprechen zu müssen, weil sich ein großer Teil unserer eigenen Untersuchungen auf diese Tatsache stützt. Kehren wir nunmehr zur Betrachtung des Kräftewandels im Organismus und der Erzeugung der nach außen abgegebenen Kräfte durch chemische Umsetzungen zurück, so wissen wir jetzt, daß wir den gesamten aus dem Abbau der Eiweißstoffe resultierenden Stickstoff im Harn,

Kot und Hautsekret zu suchen haben, während von dem Kohlenstoff nur ein kleiner Bruchteil in diesen Sekreten, die Hauptmasse in der gasförmig ausgeschiedenen Kohlensäure sich findet. Der Wasserstoff der umgesetzten organischen Verbindungen wird schließlich zu Wasser, das sich den großen im Körper zirkulierenden Wassermengen beimengt. Es ist daher in seinem weiteren Schicksal nicht mehr für sich zu verfolgen. Wenn wir wissen wollen, ob von einer dem Körper zugeführten und nicht in ihm aufgespeicherten kohlenstoffhaltigen Substanz ein Teil des Kohlenstoffs auf anderem Wege als durch die Atmung ausgeschieden wird, so brauchen wir nur zu untersuchen, ob nach Aufnahme dieser Substanz der Gehalt des Harns oder Kots an Kohlenstoff größer wird. Ist dies nicht der Fall, so muß der Kohlenstoff ausschließlich in Gasform ausgeschieden worden sein.

Berechnung der Kraftentwicklung des Körpers aus der Nahrung. Einwandfreie Versuche haben nun dargetan, daß von den mit der Nahrung aufgenommenen organischen Stoffen die Fette und Kohlehydrate, d. h. die zucker- und stärkeartigen Stoffe, im Organismus fast vollkommen zu Wasser und Kohlensäure verbrennen und daß nur von den Eiweißkörpern ein nicht ganz verbrannter Rest in Form des vorher seiner Natur nach geschilderten Komplexes ausgeschieden wird. Wir werden daher die im Körper verbrannten Stoffe und die aus ihnen entwickelte Energiemenge genau ermitteln können, wenn wir eine Diät wählen, welche gerade den Bedarf des Körpers deckt, d. h. eine solche Diät, bei der das Körpergewicht beliebige Zeit unverändert bleibt. Wir dürfen dann annehmen, daß täglich im Körper ebensoviel Stoff umgesetzt wird, wie wir ihm mit der Nahrung zuführen, und brauchen nur die Energiemenge zu bestimmen, welche aus der Umsetzung der zugeführten Nahrung im Körper frei wird, um die Kraftsumme zu kennen, welche ihm zur Verfügung steht. Zu diesem Behufe ermitteln wir zunächst die Verbrennungswärme der Nahrung, indem wir abgewogene Mengen der einzelnen Nahrungsmittel im Kalorimeter (siehe Kapitel V) mit überschüssigem Sauerstoff verbrennen. Von der so gefundenen Wärmemenge ist diejenige abzuziehen, welche die festen und flüssigen Ausscheidungen des Körpers bei ihrer Verbrennung im Kalorimeter liefern, denn diese Wärme entspricht dem Anteil an Energie, welcher im Körper nicht zur Verwendung gekommen ist. Die um letztere Größe verkleinerte Verbrennungswärme der Nahrung ist das Äquivalent sämtlicher im Körper aufgetretenen Kräfte, d. h. der mechanischen Leistungen des Körpers und der von ihm nach außen abgegebenen Wärme.

Berechnung der Kraftentwicklung aus der Atmung. In voller Strenge läßt sich die Bedingung, die Nahrung so mit dem Bedarf ins Gleichgewicht zu bringen, daß das Körpergewicht vollkommen unverändert bleibt, kaum durchführen. Wenigstens dann nur schwer, wenn die Leistungen, d. h. die Muskeltätigkeit in einigem Umfange wechselt, oder wenn aus anderen Gründen, z. B. wegen schwankenden Wärmebedarfs des Körpers wechselnde Wärmemengen produziert und dafür entsprechend verschiedene Stoffmengen umgesetzt werden müssen. Dieser Unsicherheit geht man aus dem Wege, wenn man auf eine indirekte Weise, nämlich durch Untersuchung der Atmung die Kraftentwicklung und den Stoffverbrauch des

Körpers bestimmt. Wir hatten ja gesehen, daß die Hauptmasse der Nährstoffe unter Aufnahme von atmosphärischem Sauerstoff zu Kohlensäure und Wasser verbrennt. Die Menge des aufgenommenen Sauerstoffs und der gleichzeitig ausgeschiedenen Kohlensäure gestattet uns nun, wenn auch die im Harn ausgeschiedene Stickstoffmenge bekannt ist, eine Berechnung der umgesetzten Nährstoffe. Wir ermitteln hierbei zunächst in S. 102 dieses Kapitels darzulegender Weise das zersetzte Eiweiß aus dem im Harn gefundenen Stickstoff sowie die Menge Kohlenstoff und Wasserstoff, welche von diesem Eiweiß noch übrig ist, nachdem die in Verbindung mit dem Stickstoff in den Harn und Kot übergegangenen Anteile abgezogen sind. Dieser Kohlenstoff und Wasserstoff wird mit Hilfe eingeatmeten Sauerstoffs verbrannt und liefert auf 1 g Stickstoff (= 6.25 g Eiweiß) 4.6 l Kohlensäure unter Verbrauch von 5.8 l Sauerstoff. Der eingeatmete Sauerstoff und die ausgeatmete Kohlensäure, welche nach Abzug des Anteils des Eiweiß übrig bleiben, stehen in Beziehung zur Verbrennung der stickstofffreien Nährstoffe, als welche zumeist nur Kohlehydrate und Fette in Betracht kommen. Aus der elementaren Zusammensetzung derselben läßt sich die auf die Gewichtseinheit entfallende Menge Sauerstoff und Kohlensäure, wie folgt, genau berechnen.

Der Hauptrepräsentant der Kohlehydrate, die Stärke, hat die Formel $C_6H_{10}O_5$, d. h. sie besteht aus 6 Atomen Kohlenstoff von dem Atomgewicht 12 (bezogen auf das Gewicht des Wasserstoffes als Einheit), 10 Atomen Wasserstoff von dem Atomgewicht 1, und 5 Atomen Sauerstoff von dem Atomgewicht 16. Mit anderen Worten: 162 g Stärke bestehen aus 72 g Kohlenstoff, 10 g Wasserstoff und 80 g Sauerstoff.

Bei den Umsetzungen im Körper entstehen hieraus, wie bei der Verbrennung, 6 CO_2 , d. h. 264 g Kohlensäure, 5 H_2O , d. h. 90 g Wasser, worin $(6 \times 2) + (5 \times 1) = 17$ Atome Sauerstoff enthalten sind. Da in dem Molekül der Stärke nur 5 Atome Sauerstoff sich befinden, müssen $17 - 5 = 12$ Atome Sauerstoff eingeatmet werden. Hieraus ergibt sich, daß bei der Verbrennung von 162 g Stärke 12 Atome = $12 \times 16 = 192$ g Sauerstoff eingeatmet werden und 6 Moleküle $CO_2 = 264$ g Kohlensäure ausgeatmet werden.

Die 192 g Sauerstoff haben bei normalem Barometerstand und Null Grad Temperatur ein Volumen von 134.26 l, die 264 g Kohlensäure genau dasselbe Volumen. Es entsteht also bei der Verbrennung von Kohlehydraten (für die verschiedenen Zuckerarten gilt genau dasselbe wie für die Stärke) dem Volumen nach immer ebensoviel Kohlensäure, wie Sauerstoff verbraucht wird.

Bei den Fetten ergibt eine analoge Rechnung zwar für die einzelnen in der Nahrung vorkommenden Fettkörper kleine Unterschiede, die aber doch so gering sind, daß wir durchschnittlich sagen können, auf 1 g verbrennenden Fettes werden 2.887 g Sauerstoff verbraucht und 2.806 g Kohlensäure gebildet, während gleichzeitig aus dem Wasserstoff 0.952 g Wasser entstehen. Rechnen wir diese Gewichte wieder in Volumina um, so haben wir auf 1 g Fett: Verbrauch von 2.019 l Sauerstoff und Bildung von 1.427 l Kohlensäure.

Der charakteristische Unterschied in der Zersetzung der beiden Stoffgruppen liegt also darin, daß auf die gleiche Menge verbrauchten Sauerstoffs beim Fett sehr viel weniger Kohlensäure gebildet wird: Auf 1 l Sauerstoff wird bei den Kohlehydraten genau 1 l Kohlensäure gebildet, bei den Fetten nur 0.707 l. Das Volumverhältnis der gebildeten Kohlensäure zum verbrauchten Sauerstoff hat Pflüger als den respiratorischen Quotienten bezeichnet. Wir können demnach auch sagen, die Verbrennung der Kohlehydrate ist charakterisiert durch den respiratorischen Quotienten 1.0, die der Fette durch den Quotienten 0.707.

Wenn man in der oben angedeuteten und in Kapitel V näher zu erläuternden

Weise die Energie der Nährstoffe durch Verbrennung in Wärme überführt und diese mißt, so ergibt sich, daß bei der Verbrennung von 1 g Stärke 4.18 Wärmeeinheiten (W.E.), bei der Verbrennung von 1 g Fett 9.5 W.E. entstehen. 1 W.E. ist die Menge Wärme, welche 1 kg Wasser um 1° Celsius erwärmt (vgl. Kapitel V.)

Umgekehrt läßt sich aus der für die Verbrennung nötigen Sauerstoffmenge und der Menge der gebildeten Kohlensäure berechnen, daß bei der Stärkeverbrennung auf 1 l Sauerstoff 5.047 W.E., auf 1 l Kohlensäure natürlich ebensoviel entfällt, während beim Fett auf 1 l Sauerstoff 4.686, auf 1 l Kohlensäure 6.58 W.E. entstehen.*)

Solange bei der Ernährung nur die genannten Stoffe in Betracht kommen, kann man aus den vorstehenden Daten ableiten, in welchem Umfange der verbrauchte Sauerstoff sich nach Abzug des Anteils des Eiweißes in die Kohlehydrate und Fette teilt. Wenn der respiratorische Quotient 1.0 beträgt, wird man sagen können, daß es sich ausschließlich um Kohlehydrat handelt, wie man umgekehrt beim Quotienten 0.707 sagen kann, daß nur Fett verbrannt ist. Steht, wie das in der Regel der Fall sein wird, der Quotient zwischen diesen beiden Werten, so ergibt die Größe desselben, in welchem Verhältnis sich die beiden Stoffe in den eingeatmeten Sauerstoff geteilt haben. Wenn es, wie bei unseren späteren Betrachtungen, nur darauf ankommt festzustellen, wieviel Wärme bei Aufnahme einer bestimmten Sauerstoffmenge und gleichzeitiger Ausatmung einer bestimmten Kohlensäuremenge im Körper gebildet worden ist, so kann man das an der Hand folgender Erwägung ohne weiteres berechnen.

Beim Quotienten 0.707 entspricht 1 l eingeatmeten Sauerstoffs der Erzeugung von 4.686 W.E., beim Quotienten 1.0 der von 5.047 W.E. Steht der Quotient zwischen diesen Zahlen, so muß auch die pro Liter Sauerstoff erzeugte Wärmemenge zwischen 4.686 und 5.047 W.E. liegen. Anwachsen des Quotienten von 0.707—1.00, d. h. um 0.293, erhöht den Wärmewert des Sauerstoffes um $5.047 - 4.686 = 0.361$ W.E. Auf einen Zuwachs des Quotienten um je 0.01 entfällt also eine Erhöhung des Wärmewertes um $\frac{0.361}{29.3} = 0.0123$ W.E.

Diese einfache Beziehung der Wärmeproduktion zum respiratorischen Quotienten gilt nicht mehr, wenn mit der Nahrung längere Zeit hindurch mehr Kohlehydrate zugeführt werden, als der Organismus zur Bestreitung seiner Leistungen braucht; dann wird der unverbrauchte Teil derselben in Fett umgewandelt. Hierbei muß ein in den Kohlehydraten enthaltener Überschuß an Sauerstoff eliminiert werden. Das geschieht, indem er sich mit Wasserstoff und Kohlenstoff zu Wasser und Kohlensäure verbindet. Dann entsteht also Kohlensäure, ohne daß gleichzeitig Sauerstoff eingeatmet wird, der resp. Quotient kann größer als 1.0 werden. Bleibtren⁶⁾ fand bei genudelten Gänsen Werte bis 1.34. Im umgekehrten Sinne ändert sich der Quotient, wenn die Nahrung der Kohlehydrate entbehrt, es wird dann im Zustande absoluter Ruhe neues

*) Für die in ihrer Zusammensetzung von den übrigen Fetten des Tierkörpers etwas abweichende Butter haben wir auf jedes Gramm:

Verbrauch von	1.994 l Sauerstoff,
Bildung	„ 1.401 l Kohlensäure,
„	„ 9.23 W. E.
Auf 1 l eingeatmeten Sauerstoff 4.629 W. E.	

Kohlehydrat im Körper und zwar wahrscheinlich aus Fett (Pflüger³⁷) gebildet und bei der Arbeit wieder verbraucht. Der resp. Quotient kann unter diesen Umständen bis auf 0.64, vielleicht noch tiefer sinken. [Vergl. Lehmann und Zuntz²³), Magnus-Levy^{24b}].

Alkohol als Kraftquelle des Organismus. Nun kommt aber in unserem Organismus gelegentlich neben Kohlehydrat und Fett noch ein dritter aus den Elementen C, H, O aufgebaute Stoff zur Verbrennung, das ist der Alkohol von der Formel C_2H_6O . Seiner Verbrennung entspricht, wie die analoge Rechnung ergibt, der resp. Quotient 0.667. 1 g Alkohol liefert bei seiner Verbrennung 7.07 W.E. Auf 1 l für diese Verbrennung verbrauchten Sauerstoffes entstehen 4.843 W.E.

Wenn alkoholhaltige Getränke in nicht übermäßigen Mengen genossen werden, so erfolgt, wie eine ganze Reihe von einwandfreien Versuchen gelehrt hat, innerhalb der nächsten Stunden eine fast vollständige Verbrennung des Alkohols zu Kohlensäure und Wasser. Nur etwa 1—2% des Alkohols werden mit der Atemluft unzersetzt ausgehaucht, ein noch geringerer Bruchteil wird im Harn entleert. Auch im Schweiß hat man äußerst geringe Mengen nachgewiesen.

Ferner wurde durch messende Versuche dargetan, daß der Sauerstoffverbrauch eines Menschen oder Tieres sich nicht nennenswert ändert, wenn beträchtliche Mengen Alkohol aufgenommen und dem eben Gesagten zufolge im Körper verbrannt werden. Daraus folgt, daß der Alkohol nicht neben unverändert bleibenden Mengen der anderen Nährstoffe im Organismus verbrannt wird, sondern daß bei seiner Oxydation eine entsprechende Menge anderer Nährstoffe gespart wird. Über diese Sparwirkung ist in den letzten Jahren viel diskutiert worden, weil die Gegner des Alkoholgenusses auch den Umstand für ihre Bekämpfung dieses Genußmittels ins Feld führen, daß es kein Nährstoff sei, also nur Giftwirkungen im Körper entfalte. Daß der Alkohol Giftwirkungen entfalten kann, wissen wir alle, aber das schließt in keiner Weise die Richtigkeit des einwandfrei geführten Nachweises aus, daß er auch ein Nährstoff ist, der, wenn er zur Verbrennung kommt, eine entsprechende Menge anderer Nährstoffe dem Organismus spart. Es ist dies ein Umstand, welcher für den gesunden Menschen ja ziemlich gleichgültig ist, dagegen ernstlich in Betracht kommt, wo es gilt, Kranken, welche die normalen Nahrungsmittel nicht mehr in ausreichender Menge aufnehmen können und dadurch in Gefahr des Verhungerns sind, einen Zuwachs an Nahrung zu schaffen. Es gelingt oft genug, solchen Kranken ohne erhebliche Beschwerden mehr als $\frac{1}{4}$ ihres gesamten Nährstoffbedarfs in Form zweckmäßig verteilter kleiner Mengen Alkohol zuzuführen. Daß diese Alkoholmenge eine entsprechende Menge anderer Nährstoffe spart, geht aber nicht nur aus dem Gleichbleiben der Sauerstoffaufnahme, sondern noch überzeugender aus der Messung der Wärmeabgabe des Körpers hervor.

Da sich alle unsere Betrachtungen des Stoffwechsels auf die Annahme stützen, daß die Verbrennungsprozesse im Körper genau dieselbe Wärmemenge liefern, wie man sie bei der Verbrennung der umgesetzten Stoffe im Kalorimeter ermittelt, erscheint es nicht überflüssig, die Beweise für diese, Seite 92 dieses Kapitels in ihrer historischen Entwicklung dargelegte Annahme hier kurz zu besprechen. Sie sind im wesentlichen dadurch erbracht worden, daß man Tiere und Menschen, deren Stoffumsatz durch Messung der Ausscheidungen im Harn und durch die Atmung genau bestimmt wurde, unter solchen Bedingungen hielt, daß sie nur in Form von Wärme Energie nach außen abgeben konnten, und diese Wärmemengen genau maß.

Der erste, der solche Versuche an Tieren wirklich einwandfrei durchführte, war Rubner⁴⁴⁾. Er experimentierte an Hunden im Hungerzustande, bei einseitiger Ernährung mit Eiweiß, und bei einer aus Fett und Eiweiß gemischten Kost. In allen Fällen wurde aus der Stickstoffausscheidung in Harn und Kot und durch Messung der mit der Atmung ausgeschiedenen Kohlensäure bestimmt, wieviel Eiweiß und wieviel Fett im Organismus umgesetzt wurde, und die diesem Umsatz entsprechende Wärmebildung berechnet. Sie stimmte innerhalb der unvermeidlichen Fehlergrenze mit der faktisch vom Tier abgegebenen Wärmemenge überein.

In viel größerem Umfange und bei sehr verschiedener Ernährungsweise wurden an Menschen solche Versuche mit einem noch vollkommeneren Apparate von Atwater und Benedict⁵⁾ ausgeführt. Ihr Apparat ist so eingerichtet, daß Menschen tagelang sich in ihm aufhalten und auch Arbeitsleistungen durch Treten eines zweiradartigen stabilen Instrumentes leisten können. Alle Bedürfnisse werden durch zweckmäßig eingerichtete Schleusen in den Apparat hineingeschafft. Überdies wird die Verbindung mit der Außenwelt durch Telephon unterhalten. In diesem Apparat haben die genannten Forscher die Wärmeproduktion von Menschen unter verschiedenen Lebensbedingungen und bei verschiedener Ernährungsweise gemessen und unter anderen auch eine große Anzahl von Versuchen ausgeführt, in welchen eine Reihe von Tagen normaler Ernährung ohne Alkohol mit solchen verglichen wurde, an welchen eine bestimmte Menge Fett oder Kohlehydrate aus der Nahrung weggelassen und dafür so viel Alkohol verabreicht wurde, daß die Verbrennungswärme desselben der des weggelassenen Nahrungsbestandteiles gleichkam. Es zeigte sich nun, daß unter diesen Umständen die Wärmeproduktion des Individuums vollkommen unverändert blieb, nicht nur, wenn dasselbe sich möglichst der körperlichen Ruhe befleißigte, sondern auch in jenen Versuchen, in welchen auf dem gebremsten Zweirad kräftige Arbeit während eines Teiles des Tages geleistet wurde. Man wird geneigt sein, aus diesen Versuchen den Schluß zu ziehen, daß der Alkohol nicht nur als Wärmeerzeuger die übrigen Nährstoffe vollwertig vertreten kann, sondern daß dasselbe auch gilt für die Verwendung der Nährstoffe zur Muskelarbeit. Der letztere Schluß ist freilich nicht einwandfrei. Im Verhältnis zur gesamten Wärmeproduktion des Tages ist in all diesen Versuchen der dem Alkohol entstammende Anteil ziemlich klein. Er beträgt meist kaum $\frac{1}{8}$ der gesamten Wärmeproduktion. Da nun von der ganzen Kraftausgabe des Menschen auch bei starken Arbeitsleistungen die größere Hälfte immer auf Wärme entfällt, so ist jedenfalls bei diesen Versuchen noch die Annahme gerechtfertigt, daß der Alkohol nur einen Teil der Nährstoffe, welche sonst zur Wärmeproduktion dienen, ersetzt habe, daß er aber nicht fähig sei, unseren Muskeln Arbeitsleistungen zu ermöglichen.

Die Quelle der Muskelkraft. Im Anschluß an diese Betrachtung möchten wir etwas eingehender auf die Bedeutung der Nährstoffe für die Kraftleistungen des Körpers eingehen. Unsere Muskeln kann man bekanntlich als eine Maschine ansehen, welche durch Verkürzung der Muskelfasern Lasten zu heben und dadurch Arbeit zu leisten imstande ist. Diese Fähigkeit behalten die Muskeln auch, wenn man sie aus dem Zusammenhang des Körpers herauslöst. Ausgeschnittene Muskeln eines getöteten Säugetieres verkürzen sich bei Einwirkung entsprechender Reize, welche ihnen normalerweise durch die Nerven zugeführt werden, unter gewissen Umständen noch stundenlang, die eines Kaltblüters selbst mehrere Tage lang. Sie besitzen diese Eigenschaft auch dann, wenn man sie der Sauerstoffzufuhr vollständig beraubt, etwa dadurch, daß man sie in einem nur Stickstoff- oder Wasserstoffgas enthaltenden Raum unterbringt. Stets ist diese Arbeitsleistung mit einer Erwärmung des tätigen Muskels verbunden.

Daß die Quelle der Kraft chemische Umsetzungen sind, wissen wir seit den grundlegenden Untersuchungen von Helmholtz, welche dargetan haben, daß mit jeder Arbeitsleistung des Muskels Veränderungen seiner chemischen Zusammen-

setzung einhergehen. Wenn man, wie das durch A. Fick,¹⁴⁾ Heidenhain,¹⁹⁾ Magnus Blix⁷⁾ u. a. geschehen, gleichzeitig die Größe der durch Verkürzung geleisteten Arbeit und die Menge der entstandenen Wärme mißt, kommt man zu der Erkenntnis, daß bei jeder Muskelarbeit der größere Teil der aus dem Stoffumsatz freiwerdenden Energie Wärme wird, nur ein kleinerer Teil mechanische Arbeit leistet. Unter den günstigsten Umständen wurden etwa 40% der umgesetzten Kraft zu mechanischen Zwecken verwendet, 60% gingen als Wärme nach außen.

Bedeutung des Sauerstoffs für die Muskelarbeit. Diese Verhältnisse lassen sich nun bei passender Anordnung auch im lebenden Körper studieren. Hier ist zwar auch für kurze Zeit und relativ geringe Krafterleistungen eine Arbeit ohne Sauerstoff möglich. Der Sauerstoff wird bekanntlich durch den roten Blutfarbstoff, also durch das zirkulierende Blut, den Organen zugeführt. Schneidet man die Blutzufuhr eines Gliedes ab, so bleibt seine Muskulatur dennoch kurze Zeit arbeitsfähig, sie erlahmt aber sehr bald. Nach einer Erholungspause kann freilich der Muskel trotz des fehlenden Sauerstoffs immer wieder etwas Arbeit vollbringen; sie ist jedoch gering im Vergleich zur Leistung des normal mit Sauerstoff versorgten Muskels.

Wie wesentlich die Sauerstoffzufuhr bei der normalen Arbeit ist, lehrt uns die Untersuchung der Atmung eines arbeitenden Individuums verglichen mit der eines ruhenden. Wenn wir nach der im folgenden Kapitel beschriebenen Methode die Sauerstoffaufnahme messen, so zeigt sie sich erhöht, sobald die Versuchsperson auch nur aus der bequemen Bettlage in die aufrechte Stellung übergeht. Jede weitere Muskeltätigkeit steigert den Sauerstoffverbrauch noch weiter. Wenn man mit mäßiger Geschwindigkeit geht, so verbraucht man etwa das Doppelte an Sauerstoff als in der Ruhe. Beim Gehen mit der normalen Geschwindigkeit des marschierenden Soldaten, also etwa 80 m in der Minute, ist der Verbrauch gegenüber absoluter Ruhe etwa aufs dreifache erhöht. Beim Laufen, beim Bergsteigen ist die Erhöhung eine noch erheblichere.

Eine weitere für die Beurteilung des Stoffwechsels bei Arbeit wichtige Tatsache, welche sich aus diesen Versuchen ergibt, ist die, daß die Kohlensäureausscheidung in der Regel in genau dem gleichen Verhältnis wie die Sauerstoffaufnahme erhöht ist, so daß der respiratorische Quotient bei der Arbeit derselbe bleibt, wie in der Ruhe. Nur wenn die Arbeit eine übermäßige wird oder wenn die Sauerstoffzufuhr zu den tätigen Muskeln dem Bedarf nicht entspricht, was wir z. B. durch leichte Umschnürung eines arbeitenden Gliedes leicht bewirken können, oder auch dadurch, daß wir die Atemluft ärmer an Sauerstoff machen — nur in diesen Fällen ist die Kohlensäureausscheidung mehr gesteigert als die Sauerstoffaufnahme. Der respiratorische Quotient steigt also (Loewy²⁶⁾²⁷⁾. Es erinnert dieses Verhalten an das vorher geschilderte des aus dem Körper ausgeschnittenen und also der Blutzufuhr beraubten Muskels. Ein solcher liefert, auch wenn er in sauerstoffreicher Luft arbeitet, dennoch erhebliche Mengen Kohlensäure. Wir müssen hieraus folgern, daß sich im Muskel eine gewisse Menge Material befindet, welches ohne Sauerstoffzufuhr durch seine Zersetzungen Kohlensäure, Kraft und Wärme liefert, daß aber dieses Material nach einiger Zeit verbraucht ist, wenn nicht für Ersatz gesorgt wird.

Das prägt sich zunächst darin aus, daß der Muskel in einer sauerstoffreichen Atmosphäre länger arbeiten kann, als bei fehlendem Sauerstoff. Noch länger bleibt er außerhalb des Körpers zur Arbeit befähigt, wenn man eine sauerstoffhaltige Flüssigkeit durch seine Adern leitet.

Im Blute normal genährter Organismen findet sich nun stets ein reichlicher Gehalt an Sauerstoff, welcher an die roten Blutkörperchen gebunden ist und durch diese in später zu besprechender Weise allen Organen zugeführt wird. Ferner eine geringe Menge, etwa 0.1% des Blutgewichts, an Zucker und etwa ebensoviel an Fett. Außerdem enthält der Muskel, der ja seiner Hauptmasse nach aus den noch zu besprechenden Eiweißstoffen besteht, selbst Kohlehydrate in Form des der Stärke nahestehenden Glykogens, in Mengen von 0.1—1.0% und darüber, und Fett in ebenfalls sehr wechselnden Mengen. Die Frage, in welcher Reihenfolge er diese ihm zu Gebote stehenden Nährstoffe verbraucht, hat man in doppelter Weise zu lösen gesucht. Einmal durch chemische Analyse von vorher geruhten und durch Arbeit ermüdeten Muskeln, und andererseits durch die Untersuchung der Atmung arbeitender Tiere, wobei ja in vorher besprochener Weise der respiratorische Quotient uns Rückschlüsse auf die Natur der umgesetzten Stoffe gestattet.

Beide Methoden lehren übereinstimmend, daß bei kräftiger Arbeitsleistung zunächst der Vorrat der Muskeln an Kohlehydraten verbraucht wird. Außer in den Muskeln findet sich eine erheblichere Menge Glykogen in der Leber. Auch dieser Vorrat wird bei länger dauernder Arbeit verbraucht, so zwar, daß nach 4 bis 6stündiger Arbeit sowohl in den Muskeln als auch in der Leber nur noch Spuren davon zu finden sind. Entsprechend diesem Verhalten beobachten wir bei Tieren, die mit einem erheblichen Glykogenvorrat die Arbeit beginnen, in der ersten Zeit der Arbeit einen hohen respiratorischen Quotienten, bei längerer Fortsetzung derselben geht er allmählich herunter und erreicht nach 4—6 Stunden ziemlich den Wert, welcher der Verbrennung von Fett entspricht, d. h. den von 0.71.

Bedeutung von Kohlehydrat, Fett und Alkohol für die Muskelarbeit.

Wir können aus diesen Versuchen den Schluß ziehen, daß von den beiden Nährstoffkategorien, den Kohlehydraten und den Fetten, bei Arbeitsleistungen zunächst die ersteren und, nachdem ihr Hauptvorrat verbraucht ist, die Fette zur Bestreitung der Muskelleistungen dienen. Dies ist aber nicht so zu verstehen, daß die erstere Kategorie vollständig aufgebraucht sein muß, ehe die letztere in Angriff genommen wird. Vielmehr beobachten wir bei Menschen, die ziemlich reichlich Kohlehydrate, daneben aber auch Fett zu genießen pflegen, in der Ruhe den respiratorischen Quotienten zwischen 0.8 und 0.9, die höheren Zahlen bald nach einem kohlehydratreichen Mahle und die niedrigeren in späteren Stunden oder etwa frühmorgens vor der Nahrungsaufnahme. Beginnt nun ein solcher Mensch zu arbeiten, etwa in raschem Tempo zu gehen, so bleibt der respiratorische Quotient in der Regel unverändert, zuweilen steigt er im Anfang der Arbeit um 0.02—0.03, woraus wir schließen können, daß die Kohlehydrate nicht allein die Arbeit bestreiten, vielmehr in gleichem oder etwas stärkerem Verhältnis, als in der Ruhe, am Arbeitsumsatz teilnehmen. Bei längerer Fortdauer der Arbeit geht dann der Quotient

ganz allmählich und stetig herunter, so etwa, daß er nach einem drei- oder vierstündigen Marsch, wenn keine größeren Nahrungsmengen während desselben aufgenommen werden, den Wert 0.76 erreicht. Wird dann mit Arbeiten aufgehört, so haben wir in der nachfolgenden Ruheperiode denselben, oft auch noch einen niedrigeren Quotienten, der erst wieder ansteigt, wenn größere Mengen Kohlehydrate genossen worden sind. Machen wir denselben Versuch bei einem Menschen, der hauptsächlich Fettnahrung genießt, so finden wir in der Ruhe einen Quotienten von 0.71—0.74. Im Beginn der Arbeit steigt er meist um 0.01—0.02, erreicht aber bei längerer Arbeit wieder den anfänglichen niedrigen Wert. In den der Arbeit folgenden Stunden kommt dann die (S. 96) besprochene Tatsache zur Beobachtung, daß der Quotient noch unter den der Fettverbrennung entsprechenden Wert, also noch unter 0.707 absinkt, manchmal bis auf 0.66.

Zugabe von Alkohol zu der normalen Nahrung bewirkt alsbald ein Absinken des Quotienten, welches um so erheblicher ist, je höher der Quotient vorher war, d. h. je mehr die Kohlehydrate in der Nahrung überwiegen. Dieses Absinken ist eine Folge der Beteiligung des Alkohols an den Umsetzungen. Wir hatten ja vorher gesehen, daß dem verbrennenden Alkohol der respiratorische Quotient 0.667 zukommt. Bei arbeitenden Menschen liegen noch nicht hinreichende Beobachtungen über die Beeinflussung des respiratorischen Quotienten durch Alkohol vor. Bei Ruhenden ist das Absinken zweifellos dargetan und dadurch in Übereinstimmung mit dem baldigen Verschwinden des genossenen Alkohols aus den Organen bewiesen, daß derselbe schnell verbrannt wird und in dieser Hinsicht den anderen Nährstoffen, den Kohlehydraten und Fetten, vorangeht, jedoch so, daß auch bei reichlichster Alkoholzufuhr niemals die Kohlehydrate und Fette ganz von der Verbrennung ausgeschlossen werden.

Wir können für die drei bisher betrachteten Kategorien von Nährstoffen in bezug auf ihr Eintreten in den tierischen Verbrennungsprozeß die Reihenfolge Alkohol, Kohlehydrat, Fett aufstellen, mit der Beschränkung jedoch, daß, wie schon erwähnt, wohl niemals Alkohol allein die Verbrennungen bestreitet und daß auch, wenn Kohlehydrate und Fett zur Verfügung stehen, zwar die ersteren vorwiegen, aber doch immer zugleich eine gewisse Menge von Fett sich an den Oxydationen beteiligt.

Bedeutung des Eiweißes als Kraftquelle. Es kommt nun aber neben diesen Stoffen als Quelle der Kraftleistungen in unserem Körper noch diejenige Substanz in Betracht, aus welcher sich alle Organe und Gewebe der Hauptmasse nach aufbauen, das ist das Eiweiß. Ohne daß wir auf die komplizierte chemische Zusammensetzung des Eiweißes näher eingehen, muß hier nur daran erinnert werden, daß dasselbe neben den die bisher betrachteten Nährstoffe aufbauenden drei Elementen noch Stickstoff und Schwefel enthält. Die Stickstoffmenge schwankt zwar zwischen 14—19 % in den außerordentlich zahlreichen Arten von Eiweißkörpern, welche aus dem Tier- und Pflanzenreich dargestellt sind, wir dürfen aber als die Durchschnittszahl für die Eiweißkörper des tierischen Organismus und ebenso für die wichtigsten Eiweißstoffe, welche unsere pflanzliche Nahrung enthält, einen Stickstoffgehalt von 16 %, einen Schwefelgehalt von 1 % annehmen. Wie früher auseinandergesetzt, geht nun der ganze Stickstoff des zerfallenden Eiweißes in die nichtflüchtigen Ausscheidungen des Körpers über, die Hauptmasse desselben in den Harn. Der Schwefel ist ebenfalls seiner ganzen Menge nach in diesen Aus-

scheidungen enthalten, und zwar zum größeren Teile mit Sauerstoff verbunden, als Schwefelsäure und unterschweflige Säure, ein geringerer Teil in komplizierteren organischen Verbindungen. Wir bekommen demgemäß über die Menge des im Körper zersetzten Eiweißes Aufschluß, wenn wir den Stickstoff und eventuell zur Kontrolle noch den Schwefel in den genannten Ausscheidungen bestimmen.

Es ist nun aber ferner nötig, daß wir nachweisen, wieviel von dem Kohlenstoff und Wasserstoff des Eiweißes mit dem Stickstoff und Schwefel in die greifbaren Ausscheidungen übergeht, wieviel davon zu Wasser und Kohlensäure verbrannt und ausgeatmet wird. Wir müssen ferner wissen, wieviel Sauerstoff für den Ablauf dieser Umsetzungen durch die Atmung aufgenommen werden muß. Diese Daten lassen sich gewinnen, wenn wir von der Eigenschaft der fleischfressenden Tiere Gebrauch machen, sich mit Eiweiß allein nähren zu können. Pflüger³³⁾ hat einen arbeitenden Hund monatelang mit magerstem Fleisch gefüttert und dadurch den Beweis geliefert, daß das Eiweiß nicht nur für die Erhaltung des ruhenden Körpers, sondern auch für die Bestreitung sehr erheblicher Arbeitsleistungen dienen kann. In anderen Worten: daß das Eiweiß für sich allein alle Leistungen des Körpers erfüllt. Das gilt für keinen anderen Nährstoff, denn wenn man Fette oder Kohlehydrate in noch so großen Mengen verfüttert, zersetzt der Organismus doch immer gleichzeitig auch Eiweiß, das er in diesem Falle durch Abbau seiner Organe gewinnt.

Man kann daher in gewissem Sinne das Eiweiß als die vollkommenste Nahrung, als die „*Urnahrung*“, wie es von Pflüger bezeichnet wurde, betrachten, während die anderen Nährstoffe nur imstande sind, einen mehr oder weniger großen Teil des Eiweißes, aber nie die ganze Menge desselben für die Zwecke des Organismus zu vertreten.

Abbau der Eiweißkörper. Bei einem fast ausschließlich mit Eiweiß gefütterten Tier kann man nun annehmen, daß auch die sämtlichen Bestandteile der festen und flüssigen Ausscheidungen dem Zerfalle des Eiweißes entstammen. Man darf dies um so mehr, als ja, wie früher schon erwähnt, durch Zugabe von Fett oder mäßigen Mengen Kohlehydrate zur Nahrung die Zusammensetzung dieser Ausscheidungen gar nicht geändert wird. Was wir daher an brennbaren organischen Stoffen im Harn und Kot eines so gefütterten Tieres finden, ist Abbauprodukt des Eiweißes, und was nach Abzug dieser Stoffe von dem verfütterten Eiweiß noch übrig bleibt, das muß, da solche Spaltungsprodukte im allgemeinen im Körper nicht aufgestapelt werden, auf dem Wege der Bildung von Kohlensäure und Wasser umgesetzt worden sein. Diesen Betrachtungen zufolge kann man die Umsetzungen des Eiweißes im Tierkörper folgendermaßen berechnen:

Die brennbare Substanz des Fleisches besteht auf 100 g aus

52.38 g C, 7.27 g H, 22.68 g O, 16.65 g N, 1.02 g S,

davon finden sich nach Frentzel und Schreuer¹⁷⁾ wieder

im Harn	. . . 9.406 g C	2.663 g H	14.099 g O	16.28 g N	1.02 g S
im Kote	. . . 1.471 „ C	0.212 „ H	0.889 „ O	0.37 „ N	—
Es bleiben	. . . 41.50 „ C	4.40 „ H	7.69 „ O	0	0

Aus diesen letzteren Mengen werden, unter Aufnahme von 138.18 g O mit Hilfe der Atmung, 152.17 g CO₂ und 39.6 g H₂O gebildet. Dem Volumen nach sind das 77.39 l CO₂, die ausgeschieden werden, 96.63 l O, die aufgenommen werden. Wir haben daher bei ausschließlicher

Umsetzung von Fleisch den respiratorischen Quotienten 0.801.*) Die dabei auftretende Kraft- resp. Wärmemenge läßt sich ermitteln, indem wir sowohl das Fleisch als auch die bei seiner Verfütterung entstehenden festen und flüssigen Ausscheidungen der Verbrennung unterwerfen. Die Verbrennungswärme der letzteren von der des Fleisches abgezogen, ergibt die Wärmemenge resp. Kraftmenge, welche aus dem Fleisch dem Organismus zugute kommt. Wir berechnen diese Wärmemengen, da wir die Eiweißzersetzung aus der Menge des Stickstoffes in den Ausscheidungen erschließen, am bequemsten auf eben diese Stickstoffmengen.

Wir geben die Berechnung auf Grund der von Frenzel und Schreuer¹⁷⁾ ausgeführten Bestimmungen. Im Mittel ihrer und der von Koehler²⁰⁾ ermittelten Zahlen liefern:

100 g vollkommen fettfreier Fleischrockensubstanz mit 16.65 g N . . .	563.09	W. E.
Der daraus resultierende Harn mit 16.28 g N liefert trocken verbrannt . . .	113.70	„
„ „ „ „ Kot „ 0.37 „ N „ „ „ „ . . .	17.76	„
Den unverbrannt den Körper verlassenden Stoffen entsprechen daher . . .	131.46	W. E.
Im Organismus werden frei:	431.63	„
Auf jedes Gramm im Harn ausgeschiedenen Stickstoffes werden frei	$\frac{431.63}{16.28}$	= 26.51 W. E.
Auf diese Menge beträgt die Sauerstoffaufnahme	$\frac{96.63}{16.28}$	= 5.91 l O
Auf diese Menge beträgt die Kohlensäureausscheidung	$\frac{77.39}{16.28}$	= 4.75 l CO ₂

Nun ist nur ein Teil der menschlichen Nahrung Fleisch; bei der von uns während unserer Expedition genossenen Kost etwa die Hälfte der aufgenommenen stickstoffhaltigen Substanzen. Der Rest verteilt sich auf Käse, Kakes, Gemüse und Schokolade; unter diesen enthält der Käse am meisten Eiweiß, wir haben deshalb für ihn auf Grund von Versuchen von Rubner⁴²⁾ und von Rubner mit Heubner⁴³⁾ die analoge Rechnung durchgeführt und kommen durch Kombination derselben mit obigen Zahlen zu folgenden Näherungswerten:

1 g Stickstoffausscheidung im Harn entspricht	
der Einatmung von	5.8 l Sauerstoff
„ Ausatmung „	4.6 l Kohlensäure
„ Erzeugung „	27.0 W. E.

Berechnung des Stoffumsatzes aus den Ausscheidungen. Auf Grund der vorstehenden Ausführungen führen wir nun die Berechnung des Stoffumsatzes in der Art durch, daß wir zunächst für die im Harn ausgeschiedene Stickstoffmenge die zugehörige Wärmeproduktion, Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureausscheidung berechnen und die beiden letzteren Zahlen von der durch den Respirationsversuch ermittelten gesamten Aufnahme des Sauerstoffes und der Kohlensäure abziehen. Für die restierende Menge dieser Gase berechnen wir dann den respiratorischen Quotienten und aus diesem die Wärmeproduktion pro Liter Sauerstoff. Durch Multiplikation dieser Zahl mit der entsprechenden Sauerstoffmenge und Zufügung des dem Stickstoffumsatz entsprechenden Anteiles ergibt sich die gesamte Wärmeproduktion.**)

*) Wir haben hier der einfacheren Rechnung wegen angenommen, daß aller Schwefel des Eiweißes, zu SO₂ oxydiert, im Harn ausgeschieden werde, was nicht streng richtig ist, da ein Teil in weniger hoch oxydierter Form im Harn, ein kleiner Teil auch in komplizierterer Bindung im Kote ausgeschieden wird. Unter der Annahme, daß $\frac{1}{3}$ des Schwefels unoxydiert den Körper verläßt, was für den Menschen etwa zutreffen dürfte, würden statt 138.18 g nur 137.67 g Sauerstoff einzuatmen sein und der resp. Quotient würde statt 0.801 den Wert 0.804 haben.

**) Eine Hilfstabelle zur Erleichterung dieser Rechnung findet sich bei Schumburg und Zuntz⁵³⁾, S. 361, Tabelle VII.

Diese Rechnung wird streng gültig sein für die 24stündige Wärmeproduktion eines vollkommen ruhenden Menschen. Wenn sich Arbeitsperioden einschieben, so ist es leicht, für diese, selbst wenn sie von kurzer Dauer sind, die Steigerung der Sauerstoffaufnahme und der Kohlensäureausscheidung zu bestimmen, es ist aber unmöglich, ohne weiteres zu ermitteln, wie der Eiweißzerfall durch die Arbeit beeinflusst wird. Denn die Ausscheidung des Stickstoffs verzögert sich, weil nicht unerhebliche Mengen stickstoffhaltiger Verbindungen längere Zeit im Blut zirkulieren können, ehe sie ausgeschieden werden, und weil auch die Aufstauung des Harns in den Kanälen der Niere und in der Blase es unmöglich macht, die Stickstoffausscheidung für kurze Zeitintervalle zu bestimmen. Der Fehler, welchen diese Ungenauigkeit bedingt, ist aber nur gering, denn wir haben durch besondere Versuche festgestellt, daß die Arbeit den Eiweißzerfall bei mittlerer Ernährung, wenn überhaupt, dann doch nicht in dem Umfange, wie den Zerfall der Kohlehydrate und Fette, steigert. Wir verweisen in der Hinsicht auf die Versuche von Frenzel^{16a)} und von Schumburg und Zuntz.⁵³⁾

Wir werden daher bei Berechnung des Stoffverbrauches in Arbeitsperioden keinen großen Fehler begehen, wenn wir annehmen, die Zersetzung des Eiweißes erfolge während des ganzen Tages gleichmäßig, und den Mehrverbrauch an Sauerstoff und die Mehrproduktion an Kohlensäure in den Arbeitsminuten auf die mehr zerfallenden stickstofffreien Nährstoffe beziehen. Wir werden dies besonders dann unbedenklich tun dürfen, wenn die Nahrung, und speziell die Eiweißkörper derselben, in gleichmäßigen Intervallen während des Tages aufgenommen werden. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so ist der Anteil des Eiweißes am Stoffumsatz in den nächsten Stunden nach einer eiweißreichen Mahlzeit wesentlich höher als in den übrigen Stunden des Tages. Das ist namentlich durch Versuche von Feder,¹³⁾ von Oppenheim³⁰⁾ und einigen anderen Forschern dargetan, welche den Harn alle ein bis zwei Stunden auffingen und dabei feststellten, daß eine eiweißreiche Mahlzeit die Stickstoffausscheidung so lange erheblich erhöht, wie ihre Verdauung dauert. Die vorher aufgestellte Reihenfolge der Zersetzung der Nährstoffe müssen wir daher dahin ergänzen, daß nach Aufnahme von Eiweiß dieses vor allen anderen Nährstoffen zerfällt; in solchem Maße, daß nach einer sehr eiweißreichen Mahlzeit fast der ganze Bedarf des Organismus durch Eiweiß allein bestritten wird.

Bedingungen der Größe des Eiweißbedarfes. Wir haben in bezug auf die Zersetzlichkeit und Verwendbarkeit zur Kraft- und Wärmezeugung scharf zu unterscheiden: zwischen dem mit der Nahrung aufgenommenen Eiweiß und demjenigen, welches Bestandteil der Gewebe und Organe des Körpers ist. Jede Aufnahme von Eiweiß mit der Nahrung hat einen der aufgenommenen Menge annähernd entsprechenden Zerfall von Eiweiß im Körper zur Folge. Dieser Zerfall findet, wie Pflüger und Schoendorff⁴⁶⁾ im Gegensatz zu älteren Auffassungen gezeigt haben, in den Gewebszellen statt. Wenn kein Eiweiß mit der Nahrung zugeführt wird, dauert zwar der Verbrauch desselben auf Kosten der ja im wesentlichen aus Eiweiß bestehenden Gewebe fort, aber in stark vermindertem Umfange. Die Hauptmenge des Kraftbedarfes eines hungernden Organismus wird durch Fett

oder Kohlehydrate gedeckt. Erst wenn ein dem Hungertode nahes Individuum nur noch minimale Mengen Fett besitzt, wird das Eiweiß der Gewebe in größerem Umfange zu den Kraftleistungen herangezogen. Wir werden ein Beispiel hierfür in unseren eigenen Erfahrungen auf dem Monte Rosa finden.

Solange ein hungernder Körper noch ausreichend Fett beherbergt, bestreitet er etwa $\frac{1}{7}$ seines ganzen Energiebedarfes durch Zerfall der stickstoffhaltigen Körperbestandteile, $\frac{6}{7}$ durch Fettverbrennung. Dieses Verhältnis ändert sich noch etwas zugunsten der Fettbeanspruchung, wenn größere Arbeit geleistet wird.

Man hat hieraus den Schluß gezogen, daß die auch im Hunger zerfallende Eiweißmenge in erster Linie den Verschleiß der Gewebe, die notwendige Abnutzung derselben, darstelle, und sprach in diesem Sinne von einem Eiweißminimum, dessen Zufuhr mit der Nahrung zur Erhaltung des Bestandes des Körpers notwendig sei. Neuere Versuche haben aber gelehrt, daß man den Eiweißzerfall noch wesentlich unter die im Hunger gefundene Größe herabdrücken kann, wenn man, ohne Eiweiß in der Nahrung zu geben, reichlich Kohlehydrate verabreicht, wenn also neben dem Fett auch dieses, wie wir früher gesehen haben, noch leichter der Oxydation anheimfallende Material in großer Menge im Blute zirkuliert. Besonders lehrreich in dieser Hinsicht sind die Versuche von Landergren,²²⁾ welcher am Menschen mehrtägige Hungerreihen durchführte, wobei im absoluten Hunger etwa 10—15 g Stickstoff täglich zur Ausscheidung kamen. Diese Ausscheidung wurde durch reichlichere Einnahme von Fett bis auf etwa 7 g vermindert, ging dagegen bis auf $3\frac{1}{2}$ —4 g herunter, wenn einige 100 g Kohlehydrate genossen wurden. Landergren schließt aus diesen Versuchen, daß bei dem Fehlen der Kohlehydrate in der Nahrung täglich eine gewisse Quantität Eiweiß zerfällt, um die unentbehrlichen Kohlehydrate zu erzeugen. Daß aus Eiweiß Kohlehydrate entstehen können, wurde bis in die neueste Zeit allgemein geglaubt. Pflüger³⁷⁾ hat jüngst diese Auffassung stark erschüttert, indem er den Beweis lieferte, daß der Tierkörper aus Fetten Kohlehydrate produziert. Die Versuche von Landergren kann man auch so deuten, daß der Organismus normalerweise alle drei Nährstoffkategorien zur Bestreitung der Kraftproduktion heranzieht, daß aber der Anteil des Eiweißes ebenso wie der des Fettes ein um so kleinerer wird, je reichlicher Kohlehydrate zur Verfügung stehen.

Noch niedrigere Zahlen des Eiweißverbrauchs als Landergren beobachtete Caspari¹¹⁾ bei einem mehrere Monate umfassenden Versuche an einem Manne, welcher ausschließlich von rohem Obste lebte, mit dieser Nahrung äußerst geringe Mengen Eiweiß, aber ziemlich viel Kohlehydrate, wenn auch nicht bis zur Deckung des Bedarfs, aufnahm. Unter stetem Schwund von Körpereiweiß und -Fett stellte sich bei diesem Manne die Stickstoffausfuhr im Harn auf 2.4—2.8 g täglich ein.

Nachdem nun dargetan ist, daß der notwendige Eiweißzerfall jedenfalls sehr viel kleiner ist, als der beim Hungernden beobachtete, erhebt sich aufs neue die Frage, wie groß die Eiweißzufuhr in der Nahrung sein muß, um allen Bedürfnissen des Körpers gerecht zu werden. Die von Voit aufgestellte Norm, wonach ein erwachsener, ca. 70 kg wiegender Mensch bei mittlerer Arbeitsleistung 118 g Eiweiß nötig habe, ist längst als viel zu hoch anerkannt. Nur darüber läßt

sich eigentlich noch streiten, ob die viel geringere Menge von 60—70 g Eiweiß pro Tag, welche nachgewiesenermaßen ausreicht, um den Bestand des Körpers intakt zu erhalten, auch genügt, um alle Funktionen in größter Vollkommenheit auszuführen, oder ob der Mensch, welcher reichlichere Mengen Eiweiß aufnimmt, irgendwie im Vorteil sei. Bis vor kurzem standen uns in der Hinsicht nur mangelhafte Erfahrungen zu Gebote und speziell zu der Zeit, als wir unsere Versuche planten, mußte es noch als eine offene Frage bezeichnet werden, welche Bedeutung größere Eiweißmengen besitzen, wenn es sich darum handelt, erhebliche Muskelleistungen, wie beim Bergsteigen, bei Dauermärschen u. dergl. zu vollführen.

Frühere Versuche von A. Fränkel¹⁵⁾ und daran anschließende Untersuchungen von Oppenheim³⁰⁾ haben gelehrt, daß bei Sauerstoffmangel unter sonst gleichen Bedingungen mehr Eiweiß zerfällt. Fränkel hatte dies durch Versuche an ruhenden Hunden nachgewiesen, Oppenheim hatte gezeigt, daß Muskelarbeit, wenn sie derartig ausgeführt wird, daß es zu Atemnot kommt, wenn also die Arbeit so groß wird, daß der Sauerstoffbedarf im Moment nicht vollständig gedeckt werden kann, den Eiweißzerfall steigert. Es war daher von besonderem Interesse, wie unter den Bedingungen des Hochgebirges, wo infolge der Luftverdünnung die Sauerstoffzufuhr erschwert ist und wo gleichzeitig hohe Anforderungen in bezug auf Arbeit gestellt werden, der Eiweißzerfall sich gestaltet. Bei richtiger Anordnung mußten solche Versuche über die Größe des Eiweißzerfalles unter den verschiedenen Bedingungen der Muskelarbeit und der Höhenwirkung auch Aufschluß darüber geben, wie weit die Annahme berechtigt sei, daß solche Einwirkungen einen erfrischenden und verjüngenden Einfluß auf den Organismus ausüben. Bekanntlich ist der jugendliche Organismus ganz besonders dadurch ausgezeichnet, daß er eine starke Neigung zum Eiweißansatz besitzt, daß also bei ihm leicht die Masse der funktionierenden Organe zunimmt. Auch die Mastversuche an Tieren haben gelehrt, daß bei überschüssiger Ernährung nur jugendliche Tiere Fleisch im eigentlichen Sinne, d. h. Eiweißsubstanz, ansetzen, während ältere Tiere bei überschüssiger Nahrung nur fettreicher werden. Für die Leistungsfähigkeit des Körpers ist aber offenbar das erstere sehr viel wünschenswerter.

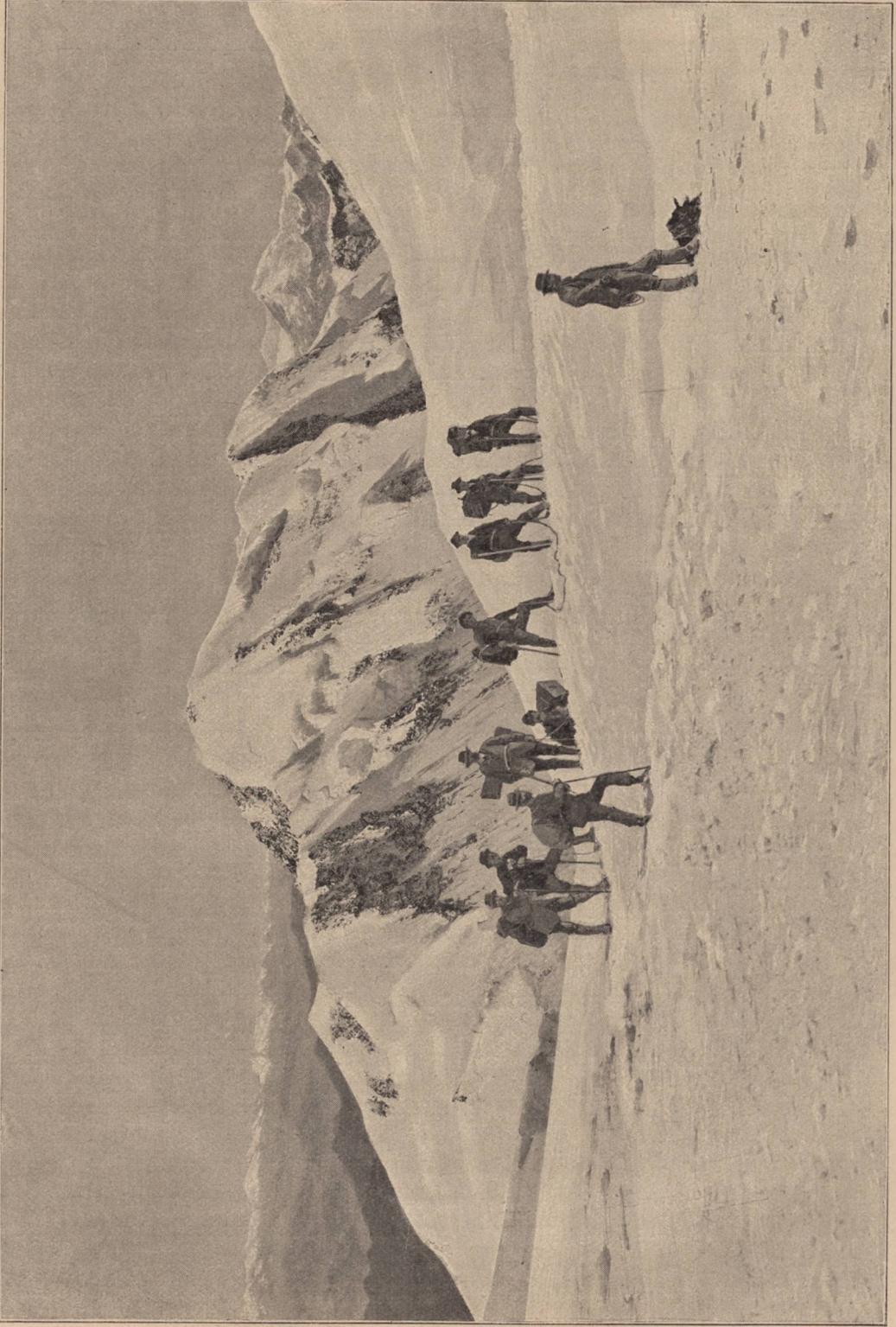
Unsere Aufgaben in bezug auf den Stoffwechsel des Eiweißes. Wir wollten in unseren Versuchen den Einfluß der beiden Faktoren, welche beim Gebirgsaufenthalt in Betracht kommen, auf den Eiweißansatz prüfen: der Muskeltätigkeit einerseits, des Höhengaufenthaltes andererseits. Um nun etwaige Einwirkungen auf die Neigung des Körpers, Eiweiß anzusetzen, möglichst scharf hervortreten zu lassen, sollte die Eiweißzufuhr in der Nahrung zwar ausreichend, aber nicht überschüssig sein. Deshalb kam es darauf an, in den Vorversuchen den normalen Eiweißbedarf eines jeden von uns, d. h. die Eiweißmenge, bei welcher der Körper unter normalen Verhältnissen sicher seinen Bestand behaupten konnte, wenn nur die Gesamtmenge der zugeführten Nährstoffe ausreichend war, zu ermitteln. Im eigentlichen Versuch wurde etwas mehr als diese ausreichend befundene Eiweißmenge gegeben und dann während des sechswöchentlichen Hauptversuches beibehalten. Dabei sollte noch dafür gesorgt werden, daß die gesamte

Menge der Nahrung durch entsprechende Bemessung des stickstofffreien Anteils immer den wechselnden Arbeitsleistungen angepaßt war. Für diese Anpassung konnten unsere früheren Versuche über den Stoffbedarf beim Gehen und Bergsteigen als Grundlage dienen. —

Anordnung unserer Versuche. Schon die eben aufgezählten Gesichtspunkte machten es notwendig, die Versuche an einer größeren Anzahl von Personen durchzuführen. Sämtliche Versuchspersonen mußten wenigstens eine kurze Zeit unter gleichen Bedingungen die vorgeschriebene Diät einhalten, um zu erkennen, wie weit individuelle Eigentümlichkeiten Unterschiede bedingen möchten. Dann mußte ein Teil unter den alten Bedingungen weiter leben, während die andere Hälfte der Wirkung einer größeren Höhe ausgesetzt wurde. Um zu einwandfreien Resultaten zu gelangen, war es nötig, ohne körperliche Anstrengung zwischen Höhen- und Talaufenthalt wechseln zu können. Das ist natürlich nur da möglich, wo die beiden Stationen durch eine Bahn miteinander verbunden sind. Von den wenigen unter diesem Gesichtspunkte in Betracht kommenden Orten bietet Brienz am gleichnamigen See in 571 m Meereshöhe und der mit ihm durch eine Zahnradbahn verbundene Gipfel des Rothorns (wo sich in 2260 m Höhe am Endpunkt der Bahn ein Hotel befindet), die für uns günstigsten Bedingungen.*) Die obere Station liegt höher als irgendein anderer durch Zahnradbahn mit der Schweizer Ebene verbundener Gipfel.**) Für die Untersuchung der größten Höhen konnten wir naturgemäß nur an die von Mosso für solche Zwecke eingerichtete Königin Margherita-Hütte des Monte Rosa (4560 m Höhe) denken (siehe Titelbild). Hier war selbstverständlich die bequeme Verbindung mit der tieferen Station (Col d'Olen, 2900 m) unmöglich. Für die ersten Abschnitte unserer Untersuchung gestaltete sich ganz naturgemäß die Einteilung so, daß alle sechs Teilnehmer mehrere Tage lang in Brienz unter gleichen Bedingungen anfangs fast vollkommener Ruhe, dann ganz mäßigen Bergsteigens lebten. Hieran hatte sich dann die Trennung in zwei Gruppen anzuschließen, von denen die eine ohne besondere Körperanstrengung mit Hilfe der Rothornbahn in 2260 m Höhe übersiedelte, während die andere unter den alten Bedingungen weiter lebte. Nach einigen Tagen sollten dann beide Gruppen anstrengendere Märsche ausführen. Die Anstrengung mußte für beide annähernd gleich sein, außerdem aber sollte die obere Gruppe bei ihrer Arbeit nur möglichst kurze Zeit ihren Höhenstandort verlassen, während die andere ihre Marschübungen in der unteren Region des Berges ausführte. Erst in den letzten Tagen dieses Versuchsabschnittes sollten alle sechs Versuchspersonen gemeinschaftlich die ganze Höhe des Briener Rothorns besteigen, indem die oben Stationierten mit der Bahn zu Tal

*) Sehr wesentlich für das Gelingen unserer Versuche war auch die ganz außerordentliche Liebenswürdigkeit, mit der die Direktion der Rothornbahn, der leitende Ingenieur derselben, Herr Hochstraßer, und die Leitung des Hotels auf Rothornkulm unsere Arbeiten förderten. Wir können denselben gar nicht warm genug unseren Dank aussprechen.

**) Die Gornergratbahn kam, abgesehen davon, daß ihr Endpunkt in 3000 m schon die für Heilwirkungen allgemein bevorzugte Höhe überschreitet, auch deshalb nicht in Betracht, weil ihr Ausgangspunkt, Zermatt, schon eine zu bedeutende Höhenlage (1600 m) hat.



Unsere Trägerkarawane oberhalb des Lysjochs.

Phot. Vittorio Sella, Biella.

führen, um den gemeinschaftlichen Anstieg anzutreten, während die anderen, zu Fuß oben angekommen, wenigstens den größeren Teil des Rückweges mit der Bahn zurücklegten, also nur kurze Zeit sich der Höhenluft aussetzten.

Nach dieser Zeitperiode sollte dann wieder ein Wechsel in der Art stattfinden, daß die bisher obere Gruppe zu ruhigerer Tätigkeit ins Tal zurückkehrte und dafür die drei Personen, welche bisher in Brienz stationiert waren, den Gipfelaufenthalt begannen. Eine weitere Mannigfaltigkeit kam in die Versuchsbedingungen noch dadurch, daß in jede der Kategorien ältere und jüngere Personen, mehr an Muskelarbeit gewöhnte und sonst eine mehr sitzende Lebensweise führende, eingereiht wurden, daß ferner von jeder Gruppe einer in seiner Nahrung ein gewisses Quantum Alkohol in Form von Bier aufnahm.

Stickstoffausscheidung durch Harn und Schweiß. Um bei jeder der Versuchspersonen einen möglichst genauen Einblick in den Stoffwechsel und seine Beeinflussung durch die wechselnden Versuchsbedingungen zu gewinnen, wurden folgende Messungen ausgeführt: Es wurden zunächst ständig die festen und flüssigen Ausscheidungen gesammelt, und für jeden Tag die mit dem Harn ausgeschiedene Stickstoffmenge festgestellt. Aus dieser im Verein mit der immer nur für eine längere Periode, also für den einzelnen Tag nur im Durchschnitt ermittelten Stickstoffausscheidung aus dem Darm war somit genau bekannt, wieviel Stickstoff im Körper täglich umgesetzt wurde. Es kommt ja, wie S. 92 dargelegt wurde, noch ein gewisser Stickstoffverlust durch den ständigen Nachwuchs der Haare, Nägel und anderer Horngebilde des Körpers zustande. Dieser Stickstoffverlust ist aber einerseits ein sehr gleichmäßiger, andererseits im Vergleich zum gesamten Tagesumsatz nur sehr gering. Moleschott gibt als Mittelwert für eine Anzahl Personen den täglichen Stickstoffverlust durch das Wachsen der Haare zu 29 mg, den durch die Nägel zu 0.7 mg an. Für die Abschilferung und den Ersatz der Oberhaut liegen keine brauchbaren Angaben vor. Offenbar schwankt hier der Nachwuchs sehr je nach der mechanischen Beanspruchung der einzelnen Hautstellen. Wir selbst bestimmten bei Loewy und Zuntz den Stickstoffverbrauch für den Nachwuchs der Haare auf täglich 20 mg, bei Müller auf 16 mg, für den der Nägel fanden wir knapp 2 mg. Erheblicher und vor allen Dingen sehr viel wechselnder ist die mit dem Schweiß ausgeschiedene Stickstoffmenge. Wir glaubten, auf ihre Ermittlung um so mehr große Sorgfalt verwenden zu müssen, als bisher über sie nur wenige und durchaus unzureichende Beobachtungen vorliegen.

Die Art, wie wir die gesamte Menge der Hautausscheidung und ihren Gehalt an Stickstoff ermitteln, wird in Kapitel V, S. 174 dargelegt. Hier genügt zu erwähnen, daß wir unter Berücksichtigung der Hautausscheidung imstande sind, die tägliche Ausgabe von Stickstoff mit der genau bekannten Einnahme in der Nahrung zu vergleichen und dadurch eine exakte Stickstoffbilanz zu gewinnen. Diese Bilanz sagt uns, ob der Bestand des Körpers an stickstoffhaltigem Material, also an den eigentlichen Geweben, Fleisch, Drüsensubstanz usw. sich erhöht oder vermindert hat. Damit aber ist die Antwort auf die vorher gestellte Frage gegeben, ob und in welchem Umfange die von uns untersuchten Faktoren, Muskel-

anstrengung und Höhenklima, die Neigung des Körpers, neues lebendiges Material anzusetzen, beeinflussen.

Untersuchung des Kotes. Die stickstoffhaltigen Stoffe, welche mit dem Kot ausgeschieden werden, haben wir in den bisherigen Betrachtungen, ebenso wie die entsprechenden Bestandteile des Harns, als Zerfallsprodukte des Eiweißes angesehen. Es ist in Kapitel VII genauer zu erörtern, wie weit diese Auffassung berechtigt ist, wie weit der Aufsaugung entgangene Teile der Nahrung zur Kotbildung beitragen.

Daß ein Teil des Kotes als Ausscheidung des Körpers zu betrachten ist, beweist die Fortdauer seiner Bildung im Hunger. Im Hungerkot scheidet der Mensch täglich 0.1—0.2 g Stickstoff und über 1 g Fett neben großen Mengen von Mineralstoffen aus. Wenn Nahrung genossen wird, nimmt der Stickstoffgehalt des Kotes erheblich zu, auch dann, wenn die Nahrung gar keine stickstoffhaltigen Substanzen enthielt (Fr. Müller,²⁹⁾ Tsuboi⁴⁸). Die Tätigkeit des Darmes führt also zur Bildung stickstoffhaltiger Auswurfstoffe. Andererseits gehen aber auch, wie die mikroskopische Untersuchung des Kotes lehrt, unverdaute Reste der Nahrung in denselben über. Bei grober Pflanzenkost überwiegt der Nahrungsrest gegenüber dem Sekret, bei leicht verdaulicher und vorwiegend animalischer Kost bildet letzteres die Hauptmasse des Kotes.

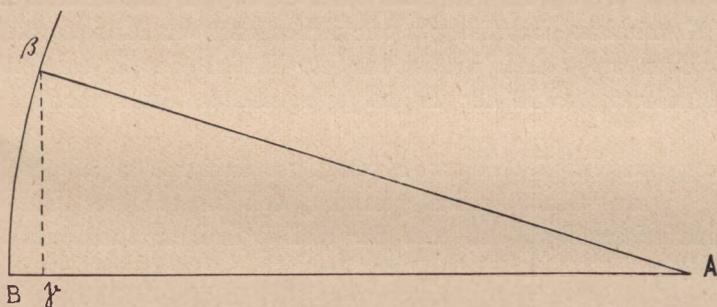
Für die Beurteilung des Einflusses der Muskelarbeit und des Höhenklimas auf den Menschen ist es nun von großer Wichtigkeit, zu wissen, ob diese Faktoren die Kotbildung beeinflussen, d. h. ob die gleiche Kost andere Mengen und andere Zusammensetzungen des Kotes unter diesen Einflüssen liefert. Die Untersuchung des ohne Verlust gesammelten und in seiner Zugehörigkeit zur Nahrung bestimmter Tage charakterisierten Kotes bildet deshalb einen wesentlichen Teil unseres Arbeitsprogramms — nicht nur in dem Sinne, daß dadurch erst festzustellen war, wie viel Nährstoffe und wie viel Energie auf diesem Wege dem Körper für seine Leistungen verloren geht, sondern auch um einen Einblick in die Funktionen des Verdauungsapparates zu gewinnen, und zu sehen, wie dieselben durch Marschleistungen und Höhenwirkung modifiziert werden. — Zu diesem Zwecke war neben dem Stickstoffgehalte des Kotes auch die mit demselben ausgeschiedene Menge fettiger Substanzen und als Ausdruck der Gesamtmenge seiner organischen Stoffe die Verbrennungswärme zu bestimmen.

Untersuchung des Gaswechsels. Eine zweite Reihe von Untersuchungen hatte den Gaswechsel, d. h. die Aufnahme von Sauerstoff und Abgabe von Kohlensäure, ins Auge zu fassen.

Wir haben vorher gesehen, daß der Stickstoffumsatz durch Muskelarbeit nur wenig beeinflußt wird, daß vielmehr der durch die Arbeit erhöhte Bedarf im wesentlichen durch Verbrennung der stickstofffreien Materialien gedeckt wird. Wenn wir uns daher die Frage vorlegen, ob die Muskelarbeit bei systematischer Ausübung, wie etwa beim täglichen Bergsteigen, allmählich besser gelernt wird, also vorteilhafter, ökonomischer vollführt werden kann, so vermag nur die Untersuchung der Atmung diese Frage zu beantworten.

Der Stoffverbrauch bei Muskelarbeit ist Gegenstand zahlreicher Untersuchungen in unserem Laboratorium gewesen. Es hat sich bei diesen Untersuchungen, ebenso wie bei den unter Kroneckers Leitung von Gruber^{18a)} und Schnyder^{45a)} ausgeführten, ergeben, daß der für eine bestimmte Arbeit erforderliche Sauerstoff bei fortschreitender Übung abnimmt und erst wenn die Übung eine ausreichende ist, bei gleicher Arbeit immer gleichgroß gefunden wird. Am konstantesten ist deshalb die Beziehung zwischen Größe der Arbeit und des Sauerstoffverbrauchs bei derjenigen Arbeit, welche Menschen und Tiere von früher Jugend üben, beim Gehen. Selbst hier spielt indes, wie in Kapitel VIII sich ergeben wird, die persönliche Geschicklichkeit eine gewisse Rolle.⁵¹⁾ Auch die Körpergröße ist von Einfluß auf den Stoffverbrauch beim horizontalen Gehen. Die horizontale Fortbewegung von 1 kg um 1 m Weges erfordert bei gleicher Geschwindigkeit um so mehr Energie, je geringer die Beinlänge ist. Der Verbrauch ist bei gleicher Geschwindigkeit der Beinlänge umgekehrt proportional.⁵⁴⁾

Beim Bergsteigen kommt zu der für die Fortbewegung des Körpers nötigen Energie als weiterer Kraftaufwand die Überwindung der Schwere. Wenn ein Mensch



einmal die horizontale Strecke AB (siehe beistehende Abbildung) ein zweites Mal den gleichlangen ansteigenden Weg $A\beta$ geht, so ist im letzteren Falle die Arbeit für die Zurücklegung der Strecke selbst annähernd dieselbe, außerdem aber ist eine Arbeit zu leisten, welche der Hebung des Körpergewichts von γ nach β entspricht. Durch Multiplikation der in Metern gemessenen Höhe $\gamma\beta$ mit dem in Kilogramm ausgedrückten Gewicht des Körpers und der etwa von ihm getragenen Last findet man die Größe dieser „Steigearbeit“ in Meterkilogrammen (mkg), der üblichen Arbeitseinheit der Mechanik.

Haben wir nun den Sauerstoffverbrauch und die Kohlensäureausscheidung eines Menschen gemessen und daraus seine Energieentwicklung in W. E. berechnet (vgl. S. 96), einmal, während er die horizontale Wegstrecke AB zurücklegt, und dann wieder, während er den gleichlangen Weg bergauf $A\beta$ durchwandert und daher durch Hebung seines p kg wiegenden Körpers um n Meter noch eine Arbeit von np mkg leistet, so entspricht das Mehr an verbrauchten Wärmeinheiten im letzteren Falle dem Aufwande für die Steigearbeit. Der hieraus berechnete Energieaufwand für 1 mkg Arbeit ist nicht nur bei verschiedenen Menschen, sondern auch bei verschiedenen Tierarten eine recht konstante Größe. Bei Menschen, Pferden und Hunden wurde sie durchschnittlich auf 0.007 W. E. für jedes mkg Arbeit bestimmt.

Nun gilt bekanntlich nach dem Prinzip von der Erhaltung der Energie für die Umwandlung mechanischer Energie in Wärme und umgekehrt die konstante Beziehung, daß 1 W. E. gleichwertig mit 425 mkg ist. Die zur Erzeugung von 1 mkg mechanischer Arbeit beim Heben des Körpers aufgewendeten 0.007 W. E. sind also gleichwertig mit $0.007 \times 425 = 3$ mkg. Das heißt mit anderen Worten: Aufwendung chemischer Energie in Höhe von 3 mkg erzeugt 1 mkg Nutzeffekt durch Hebung des Körpers.

Man spricht im gleichen Sinne vom Nutzeffekt einer Dampfmaschine, indem man die Heizkraft der verfeuerten Kohlen in mkg umrechnet und mit der ebenfalls in mkg gemessenen Arbeit vergleicht, welche die Schwungradwelle auf die Transmissionen überträgt. Die vollkommensten Dampfmaschinen geben nun nur einen Nutzeffekt von etwa $\frac{1}{6}$, während die besten Konstruktionen der Explosionsmaschinen der Leistung unseres Körpers nahekommen, indem sie etwa $\frac{1}{3}$ der zugeführten Energie in nutzbare Arbeit umsetzen.

Man wird nach dem Gesagten leicht verstehen, welche Reihe interessanter Fragen durch das Studium der Atmung während des Marsches von uns zu lösen war. — Zunächst galt es, die Größe der individuellen Unterschiede in der Verwertung der chemischen Umsetzungen zur Erzeugung von Muskelkraft bei unseren Versuchsindividuen zu prüfen, weiter war der Einfluß der Übung auf diese Verwertung zu studieren, sowie der im entgegengesetzten Sinne wirkende Effekt der Ermüdung.

In bezug auf die Höhenwirkung an sich hatten die früheren Untersuchungen^{52) 28) 9)} es wahrscheinlich gemacht, daß in größerer Höhe die Arbeit weniger ökonomisch erfolge, daß also für gleiche Leistung mehr Stoff verbraucht werde. Für extreme Höhen (Monte Rosa) kam dann die weitere Frage in Betracht, ob die Herabsetzung der Dichte und damit des Sauerstoffgehaltes der Luft hier bereits die Art der Oxydationsprozesse beeinflusse. Das mußte sich durch Respirationsversuche am ruhenden, nüchternen Menschen ergeben. Ein Vergleich dieser Respirationsversuche mit solchen, welche in Berlin im pneumatischen Kabinett bei gleicher Luftverdünnung anzustellen waren, mußte dann lehren, ob im Hochgebirge neben der Luftverdünnung noch andere Momente die Verbrennung im Organismus beeinflussen.

Die Ruheversuche mußten ferner darüber Aufschluß geben, ob die Reize des Hochgebirges und die regelmäßige intensive Muskeltätigkeit Nachwirkungen von längerer Dauer haben, welche die Oxydationsprozesse im Zustande absoluter Muskelruhe beeinflussen. Frühere Versuche an marschierenden Soldaten, wie auch Erfahrungen an Hunden, bei welchen längere Ruheperioden mit solchen regelmäßiger Arbeit abwechselten, hatten es wahrscheinlich gemacht, daß der aktivere Zustand der trainierten Muskulatur auch einen höheren Ruheverbrauch involviert.

Bedeutung der Körperwägungen. Die in dieser Weise gewonnenen Resultate waren dann einer weiteren Kontrolle fähig durch tägliche Wägungen des Körpers. Wenn bei gleicher Energiezufuhr mit der Nahrung und andauernd gleicher Arbeitsleistung das eine Mal das Körpergewicht unverändert blieb, das andere Mal abnahm,

so war im letzteren Falle ein größerer Verbrauch an Körpermaterial, also an Nährstoffen, wahrscheinlich.

Zur Beurteilung des Verbrauchs aus dem Körpergewicht muß freilich erwogen werden, ob nicht etwa letzteres sich dadurch geändert habe, daß der Körper reicher oder ärmer an Wasser wurde. Die umfangreichen Untersuchungen von Bischoff und Voit haben dargetan, daß beim Wechsel der Ernährung der Körper wasserreicher und wasserärmer werden kann. Speziell die Versuche dieser Forscher an Hunden haben ergeben, daß z. B. bei Brotfütterung die Tiere rasch durch Wasseranstauung schwerer, bei Fleischfütterung dann durch Wasserabgabe leichter wurden. Andererseits aber haben wir selbst und andere in zahlreichen Versuchen feststellen können, daß bei gleichmäßiger Ernährung, wie sie von uns ja streng innegehalten werden sollte, auch der Wassergehalt des Körpers ein sehr konstanter bleibt. Ein reichliches Material stand uns in der Hinsicht aus den „Marschversuchen“ von Schumburg und Zuntz⁵³⁾ zur Verfügung. Diese Versuche hatten bei gleichmäßiger Ernährung einen Einfluß der Muskelarbeit in dem Sinne ergeben, daß im unmittelbaren Anschluß an dieselbe ein gewisser Wasserverlust des Körpers stattfindet, auch dann, wenn der Flüssigkeitsaufnahme kein Hindernis entgegensteht.

Diese Wasserverarmung wird aber in ein bis zwei Tagen wieder vollkommen ausgeglichen. Die beiden Momente, Durst und Nierentätigkeit, scheinen bei gesunden Menschen den Wassergehalt des Körpers auf einem außerordentlich gleichmäßigen Niveau zu erhalten. In der Hinsicht liegt uns auch eine interessante, bisher nicht veröffentlichte Reihe von Versuchen an Hunden vor. Die Tiere hatten bei wechselnder Sommertemperatur täglich auf dem S. 173 zu beschreibenden Tretwerk erhebliche Arbeit zu leisten und verloren dabei durch Wasserverdunstung zwischen 150 und 400 g ihres Körpergewichtes. Wenn man ihnen dann etwa eine Viertelstunde nach beendeter Arbeit Wasser vorsetzte, so nahmen sie davon fast genau so viel auf, wie sie laut Aussage der Wage in den Arbeitsstunden verloren hatten — ein Beweis, wie vollkommen das Durstgefühl hier dem Bedürfnis der Konstanterhaltung des Wassers im Körper angepaßt ist.

Wenn man aus dem Gewichtsverlust Rückschlüsse auf genügende oder ungenügende Ernährung machen will, müssen dem Gesagten zufolge zunächst die Wägungen kurz nach größeren Märschen außer Betracht bleiben. Weiter aber ist zu berücksichtigen, ob der Stickstoffbestand des Körpers sich geändert hat. Das Eiweiß wird ja nicht in trockener Form im Körper angesetzt, sondern als Muskelfleisch oder Drüsensubstanz, welche beide zu etwa 75 % ihrer Masse aus Wasser bestehen und außerdem noch Mineralstoffe enthalten. Wenn etwa 1 g Stickstoff vom Körper abgegeben ist, d. h. also, wenn 6.25 g Körpereiwweiß zerfallen sind, wird man demgemäß nicht einen Gewichtsverlust von 6.25 g, sondern einen solchen von annähernd der 5fachen Höhe, also etwa 30 g, in Rechnung zu stellen haben. Beim Fettverlust dagegen ist der gleichzeitige Wasserverlust nur sehr gering, da das Fettgewebe des Körpers zu etwa 90 % aus wirklichem Fett besteht. Um nun bei Gewichtsverlust des Körpers abzuschätzen, wieviel Energie durch zerfallendes Körpermaterial geliefert worden ist, also wieviel Nahrung zu wenig aufgenommen ist, wird man für je 30 g Gewichtsverlust, die aus zerfallenem Eiweiß, d. h. aus einem Über-

schuß des Stickstoffs in den Ausgaben gegenüber den Einnahmen resultieren, auf ein Manko von 27 W.E. schließen können. Wir hatten ja S. 103 gesehen, daß die aus zerfallendem Körpereweiß frei werdende Energie für jedes Gramm Stickstoff 27 W.E. beträgt. — 1 g Gewichtsverlust entspricht also in diesem Falle 0.9 W.E. Für 1 g Gewichtsverlust in Form von Fetten müssen wir dagegen wenigstens 8.5 W.E. ansetzen.

Neben dem Fett kann sich aber noch das freilich nicht in so großen Mengen vorhandene Kohlehydrat Glykogen an der Deckung des Energiebedarfes und damit am Gewichtsabfall bei unzureichender Ernährung beteiligen. Da 1 g Glykogen 4.2 W.E. entspricht, so würde also 1 g Gewichtsverlust, soweit derselbe durch Kohlehydratverbrauch zustande kommt, etwa halb so viel durch Körpersubstanz gedeckte Energie bedeuten, als wenn es sich um Fettverbrauch handelt. Faktisch ist der Unterschied aber viel größer, denn auch das Kohlehydrat findet sich im Körper nur im gequollenen Zustande, d. h. mit ziemlich erheblichen Mengen Wassers verbunden. Über die mit dem Glykogen im Körper fixierten Wassermengen geben uns die Bestimmungen des Gewichtes und des Glykogengehaltes der Leber, welche Kütz^{20a)}, Pavy³¹⁾ und Pflüger³²⁾ ausgeführt haben, Aufschluß. Bekanntlich kann man die Leber durch mehrwöchiges Hungern oder auch durch 6stündige anstrengende Arbeit nahezu glykogenfrei machen, dann ist ihr Gewicht 1.7% des Körpergewichtes. Nach gemischter eiweißreicher Kost stellte sich in Pavys Versuchen ein mittlerer Glykogengehalt von 7.2% heraus, dabei wog die Leber 3.3% des Körpergewichtes. Bei reichlichster Zufuhr von Kohlehydraten stieg ihr Glykogengehalt auf 15.9%, ihr Gewicht auf 6.4% des Körpergewichtes. Wir haben daher auf 1000 g Tiergewicht:

1.	17 g Leber mit	= 0	g Glykogen
2.	33 „ „ „ 33 × 0.072 g	= 2.4	„ „
3.	64 „ „ „ 64 × 0.159 „	= 10.18	„ „

Im ersten Fall hat eine Ablagerung von 2.4 g Glykogen das Lebergewicht um 16 g, im zweiten Fall eine solche von 10.18 g Glykogen das Lebergewicht um 47 g erhöht. Auf eine Gewichtszunahme der Leber um 100 g entfallen danach im ersten Fall 15 g, im letzteren 21.7 g aufgespeichertes Glykogen. Die letztere Zahl ist die maßgebendere, weil im ersten Fall mit der Anreicherung der Leber an Glykogen auch eine Zunahme ihres Eiweiß-, vielleicht auch ihres Fettgehaltes anzunehmen ist. Einige Versuche Pavys an Kaninchen geben ein analoges Resultat: 100 g Gewichtszunahme entsprechen einer Einlagerung von 28.2 g Glykogen. Wir dürfen wohl annehmen, daß bei Aufspeicherung von Glykogen in den Muskeln der Quellungszustand, also der Wassergehalt desselben, ein ähnlicher wie in der Leber ist, daß also auch hier auf 1 Teil Glykogen etwa 3 Teile Wasser angesetzt werden. Auf der Quellung des Glykogen beruht es im wesentlichen, daß Bischoff und Voit beim Übergang von der Fleisch- resp. Fettfütterung zur Brotfütterung den Körper der Tiere so viel schwerer werden sahen. Aus dem Brot wurde reichlich Glykogen in der Leber und den Muskeln angesetzt und mit ihm eine erhebliche Menge von Wasser.

Grobe Änderungen der Ernährungsweise waren in unseren Versuchen ausgeschlossen. Aber auch bei Gewichtsverlusten, welche sich direkt an größere Marschleistungen anschließen, wird immer an den durch die Muskelarbeit bewirkten Glykogenverbrauch zu denken sein, wenn man den Anteil der stickstofffreien Stoffe richtig einschätzen will. Verbrauch von 1 g Glykogen mindert das Körpergewicht um etwa 4 g. Hier kommt also wie bei Eiweißverbrauch auf 1 g Gewichtsverlust etwa 1 W.E. Es kommt weiter noch in Betracht, daß bei verschiedener Ernährungsweise sehr wechselnde Mengen von festen und flüssigen Stoffen im Darmkanal sich aufhalten. Auch diese beeinflussen das Körpergewicht erheblich. Wir konnten z. B. nachweisen, daß bloße Zugabe von einigen Gramm Salz zur Kost infolge der wasseranziehenden Eigenschaften des Salzes das Körpergewicht recht merklich er-

höhte. Wir werden bei unseren Versuchen alle diese das Körpergewicht beeinflussenden Momente berücksichtigen, ehe wir aus demselben Schlüsse auf die Größe des Stoffumsatzes ziehen. — Bei Vergleichung der Ergebnisse der Respirationsversuche mit den Körperwägungen müssen wir zu der Verbrauchsgröße, welche der Respirationsversuch im nüchternen ruhenden Zustande ergibt, den Verbrauch für alle Arbeiten des Körpers im Laufe des Tages hinzurechnen. Einen wesentlichen Teil dieser Arbeiten, der sich recht genau aus früheren Versuchen berechnen läßt, bildet die Tätigkeit des Verdauungsapparates. Aus den Versuchen von Magnus-Levy^{24a}) ergibt sich, daß jedes Gramm Stickstoff der Nahrung eine Steigerung des Stoffumsatzes um 4.7 W.E. bedingt, jedes Gramm Fett eine Steigerung um 0.21 W.E., jedes Gramm Kohlehydrat eine solche um 0.4 W.E. Wir werden später den auf dieser Basis berechneten Anteil der Verdauungsarbeit am Gesamtumsatz genauer erörtern.

Als zweiter Faktor des Mehrverbrauchs kommt dann die eigentliche Muskelarbeit in Betracht. Einen Teil derselben wollten wir durch Bergsteigen auf der gleichmäßig ansteigenden Trace der Rothornbahn leisten. Hier konnte durch direkte Respirationsversuche der Verbrauch eines jeden von uns für die Einheit des Weges ermittelt werden. Einen letzten Anteil der Arbeit, bestehend in den kleineren Hantierungen, welche die Laboratoriumstätigkeit und die unvermeidlichen Bewegungen im Laufe des Tages bedingen, suchten wir so gut wie möglich zu schätzen. Erleichtert wurde diese Schätzung dadurch, daß einige von uns beständig Schrittmesser trugen, so daß auf Grund der Angaben derselben und unserer Erfahrungen über die Größe des Verbrauchs beim horizontalen Gehen der auf das Umhergehen entfallende Anteil ungefähr abzuschätzen war.

Wertvolle Anhaltspunkte zur Bewertung des Einflusses der kleinen Bewegungen auf den Stoffverbrauch des sich ohne besondere Arbeit außer Bette aufhaltenden Menschen, liefern uns die Stoffwechsel- und Kalorimeterversuche von Atwater und Benedict.³) In diesen wurde die Wärmeproduktion der Versuchsperson in sechsstündigen Perioden gemessen. Eine dieser Perioden von 1^h früh bis 7^h wurde schlafend im Bette verbracht; in dieser Zeit war auch die Verdauungsarbeit am geringsten. Die Wärmeproduktion betrug, berechnet auf 1 kg und 24 Stunden, 22.8 W.E. Dagegen war sie in der folgenden Periode, von 7^h früh bis 1^h mittag, wo am meisten im Apparat zu hantieren war und außerdem ein reichliches Frühstück den Stoffumsatz steigerte, um 81% erhöht, betrug also 41.3 W.E. pro kg und 24 Stunden. Im Durchschnitt der 24 Stunden war der Verbrauch um 39% höher als in den Schlafstunden. Daß hier sehr erhebliche individuelle Differenzen mitspielen, indem verschiedene Menschen, sich selbst überlassen, in sehr verschiedenem Maße die Muskeln spannen und kleine Bewegungen ausführen, haben wir vielfach beobachtet und werden es auch in dieser Arbeit wieder zeigen können.

Die Wärmeregulation des Körpers. Bei allen größeren Arbeitsleistungen des Körpers ist die Wärmeproduktion außerordentlich erhöht. Wir haben S. 112 gesehen, daß durchschnittlich dreimal so viel Energie im arbeitenden Körper umgesetzt wird, als dem Äquivalent der mechanischen Arbeit entspricht. Dieser große

Überschuß an Energie nimmt die Form von Wärme an. Man kann aus den Respirationsversuchen berechnen, daß bei strammem Marschieren auf sanft ansteigendem Wege so viel mehr Wärme als in der Ruhe gebildet wird, daß die Körpertemperatur in 8 Minuten um 1° Celsius ansteigen müßte, wenn die Wärmeabgabe nicht entsprechend gesteigert wäre.

Es ist daher die Anpassung der Wärmeabgabe an die gesteigerte Produktion bei Arbeit von höchster Bedeutung für die Gesundheit jedes arbeitenden Menschen. Sowie diese Wärmeregulation versagt, kann es in kürzester Zeit zu lebensgefährlicher Überhitzung des Körpers kommen. Bekanntlich ist in der warmen Jahreszeit die Absonderung und Verdunstung des Schweißes das wesentlichste Mittel der Wärmeregulation. Wir haben deshalb dieser Funktion besondere Aufmerksamkeit gewidmet, haben die Art, wie sie unter den außerordentlich wechselnden Verhältnissen des Hochgebirges wirkt, genau studiert.

Im Hochgebirge ändern sich beim Übergang vom Schatten in die Sonne, vom Gletscher auf Fels, die Bedingungen der Wärmeabgabe des Körpers in kurzer Zeit ganz außerordentlich. Die Verdunstung des Schweißes kann durch den Wind mächtig gefördert werden. Auch die verdünnte Luft erleichtert an sich die Verdunstung. Man sieht hieraus, wie groß die Bedeutung der die Schweißabsonderung regulierenden Nerven gerade im Hochgebirge ist und wie beachtenswert auch hier die Beeinflussung dieser Funktion durch die Art der Kleidung wird. Wir haben deshalb während der ganzen Dauer der Versuche durch regelmäßige, zum Teil mehrmals täglich wiederholte Wägungen die dampfförmige Wasserabgabe des Körpers bestimmt. Hierbei ist noch der Umstand von wesentlicher Bedeutung, daß neben der Verdunstung von der Hautoberfläche eine solche von den Lungen stattfindet. Die ausgeatmete Luft ist stets mit Wasserdampf gesättigt und es wird daher jedes Liter die Lungen passierender Luft um so mehr Wasser in Dampfform dem Körper entziehen, je trockener die Luft in die Lungen eintritt. Während nun die Schweißabsonderung im wesentlichen erst dann einsetzt, wenn ein Bedürfnis zur Wärmeabgabe besteht, findet die Verdunstung von der Lungenoberfläche stetig statt. Ihre Größe hängt nur von dem Wassergehalte der eingeatmeten Luft und von der Menge derselben ab, welche letztere wieder durch das Atembedürfnis des Körpers geregelt wird. Da der Sauerstoffbedarf und die Kohlensäurebildung bei der Arbeit enorm gesteigert sind, bedingt die Arbeit auch eine entsprechende Steigerung der Lungenventilation und damit der Verdunstung von der Lungenoberfläche. Insofern paßt sich also die Größe der Lungenverdunstung der Steigerung der Wärmebildung bei Muskeltätigkeit zweckmäßig an. Eine solche Anpassung besteht aber nicht in bezug auf die erschwerte Wärmeabgabe bei erhöhter Temperatur der Luft. Da die warme Luft in der Regel auch wasserreicher ist, kann sie in der Lunge weniger Wasserdampf aufnehmen. Die feinere Anpassung der Verdunstung an das Bedürfnis der Konstanterhaltung der Körperwärme ist demgemäß den in ihrer Tätigkeit vom Nervensystem regulierten Schweißdrüsen überwiesen.

Wie vollkommen dieser wärmeregulatorische Apparat bei uns unter den so sehr wechselnden Bedingungen des Klimas und der Muskeltätigkeit funktionierte, suchten wir durch häufige Messungen der Körpertemperatur festzustellen; diese

Messungen wurden regelmäßig morgens und abends vorgenommen und außerdem öfters im Verlauf der anstrengenderen Märsche ausgeführt.

Regulation der Atmung. Wir haben vorstehend schon erwähnt, daß die Atmung sich den wechselnden Bedürfnissen anpaßt, daß sie also in erster Linie bei Muskelarbeit enorm verstärkt wird. Über den Mechanismus dieser Anpassung liegen ältere Untersuchungen von Geppert und Zuntz vor, welche zeigen, daß es wesentlich die bei der Muskeltätigkeit gebildeten Stoffwechselprodukte sind, welche durch ihre chemische Einwirkung auf die Nervenzellen im verlängerten Mark die Atmung dem Bedarf entsprechend erhöhen. In der Ruhe ist es in erster Linie die Kohlensäure, welche diese regulatorische Funktion erfüllt.

Steigen wir in höhere Bergregionen empor, so nimmt, wie vorher ausgeführt, mit der Dichte der Luft die in der Volumeneinheit enthaltene Sauerstoffmenge ab. Diese Abnahme kann bis zu einer gewissen Grenze ausgeglichen werden, durch Erhöhung des Volumens der geatmeten Luft, also in derselben Weise, wie bei Muskeltätigkeit der gesteigerte Bedarf gedeckt wird. Hier aber wird durch die Kohlensäure kein größerer Reiz als vorher ausgeübt, da sie nicht in größerer Menge gebildet wird. Wenn die Atmung gesteigert ist, müssen andere Reize dafür verantwortlich gemacht werden. Um die hier stattfindende Regulation zu untersuchen, wollten wir im Anschluß an die Messungen des Sauerstoffverbrauchs und der Kohlensäureausscheidung immer auch die Lungenventilation messen, und die Änderungen feststellen, welche sie in den verschiedenen Berghöhen einerseits, bei entsprechender Luftverdünnung im pneumatischen Kabinett andererseits erfährt.

Blutkreislauf. In ähnlicher Weise wie die Atmung paßt sich der Kreislauf des Blutes den wechselnden Bedürfnissen der Organe, vor allem dem mächtig gesteigerten Stoffverbrauch bei der Muskeltätigkeit an. Den Teil dieser Anpassung, welcher durch Erweiterung der die Muskeln versorgenden Arterien zustande kommt, konnten wir bei unseren Versuchen einem genauen Studium nicht unterwerfen. Dagegen haben wir uns mit der Pumparbeit des Herzens, welches, dem schnelleren Abfluß durch die erweiterten Arterien entsprechend, größere Blutmengen aus den Venen aufnehmen und in die Arterien einpressen muß, genauer beschäftigt. Was in der Hinsicht bisher noch nicht genügend untersucht war, das sind die zeitlichen Verhältnisse der Zunahme der Herztätigkeit beim Beginn größerer Muskelarbeit und der Abnahme derselben nach Aufhören der Arbeit. Wir haben uns einen eigenen, in Kapitel XII zu besprechenden Registrierapparat für den Puls verschafft, welcher so eingerichtet war, daß ihn der Marschierende selbst tragen und in jedem Augenblick durch einen Fingerdruck in Bewegung setzen konnte. Mit Hilfe dieses Apparates haben wir die Veränderung der Herztätigkeit in den ersten Zeitmomenten nach der Arbeit genauer verfolgt. Wir haben es natürlich auch nicht unterlassen, mit der üblichen Methode der Pulszählung den Effekt gleicher Arbeit in verschiedenen Bergeshöhen, sowie die Wirkung der Dauer der Arbeit genau zu verfolgen.

Gesichtspunkte, welche geeignet sind, die Grenze der Arbeit festzustellen, bei der bedenkliche Ermüdung des Herzens eintritt, wurden in der Abhandlung von

Schumburg und Zuntz⁵³⁾ aufgestellt. Auf die Zeichen von Übermüdung des Herzens hatten wir besonders da zu achten, wo zur starken Beanspruchung desselben durch Muskelarbeit noch mangelhafte Sauerstoffversorgung infolge der Luftverdünnung in größerer Bergeshöhe hinzutritt.

Training. Die wohltätigen Wirkungen der Muskelübung kommen in einer erhöhten Leistungsfähigkeit der Muskeln zum Ausdruck. In den vorher zitierten Versuchen von Schumburg und Zuntz⁵³⁾ wurde im Laufe einer längeren Serie angestrenzter Märsche diese Zunahme der Leistungsfähigkeit zahlenmäßig ermittelt. Als ein besonders brauchbares Maß derselben ergab sich die Größe des Verbrauchs für eine bestimmte Arbeit. Dieser Verbrauch ist um so geringer, je besser die Muskeln trainiert sind. Offenbar handelt es sich dabei nicht nur um eine ökonomischere Leistung der Muskulatur an sich, sondern vor allem auch um ein besseres Funktionieren des Nervensystems. Je mehr bei Ausführung einer Bewegung alle unzweckmäßigen Mitbewegungen, alle unnützen Spannungen vermieden werden, desto geringer ist der Stoffverbrauch. Dasselbe gilt aber auch für die Funktionen, welche sekundär im Dienste der Muskeltätigkeit stehen, für die Atembewegungen, für die Herztätigkeit, für die Tätigkeit der Schweißdrüsen. Alle diese Funktionen erfolgen beim Ungeübten in meist unmäßiger und unzweckmäßiger und daher schneller zur Erschlaffung führender Weise. Ihr durch systematische Arbeit entwickeltes zweckmäßigeres Ineinandergreifen bedingt es, daß der so Geübte den Gesundheitsschädigungen, welche durch Überanstrengung dieser Apparate so leicht entstehen, weniger ausgesetzt ist. In demselben Sinne müssen häufige Temperaturwechsel, wie sie namentlich in den höheren Lagen des Gebirges so oft eintreten, sofern sie gut überstanden werden, den wärmereregulatorischen Apparat kräftigen und leistungsfähiger machen. Auch diese Wirkungen des Hochgebirges suchten wir so weit als möglich durch Messungen klarzulegen.

Eine schon früher von uns erörterte Frage ist die, ob die Muskelübung allgemein die Leistungen der gesamten Muskulatur des Körpers erhöht oder nur diejenigen der direkt geübten Gruppen. In einer Untersuchung von Zuntz⁵⁴⁾ an Tieren hatte sich ergeben, daß längere Übung nur die Leistungsfähigkeit für die speziell geübte Bewegung erhöht.

Wir suchten weiteres Material zur Beantwortung dieser Frage zu gewinnen, indem wir die Kraft unserer Arm- resp. Handmuskulatur durch Dynamometer maßen. Hierbei sollte sich ergeben, ob diese Muskeln, welche bei unseren Märschen am Briener Rothorn nicht nennenswert in Anspruch genommen wurden, dennoch etwa an Kraft gewinnen würden. Weiter war diese Methode geeignet, beim Aufenthalt in der stärker verdünnten Luft des Monte Rosa-Gipfels festzustellen, ob die schwierigere Sauerstoffversorgung einen schädigenden Einfluß auf die Muskelkraft ausübt, oder vielmehr, ob die unzweifelhaft dort nachzuweisende geringere Leistungsfähigkeit beim Marschieren auch in der kurzdauernden Kraftleistung einer einzelnen Muskelgruppe zum Ausdruck kommt.

Blutbildung. Zu den interessantesten Erscheinungen im Hochgebirge gehört der Einfluß desselben auf die Blutbildung. Dieser Einfluß ist, seitdem Viault zuerst

die Vermehrung der Blutkörperchen bei längerem Aufenthalt im Hochgebirge erkannt hatte, von allen Forschern mit besonderer Vorliebe studiert worden. Es sei hier nur daran erinnert, daß bis heute noch ein lebhafter Streit über die Bedeutung dieser Blutkörperchenvermehrung geführt wird, ein Streit, der sich vor allem um die Frage dreht, ob es sich hierbei nur um eine andere Verteilung der ihrer Gesamtmenge nach nicht wesentlich vermehrten Blutkörperchen handelt, oder ob das Hochgebirge eine wirkliche Neubildung anregt.

Wir haben das Thema zwar auch durch Blutkörperchenzählung und Bestimmung der Blutdichte an uns selbst bearbeitet. Da es aber nicht zu erwarten war, daß wir auf diesem Wege wesentlich über die Ergebnisse unserer Vorgänger hinauskommen würden, haben wir eine größere Anzahl von Hunden zu Versuchen über die Blutbildung benutzt. Hier war es möglich, nach Tötung der Tiere einerseits die ganze im Körper vorhandene Blutmenge zu bestimmen und andererseits eine mikroskopische Untersuchung der Organe der Blutbildung im Knochenmark vorzunehmen. Näheres hierüber wird Kapitel VI bringen.

Literatur.

¹⁾ Aron: „Über die Einwirkung barometrisch verschiedener Luftarten auf den intrapleuralem und den Blutdruck beim Kaninchen“. Virchows Archiv 143, 1896, S. 399.

²⁾ Derselbe: „Zur Ursache der Einwirkung verdünnter und verdichteter Luft auf den Tierkörper“. Ebenda 170, 1902, S. 364.

³⁾ Atwater und Benedict: „Experiments on the Metabolism of Matter and Energy in the human body“. U. St. Office of Experiment Stations Bullet. No. 44, 63, 69, 109.

⁴⁾ Dieselben: „An experimental Inquiry regarding the nutritive value of alcohol“. Memoirs of the nation. Academy of Sciences. Vol. VIII 6th. Memoir.

⁵⁾ Bert, Paul: „La Pression barométrique“. Paris 1878.

^{6a)} Bischoff und Voit: „Die Gesetze der Ernährung des Fleischfressers“. Leipzig und Heidelberg 1860.

⁶⁾ Bleibtreu: „Fettmast und respiratorischer Quotient“. Pflügers Arch. 56, S. 464 und 85, S. 345.

⁷⁾ Blix, Magnus: „Studien über Muskelwärme“. Skand. Arch. f. Physiol. 12, 1901, S. 52.

⁸⁾ W. Braune und O. Fischer: „Der Gang des Menschen“. I. Teil: Abhandl. der Kgl. Sächs. Ges. d. Wissensch. XXI, 1895 und eine Reihe weiterer Abhandlungen. Ebenda bis 1904.

⁹⁾ Bürgi: „Der respiratorische Gaswechsel bei Ruhe und Arbeit auf Bergen“. Arch. f. (Anat. und) Physiologie. 1900. S. 509.

¹⁰⁾ Camerer und Soeldner: „Beiträge zur Physiologie des Säuglingsalters“. Zeitschr. f. Biologie 39, S. 37 und 47.

¹¹⁾ Caspari: „Physiologische Studien über Vegetarismus“. Verh. d. physiolog. Ges. zu Berlin 1904, Nr. 9.

¹²⁾ Ewald und Kobert: „Ist die Lunge luftdicht?“. Pflügers Archiv 31, 1883, S. 160.

¹³⁾ Feder, L.: „Der zeitliche Ablauf der Zersetzung im Tierkörper“. Z. f. Biologie 17, 531.

¹⁴⁾ Fick, Ad.: „Myothermische Untersuchungen“. Wiesbaden, Bergmann, 1889.

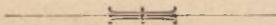
¹⁵⁾ Fraenkel, A.: „Einfluß der verminderten Sauerstoffzufuhr auf den Eiweißzerfall im Tierkörper“. Virchows Archiv 67, 273.

¹⁶⁾ Fraenkel und Geppert: „Über die Wirkung der verdünnten Luft auf den Organismus“. Experimental-Untersuchung. Berlin, Hirschwald, 1884.

^{16a)} Frenzel: „Zur Frage nach der Quelle der Muskelkraft“. Pflügers Arch. 68, S. 212.

- ¹⁷⁾ Frenzel und Schreuer: „Verbrennungswärme und physiologischer Nutzwert der Nährstoffe“. 4 Abhandlungen. Engelmanns Archiv 1901—1903.
- ¹⁸⁾ Gruber: „Zur Frage der Entwicklung elementaren Stickstoffs im Tierkörper“. Zeitschrift für Biologie 19, S. 563.
- ^{18a)} Gruber, M.: „Einfluß der Übung auf den Gaswechsel“. Ztschr. f. Biologie 28, S. 466.
- ¹⁹⁾ Heidenhain: „Mechanische Leistung Wärmeentwicklung und Stoffumsatz bei der Muskeltätigkeit“. Leipzig 1864.
- ²⁰⁾ Kochler: „Zur Kenntnis der elementaren Zusammensetzung und Verbrennungswärme der Muskelsubstanz“. Zeitschrift für physiologische Chemie 31, 479.
- ^{20a)} Külz, E.: „Beiträge zur Kenntnis des Glykogens“. Marburg 1890.
- ²¹⁾ Kronecker: „Die Bergkrankheit“. Berlin und Wien 1903.
- ²²⁾ Landergren, Ernst: „Untersuchungen über die Eiweißumsetzung des Menschen“. Skandinavisches Archiv für Phys. 14, S. 112, 1903.
- ²³⁾ Lazarus: „Pneumatische Therapie“ in: Eulenburgs Real-Enzyklopädie d. ges. Heilkunde.
- ^{23a)} Lehmann, Müller usw.: „Versuche an zwei hungernden Menschen“. Virchows Arch. 140. Supplement-Band.
- ²⁴⁾ Leo, Hans: „Zur Frage der Bildung von freiem Stickstoff im tierischen Organismus“. Pflügers Archiv 26, S. 218.
- ^{24a)} Levy, Ad. Magnus: „Über die Größe des respirat. Gaswechsels unter dem Einfluß der Nahrungsaufnahme“. Pflügers Archiv 55, S. 1.
- ^{24b)} Derselbe: „Über Zuckerbildung aus Eiweiß und das Verhalten des respiratorischen Quotienten im Diabetes“. Verhandlungen der physiologischen Gesellschaft zu Berlin 1904, VI.
- ^{24c)} Liebig, G. von: „Die Bergkrankheit“. Deutsche Vierteljahrsschrift für öffentliche Gesundheitspflege. Bd. 28. Heft 3.
- ²⁵⁾ Liebreich: „Blutkörperchen-Zählung und Schwerkraft“. Festschrift für Georg Mayer. Berlin 1905.
- ²⁶⁾ Loewy, A.: „Die Wirkung ermüdender Muskelarbeit auf den respiratorischen Stoffwechsel“. Pflügers Archiv 49, S. 405.
- ²⁷⁾ Derselbe: „Untersuchungen über die Respiration und Zirkulation bei Änderung des Druckes und des Sauerstoffgehaltes der Luft“. Berlin, Hirschwald, 1895.
- ²⁸⁾ Derselbe mit J. Loewy und L. Zuntz: „Über den Einfluß der verdünnten Luft und des Höhenklimas auf den Menschen“. Pflügers Archiv 66, S. 477.
- ²⁹⁾ Müller, Friedr.: „Über den normalen Kot des Fleischfressers“. Z. f. Biol. 20, S. 327.
- ³⁰⁾ Oppenheim, H.: „Beiträge zur Physiologie und Pathologie der Harnstoffausscheidung“. Pflügers Archiv 23, S. 446.
- ³¹⁾ Pavy: „Physiology of Carbohydrates“. London 1894. p. 114.
- ³²⁾ Pettenkofer und Voit: „Zur Frage der Ausscheidung gasförmigen Stickstoffs“. Zeitschrift für Biologie 16, S. 508.
- ³³⁾ Pflüger: „Die Quelle der Muskelkraft“. Sein Archiv 50, S. 98.
- ³⁴⁾ Derselbe: „Über Fleisch- und Fettmästung“. Ebenda 52, S. 1.
- ³⁵⁾ Derselbe: „Über einige Gesetze des Eiweißstoffwechsels“. Ebenda 54, S. 333.
- ³⁶⁾ Derselbe: „Glykogen“. Ebenda 96, S. 1—398.
- ³⁷⁾ Derselbe: „Über die im tierischen Körper sich vollziehende Bildung von Zucker aus Eiweiß und Fett“. Ebenda 103, S. 1.
- ^{37a)} Derselbe: „Das Fett wird als Quelle des Zuckers sichergestellt usw.“ Ebenda 108, S. 473.
- ³⁸⁾ Regnard: „La cure d'Altitude“. Paris 1897.
- ³⁹⁾ Regnault und Reiset: „Ann. de Chim. et de Phys.“ (3) XXVI, 1849.
- ⁴⁰⁾ Rubner: „Die Vertretungswerte der hauptsächlichsten organischen Nahrungsstoffe im Körper“. Zeitschrift für Biologie 19, S. 313.
- ⁴¹⁾ Derselbe: „Kalorimetrische Untersuchungen“. Ebenda 21, S. 250 und 337.
- ⁴²⁾ Derselbe: „Milchnahrung beim Erwachsenen“. Zeitschrift für Biologie 36, S. 56.
- ⁴³⁾ Derselbe und Heubner: „Die künstliche Ernährung eines normalen und eines atrophischen Säuglings“. Ebenda 38, S. 315.

- ⁴⁴⁾ Derselbe: „Die Quelle der tierischen Wärme“. Ebenda 30, S. 73.
- ⁴⁵⁾ Derselbe: „Die Gesetze des Energieverbrauches bei der Ernährung“. Leipzig und Wien, Deuticke, 1902.
- ^{45a)} Schnyder, L.: „Muskelkraft und Gaswechsel“. Zeitschr. f. Biologie 33, S. 289, 1896.
- ⁴⁶⁾ Schoendorff: „In welcher Weise beeinflußt die Eiweißnahrung den Eiweißstoffwechsel der tierischen Zelle?“. Pflügers Archiv 54, S. 420.
- ⁴⁷⁾ Seegen und Nowak: „Ausscheidung von gasförmigem Stickstoff aus den im Körper umgesetzten Eiweißstoffen“. Pflügers Archiv 19, S. 347.
- ⁴⁸⁾ Tsuboi: „Stickstoffausscheidung aus dem Darm“. Zeitschrift für Biologie 35, S. 68.
- ⁴⁹⁾ Voit: „Physiologie des tierischen Stoffwechsels“. Hermanns Handbuch der Physiologie. Bd. VI, 1.
- ⁵⁰⁾ Zuntz: „Über die Ursachen des Meteorismus“. Deutsche mediz. Wochenschrift 1885.
- ⁵¹⁾ Zuntz und Hagemann: „Untersuchungen über den Stoffwechsel des Pferdes bei Ruhe und Arbeit“. Neue Folge. Berlin, Parey, 1898.
- ⁵²⁾ Zuntz und Schumburg: „Zur Kenntnis der Einwirkungen des Hochgebirges auf den menschlichen Organismus“. Pflügers Archiv 63, S. 461.
- ⁵³⁾ Dieselben: „Studien zu einer Physiologie des Marsches“. Berlin, Hirschwald, 1901.
- ⁵⁴⁾ Zuntz: „Einfluß der Geschwindigkeit, der Körpertemperatur und der Übung auf den Stoffverbrauch“. Pflügers Archiv 95, S. 192.





Rast beim Aufstieg nach Col d'Olen.

Kapitel IV.

Unsere Expedition.

Im vorigen Kapitel ist gezeigt worden, von welchen Voraussetzungen aus und mit Rücksicht auf welche Fragen eine Expedition in Angriff genommen werden muß, die den Einfluß von Hochgebirgsklima und Bergsport auf den menschlichen Organismus zum Gegenstand hat. Hier wollen wir nun im einzelnen schildern, wie wir unsere Aufgabe in Angriff genommen und durchgeführt haben.

Die Expedition erforderte, wenn sie zu allgemein verwertbaren und gesicherten Resultaten führen sollte, die Teilnahme einer größeren Anzahl von Personen. Es mußten Individuen von verschiedenem Ernährungszustand, kraftvoll-muskulöse und an sitzende Lebensweise gewöhnte, jüngere und ältere miteinander verglichen werden. In diesem Sinne wurde die Expedition aus folgenden Mitgliedern zusammengestellt:

1. Cand. med. S. Waldenburg, geboren September 1879, sehr schlank und wenig an körperliche Übungen gewöhnt, 168.5 cm groß; war noch nie in den Alpen.

2. Cand. med. W. Kolmer, geboren Juli 1879, hervorragend kräftig und muskulös gebaut, sportlich sehr geübt, 168 cm groß.

3. Dr. med. W. Caspari, geboren Februar 1872, hager, sehr geringes Fettpolster, sportlich nicht besonders geübt, erfahrener Bergsteiger, 173 cm groß.

4. Dr. rer. nat. et med. Franz Müller, geboren Dezember 1871, reichliches Fettpolster, gute Muskulatur, untrainiert, erfahrener Bergsteiger, 170 cm groß.

5. Professor A. Loewy, geboren Juni 1862, mäßiges Fettpolster, gut entwickelte Beinmuskulatur, sportlich nicht geübt, guter Berggänger, 152 cm groß.

6. Professor N. Zuntz, geboren Oktober 1847, mäßiges Fettpolster, seit Jahren turnerisch nicht mehr geübt; pflegt wenig körperliche Bewegung, doch guter Berggänger, 161.5 cm groß.

Alle Versuchspersonen sollten 5—6 Wochen lang von einer mehr oder minder gleichförmigen Kost leben, ohne dabei Störungen des Befindens oder auch nur des Appetits befürchten zu müssen.

Zunächst galt es, einen ungefähren Überblick über die Menge und Zusammensetzung der jedem zusagenden Nahrung zu gewinnen.

Eine oberflächliche Berechnung der von jedem nach freiem Ermessen gewählten Kost ergab das Verhältnis von Eiweiß zu Fett und Kohlehydraten in derselben, sowie den Gesamtbrennwert. Zuntz bevorzugt Kohlehydrate, Loewy Fleisch und Fett, Caspari und Müller dagegen nehmen mehr gemischte, fettreiche Speisen. Einige Bestimmungen des Stickstoffgehalts des Harns orientierten uns über die gewohnheitsgemäß aufgenommenen Eiweißmengen, und Körperwägungen zeigten, daß die Kost den Körper vor Verlust schützte.

Vorbereitende Studien. Am 14. Dezember 1900 begann an Caspari, Müller, Loewy und Zuntz ein exakter Stoffwechselversuch.

Dieser teilte sich in zwei Perioden: Die erste war für Müller und Loewy eine sog. Ruhezeit von 4 Tagen, in der nur die gewohnte Laboratoriumsarbeit verrichtet wurde, die zweite eine Arbeitsperiode von 6 Tagen, in der sie 3—4stündige, auf 20 km ausgedehnte Märsche in der Umgegend Berlins ausführten. Caspari und Zuntz verblieben dagegen während des Versuchs dauernd im Laboratorium, reichlich beschäftigt mit der Verarbeitung des Analysenmaterials. Sie benutzten die zweite Hälfte des Versuchs zum Studium einiger spezieller Probleme, die auch für alpinistische Kreise nicht ohne Interesse sind. Caspari wollte einen Beitrag zu der Frage liefern, wie weit man wohl mit der Eiweißzufuhr heruntergehen könne, ohne daß der Körper seinen Eiweißbestand angreifen muß (s. S. 105). Zuntz andererseits nahm die Frage der Ausnutzung eines als Kräftigungsmittel vielfach angewendeten Nährpräparats, der Somatose, in das Programm seines Stoffwechselversuchs auf.

Es ist ja bekannt, daß solche in den letzten Jahrzehnten in großer Zahl auf den Markt gebracht worden sind. Sie bezwecken alle, als möglichst leicht verdauliche und kondensierte Eiweißkost für Kranke und Rekonvaleszenten zu dienen. Auch im Kreise der Alpinisten verwendet man derartige Nährmittel vielfach.

Die Speisenverteilung während der 10 Versuchstage gestaltete sich folgendermaßen: Das Frühstück bestand aus Tee, Zucker und Weißbrot, den sog. Berliner Schrippen, mit Butter. Während des Tages verzehrte man mit Butter bestrichene Albert-Kakes und Zucker, am Abend wiederum Weißbrot, Butter und Lachsschinken. An den Marschtagen wurde eine der voraussichtlichen Mehrleistung entsprechende Menge Schokolade, Zucker und Kakes hinzugefügt, dafür aber, um den Gesamteiweißgehalt der Tageszufuhr nicht zu erhöhen, etwas von dem anderen eiweißhaltigen Material fortgelassen. Während Loewy und Caspari Bier tranken, genossen Müller und Zuntz keinen Alkohol. Durch Fortlassen des Lachsschinkens erreichte

Caspari in den späteren Tagen die erwähnte Herabsetzung der Stickstoffzufuhr, und Zuntz ersetzte die 100 g Schinken durch eine im Stickstoff gleiche Menge von Somatose. Zum Mittagmahle vereinten wir uns alle, um gleiche Portionen von mit Butter und Wasser zubereitetem Reis, je 60 g, und leicht angebratenem Hackfleisch, je 150 g, zu verzehren. Eine Schrippe wurde dazu benutzt, die einem jeden vorgesezte Kasserolle sauber von Fett zu reinigen. Die Ergebnisse dieses und des folgenden Vorversuchs sind in Tabelle III bis VIII des Anhangs enthalten*) und werden später ausführlich behandelt werden.

Ein im wesentlichen gleicher Vorversuch mit gleicher Nahrung wurde im April 1901 an Kolmer und Waldenburg ausgeführt. Letzterer, der an eine besonders eiweißreiche Kost gewöhnt war, nahm außerdem 100 g Schweizerkäse. Sie waren aber insofern gegenüber den Teilnehmern an dem Dezemberversuch im Nachteil, als das Mittagessen aus äußeren Gründen nicht, wie damals, in dem behaglichen Heim eines der Teilnehmer eingenommen werden konnte, sondern im Laboratorium in den Appetit nicht sehr anregender Weise zubereitet werden mußte. Die Folgen blieben nicht aus, Kolmer bekam schon nach den ersten 4 Tagen, mit denen die Ruhezeit abschloß und eine den Vorversuchen im Dezember durchaus gleiche Marschperiode folgte, einen starken Widerwillen gegen die Mittagmahlzeit. Die Bedeutung derartiger psychischer Faktoren soll man nicht etwa gering einschätzen, wissen wir doch durch die Untersuchungen von Pawlow, daß der Magen je nach der Art der gereichten Nahrung sehr verschieden zusammengesetzten Verdauungssaft absondert und daß schon der Anblick wohlschmeckender Speisen die Absonderung eines sehr wirksamen „Appetitsafts“ hervorruft. Störungen in der Tätigkeit des Verdauungsapparats mußten in dem auf 6 Wochen projektierten Hauptversuch unbedingt vermieden werden. Im allgemeinen hatten die Vorversuche in Berlin aber jedenfalls interessantes Vergleichsmaterial für die Versuche im Gebirge geliefert und auch den Hauptzweck erfüllt, zu erweisen, daß alle sechs Personen sich für das Unternehmen eigneten. Doch damit waren die vorbereitenden Studien noch nicht erledigt.

In den ersten Monaten des Jahres 1901 wurden zur Feststellung des Sauerstoffverbrauchs und der Kohlensäureausscheidung, sowohl in der Ruhe bei bequemer Lage auf dem Sofa wie während des Marschierens auf der Tretbahn, zahlreiche Respirationsversuche ausgeführt. Versuche im pneumatischen Kabinett schlossen sich an. Im Mai 1901 begann dann auch das Analysieren der für die Expedition bestimmten Nahrungsmittel. —

Die Vorversuche hatten uns klargemacht, daß die Nahrung den Bedarf zwar ungefähr deckte, daß der Küchenszettel aber jedenfalls für einen sechswöchentlichen Versuch wesentlich reichhaltiger ausgestaltet werden mußte. Bis auf Waldenburg hatten wir alle eine relativ eiweißarme Nahrung genossen. Um uns beim Hauptversuch mehr an die übliche Lebensweise der Bergwanderer anzuschließen, erschien es zweckmäßig, die Eiweißzufuhr etwas zu steigern.

Am schwierigsten war die Beschaffung eines stets gleichmäßigen, viele

*) Tabelle Ia gibt einen Überblick der täglich genossenen Nahrungsmengen.

Wochen haltbaren und auch in den Einzelportionen gleich zubereiteten Fleisches. Die bekannte Pastetenfabrik von Michel & Co. in Straßburg hatte sich bereit erklärt, auf unsere Wünsche einzugehen, und sie hat ihre Aufgabe in geradezu glänzender Weise gelöst.

Je zwei Portionen Hackfleisch von 125 g wurden mit einer bestimmten Menge Butter angebraten und so fertiggestellt, daß sie in Büchsen später nur noch angewärmt zu werden brauchten. Die Beefsteaks waren alle aus einer großen Menge gut durcheinander gemischten sehnen- und fettfreien Schabefleisches (Rind- und Schweinefleisch gemischt) gleichzeitig hergestellt worden. Wenn man bedenkt, daß 6 Personen in der Zeit vom 5. August bis 9. September außer dieser keine andere Fleischnahrung zu sich nahmen und auch durchaus kein Verlangen nach frischem oder geräuchertem Fleisch empfanden, so beweist dies, daß die Konserven im Geschmack tadellos waren. Auch der Fett- und Stickstoffgehalt des Inhalts verschiedener zur Analyse benutzter Büchsen war ein sehr gleichmäßiger.

Zur kunstgerechten, schmackhaften Herstellung des Mittagmahls sollte uns eine erfahrene Köchin begleiten. Ihr lag es ob, die weiteren Hauptbestandteile unserer Kost, Reis und Gemüse, zuzubereiten. Frische Gemüse waren natürlich wegen ihres wechselnden Wassergehalts ausgeschlossen. Wir mußten uns mit getrockneten Konserven begnügen. Davon kamen zur Verwendung: Spinat, Erbsen und Karotten. Von diesen hatten wir unsere besondere Hoffnung auf den Spinat gesetzt, wurden indes sehr enttäuscht. Er schmeckte etwa so, wie wohl schlecht getrocknetes Heu schmecken mag. Aber einmal in das Programm aufgenommen, mußte er pflichtschuldigst jeden dritten Tag verzehrt werden. Der Genuß von Weißbrot, auf das ja ohnedies in großen Höhen nicht zu rechnen war, und das in seiner Zusammensetzung häufig stark schwankt, sollte möglichst eingeschränkt werden. Dafür kam, außer den Albert-Kakes, eine zweite, süße Sorte Kakes und erfrischende Orangenmarmelade zur Verwendung.

Alle Nahrungsmittel wurden in großen Quantitäten eingekauft und Durchschnittsproben analysiert. Nur die geringen Mengen Weißbrot, ferner der Käse, Butter, Bier und Wein wurden am Ort der Versuche selbst frisch beschafft und nachträglich analysiert. Das Ergebnis der Analysen ist in Tabelle I des Anhangs zusammengestellt.

Ausrüstung der Expedition. In den ersten Julitagen begann das Verpacken und die Absendung der Kisten.

Wer gewohnt ist, in einem mit allen modernen Hilfsmitteln eingerichteten Laboratorium zu arbeiten, macht sich schwer eine Vorstellung davon, was alles mitgenommen werden mußte, um bei primitiven Arbeitsverhältnissen den geplanten, sechs Wochen dauernden Versuch an sechs Personen durchzuführen. Ohne die Emballage zu rechnen, waren allein schon 25 kg Schokolade, 42 kg Kakes und 62 kg Fleisch zu verfrachten. Die zerbrechlichen, aus Glasröhren bestehenden Apparate zur Gasanalyse, die transportablen Gasuhren nebst Zubehör wurden in doppelter Zahl mitgenommen. Etwa 200 Verschlußflaschen und 30 Büchsen waren zur Aufbewahrung von Harn und Kot bestimmt. Zahlreiche Chemikalien und Konservierungsmittel, Meßflaschen und Meßzylinder, Reagenzgläser und Kochkolben, Emailtöpfe, Mikroskope, Instrumente zur Blutuntersuchung und zur Messung der elektrischen Erscheinungen in der Atmosphäre, Thermometer zum Messen von Luft- und Körper-

temperatur, Apparate zum Aufzeichnen des Pulses, zwei Wagen zum Abwägen der täglichen Nahrung — das alles war zu befördern. Da nun außerdem, wie im vorigen Kapitel besprochen, die Genauigkeit der Stoffwechseluntersuchung davon abhängt, daß die Schwankungen des Körpergewichts möglichst scharf ermittelt werden, war es von großer Bedeutung, auch hierfür sehr exakte Wagen zu benutzen. Wir besaßen eine geeignete große Garvenssche Jockey-Wage, die noch bei 100 kg Belastung auf 1—2 g genau wiegt. In Anbetracht ihrer Exaktheit wurde sie trotz des erheblichen Gewichts mitgenommen und in Brienz benutzt. Entsprechend unserem Plan, die Expedition in zwei Gruppen zu teilen, bedurften wir aber noch einer zweiten Wage. Auch diese mußte möglichst zuverlässig, dabei aber in Einzelteile zerlegbar sein, deren jeder bequem von einem Menschen getragen werden konnte. Sollte sie doch auf dem Rücken der Träger über Gletscher hinweg in die Höhe geführt werden. Eine auf 10 g genau wiegende Dezimalwage erfüllte diesen Zweck in wünschenswerter Weise. Die Wage wurde nach Beendigung des Versuchs in der Gipfelhütte des Monte Rosa hinterlassen, wo sie Durig und Zuntz im Jahre 1903 sehr zu statten kam.

Nehmen wir noch die notwendige Bergausrüstung hinzu, — Gletscherseile, Eispickel, Winterkleidung, Bergstiefel, — so kann man sich wohl ein Bild davon machen, welche Mühe und Kosten das Verpacken und der Transport dieser etwa 30 Kisten erforderte. So weit als möglich wurden die für die letzten Wochen der Versuche erforderlichen Dinge gleich abgesondert und nach dem Gebiet des Monte Rosa geschickt, die anderen gingen nach Brienz.

Die Wahl dieses Ortes als Standquartier geschah auf Grund der im vorigen Kapitel angestellten Erwägungen (s. S. 107). Hinzu kam, daß die über die Einwirkung des Höhenklimas auf die Blutbildung anzustellenden Versuche sich nicht auf den Menschen beschränken durften, sondern die Unterbringung einiger Tiere in der Höhe erforderten. Die Nähe des Berner physiologischen Laboratoriums, dessen Gastfreundschaft wir genossen, gab Kolmer während des Sommersemesters 1901 die erwünschte Gelegenheit, die Versuchstiere auszuwählen und in zwei Gruppen zu teilen, von denen die eine bis zum Herbst in Bern blieb, während die andere, sobald der noch in tiefen Schnee gehüllte Gipfel des Brienzer Rothorns begehbar wurde, hinaufkam und dort in der Nähe des Hotels eine bequeme Unterkunftsstätte fand. Kolmer richtete ihnen einen Holzschuppen nebst freiem Tummelplatz als Aufenthaltsort ein (s. Bild auf S. 70). Er besuchte sie dort mehrmals während der Sommermonate und entnahm ihnen kleine Blutproben aus dem Ohr zur Untersuchung. Ihre Ernährung war genau die gleiche wie in Bern.

Für den zweiten Teil der Versuche, die bezweckten, den Einfluß höchster von Menschen bewohnter Berghöhen auf den Organismus festzustellen, war das Gasthaus auf dem Col d'Olen am Südabhange des Monte Rosa und die Capanna Regina Margherita auf der Punta Gnifetti gewählt. Mit freundlicher Unterstützung von Professor Mosso engagierten wir für Anfang September den früheren Führer Loewys auf dessen Expedition vom Jahre 1896. An ihn wurden die Kisten beordert, die übrigens dank dem Entgegenkommen der Behörden Deutschlands, der Schweiz und Italiens zoll- und revisionsfrei passierten.

Verlauf der Expedition. Nach den anstrengenden Vorarbeiten in Berlin kam endlich am 1. August der ersehnte Moment der Abreise. Zwar ging die Ausfahrt nicht ganz so bequem wie sonst bei der Sommerreise von statten. — Lagen auch die großen Kisten schon wohlbehalten in Brienz, so mußte doch noch eine stattliche Anzahl von Kästen und Kistchen, in denen sich besonders wertvolle Stücke befanden, als Handgepäck mitgeschleppt werden. Trotzdem war es eine lustige Gesellschaft, die sich am 3. August in Erwartung und Hoffnung auf interessante Arbeit und frohe Tage in Bern zusammenfand. Am 4. langten wir über Interlaken in Brienz an. Unsere Wohnung entsprach in allem den Bedürfnissen.

Außer drei geräumigen Schlafzimmern und einem Wohnzimmer für uns, der Küche und dem Schlafzimmer für die Köchin, bot die erste Etage des Hauses ausreichend Raum zum Auspacken und Aufbewahren der Kisten, zum Aufstellen der Wagen und Analysenapparate. Die Küche des oberen Stockwerkes, deren Boden aus Steinfliesen bestand, eignete sich vorzüglich als Laboratorium, zumal sie auch mit Wasserleitung und Abwaschtisch und der Herd mit einem Abzug versehen war. So durften wir hoffen, Wirtsleute und Nachbarschaft nicht allzu sehr durch unsere Tätigkeit zu stören.

Der 5. und ein Teil des 6. August gingen hin mit Auspacken und Zusammenetzen der Apparate, sowie der Aufstellung der großen Wage, die in den Fußboden fest eingelassen wurde.

Ganz ohne Unglücksfall war der Transport nicht von statten gegangen. Zu schöner und unauflöslicher Vereinigung hatte sich der Inhalt einer zerbrochenen Quecksilberflasche mit einer Kalodonttube verbunden, und das gebildete Amalgam hatte mit Mossos Buch „Der Mensch in den Hochalpen“ unzertrennliche Freundschaft geschlossen. Aber sonst war erheblicher Schaden nicht angerichtet.

Am 5. August morgens begann der Stoffwechselfersuch und mit ihm der Zwang, jede Bewegung, jeden Spaziergang zu notieren, jeden Tropfen Wasser und jedes Gramm Nahrung abzuwiegen, und die Pflicht, sich von Erregungen und Stimmungen des Augenblicks möglichst frei zu halten, so daß man sich bald nur noch als Versuchstier, als eine interessante Maschine betrachtete. Ein merkwürdiges Gefühl ist es auch, wochenlang zu arbeiten, ohne bestimmt auf ein Ergebnis rechnen zu können. Man tappt lange im Dunkeln, bis erst nach vielen Monaten, auch Jahren mühsamer Ausarbeitung die Resultate übersehbar werden. Um so genauer mußte man daher jede scheinbar bedeutungslose Vorschrift bei der Arbeit einhalten und jede Tatsache registrieren.

Die Tageseinteilung gestaltete sich derart, daß frühmorgens vor 6 Uhr im Bett Puls gezählt und die Körpertemperatur gemessen, Punkt 6 Uhr der Harn entleert und dann noch nüchtern das Nachtgewicht festgestellt wurde. Zum Frühstück nahmen wir 200 ccm, d. h. eine größere Tasse, eines jeden Tag gleich hergestellten Kaffees und von der für 24 Stunden abgewogenen Ration je nach Behagen verschiedene Mengen Zucker, Kakes mit Marmelade oder Butter, einige von uns auch Käse. Schon vor dem Frühstück wurden in Bettruhe Gaswechselfersuche auf die früher beschriebene Art mittels der transportablen Gasuhren angestellt, später die Atemproben analysiert, Blutuntersuchungen und meteorologische Ablesungen gemacht, Harnflaschen und Kotbüchsen gewogen, bis gegen 3 Uhr nach ununterbrochener, wenn auch nicht allzu anstrengender Tätigkeit die Mittagsmahlzeit herannahte.

Die in der einfach, aber gut eingerichteten Küche für alle gemeinsam zubereitete Kost wurde auf dem Tisch in sechs gleiche Portionen geteilt. So nahm sich der Eßstisch recht seltsam aus. An Stelle einer Blumenvase oder eines Tafelaufsatzes stand hier die Wage und der Gewichtssatz! Das Essen wurde in der tartierten Kasserolle aufgetragen und diese samt dem Inhalt auf der Wage abgewogen, dann jedem sein Sechstel zugeteilt. Der letzte bekam die Kasserolle anstatt des Tellers, mit der Verpflichtung, sie quantitativ rein gesäubert abzuliefern. Dazu saß jeder mit Bleistift und Notizbuch bewaffnet an seinem Platze, um alle von dem austeilenden-Tischpräsidenten angegebenen Zahlen zu notieren. Aber mit dem gleichen Appetite wie zu der elegantest servierten Mahlzeit setzten wir uns alltäglich zum Mittagbrot nieder. Der mit Wasser und Butter angesetzte Reis bildete den ersten Gang. Nachdem die Reiskasserolle verschwunden war, erschien eine zweite, in der sich das grüne Gemüse befand, und zwar, wie erwähnt, abwechselnd jeden dritten Tag wiederkehrend, Spinat, Schoten, Karotten.

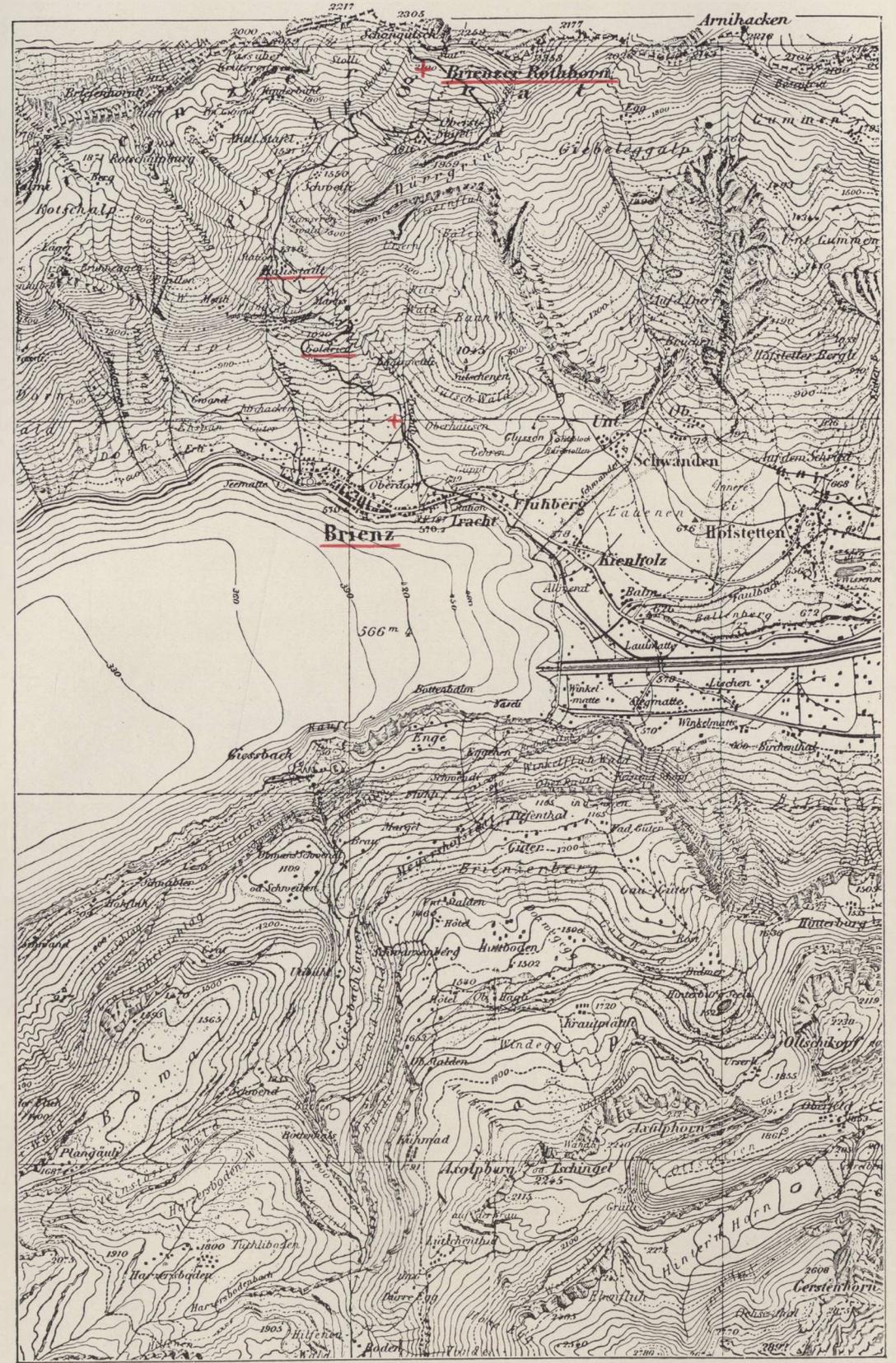
Damit die Eiweißmenge der Mittagsmahlzeit konstant blieb, wurde bei den Karotten, die weniger Eiweiß enthalten, der Rest durch ein Eiweißpräparat (Roborat) ergänzt. Es waren pro Person täglich 30 g von Spinat oder Schoten oder 25 g Karotten vorgesehen. Bald stellte sich aber heraus, daß diese Menge sicher nicht dauernd bewältigt werden konnte. Vom vierten Tage ab wurden daher 25 bzw. 20 g pro Person gegeben. Die zur Zubereitung des grünen Gemüses verwendete Buttermenge wechselte in dreitägigem Turnus, da bei schmackhafter Zubereitung für Spinat und Schoten mehr Butter verbraucht wird als für Karotten. (Genauere Angaben über die Zusammensetzung der Mittagsmahlzeit finden sich im Anhang: Tabelle II unter dem Titel „Küchennahrung“.)

Zugleich mit dem Gemüse wurden sechs dampfende Fleischbüchsen aufgetragen und ihr Gewicht zunächst voll und dann leer bestimmt. Je nach den Wünschen des einzelnen konnten die darin enthaltenen zwei Beefsteaks am Mittag oder eins davon am Abend verzehrt werden, wie überhaupt, um es nochmals zu betonen, die Verteilung der der Menge nach für jeden genau festgesetzten Nahrung dem Behagen des einzelnen anheimgestellt blieb. — Zur exakten Reinigung der Teller diente ein, natürlich gewogenes, Stückchen Weißbrot. Wir taten recht daran, nur dieses eine Stück für den ganzen Tag zu gestatten und uns sonst mit Kakes zu begnügen. Bedeutet doch beim Brot infolge des wechselnden Wasserverlustes beim Backen gleiches Gewicht durchaus nicht gleichen Gehalt an Nährstoffen.

Bedeutungsvoller ist übrigens noch die Forderung, von jeder jeweils eingekauften Menge Käse und Butter eine Durchschnittsprobe zu analysieren, wie die Analysen der verschiedenen von uns genossenen Portionen zeigen.

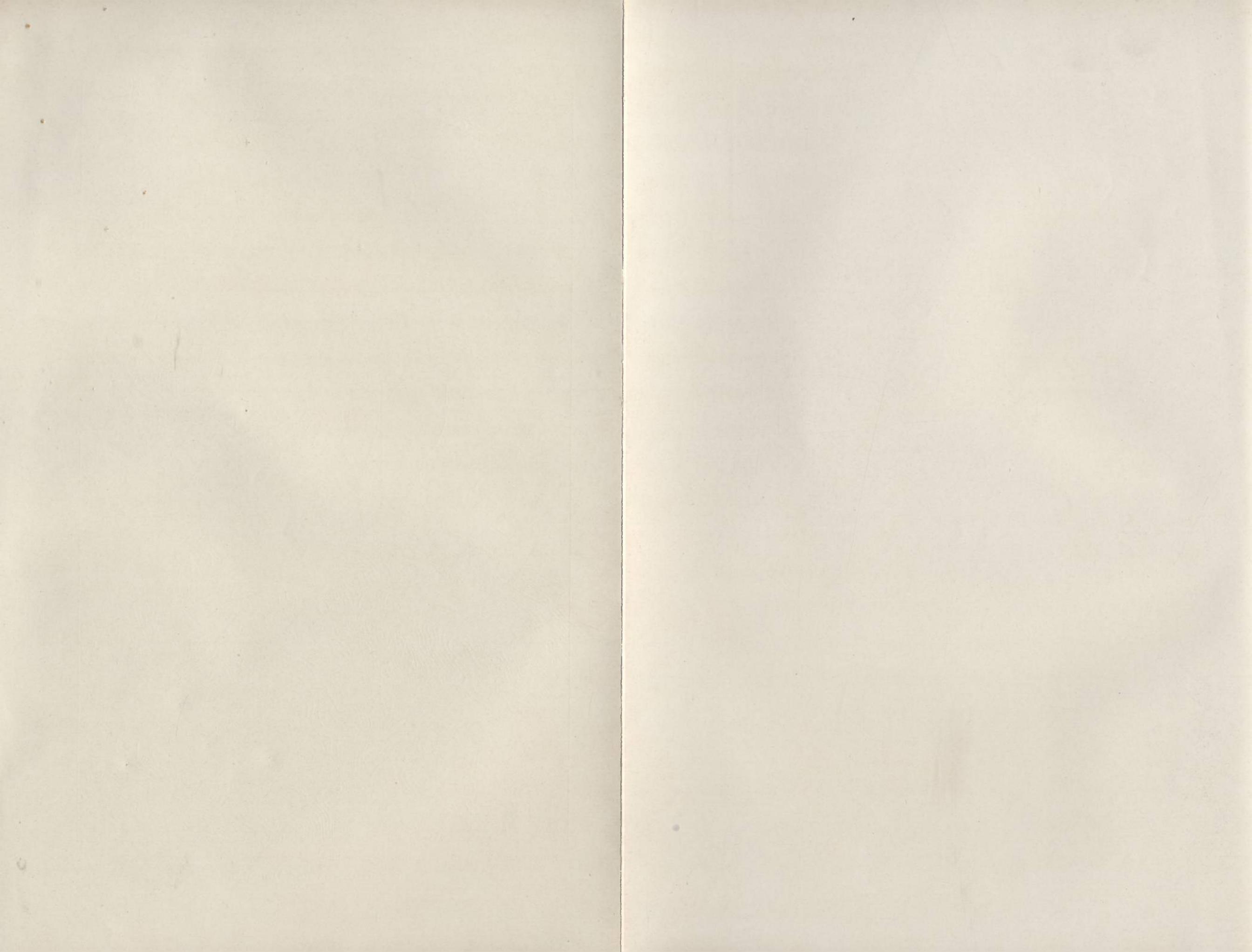
Am Nachmittag vereinten wir uns zum Tee. Auf Zusatz von Milch mußten wir vollkommen verzichten, da diese viel zu große Differenzen in ihrer Zusammensetzung aufweist und die Analysenarbeit ungeheuer vermehrt hätte. Wir haben übrigens alle diesen Verzicht nicht störend empfunden. Abends verzehrte jeder den Rest der Tagesration.

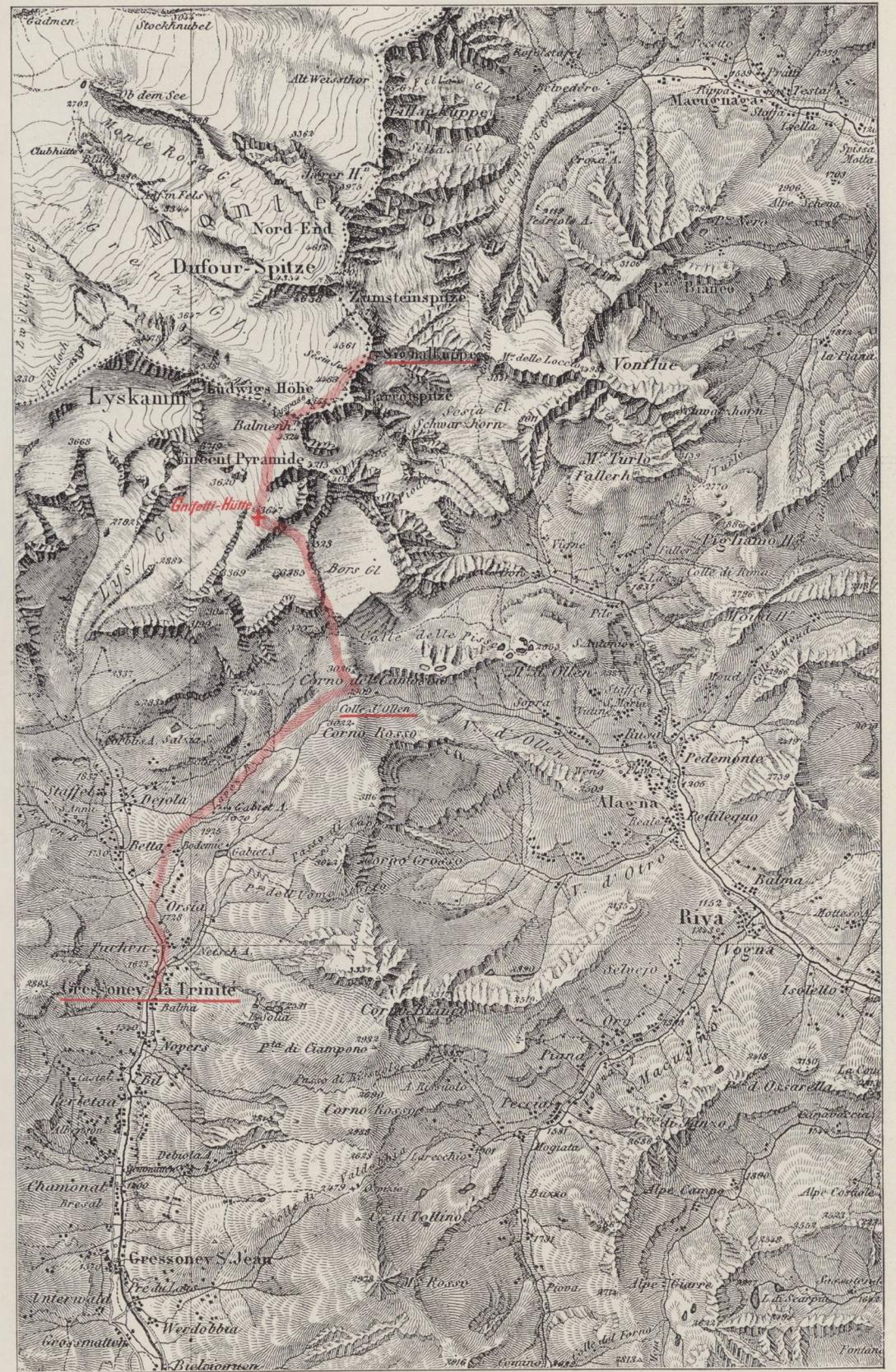
Da es interessant war festzustellen, ob der Genuß einer mäßigen Menge von Alkohol beim Aufenthalt im Gebirge und auf Touren einen nachweisbaren Einfluß auf den Gesundheitszustand eines daran Gewöhnten hat, wurde den Wünschen der Teilnehmer auch in dieser Beziehung Rechnung getragen. Kolmer lebt dauernd



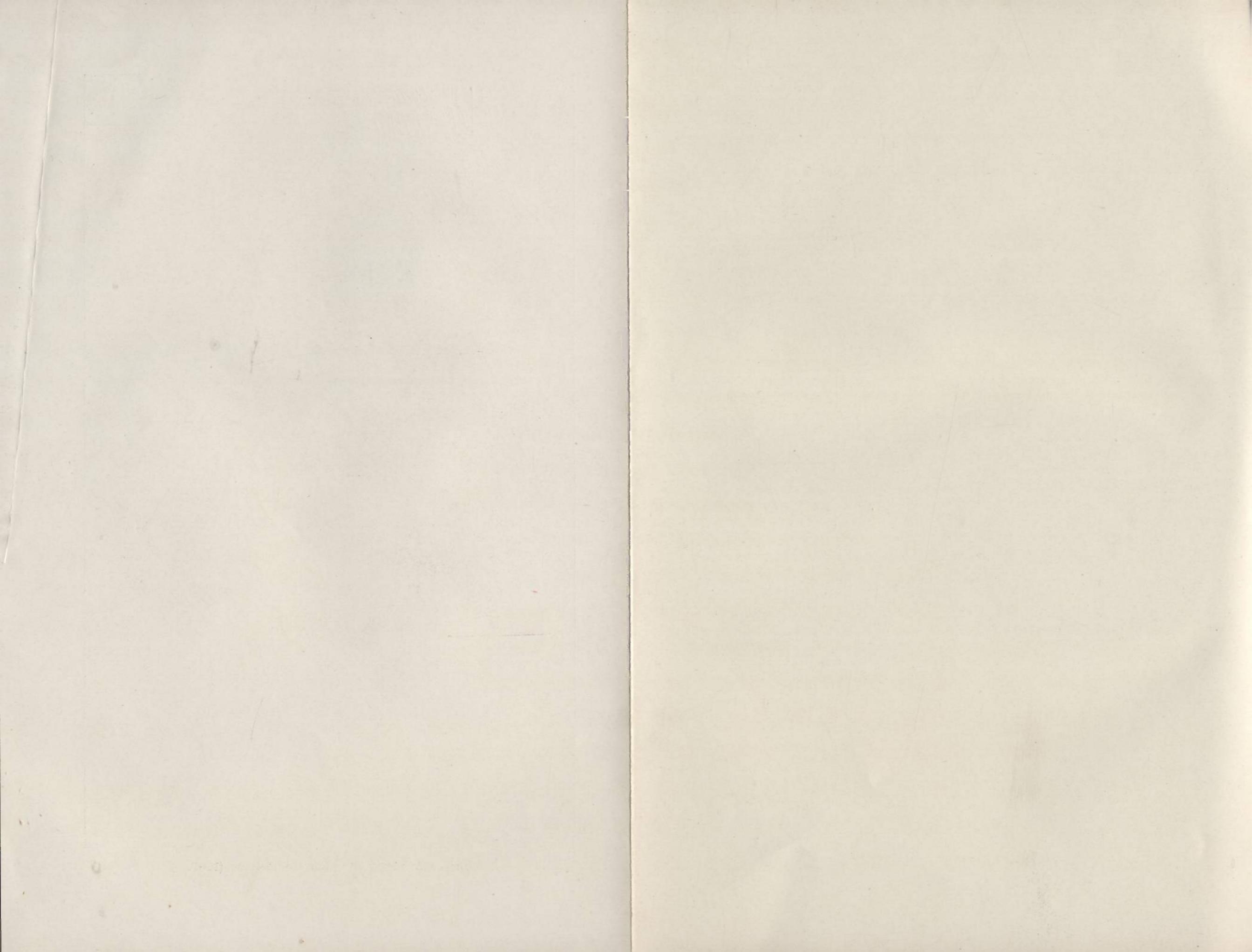
+ (Die roten Zeichen markieren den Weg der Rothornbahn)

Karte von Brienz und Umgebung.





Unsere Anstiegsroute zum Monte Rosa (1901).



abstinent, Zuntz, Waldenburg und Müller genießen zwar nicht regelmäßig Alkohol, aber doch bisweilen in durchaus mäßigen Mengen bei geselligen Veranstaltungen. Diese vier enthielten sich während der Dauer der Versuche vollkommen des Alkohols und nahmen ausschließlich, bisweilen durch Zusatz von Zitronensäure und Zucker schmackhafter gemachtes Wasser oder kohlen-saures Wasser, wohingegen Caspari und Loewy, die an einen Genuß von täglich etwa $\frac{1}{2}$ —2 l Bier gewöhnt waren, der täglichen Nahrung zunächst ca. $\frac{1}{2}$, später während der Marschzeit 1— $1\frac{1}{2}$ l eines leichten Bieres, am Monte Rosa entsprechende Mengen Rotwein hinzufügten. Loewy und Caspari rauchten auch regelmäßig, Müller bisweilen, die anderen Teilnehmer nicht, von Tabakmißbrauch war jedenfalls bei dem Genuß von höchstens 2—3 leichten Zigarren keine Rede. Die folgende kleine Tabelle gibt ein Beispiel der täglichen Ernährung, deren Einzelheiten der Tabelle Ia des Anhangs zu entnehmen sind.

Müller: Brienz, den 6. August 1901.

Frühstück:	Mittags:	Nachmittags und abends:
Kaffee . . . 200 g	Reis 222 g	Zucker in Wasser oder Tee . . . 20 g
Zucker . . . 10 „	Schoten 98 „	Albert-Kakes 90 „
Albert-Kakes . 30 „	Butter im Gemüse . 25 „	Süße Kakes 25 „
Süße Kakes . 25 „	Eine Büchse Fleisch,	Orangen-Marmelade 50 „
Marmelade . . 50 „	enthaltend . . . 214 „	Butter 25 „
Butter . . . 15 „		Käse 70 „
		Tee 200 „
		Wasser und Selterwasser im ganzen 878 „

In den ersten Tagen machte das Abwiegen der Nahrung, die Körperwägungen, das Notieren sehr viel Mühe und erforderte ziemlich viel Zeit. Aber von Tag zu Tag lebten wir uns mehr in die ungewohnte Tätigkeit ein, die Wägungen und Notizen kosteten immer weniger Aufmerksamkeit, die Protokolle wurden lückenloser, und wenn auch jeder von morgens früh $\frac{1}{2}$ 6 bis abends 9 Uhr reichlich beschäftigt war, so bot der Aufenthalt doch im Vergleich zu den letzten Wochen in Berlin so reiche Anregung, daß man ihn wohl als einen angenehmen Sommeraufenthalt in schöner Gebirgsgegend bezeichnen kann. Außer den Ruheversuchen im Bett wurden vorerst noch keine anderen Respirationsversuche angestellt und größere Körperanstrengungen vermieden. Nur in den Abendstunden machten wir kleinere Spaziergänge in der nächsten Umgebung und suchten dabei am 8. eine passende Strecke für die Marschversuche aus. Als Start wurde ein etwa 200 m oberhalb Brienz gelegener Punkt der Bahn gewählt. So blieben nur wenige Abendstunden unbesetzt, die durch Korrespondenz ausgefüllt wurden. Einige Male nahmen wir auch am späten Nachmittag ein kurzes Seebad.

Am 9. hatte diese relative Ruhe ein Ende. Kolmer, Müller und Loewy, die bestimmt waren, längere Zeit auf dem Gipfel des Rothorns zu verweilen, begannen unter Mitarbeit der anderen Herren ihre Marschversuche auf der „unteren Versuchsstrecke“. Auch in Berlin waren solche ja, wie schon erwähnt, bei verschiedenen Steigungen auf der Tretbahn ausgeführt worden. Hier oberhalb Brienz marschierten wir, den Bahnschienen folgend, auf dem gleichmäßig um 25% ansteigenden Terrain der Bahn und trugen die Gasuhr genau wie in Berlin auf der sog. Kraxe, wie sie

die Bergbewohner zur Beförderung von Lasten benutzen (s. die Bilder in Kap. V und VIII). Mit gelindem ästhetischem Schauer gedachte man, während man, durch wohlbestellte Wiesen bergansteigend, den herrlichen Blick über den See, das Dörfchen und auf das gegenüber aufragende Faulhorn genoß, der Berliner Tretbahnversuche, bei denen das Auge immer nur an den grauen Wänden der Laboratoriumsgebäude interesselos auf- und abgleiten konnte! Als wir am Morgen des 9. und 10. gegen 10 Uhr ausrückten, brannte die Sonne heiß hernieder und die Märsche gerade um die Mittagszeit kosteten manchen Schweißtropfen. Der Abend des 10. August brachte keine Abkühlung. Erst am folgenden Mittag zog ein Gewitter auf. In wenigen Minuten war der ruhige See in ein hochaufschäumendes Meer verwandelt. Der Sturm wurde stärker und stärker. Bald brandeten die Wogen derartig gegen die kleine Mole vor unserem Haus, daß der Schaum hoch aufspritzte. Hellgrünes Wasser weithin — die Berge tiefschwarz — ein letzter Sonnenstrahl in der Ferne — das Faulhorn durch schwere Wetterwolken ganz verhüllt — es war ein grandioser Anblick!

Die Nähe des Sees, zu dem das Gärtchen unseres Hauses hinabreichte, ermutigte uns, auch einen Versuch zur Feststellung des Kraftaufwandes beim Schwimmen zu wagen. Kolmer, der besonders kräftig und muskulös gebaut ist, sich während der Sommermonate durch zahlreiche Hochtouren gut trainiert hatte und sehr gut schwimmt, diente als Versuchsobjekt. Aber dieser erste Versuch am 6. August zeigte, daß wir die Schwierigkeiten doch unterschätzt hatten. War es bei der Unruhe des Wassers schon schwer, die Apparate in das unter dem Schutz der kleinen Mole liegende Boot zu befördern, so erwies es sich als unmöglich, die Verbindung zwischen dem schaukelnden Boot und dem mit den Wellen kämpfenden Schwimmer herzustellen. Mit besserem Gelingen wurden die Versuche, die übrigens das lebhafteste Interesse der Brienzer Bevölkerung und der Sommergäste erregten, am 7. und 8. August bei ruhigem Wetter ausgeführt. Sie werden später in Kapitel VIII noch eingehender beschrieben und die dabei gewonnenen Resultate ausführlich mitgeteilt werden.

Am 11. morgens wurde diese erste Brienzer Periode beschlossen. Der Rest des Tages ging hin mit dem Verpacken der für einen dreiwöchentlichen Aufenthalt in der Höhe notwendigen Dinge, vor allem wiederum der Flaschen und Büchsen — eine für die als Packer fungierenden Personen ungewohnte und recht anstrengende Muskelarbeit. Am 12. August morgens bei trübem, warmem Wetter fuhren Kolmer, Müller und Loewy mit 217 kg Gepäck zum Gipfel des Rothorns.

Die Bahn passiert, wie die vorstehende Karte zeigt, nach Verlassen des Ortes die soeben als „untere Versuchsstrecke“ beschriebene Stelle, und windet sich bald darauf in einem gekrümmten Tunnel zum ersten Mal um den Berg herum. Nach Verlassen der ersten Station Geltried in Höhe von 1020 m dreht der Weg zum zweiten Male, um nunmehr nach Passieren einiger kurzer Tunnels für längere Zeit in dem muldenförmig ausgebuchteten Tal des Mühlbachs fast geradlinig bergan zu steigen, wobei Brienzen und der Brienzer See den Blicken für längere Zeit entzogen sind. An der Station Hausstadt in 1346 m Höhe verlassen wir die Waldregion und nähern uns der Region der Alpenwiesen. Die dichten Tannenwäldchen und die saftiggrünen, mit bunten Wiesenblumen besäten Matten, welche den unteren

Teil des Berges bedecken, treten zurück. Oberhalb Hausstadts zeigt die durch zahlreiche Kuhherden belebte Planalp den typischen Charakter der Alpenwiesen. Spärliche Bergkiefern besetzen den Abhang. Bald hören auch diese auf, um weiten Grashalden, auf denen nur Ziegen ihr Futter finden, Platz zu machen. Die Aussicht war an diesem Morgen verdeckt. In der Tiefe über dem See, wie zwischen Geltried und Hausstadt, lag dichter Nebel und auch die höheren Regionen waren durch weiße Wolkenmassen verschleiert. In etwa 1700 m Höhe wendet sich die Bahn in einer großen Kehre nach Osten, um dann hinter der kleinen Station Oberstaffel nach Nordwest umzubiegen. Nach Passieren einiger kurzer Tunnels erreicht sie in 2250 m Höhe in nächster Nähe des Hotels „Rothorn Kulm“ ihr Ende. — Die ganze Bahnfahrt dauert 1 Stunde 20 Minuten. —

Gleich nach Verlassen des Coupés machten sich nun bei uns die ersten Anzeichen der Höhenluftwirkung bemerkbar. Müller und Loewy verspürten auf dem nur etwa 100 m langen, mäßig ansteigenden Fußweg zum Hotel leichtes Herzklopfen und Beklemmung. Sehr viel deutlicher wurden diese Störungen, als sie am Abend gegen Sonnenuntergang nach Einrichtung des Laboratoriums den durchaus nicht steilen Weg zu der um 100 m höheren Kuppe des Rothorns (2353 m) hinaufstiegen. Trotzdem sie sehr gemächlich wanderten, zeigte sich zweifellos „Luft hunger“, die Atmung war mühsam und bei etwas schnellerem Gang schnappend — das Steigen verursachte merkliche Anstrengung. Kolmer verspürte von alledem nichts. Abgesehen von der noch ungewohnten Kälte empfand aber keiner erheblicheres Unbehagen. Dennoch ist diese Beobachtung durchaus nicht unwichtig und soll später beim Thema Bergkrankheit nicht vergessen werden. Auf dem Gipfel und vor dem Hause wurden von nun ab jeden Morgen und Abend meteorologische Messungen ausgeführt, zunächst allerdings bei Nebel und Wind und ohne Genuß der Fernsicht. Die Berner Hochalpen blieben dauernd von Wolken verdeckt. Nur hin und wieder tauchten aus ziehenden Nebeln die Spitzen des Pilatus, Stanzerhorn, Rigi und Niesen, sowie die Seen in der Tiefe auf.

In den ersten drei Tagen des Aufenthaltes hier oben wurden keine erheblicheren Marschleistungen ausgeführt, man hielt sich möglichst ruhig. Frühmorgens wurde genau wie in Brienz die Nacktwägung vorgenommen, es folgten Atemversuche im Bett, nach dem Frühstück Untersuchungen sowohl von unserem Blut wie dem der früher erwähnten Versuchshunde, welche Kolmer seit über einem Monat nicht mehr gesehen hatte. Die Tiere befanden sich wohl und spielten zur allgemeinen Belustigung der Hotelbewohner munter in dem Zwinger vor ihrer Hütte.

Unsere Ernährung geschah in der gleichen Weise wie bisher. Um völlige Gleichmäßigkeit zu erzielen, wurde das Essen für alle unten in Brienz zubereitet. Nur bot es einige Schwierigkeit, das heiße, in einzelne Portionen geteilte und in einer Thermophormenage verwahrte Mittagmahl rechtzeitig hinauf zu befördern. So lange das Wetter irgendwie vertrauenerweckend war, wurde der Betrieb der Bahn gleichmäßig aufrechterhalten. Aber schon am 13. August verspürte niemand Lust, den in Nebel und Schnee gehüllten Gipfel des Berges aufzusuchen. Wir waren durchaus auf das Entgegenkommen der Bahnverwaltung angewiesen, die sich auch in uneigennützigster Weise bereit erklärte, auf

ein Passagierbillett hin den Mittagszug mit der Menage nach oben abzulassen — ein Entgegenkommen, das wir nicht dankbar genug anerkennen können, da ja das eine Billett nur etwa $\frac{1}{3}$ der Kosten der Bahnfahrt deckt. Solche Tage kehrten im Laufe der nächsten Wochen noch mehrfach wieder und ohne die Sicherheit der Verpflegung wäre der Fortgang der Versuche völlig in Frage gestellt worden. — Auch für die Hotelverwaltung von Rothorn Kulm waren wir seltsame Gäste. Mit Ausnahme einiger Flaschen Bier und Selterwasser, sowie der Besorgung des mitgebrachten Kaffees und Tees beanspruchten wir die Hotelküche nicht. Wohl aber nahmen wir an den kalten Abenden die Gastfreundschaft der Wirte in dem geheizten Speisesaal in Anspruch. Trotzdem das Hotel späterhin bei schönem Wetter überfüllt war, wurden wir doch niemals in unseren Arbeiten gestört, sondern bei der Umwandlung des Hotelzimmers in einen Laboratoriumsraum, beim Aufstellen der Dezimalwaage und der anderen Apparate, wie auch späterhin im Fortgang der Versuche aufs freundlichste unterstützt.

Am 13. August gegen Abend nach starkem Schneefall klärte sich das Wetter auf. Wir konnten eine für Marschversuche geeignete Bahnstrecke in der Höhe von 2000—2100 m ausfindig machen, die auf der Karte markiert ist, die „obere Versuchsstrecke“. Bis nach Sonnenuntergang wurden sofort Marsch-Respirationsversuche in genau der gleichen Weise wie bei Brienz angestellt. Die Nacht überraschte uns bei der Arbeit. Erst bei völliger Dunkelheit unter Laternenschein kehrten wir heim.

Mit dem 15. August begann eine neue Tageseinteilung. Es kam die Periode der „kleinen Märsche“. Da wir ja außer den Einflüssen der Hochgebirgsluft auch die Bedeutung des Bergsteigens untersuchen wollten, so wurden nunmehr täglich Bergaufmärsche von $2-2\frac{3}{4}$ Stunden Dauer ausgeführt. Wir fuhren gegen 8 Uhr bis nach Hausstadt oder Geltried hinunter und gingen dann in bequemem Marschtempo die Bahnstrecke bergauf. Dabei wurden mehrfach Körpertemperatur und Puls beobachtet, und ständig die Perspiration, d. h. der Gewichtsverlust, den der Körper infolge Ausdünstung während des Marsches erleidet, durch Wägung vor Antritt und nach Beendigung desselben ermittelt.

In den ersten Tagen, am 15. und 16., führten die Märsche meist durch Nebel zur Höhe; oben aber wurden wir dann durch stets wechselnde Bilder entschädigt. Wie wenige Touristen verstehen sich doch dazu, auch bei halbbedecktem Wetter die Auffahrt zu dem Berggipfel zu wagen oder auf die Gefahr hin, in Nebel zu kommen, den Aussichtsberg zu erklimmen! Und doch — um wie viel malerischer und wechsellvoller erscheint der Rundblick beim Ziehen der Wolken, wenn Nebelschleier um die Berghäupter spielen, als wenn der klare blaue Himmel die zwar stets imposante, aber in ihrer Starrheit oft tote Pracht umspannt. Nur dem erschließt sich der wechsellvolle Reiz und der intime Genuß der Gebirgswelt, der nicht bloß nach gutem Diner einen kurzen Nachmittagsausflug mit der Bergbahn unternimmt, um im bequemen Lehnstuhl sitzend die im Reisehandbuch gepriesene Aussicht zu genießen, und der stets nur die Berge in Feiertagskleidung zu sehen beansprucht, sondern der selbst unter Verzicht auf manche Annehmlichkeiten der Kultur in der Alpenhütte oder im Berggasthaus längere Zeit verweilend die Natur in ihren Launen und ihrem Wechsel belauscht.

Allmählich wurde das Wetter klarer, der Schnee an den Hängen schmolz und in den unteren Teilen des Berges machte sich schon die Sonnenglut beim Bergaufsteigen recht fühlbar. Mehr und mehr enthüllte sich nun die Rundschau über die nahen Berge und die über ihnen in der Ferne glänzenden Gletschermassen. Vom Titlis und den Bergen des Engelberger Tals über die Triftgruppe zum Schwarzhorn, weiter zu den schneeigen Gipfeln der Well- und Wetterhörner, der drohenden zackigen Schreckhörner, dem hochragenden, stolzen Finsteraarhorn, den Viescherhörnern und dem Aletschhorn, dem Eiger, Mönch und der Jungfrau, über die weiter nach Westen folgenden Gipfel der Berner Alpen bis zur Blümlisalpe und hin zu den Diablerets in der Nähe des Montblanc, die Größe von dem uns im September erwartenden Monte Rosa zu bringen schienen. Auf der anderen Seite nach Südost dehnt sich der Blick über die Berge am Vierwaldstätter See, unter denen man den glücklicheren Rivalen des Rothorn, den Rigi, wohl unterscheiden kann. Das folgende Panorama des westlichen Teils der Rundschau gibt ein schwaches Abbild dieser Pracht. — Bietet zwar der nächste Vordergrund der Ansicht vom Rothorn ein weniger abwechslungsreiches Bild als vom Rigi aus gesehen der Vierwaldstätter See in seinem vielverzweigten Bett, so stellen sich andererseits die Hochalpen viel grandioser dar. In fast greifbarer Nähe, in allen Einzelheiten deutlich erkennbar, liegen hier die mächtigen Eisriesen vor uns, die man vom Rigi aus nur in der Ferne wie auf einem gemalten Panorama erblickt. Einen wunderbaren Kontrast zu dem blendenden Weiß der Hochgipfel bilden die bewaldeten tiefgrünen Berge, das helle Grün der Matten und das blaue Wasser des Thuner- und Briener Sees.

Wie schön hat doch Scheffel, der begeisterte Alpenfreund, solchen Rundblick geschildert:

Heia, das Schneegebirg' ha'n wir erklimmen,
Schaun in der Täler vielfurchig Gewind.
Schweben wie Adler, vom Äther umschwommen,
Über den Wolken und über dem Wind.

Hier blitzt ein Städtlein und dort ein Gefilde,
Dort eines Stromes sich schlängelnder Lauf,
Dort auch ein See, wie ein Menschaug' milde
Aus der vernebelten Ferne herauf.

Flüchtig nur winkt es und flüchtig versinkt es
In das umflorende Dunstmeer zurück — — —
So ist das Leben — sternschnuppig kaum blinkt es.
So ist die Minne, die Hoffnung, das Glück.

Jetzt brauchten wir auch nicht mehr zu befürchten, daß der Mittagszug mit dem sehnlichsten erwarteten Mahle nicht eintreffen könnte. In Scharen strömten die Besucher dem Gipfel zu und erfreuten sich bei der Auffahrt der seltsamen Gestalten, die, mit glänzendem Stirnreif und im Wind sich drehendem Kopfputz geschmückt, auf dem Rücken ein rätselhaftes Instrument auf einer Kraxe tragend, in ungenierter Touristenkleidung die Bahnstrecke abmarschierten. Auf welche sonderbare Vermutungen mochten sie wohl da kommen!

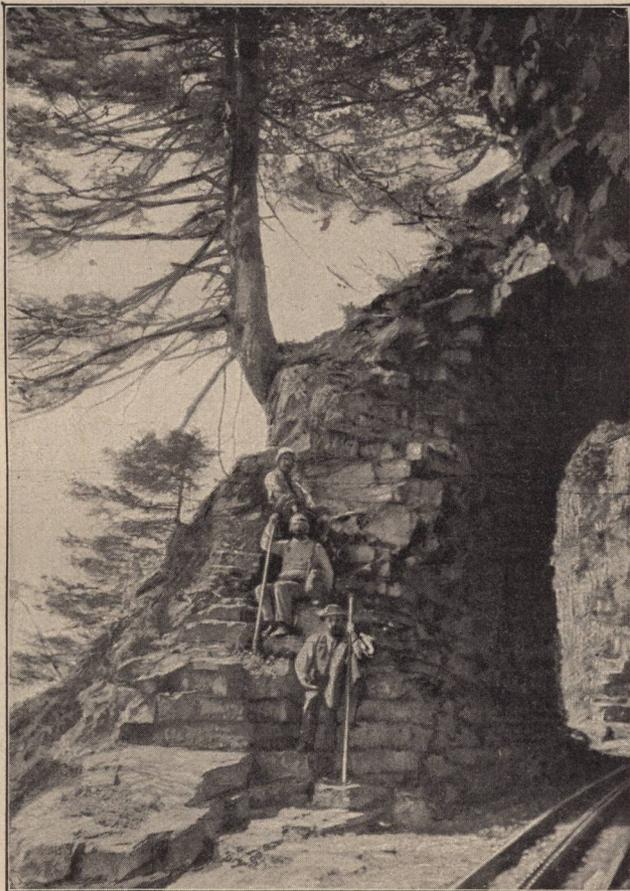
Mit dem 18. schloß die Periode der „kleinen Märsche“ und ihr folgte die der „großen“. Die Wege wurden von Brienz bis zum Gipfel hin ausgedehnt, ein 4—5 stündiger Bergaufstieg mit 1800 m Höhendifferenz bei 25% Steigung, einer strammen Bergtour durchaus vergleichbar. Entsprechend erhöhte sich natürlich auch unsere Kostration. Die Zulage bestand vorwiegend aus Zucker und Butter, bezw. Bier. Zu diesen Märschen vereinigten sich jetzt alle Teilnehmer der Expedition. Die in Brienz Verbliebenen hatten inzwischen vom 12.—17. August täglich Marschversuche auf der unteren Versuchsstrecke, meist bei schwülem, drückendem Wetter ausgeführt, ohne aber dabei durch die herrliche Fernsicht entschädigt zu werden. Vom 13. ab kamen dazu noch Märsche, die von Brienz bis Geltried oder Hausstadt führten und zu zahlreichen Beobachtungen der Körpertemperatur, der Respiration, des Pulses und der Atmung Gelegenheit boten. Es mußte sehr früh aufgestanden und recht geeilt werden, damit das Mittagbrot für die Bergabteilung rechtzeitig zur Bahn gelangte. Am 16. hatte Zuntz sich den Fuß aufgelaufen und empfand den Marsch dieses Tages als einen der ermüdendsten, so daß er es vorzog, den nächsten Tag im Hause mit Aufarbeiten der Analysen der Atemgase zu verbringen. Vom 19.—22. August nahmen die langen Bergaufstiege den größten Teil des Tages ein. Die in Brienz Weilenden benutzten zum Rückweg streckenweise die Bahn. Erst von Hausstadt oder Geltried ab wurde auch abwärts marschiert. Während es die Sonne am 19. und 20. nicht gar zu gut mit uns meinte, forderte sie am 21. und 22. einen desto reichlicheren Tribut an Schweiß. Die in der Bahn Vorüberfahrenden konnten sich gewiß nicht erklären, warum die sechs vollkommen bergmäßig mit Rucksäcken ausgerüsteten Wanderer nicht einen bequemen und angenehmen Fußweg durch den Wald wählten, sondern immer an der Bahnstrecke entlang neben den Schienen marschierten. Aber diese Beschränkung der Route war durchaus notwendig, weil wir ja einen genau ausgemessenen Weg in möglichst gleichbleibender Geschwindigkeit zurücklegen wollten. Nur dadurch ließ sich die Arbeitsleistung für jeden Tag annähernd scharf bestimmen.

So großartig auch der Eindruck des Panoramas von Rothorn Kulm ist, so hatte er uns doch nicht abgestumpft gegen die lieblichen Landschaftsbilder, welche der Aufstieg bot: Oberhalb Geltried zeigte sich der dunkelblaue See und die Ebene des Haßlitales bis tief hinein nach Meiringen. Zu unseren Füßen lag die so oft begangene untere Versuchsstrecke. Man sah den Gießbach in weithin leuchtender weißer Linie von den schön bewaldeten Vorbergen der Faulhornkette dem See zueilen. — Am Eingang des Tunnels kurz vor Hausstadt genossen wir im Schatten einer großen, malerisch gewachsenen Fichte den letzten Ausblick über den See. In Hausstadt wurde eine kleine Rast gehalten, der zweite Halteplatz war dann eine ca. 1800 m hoch gelegene Quelle inmitten der Grashalden und nun erschloß sich in wachsender Ausdehnung das Hochgebirgspanorama.

Die auf dem Rothorn stationierten Herren unternahmen außerdem noch, um die nähere Umgebung des Gipfels kennen zu lernen, am freien Nachmittag des 20. August einen längeren Spaziergang nach dem einige 100 m unterm Kulm wundervoll gelegenen Eysee. Auf dem Rückweg zeigte sich, wie viel mehr doch ein Anstieg über steile Grashalden ermüdet, als auf gut gangbarem Bergpfade, — eine

Erfahrung, die jedem Bergsteiger bekannt, doch oft vergessen wird, wenn es sich um Beurteilung der Kraftleistung beim Ersteigen einer bestimmten Höhe handelt und wenn man die Leistungsfähigkeit des einzelnen für eine bestimmte Tour im voraus abschätzen soll. Die in Brienz Wohnenden hatten den 18. zu einem Ausflug nach Meiringen und einem vierstündigen Marsch zu den Reichenbachfällen und weiter bis gegen Rosenlauri hin benutzt. — Auch ein glücklicherweise nur leichter Unfall blieb uns nicht erspart. Am 21. verletzte sich Caspari beim zu eiligen Abstieg von Geltried über die steilen Grashalden am Fuß. Er war gezwungen am 22. mehrere Stunden das Bett zu hüten und mußte den Märschen für einige Tage fernbleiben. Unter sachgemäßer Pflege gingen Schwellung und Schmerzen zwar bald vorüber, aber eine leichte Erschwerung des Gehens blieb doch auch noch während des dann folgenden Aufenthalts auf dem Rothorn bestehen.

Nachdem Kolmer, Müller und Loewy am 23. August wiederum Marschversuche auf der oberen Versuchsstrecke ausgeführt hatten, traten sie am 24. früh per Bahn den Rückweg an. Der II. Abschnitt des Versuchs, der Rothornaufenthalt, war zu Ende. Ungern trennte man sich, denn in Brienz wartete bei weniger Anregung reichlichere Arbeit. Die verlassene Arbeitsstätte nahmen Waldenburg, Caspari



Rast am Tunnel der Rothornbahn.

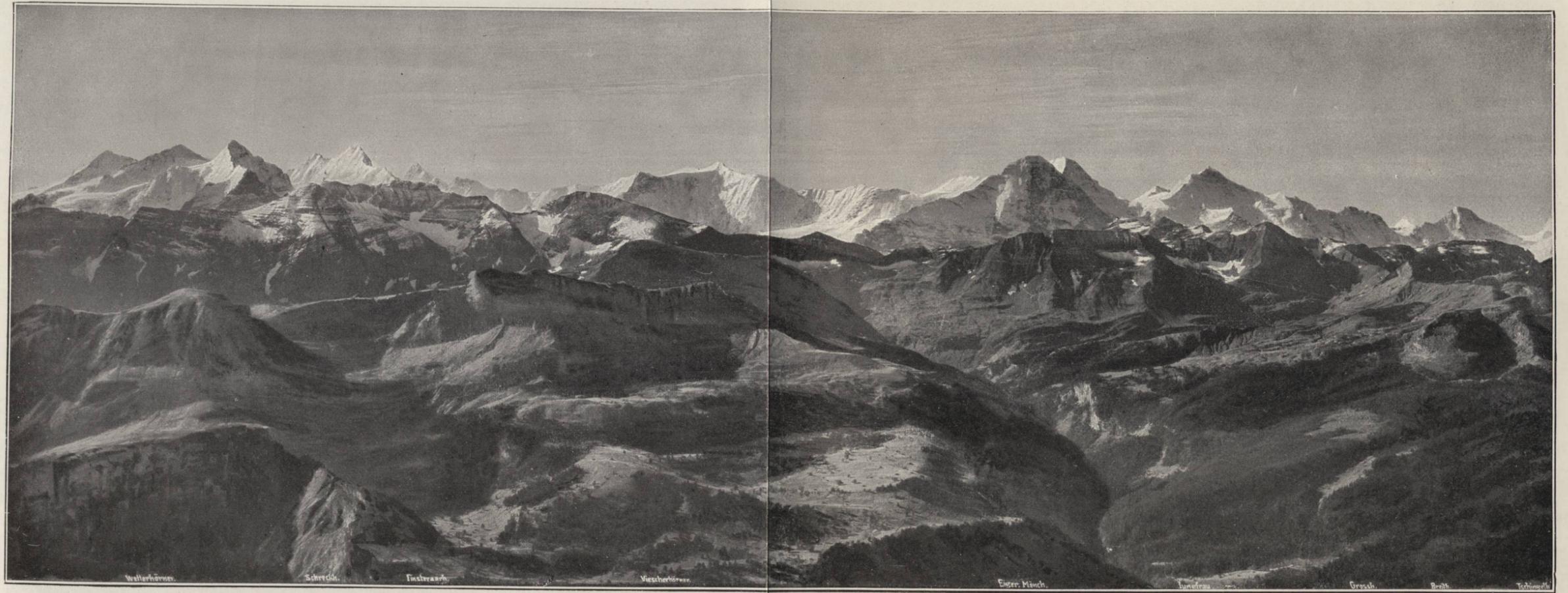
und Zuntz ein, die am 24. nachmittags oben anlangten. Sie trafen es mit der Witterung nicht gut. Nur der 24. und 25. boten ihnen Gelegenheit, sich der Aussicht zu erfreuen. Nachdem am 25. bei drückender Hitze — das Solarthermometer zeigte eine Temperatur von 41° C. — Marschversuche angestellt waren, brachte der Abend ein Gewitter mit jähem Wettersturz. Am 26. herrschte eine Temperatur von -1° . Eisiger Wind blies bei den Respirationsversuchen in Freien den Schnee ins Gesicht. Doch trug das Wetter böigen Charakter. Auf Minuten heftigsten Sturmes folgten wieder ruhigere mit klarem Himmel. Dann

zerrissen die jagenden Wolken, die Nebelschleier rollten sich auf, und plötzlich enthüllte sich der Blick auf den smaragdgrünen See, die gigantischen Eisgipfel in wunderbar klaren Formen, die niederen Vorberge und die Täler in tiefblauer Farbentönung. Alles so seltsam klar, so nahegerückt, daß man auf fernen Bergen selbst die einzelnen Bäume zu unterscheiden vermochte. Die Plötzlichkeit der Entstehung des Bildes erhöhte noch den Eindruck. Aber ebenso plötzlich verschwand es wieder. Gewaltige Wolkenmassen eilten heran und zugleich begannen die Schneeflocken ihr tolles Spiel. In den ruhigen Zwischenpausen wurden einige Marschversuche durchgeführt, aber immer wieder mußte man sich vor dem Schneegestöber in den Schutz des nahen Tunnels retten, um die Versuche bald von neuem zu beginnen. Am 27. und 28. war es gänzlich unmöglich, im Freien zu arbeiten. Der Schnee lag etwa 10 cm hoch, Sturm wechselte mit Nebel ab, und wenn man am Monte Rosa nur noch annähernd brauchbares Wetter haben wollte, so mußte man eilen. Der Versuch am Rothorn wurde daher mit dem 28. abgebrochen. Die Hunde blieben bis Ende September in der sorgsamten Obhut des Hotelpersonals und wurden dann nach Bern geschickt, um von den auf der Heimreise begriffenen Herren, Loewy und Müller, in Empfang genommen und weiter untersucht zu werden. Auf die an ihnen gemachten Erfahrungen wird in Kapitel VI ausführlich einzugehen sein.

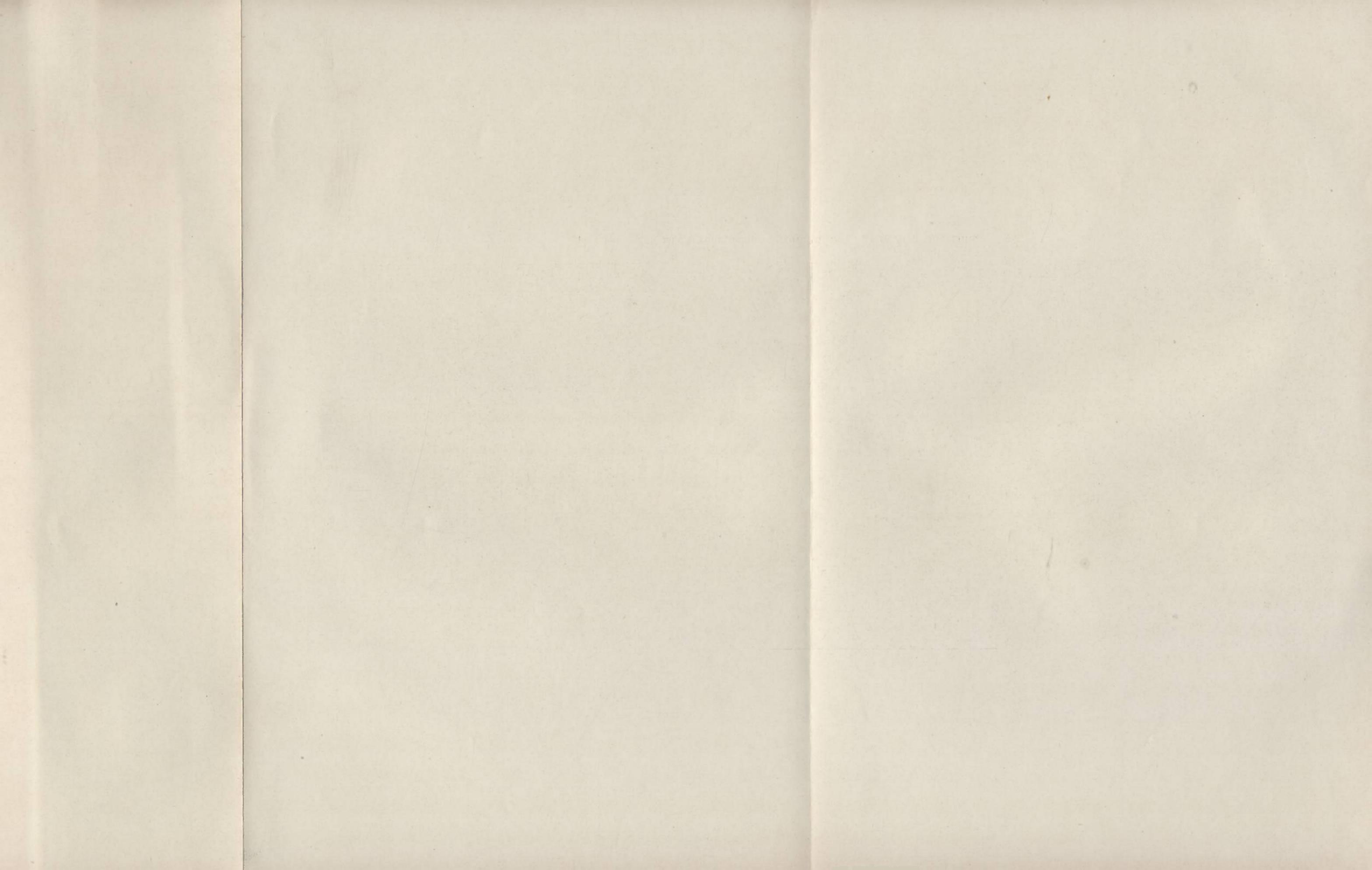
An den gleichen Tagen war es in Brienz anfangs schwül, dann kühl und fast dauernd regnerisch gewesen, die Marschversuche waren ohne Schwierigkeiten von statten gegangen, eine Bootfahrt über den See und ein Spaziergang am Gießbach wurden durch Regen nicht gestört. Der 28. brachte auch hier den Schluß des III. Versuchsabschnittes, der „zweiten Brienzer Periode“. Am 29. wurden in möglichster Eile die nötigen Vorbereitungen zur Abreise getroffen. Um das Verpacken der nach Berlin zurückzusendenden Instrumente, Flaschen und Büchsen mit ihrem wertvollen und schwerwiegenden Inhalt brauchten wir uns nicht zu kümmern, dafür war gesorgt. Aber es blieb noch genug für den Monte Rosa einzupacken.

Mit knapper Not kamen wir zum Abendzuge der Brünigbahn zurecht, um die 380 kg Gepäck zu verladen. Mit 27 Stück Handgepäck, nach Art bejahrter Damen ausgerüstet, erreichten wir Luzern. War es im Luzerner Gasthof weniger aufgefallen, daß die spät angekommenen Gäste keine Speisen mehr einnahmen, so benutzten wir, um allzu großes Erstaunen der Mitreisenden zu vermeiden, während der Weiterreise das Dunkel des Gotthardtunnels, um den in Blechbüchsen verwahrten, in Brienz bereiteten Reis und die Beefsteakbüchsen hervorzuholen und in der gewohnten exakten Weise zu verzehren. Das grüne Gemüse konnte allerdings nicht kalt gegessen werden, es blieb daher ganz fort. Merkwürdig genug sah es trotzdem noch aus, wenn wir auf der kleinen im Coupé aufgehängten Schalenwage unsere Kakesrationen und den Käse abwogen. Allerdings hatten wir auf der Mittagsstation Göschenen nicht nötig, das bereitstehende Mittagessen herunterzuwürgen, konnten vielmehr in Ruhe unsere Rationen verzehren und Selterswasser schlürfen.

In Luino an der italienischen Grenze erlebten wir ein komisches Intermezzo:



Blick vom Briener Rothorn auf das Berner Oberland.



Mit dem zahlreichen Handgepäck und den vielen großen Gepäckstücken, die keinen Anspruch auf Eleganz machen konnten, mußten wir wohl auch in unserer Kleidung den Eindruck von Schmugglergesinde oder Anarchisten erweckt haben. Unauffällig, aber doch merklich wurden wir in dem Zollraum von Grenzsoldaten überwacht, während das vom Ministerium mitgegebene Schreiben an die Zollbehörde entziffert wurde. Aber welch anderes Bild nach der Prüfung des Ministerialschreibens, das unsere Berechtigung zu zoll- und revisionsfreier Durchfuhr des Gepäcks enthielt: Die Soldaten bildeten eine Gasse und zahlreiche Hände bemühten sich, unsere Gepäckstücke zu einem leeren Wagen zu führen, in dem wir unter allerhand Ehrenbezeugungen und Abschiedsgrüßen aufs bequemste untergebracht wurden.

Die Nacht über blieben wir in Novara. Dort bot sich uns das interessante und auch zu physiologischen Betrachtungen anregende Schauspiel des Einrückens italienischer Truppen. Es ist doch erstaunlich, daß der schnelle Marschschritt, in sogenanntem Mareyschen Beugegang, eine Art Laufschrift mit gebeugten Knien, wie er von den französischen Spahis und den italienischen Bersaglieri geübt wird, stundenlang ohne Erschöpfung ausgehalten werden kann und dadurch ein sehr schnelles Vorwärtkommen ermöglicht! — Wenn wir auch in den Reisetagen die Nahrung nicht ganz genau abwiegen konnten und auf einige Speisen, wie grünes Gemüse und Marmelade, verzichten mußten, so wollten wir doch wenigstens hinsichtlich der Zusammensetzung der Kost keine erheblichen Änderungen eintreten lassen, um den Stoffwechselversuch am Monte Rosa sofort nach der Ankunft wieder aufzunehmen. Wir verzehrten daher jetzt in den altertümlich anmutenden Räumen des italienischen Hotels in Novara mit dem Blick auf die reiche Renaissancefassade eines alten Palastes wiederum unser kaltes nüchternes Abendbrot ohne Inanspruchnahme der italienischen Köche.

Am 31. erreichten wir Pont-Saint Martin im Aostatal, dem Eingang zum Gressoneytal, das wir dann mit der Post bis zum letzten Dorf, nach Gressoney la Trinité, durchfuhren. Gleich hinter Pont-Saint Martin schwingt sich die Straße, durch Weinlauben umsäumt, von denen die schweren blauen Trauben herabhangen, in großen Serpentina bergan und eröffnet den Blick auf den mit schwerbeladenen Kastanienbäumen, Mais und Obst reich bepflanzten Talkessel bis hinauf in das hintere mit Burgen geschmückte Aostatal. Dann führt die steile Bergstraße durch das sich plötzlich verengende Tal des schäumenden Lysbachs, von schroffen, hohen Wänden begrenzt, an schönen, alten, hochgewölbten Brücken vorbei, über Wasserstürze hinweg, immer mit der Aussicht auf die schneebedeckten Häupter des Castor und Pollux, welche den Talschluß bilden. Die Vegetation geht in reichem Wechsel von der üppigen Flora Norditaliens langsam in die Tannenregion der Hochgebirgstäler über, die in seltener Schönheit die Abhänge bei Gressoney bedecken. Kein Wunder, daß die Dörfchen des Talendes von den Italienern als Sommeraufenthalt geschätzt und viel besucht sind. Hat doch auch die Königin-Witwe Margherita dort ihren Sommersitz und verbringt hier alljährlich in ländlicher Zurückgezogenheit mehrere Monate. Das Tal ist auch durch seine ethnologischen Verhältnisse bemerkenswert. In seinem unteren Teile wohnen Piemontesen, die aber stark mit französischen Elementen durchsetzt sind und vielfach auch das Französische als Umgangssprache benutzen.

Dagegen finden wir weiter oben eine Bevölkerung deutscher Herkunft. Die Namen sind fast durchweg deutsch, allerdings oft romanisiert. So nennen sich die Nachkommen des bekannten Entdeckers im Monte Rosa-Gebiete, des Gressoneyer Pfarrers Zumstein, jetzt de la Pierre. Doch verleugnen die Gressoneyer keineswegs ihre Herkunft und pflegen mit eifersüchtigem Stolze ihre deutsche Sprache, die sie infolgedessen besser beherrschen als das Italienische. Wie wir in Erfahrung bringen konnten, sind diese Leute einst mit Weib und Kind, ja selbst mit ihren Herden über die eisigen Hochpässe aus dem Wallis herübergekommen. Schweizer Abkunft sind sie sicher, dafür sprechen auch die Namen. So hieß einer unser Führer Welf, ein anderer Bieler, ein Name, der in der Schweiz, allerdings meist in der Form Bühler, sehr häufig ist. Demselben Namen in anderer Form begegnen wir ja in Schillers Tell: am Bühel. Auch der besondere Schlag des Rindviehs läßt sich im Sinne einer Einwanderung aus dem Wallis deuten. Vor allem aber würde sich die nur aus wenigen Familien bestehende Bevölkerung wohl kaum inmitten ihrer romanischen Nachbarn so rein gehalten haben, wenn sie längere Zeit durch italienisches Gebiet gezogen wäre, bevor sie ihre jetzigen Wohnstätten erreichte.

In Gressoney la Trinité erwartete uns der Führer Bieler. Mit dem Augenblick des Eintreffens hatte die Ruhe ein Ende. Noch am späten Abend wurde mit dem Verteilen des Gepäcks an die Träger begonnen. Die Stunden bis zum Abmarsch brachten eine selbst für uns ungewohnte Hetzerei und Aufregung, ein Treppauf-, Treppablaufen, Verpacken und Abwiegen, das aller Kräfte aufs schärfste anspannte. Der Plan war so, daß wiederum, wie in Brienz, in zwei Abteilungen auf verschiedenen Höhen gearbeitet werden sollte, und zwar von der einen auf dem Gipfel in 4560 m, von der zweiten auf dem Col d'Olen in 2900 m Höhe.

Außer den zur Analyse der Atemgase notwendigen Apparaten und den Gasuhren mußten wiederum zahlreiche Flaschen und Büchsen, der ganze Mundvorrat für 6 Personen und für 10 Tage, ferner die vom Rothorn mitgebrachte zerlegbare Dezimalwage und Mikroskope hinaufgeschafft werden. Bis Col d'Olen besorgte ein Maultier einen Teil des Transportes, von da ab aber wurde jedes Kistchen durch Träger, die in dieser Höhe kaum noch 25 kg bewältigen können, hinaufgeschleppt. Unter den Abschiedsgrüßen der Hotelbewohner, die mit dem größten Interesse den Vorbereitungen gefolgt waren, verließen wir am 1. September das Hotel Thédy. Auch hier stand die Liebenswürdigkeit des Wirtes in umgekehrtem Verhältnis zu dem, was wir ihm als Gäste einbringen konnten, wohingegen unsere Anforderungen recht mannigfaltig gewesen waren! Ein Teil der Träger war vorausgeeilt, um mit der schweren Last in langsamerem Tempo direkt zur Gnifetti-Hütte aufzusteigen, der andere begleitete uns.

An den Berghütten des Dorfes vorbei steigt man über saftige, grüne Matten bergan. Es war nicht die angenehmste Zeit zum Marschieren. Der Vormittag war mit den Vorbereitungen hingegangen und wir mußten nun gerade um die heißeste Stunde an einem außerordentlich warmen Tage ausrücken. So unzweckmäßig dies auch zunächst erscheinen mag, so wollten wir doch keinen Tag verlieren. Und das Glück war uns günstig. Hätten wir bis zum kommenden Morgen gewartet, so wäre infolge des Wetterumschlags ein Hinaufkommen bis zur Spitze unmöglich und der

ganze Versuch hier am Monte Rosa vereitelt worden. Man sieht daraus, von wieviel unberechenbaren Nebenumständen das Gelingen wissenschaftlicher Arbeit im Hochgebirge abhängt! Der Anstieg ging in der Hitze nur langsam voran. Im Schatten wildzerrissener Felsen oberhalb der Wiesen wurde Halt gemacht (s. Titelbild des Kapitels S. 122). Bald näherte man sich der Hochgebirgsnatur. Über moränenartiges Geröll führt ein schmaler Saumpfad durch eine wasserlose öde Gegend. Fast alle waren durch die Anstrengungen des Morgens ziemlich abgespannt. Besonders Zuntz strengte der Marsch ungewöhnlich an. Beim Beginn des steileren Aufstieges zur Paßhöhe in etwa 2300 m wurde er schwach — erholte sich aber nach längerem Aufenthalt bei zunehmender Abendkühle. Von Bergkrankheit konnte keine Rede sein — es war die Folge des überaus arbeitsreichen Morgens, einer Darmreizung, der überhasteten Mittagsmahlzeit und der Sonnenglut. Er erreichte eine halbe Stunde nach den anderen das geräumige Gasthaus von Col d'Olen und war nach kurzer Bettruhe schon am Abend wieder ziemlich hergestellt.

Waldenburg und Müller hatten hiermit ihr Ziel erreicht. Sie konnten es sich in dem für diese Höhe recht komfortablen Hotel bequem machen und fanden genügend Raum zur Einrichtung des ähnlich, wenn auch noch etwas primitiver als am Rothorn ausgestatteten Laboratoriums. Die anderen Vier brachen am Vormittag des 2. September mit den Führern und Trägern auf, um zunächst die Gnifetti-Hütte in 3700 m Höhe zu erreichen.*) Col d'Olen und Gnifetti-Hütte waren ja für Loewy altbekannte Gegenden, in denen er im Jahre 1896 seine ersten Hochgebirgsversuche zusammen mit seinem Bruder und Leo Zuntz gemacht hatte.

Der Weg zur Gnifetti-Hütte führt zunächst eine Stunde weit über ödes felsiges Terrain ohne jede Vegetation. Dann betritt man den Indrengletscher und umgeht, nunmehr angeseilt, in weitem Bogen die großen Spalten bei sanftem Anstieg, teils tief im Schnee versinkend, teils auf blankem Eis bis zur Mittelmoräne hin. Dort wurde gerastet. Eine ungeheure Schneelandschaft umgab uns, fast trostlos in ihrer Einförmigkeit, da neidische Nebel den weiteren Ausblick verdeckten.

Nach Traversierung des Garsteletgletschers und im ganzen dreieinhalbstündigem mühelosem Marsch in der Gnifetti-Hütte angelangt, machten sich nun bei einigen schon deutliche Vorboten der Bergkrankheit bemerkbar. Das Essen wollte nicht mehr so recht schmecken, es zeigte sich eine eigentümliche geistige und körperliche Trägheit. In der Nacht bemerkten die Kameraden an Caspari, der fest schlief, charakteristische Erscheinungen periodisch wiederkehrender Atempausen, gefolgt von langsam zunehmenden und dann staffelförmig wieder abnehmenden Atemzügen (Cheyne-Stokesscher Atemtypus). Aber das Befinden war doch keineswegs ernstlich beeinträchtigt. Nach dem nicht sehr angenehmen Aufenthalt in der auch von anderen Touristen beanspruchten kleinen Hütte und unruhig verbrachter Nacht war man froh, am 3. September gegen 6 Uhr den Weitermarsch beginnen zu können.

Die Öde der fahlgrauen Eislandschaft stimmte zu melancholischen Betrachtungen. In gleichmäßiger allmählicher Steigung ging es meist in weichem Schnee bei ziemlich milder Luft aufwärts, vorbei an Eisklüften und seltsam geformten Seracs,

*) Der Weg ist leicht auf der vor Seite 129 stehenden Karte zu verfolgen.

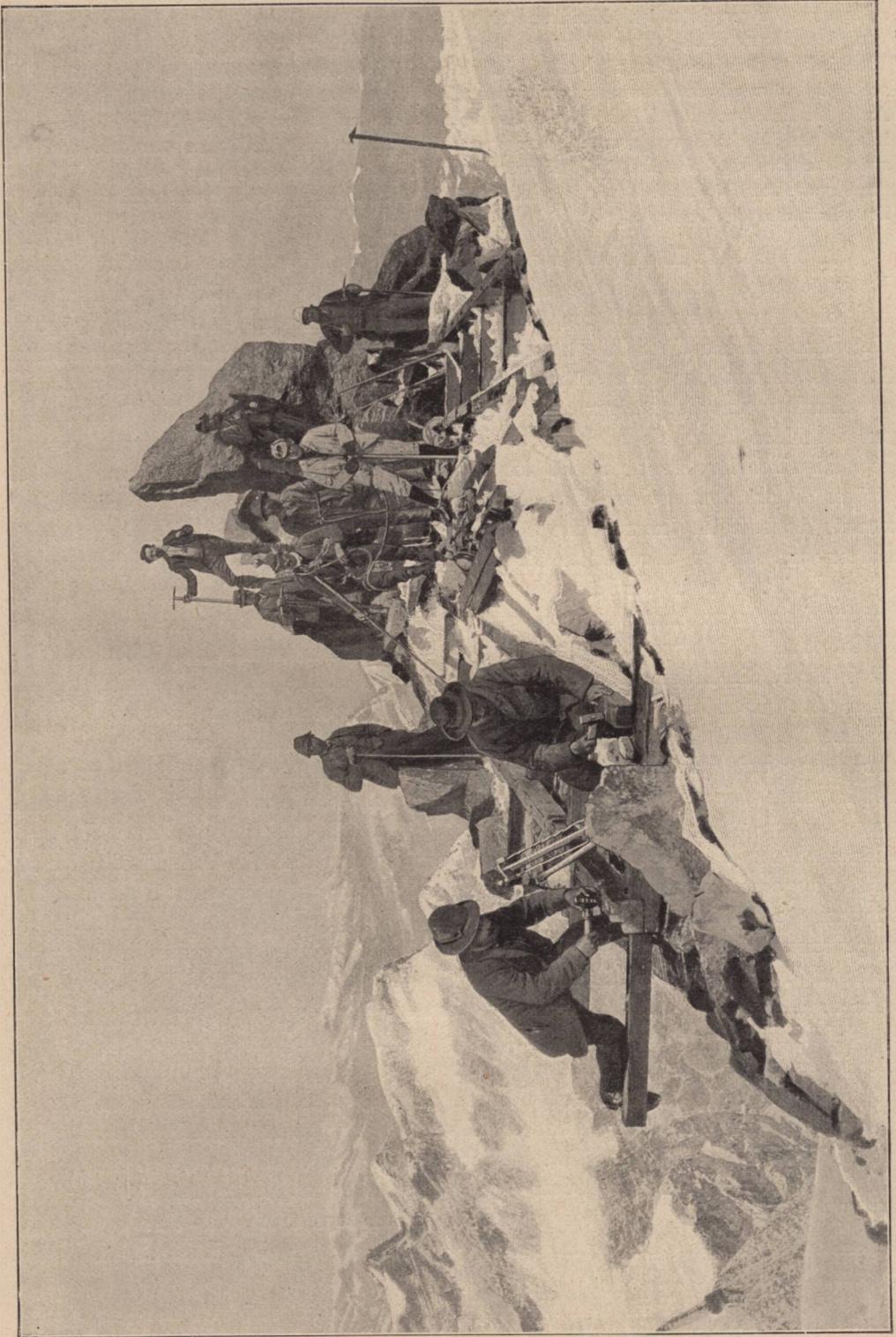
die im Strahl der über dem Monte Paradiso aufgehenden Sonne lebhaft schillernd erglänzten und jetzt das Landschaftsbild etwas belebten. Recht unangenehm bemerkbar machte sich für alle Teilnehmer das einförmige Bergaufstampfen im Schnee bei fast immer gleicher Steigung, besonders da der Nebel die Gipfel verhüllte. — Die Stimmung änderte sich erst auf dem Lysjoch. Dort hob sich plötzlich der Nebel: Zur Linken erschien der furchtbare Absturz des Lyskamm, vor uns der höchste Gipfel der Monte Rosa-Gruppe, die zerrissene Dufourspitze. In der Tiefe öffnete sich über dem Gornergletscher und dem Tal von Zermatt der Blick auf Dent d'Hérens, Matterhorn und Weißhorn — die vielen niedrigeren Schneegipfel gar nicht zu nennen.

Bald aber bewölkte sich der Himmel wieder. Die Führer drängten zur Eile. Auf dem mäßig geneigten Hochplateau des gewaltigen, zum Grenzgletscher abfallenden Firnfeldes erheben sich die Gipfel des Monte Rosa-Stocks: Vincent-Pyramide, Balmenhorn, Ludwigshöhe, Parrot-, Gnifetti- und Zumsteinspitze, Dufourspitze und Nordend (von Süden nach Norden gerechnet). Der Weg führt, an steilen Abstürzen der Parrotspitze traversierend, in mäßiger Steigung zum Sesiajoch, vorbei an einer muldenförmigen Stelle, dem sog. „Sasso del Diavolo“, da hier nach Ansicht der Führer besonders häufig die Bergkrankheit auszubrechen pflegt. Zur Rechten winkte uns jetzt von der Signalkuppe (Punta Gnifetti) die Margherita-Hütte, das Ziel der Wanderung. Wir selbst merkten am Sasso del Diavolo gerade keine besondere Wirkung. Auf der Strecke vom Sesiajoch bis hinauf zum Gipfel wurde aber jetzt die Luftverdünnung von Minute zu Minute deutlicher und in individuell sehr verschiedener Weise fühlbar. Bei Caspari und Zuntz entwickelten sich allmählich die von Saussure bei seiner Montblancbesteigung so anschaulich geschilderten Symptome. In immer kürzeren Intervallen machte sich das Bedürfnis geltend, stehen zu bleiben und tief Atem zu holen, worauf nach wenigen Sekunden der Ruhe sich wieder vollkommenes Wohlbefinden und normales Kraftgefühl einstellte. Das Unbehagen steigerte sich stetig, um anfangs nach 15—20 Minuten, auf der letzten Strecke schon nach 50—60 Schritten wieder zum Stehenbleiben zu zwingen.

Der Himmel bezog sich währenddessen immer mehr. Am Fuß der Gnifettispitze durfte nicht lange gerastet werden. Während des letzten, etwa 100 m hohen Aufstiegs über die steilen, völlig vereisten Felsen, und in frischgehauenen Stufen bergan kletternd wichen die Erscheinungen der Atemnot bei Caspari, wohl unter dem Eindruck der anregenden und volle Aufmerksamkeit erfordernden, wenn auch an sich gewiß viel anstrengenderen Arbeit, als sie das Aufwärtsgehen auf dem sanft geneigten Gletscher erfordert hatte. Bei Zuntz hingegen blieben die Beschwerden auch hier in gleicher Stärke bestehen. Loewy hatte weder zuvor, noch jetzt starken Luftmangel. Kolmer empfand gar keine Beschwerden. So ging der letzte Anstieg stetig und ziemlich flott von statten. Frisch und vergnügt langte man oben in der Capanna Regina Margherita an.

Die Hütte liegt auf der äußersten Höhe der Gnifettispitze, hart an dem fast 3000 m tiefen, geraden Abfall nach Alagna zu:

Sie ist aus Holzplanken zusammengesetzt, deren jede wegen des Transports durch Träger höchstens 30 Kilo wiegen durfte. Darüber liegt eine Kupferverschalung, die aus ein-



Bau der Margherita-Hütte.

Phot. Vittorio Sella, Biella.

zelen Platten vernietet ist. Man kann sich einen ungefähren Begriff machen, was der Transport des Baumaterials gekostet haben mag, wenn man bedenkt, daß jetzt die Auslagen für Brennholz täglich pro Person $2\frac{1}{2}$ Lire betragen. Welche Arbeit die Anlage gemacht hat, das zeigt die während des Baues aufgenommene Abbildung besser als es Worte schildern können. Auch die Erhaltung der Hütte erfordert ständig Arbeit und Überwachung, da die Kupfernieten infolge des Wechsels von starker Hitze und Kälte platzen und die Fugen dann von dem sich zwischensetzenden, schmelzenden und wieder gefrierenden Schnee gesprengt werden. Während der Monate Juli bis Mitte September leben oben 2 Kustoden, die die Bewirtschaftung und den Brennholztransport besorgen.

Zunächst als Küche mit zwei Wohnräumen und Oberstock für meteorologische Untersuchungen erbaut, ist sie in den Jahren 1902/1903 erheblich erweitert worden und bietet nun einer größeren Anzahl von Bergsteigern und Forschern genügende Unterkunft. Denn diese Unterkunftshütte war von vornherein, dank den Bemühungen A. Mossos und der Unterstützung der Königin Margherita, nicht nur zur Bequemlichkeit der Bergsteiger angelegt, sondern auch ebenso wie die Vallothütte auf dem Montblanc als hochalpines Laboratorium gedacht. Jetzt wurden wir von dem Physiker Professor Sella aus Rom begrüßt, der mit seinen Assistenten seit einigen Tagen dort weilte. Ihre Anwesenheit war für uns um so förderlicher, als zurzeit noch keine Instrumente ständig oben zu finden waren, nicht einmal ein Barometer. In den ungeheizten Räumen der Hütte herrschte eine Temperatur von 0° bis -5° . Nur in der Küche konnte sie zu erträglicher Höhe gesteigert werden, betrug dann sogar manchmal bei gut geheiztem Herd bis 20° und darüber. Der Schlafraum bot in zwei Etagen von Pritschen für 12 Personen Platz. Oben schliefen die Führer, die Träger und die Arbeiter, welche Steine für den Erweiterungsbau sprengten, unten die vier Teilnehmer unserer Expedition, die bis zum Kinn in wollene Decken gehüllt, völlig bekleidet und eng aneinander gedrückt lagen. Bei der Kälte war diese enge Lagerung durchaus geboten, denn ohne die gegenseitige Erwärmung wäre es unmöglich gewesen zu schlafen. Aus dem gleichen Grunde war es auch vollkommen ausgeschlossen, sich am Morgen in gewohnter Weise zu entkleiden und das Nachtgewicht zu bestimmen. Nachdem die Unterkleider ein für allemal gewogen waren, blieben sie ununterbrochen am Körper und die zur Bestimmung des Wasserverlustes erforderlichen Wägungen wurden in Unterkleidern vorgenommen. An Waschen der durch die Gletscherluft angegriffenen Haut war natürlich auch nicht zu denken. Das Gesicht konnte nur mit Fett abgerieben werden. Allein die Hände wurden mit warmem Wasser gereinigt.

Die Expedition war um $\frac{1}{4}$ 12 Uhr in der Hütte angelangt. Alle fühlten sich, wie schon gesagt, recht wohl, man glaubte, den Gefahren der Bergkrankheit entgangen zu sein. Kolmer und Caspari gingen daran, die mit häufigem Bücken verbundene Arbeit des Auspackens der Kisten vorzunehmen. Allerdings mußten sie von Zeit zu Zeit pausieren, sich aufrichten und Atem holen. Sonst fühlten sie sich völlig frei von Beschwerden. Etwa 2 Stunden nach der Ankunft brach ein heftiges Gewitter los, begleitet von wildem Schneegestöber, das Barometer sank außerordentlich tief. Die ganze Hütte erzitterte unter den Windstößen. Blitze zuckten in nächster Nähe.

Während des Gewitters fuhren Kolmer und Caspari mit dem Auspacken

fort. Mehr und mehr aber steigerten sich die Atembeschwerden. Heftige Kopfschmerzen und Übelkeit kamen hinzu. Schließlich waren beide gezwungen, ihre Arbeit aufzugeben und den Schlafräum der Hütte aufzusuchen. Dort fanden sie die beiden anderen Teilnehmer der Expedition bereits von den gleichen Erscheinungen befallen. Atemnot beim Sprechen, Frostgefühl, geistige Trägheit, heftige neuralgieartige Kopfschmerzen, ein Gefühl von Mattigkeit und Zerschlagensein in allen Gliedern, vollkommene Appetitlosigkeit und Widerwillen gegen Speisen, ja Ekelgefühl wechselten in individuell sehr verschiedener Kombination und gesellten sich zu der immer stärker werdenden Beklemmung, die sich noch steigerte, wenn irgendwelche noch so geringe Bewegung ausgeführt wurde, und namentlich das Bücken ganz unerträglich machte.

Die Bergkrankheit war in voller Stärke da. Es blieb nichts übrig, als sich in das Schicksal zu fügen und möglichst gut zu beobachten. Man versuchte, wenn die Beschwerden unerträglich wurden, sie durch methodisch geübtes, tiefes und langsames Atemholen zu bekämpfen, nicht ganz ohne Erfolg. Kopfschmerz und Übelkeit ließen dann nach, so daß sich Caspari und Zuntz so weit aufraffen konnten, um gegenseitig aneinander Respirationsversuche in der Ruhe anzustellen. Kolmer, der mit 15 Kilo Gepäck auf dem Rücken ohne jegliche Beschwerde den Gipfel erstiegen hatte, war jetzt zweifellos am schwersten erkrankt und bei stärkster Willensanstrengung nur fähig, sich passiv an den Versuchen zu beteiligen. Bei ihm traten besonders die Kopfschmerzen in den Vordergrund. Die Nacht war furchtbar. Niemand schlief. Draußen heulte der Sturm und die Kälte war unerträglich. Sie quälte uns sogar zeitweise mehr, als der Lufthunger. Wer es nicht erlebt hat, bei einer Temperatur von -4° bis -7° stille liegen zu müssen, da jede Bewegung das Unbehagen steigert, kann sich von der Situation keinen Begriff machen! Zudem führte jeder Windstoß trotz der vernieteten Kupferhülle der Hütte einen neuen Kältevorrat den auf der Pritsche eng aneinander gepfercht Liegenden zu.

Die Symptome der Bergkrankheit wurden im Laufe des zweiten Tages (des 4. September) langsam besser. Man konnte wieder ein wenig mehr an die Arbeit denken. — Nun kamen aber andere Unannehmlichkeiten. Ein Teil der Träger war durch das Unwetter auf der Gnifettihütte zurückgehalten und konnte nicht zur Spitze vordringen. Sie hatten den Kasten mit den Analysenapparaten bei sich, so daß ein Aufarbeiten der gesammelten Atemproben unmöglich war. Zudem waren in der Nacht einige der zur Aufnahme der Respirationsgase vorbereiteten Röhren, deren man nicht allzuvieler besaß, infolge der Kälte geplatzt. Aus der Hütte konnte man nicht heraus, zu tun gab es nichts. Tiefe Niedergeschlagenheit bemächtigte sich aller. — Wann würden die Träger kommen, wann das Wetter sich besser gestalten, wann würde man endlich hier oben Versuche anstellen können? Vorerst schien es auch ganz unmöglich, die vorgeschriebene Nahrung zu verzehren. Vor allem bestand dauernd der lebhafteste Widerwillen gegen Fett, Butter, Käse, Schokolade. Das grüne Gemüse, das hier oben nicht mehr weich wurde, brachte keinen Genuß, es mußte hart wie es war verspeist werden. Man half sich durch Glühwein, der hier sogar den strengen Abstinenzlern unentbehrlich schien, gut wärmte und den Appetit etwas anregte, nahm, mehr aus Pflichtgefühl als aus

Neigung, ein wenig Kakes und Fleisch zu sich und heizte durch heißen, gezuckerten Tee. Die Stimmung wurde immer pessimistischer. Allmählich verzweifelte man völlig, den Versuch zu einem gedeihlichen Ende zu führen.

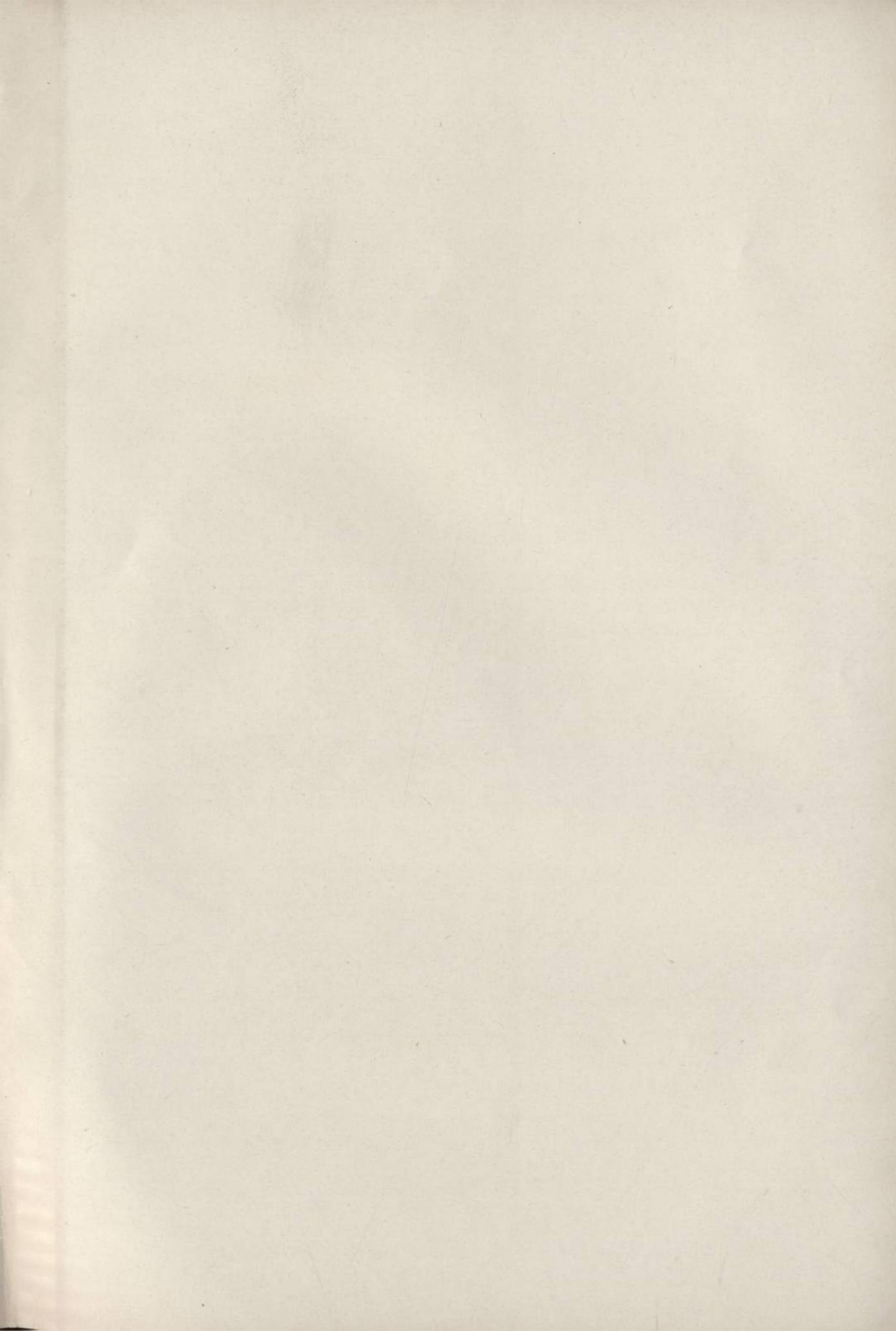
Die Nacht vom 4. zum 5. war merklich besser — das Unwetter hatte etwas nachgelassen — aber Schlaf stellte sich nur vorübergehend ein. Was mögen erst diejenigen durchmachen, die in solchen Höhen ohne den Schutz einer Hütte vom Unwetter überrascht werden, wie Fitz Gerald und Vines am Aconcagua, oder Guillarmod und seine Kollegen, die vier Wochen lang in Zelten auf den Gletschern des Himalaya in 5500—6000 m Höhe kampierten. Dagegen hatten wir ja noch zweifellos einen gewissen Komfort! — Der Morgen des 5. September brachte endlich besseres Wetter. Der Schneefall hörte auf, die Nebel zerrissen hier und dort und enthüllten bald diesen, bald jenen Teil der grandiosen Rundschau. Die Hoffnung auf Wiederaufnahme der Arbeit stieg von Stunde zu Stunde, und als in der Morgenfrühe gegen 8 Uhr laute Juchzer vom Lysjoch her das Herannahen der Träger verkündeten, da war das Vertrauen auf Gelingen auch dieser Versuchsperiode wiederhergestellt.

Nach Ankunft der Träger begann man alsbald mit der Einrichtung der Analysenapparate. Aber wie viel schwieriger war das Arbeiten hier oben! Wegen der Temperaturschwankungen dauerte jede Analyse wenigstens dreimal so lange, als unter normalen Verhältnissen. Zudem ward das Befinden zwar zusehends besser, aber doch durchaus noch nicht ganz gut. Das Bücken oder schnelle Aufstehen brachte immer von neuem Atemnot, die geistige Regsamkeit blieb immer noch so vermindert, daß jede Arbeit einen viel größeren Aufwand an Zeit und Energie erforderte. Das Verzehren der für die Erhaltung ausreichenden Nahrungsmenge war auch jetzt unmöglich, nur Zuntz nahm endlich am 8. und 9. genügend Nahrung zu sich, wie er sich überhaupt am schnellsten erholte und auch subjektiv die geringsten Störungen behielt. Die anderen drei hatten individuell sehr verschiedene Abneigung gegen bestimmte Speisen, ausgesprochenen Widerwillen teils gegen Butter, teils gegen Käse und Fleisch, so daß ihre Tagesration qualitativ wie quantitativ durchaus unzureichend blieb. Bei Caspari vor allem hielt die Appetitlosigkeit bis zum letzten Tage des Aufenthalts an.

Um den Appetit etwas zu beleben, bereitete Professor Sella mehrmals den Reis nach italienischer Art, als Risotto. Der mundete denn auch besser als der übliche Reisbrei, der in tieferen Regionen allerdings stets gut geschmeckt hatte. Es ist ja bekannt, daß selbst trainierte Führer in großen Höhen einen recht geringen Appetit haben, und mancher Bergsteiger weiß, daß er, wenn er auch ohne Überanstrengung zu einer bestimmten Höhe gelangt ist, mit wenig Behagen die Nahrung verzehrt, die ihm sonst gut gemundet. Besser geht es mit ungewohnter Speise — Obst, Sardinen und ähnlichem. Mancher greift dann sogar zur Kognakflasche, ob mit Recht, das soll später erörtert werden.

Das Wetter besserte sich von Tag zu Tag, und immer mehr enthüllte sich das ungeheuere und in seiner Großartigkeit ergreifende Panorama.*)

*) Eine Abbildung derselben von der Künstlerhand Vittorio Sellas findet sich nebenstehend.



Montblanc
(in Wolken)

Grand Combin

Aiguille
d'Argentière
Aiguille
du Chardonneret

Breithorn

Dent d'Hérens

Pigno d'Arolla

Matterhorn

Dent du Midi

Dent Blanche

Trifhorn

Obergabelhorn



Panorama von

Diablerets

Zinalrothorn

Zumsteinspitze

Dufourspitze

Nordend der Monte
Rosa-Gruppe

Balmhorn
Lötschentaler Breitthorn

Täschhorn
Donn
Mittagshorn

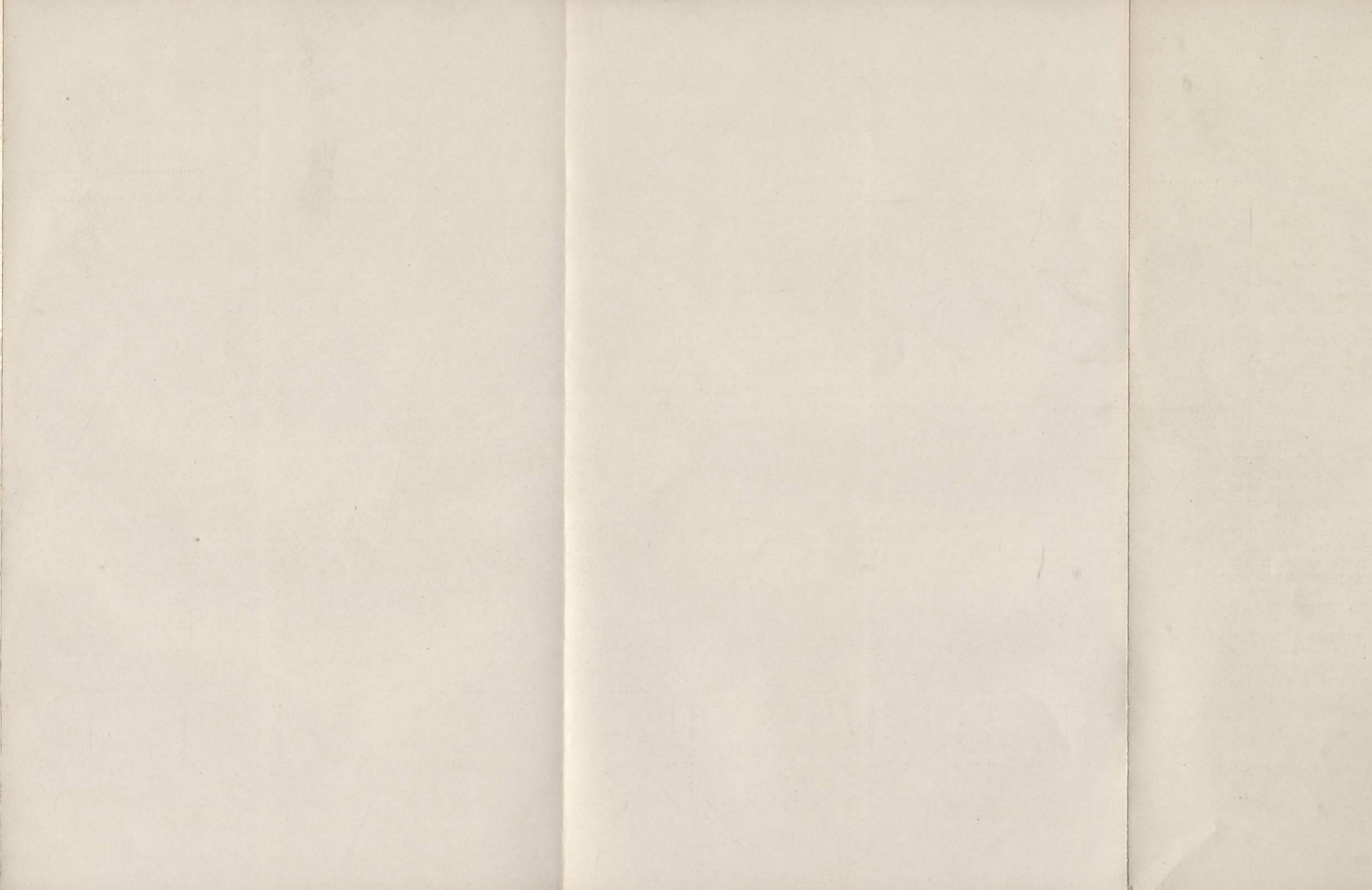
Mischabelgruppe
Jungfrau
Strahlhorn
Aletschhorn

Berner Oberland
Finsteraarhorn
Cima di Jazzi



om Monte Rosa (Margherita-Hütte).

Phot. Vittorio Sella, Biella



Monte Viso in den Seealpen über die gewaltigen Massive des Gran Paradiso, der Meije und des Gran Rutor in der Dauphinée zum Montblanc, der genau gegen Westen hinter dem Lyskamm aufragt, aber von hier aus an Großartigkeit hinter dem Grand Combin zurücksteht. Zwischen beiden liegen die zahlreichen bizarr geformten Aiguilles, dicht neben dem Grand Combin die gefürchtete Aiguille verte, die Aiguille d'Argentiére und de Chardonneret. Es folgt, näher zu unserem Standpunkt und durch den Lyskamm teilweise verdeckt, das Breithorn oberhalb Zermatt und die schön geformte Pyramide des Dent d'Hérens neben dem auch hier von allen am meisten imponierenden Matterhorn mit seiner charakteristischen Schulter. Selbst von der Höhe aus gesehen wirkt seine majestätische Eleganz besonders vornehm neben der massigen Schneepyramide der Dent Blanche, die über dem Visptal aufragt. Weiter Trift- und Gabelhorn, sowie Zinalrothorn und die Diablerets, die gerade den Abschluß des Rundblicks vom Rothorn gebildet hatten. — Trotz ihrer Großartigkeit tritt die Ferne fast noch zurück gegenüber der erdrückenden Wucht und malerischen Schönheit der Nähe. Da haben wir den grandiosen Abfall des Lyskamm, den felsstarrenden Gipfel der Dufourspitze, die nahe Zumsteinspitze und das gewaltige Nordend der Monte Rosa-Gruppe, jedes in charakteristischer und sich herrlich in das Ganze einfügender Form. Wir sehen den schreckenerregenden Abfall der Dufourspitze nach Macugnaga, folgen dem Tal der Anza zum Lago Maggiore und dem Lago d'Orta, schauen von der Altane unserer Hütte direkt Tausende von Metern hinunter über Felstrümmer und Grate, Eisspitzen und bizarr geformte Blöcke ins Sesiatal. Nach Norden steigt die Mischabelgruppe mit der breiten klotzigen Masse des Dom auf. Sie bildet den Übergang zu den Berner Oberlandbergen, vor denen Lötschentaler Breithorn, Tschingelhorn, Aletschhorn, Jungfrau, sowie die Viescherhörner, Schreckhörner und Finsteraarhorn besonders scharf herausragen. Der Rundblick schließt mit der Tödigruppe, dem Glärnisch und den Engadinerbergen ab und reicht ganz in der Ferne bis zum Ortler und Adamello, die allerdings nur bei ganz klarer Luft zu unterscheiden waren. Gewiß ein Fernblick, wie er in der Welt kaum seinesgleichen hat!

Nach Süden leiten mehrere den Tälern von Gressoney und Alagna parallel verlaufende Kämme zur lombardischen Ebene hin, aus der der Mailänder Dom bei Morgensonne weithin sichtbar hervorleuchtet. Und dann die schweigende Majestät des nächtlichen Himmels! Wieviel heller leuchten hier oben in der reinen Luft die Sterne, wie wunderbar bestrahlt der Mond Schneefelder und schwarze Felszacken! Wohltuend verknüpfen uns die Lichter der Dörfchen des Sesiatales und der über den lombardischen Städten hängende Lichtschein mit den fernen Wolmstätten der Menschen! — Wer will aber erschöpfend den Wechsel der Bilder und den Zauber der Beleuchtung beschreiben, den die Strahlen der aufgehenden Sonne und der ihr vorausgehende Morgenschimmer, oder die warme Glut des Abendrots hervorbringen. Wie glitzert und glänzt es da von leuchtendstem Purpurrot bis zum tiefsten Violett, ehe nach Aufgehen des Abendsterns das düstere tote Grau das ganze mächtige Stück Welt in seinen Schattenmantel hüllt. Wie farbenprächtig erscheint das Bild, trotzdem es sich doch nur aus schwarzen Felsen, weißem Schnee und dem Blau des Himmels zusammensetzt. Und dabei finden wir in ihm alle Nuancen des

Regenbogens: In der Sonnenbeleuchtung hellstes Blau bis zum tiefsten Violett, am Morgen und im Abendschein alle Abstufungen vom Orange zum tiefsten Purpurrot. Nur ein Künstler hat es bisher vermocht, die Durchsichtigkeit und Klarheit der Höhenluft, sowie den Wechsel der Schattentöne illusionskräftig wiederzugeben, Segantini, ein Sohn der Engadiner Berge. Seine Bilder atmen den Zauber der Hochgebirgswelt in Sonnenschein, Abenddunkel und Stille der Nacht, das „große, stille Leuchten“, wie es Conrad Ferdinand Meyer in seinem „Firnlicht“ so schön nennt.

Die Sonne sandte in den letzten Tagen ununterbrochen ihre sengenden Strahlen vom klaren Himmel. Die Kupferverkleidung der Hütte wurde brennend heiß. Trotzdem fühlte man sich nur in der Sonne behaglich, im Schatten blieb es empfindlich kalt. An der Schattenseite war es einmal am Nachmittag -10° , auf der Sonnenseite $+54^{\circ}$ C. Doch haben uns weder diese enormen Schwankungen noch die plötzlichen Wetterumschläge, die wir am Rothorn und hier erlebten, irgendwie geschadet. Alle blieben frei von Erkältungen oder rheumatischen Beschwerden, an denen Zuntz kurz zuvor noch stark gelitten hatte. Die Lufttemperatur in den ungeheizten Räumen stieg auch während dieser sonnigen Tage nicht über $+2^{\circ}$ bis 3° . In der Nacht blieb es stets etwa -4° . Man ertrug aber jetzt, nachdem das allgemeine Krankheitsgefühl gewichen, die Kälte leichter und fand erquickenden, wenn auch unterbrochenen Schlaf.

Das schöne Wetter wurde reichlich zu meteorologischen Messungen und zu Marschversuchen auf dem etwa 100 m unterhalb des Gipfels gelegenen, sanft geneigten Firnfeld zwischen Gnifetti- und Zumsteinspitze benutzt. Mit den nötigen Apparaten ausgerüstet, begaben sich Kolmer, Caspari und Zuntz um die Mittagszeit des 8. und 9. September in Begleitung eines Führers hinunter. Beim Abstieg zeigte sich deutlich, wie erheblich doch die psychischen Funktionen durch die Bergkrankheit geschädigt werden. Caspari, ein geübter Tourist, trat an einer gefährlichen Stelle, die er an früheren Tagen wiederholt und unangeseilt ohne Unfall passiert hatte, nunmehr, da das Seil ihn in ein gewisses Sicherheitsgefühl einwiegte, neben eine der bequemen Stufen im Eis, glitt in der nächsten Nähe der Randkluft aus und wäre ohne Hilfe des Seils unzweifelhaft verloren gewesen. Ein anderes Mal sprang er, um von Professor Sella auf dem Gletscher zu physikalischen Zwecken gezogene Drähte zu vermeiden, direkt auf den Schnee, der die Randkluft nur lose deckte, obwohl ein gefahrloses Ausweichen nach der anderen Seite wohl möglich war, eine Kopflösigkeit, die er bei normalem Befinden niemals begangen hätte. — Wieviele Unglücksfälle in großen Höhen, bei denen gesunde, berggewandte, kräftige Menschen an sonst absolut unschwierigen Passagen abstürzen, sind wohl auf die gleiche Art zustande gekommen! Eine Warnung für die „Allein-geher“, denn niemand weiß zuvor, ob er nicht bergkrank wird, wenn es ihm auch bisher nie passiert war! An sich unbedeutende Verdauungsstörungen oder Atemhindernisse, schon ein Schnupfen können den Anstoß zum Ausbruch der Bergkrankheit geben und so die Ursache des tödlichen Unfalls werden. — Wir hatten selbst Gelegenheit, Zeugen eines solchen Unfalls zu sein, der aber zum Glück noch

harmlos verlief: Am 5. September abends bei dichtem Nebel drangen plötzlich Hilferufe vom Gletscher her nach der Hütte. Der Kustode, Professor Sella und einige andere machten sich, mit dem Nötigen ausgerüstet, auf und fanden auch bald in der Nähe des Gipfelkegels drei Führer mit einem völlig erschöpften Touristen. Wie eine leblose Masse wurde er mühsam zur Hütte hinaufgezogen. Man bemühte sich, die erfrorenen Glieder durch Reiben zu erwärmen. Allmählich kehrte das Leben wieder zurück und der erste Ausruf des Erwachenden: „Dov'è il mio cappello!“^{*)} brachte die überraschende Gewißheit, daß man es mit einem weiblichen Wesen zu tun hatte. Die sonst sehr berggewandte Dame hatte, durch Bergkrankheit total erschöpft, nicht weiter gehen können, nachdem ihre Führer die Richtung im Nebel völlig verloren hatten. Sie erholte sich erstaunlich rasch und ließ am nächsten Morgen einen Atmungsversuch an sich machen, ehe sie die rettende Margherita-Hütte gestärkt und heiter wieder verließ.

Die Marschversuche auf dem Firnfeld boten zunächst unerwartete Hindernisse, indem das Wasser in den Glasröhren und Gummischläuchen trotz der vollen, stechendheißen Sonne einfro. Kolmer mußte wieder hinauf, um schwer gefrierende Chlorkalziumlösung machen zu lassen und einzufüllen. So wurden bei diesen recht anstrengenden Versuchen nur einige wenige Resultate erzielt. Die hier gemachten Erfahrungen haben sich dann Zuntz und Durig im Jahre 1903 zunutze gemacht und das Versäumte während ihres dreiwöchentlichen Aufenthaltes auf der Margherita-Hütte in ausgiebigstem Maße nachgeholt. Sie waren mit bequemeren Analysenapparaten ausgestattet, das Wetter war wesentlich besser, und ihre Zeit nicht durch die zu einem Stoffwechselversuch gehörenden Maßnahmen in Anspruch genommen.

Die zwei auf Col d'Olen Zurückgebliebenen, Waldenburg und Müller, hatten es inzwischen bequemer gehabt. Von der Gegend war allerdings bis zum 6. September auch hier so gut wie nichts zu sehen, Regen und Nebel wechselten beständig ab. Die wenigen Atemversuche am Morgen bei Körperruhe, wie die am 5. und 6. angestellten Marschversuche in der Nähe des Wirtshauses auf dem schon von Loewy früher benutzten Saumpfad nach Alagna, sowie zahlreiche meteorologische, vor allem elektrische Bestimmungen auf einem etwa 100 m von dem Hotel entfernten freien Punkte nahmen die Zeit nicht allzu sehr in Anspruch. Bei ihnen zeigten sich keinerlei Spuren von Bergkrankheit; sie konnten daher die Stoffwechselversuche mühelos in vorgeschriebener Weise durchführen. Da die Wagen in der Margherita-Hütte waren, mußte man sich auf Col d'Olen mit einer allerdings nicht ganz so genauen Abmessung der Nahrung auf der dem Hotel gehörigen Wage begnügen. Auch die Körpergewichtswägung war nicht ganz so exakt wie oben oder in Brienz, sie wurde auf der schon von Mosso benutzten römischen Wage des Hotels angestellt. Nach fünftägiger Dauer wurde hier der Stoffwechselversuch am 7. September früh definitiv beendet.

Ungestört durch die stete Selbstbeobachtung genossen die beiden die Schönheiten der Umgebung nunmehr in voller Freiheit. Mit dem Fernrohr beobachteten

^{*)} „Wo ist mein Hut?“

sie ihre Gefährten auf der Margherita-Hütte, die sich jetzt auf dem steil aufragenden Felsen scharf vom blauen Himmel abhob. Am 8. machten sie sich dann bei dem herrlichsten Wetter in Begleitung des Führers Bieler zur Gnifetti-Hütte auf, ohne auch auf dem Wege irgendwelche Störungen des Befindens zu bemerken. Am 9. nach gut verbrachter Nacht brachen sie noch vor Morgengrauen bei Laternenschein auf. Sie stiegen im harten knirschenden Schnee bergan, vorbei an ungeheuren, in der beginnenden Dämmerung blau schimmernden, mit meterlangen Eiszapfen besetzten Spalten. Die Sonne trat hinter den scharfen Zacken der Aiguille verte und dem Montblancmassiv strahlend hervor. Die unbeleuchteten Partien in stumpfem Blau, die Spitzen darüber in zartem Rot erglühend. Ringsumher Stille . . . nur das einförmige Einsetzen der Pickel und Tritte in den knisternden Schnee, bisweilen ein Schleifen des Seils über die hartgefrorene Fläche. — Bei klarem, tiefblauem Himmel mit herrlichem Blick auf nahe und ferne Spalten und Schneegipfel erreichten sie mühelos die Margherita-Hütte. Am Fuße des Kegels wurde ihnen von dem Kustoden der Hütte ein Labetrunk aus warmem Kaffee gebracht, den sie, jetzt ohne Sorge um seine Zusammensetzung, einnehmen konnten. Auch sie empfanden hier oben bald die Erschwerung jeder kleinsten Bewegung, fühlten sich aber während der ersten Stunden ihres Aufenthalts in der Hütte außerordentlich wohl. Schon frohlockten sie und meinten, es würde ihnen besser ergehen als ihren Genossen. Aber etwa drei Stunden später, bald nachdem die Expedition des Professor Sella nach Beendigung ihrer Tätigkeit den Abstieg angetreten hatte, begann sich auch bei ihnen das Bild zu ändern. Mit wissenschaftlichem Eifer und unverhohlener Schadenfreude beobachteten die Akklimatisierten, wie Attacken von Atemnot, Übelkeit, Kopfschmerz ständig abwechselten. Man kann sich wohl vorstellen, wie bei den Expeditionen auf die Hochgipfel von Südamerika und Mittelasien die eingeborenen Träger, welche niemals von Bergkrankheit gehört haben, unter solchen Umständen die Empfindung bekommen, daß Dämonen über sie herfallen, in wahnsinnigem Schreck ihr Gepäck von sich werfen und der Tiefe zustürmen!

Am 10. September sollte der gemeinsame Abstieg angetreten werden. Wolkenlos umspannte der blaue Himmel die bis in die weiteste Ferne klare Rundschau. Das Scheiden wurde uns schwer. Aber das Wetter war trotzdem unsicher. Um den Gipfel des Montblanc sammelten sich einige Wolken — für die Führer ein untrügliches Zeichen nahenden Wetterumschlags. War auch Vieles unvollendet geblieben, so mußte man doch für dieses Jahr darauf verzichten, länger oben zu verweilen. Wie sehr wir auch hierin vom Glück begünstigt waren, zeigte sich sehr bald. Hätte sich unser Aufbruch nur um einige Stunden verzögert, so wären wir wohl für die nächsten acht Tage in der Hütte eingesperrt geblieben. Das hätte aber verhängnisvoll werden können, denn der Hüttenproviant sowohl wie unsere Vorräte waren fast aufgezehrt, Brennholz oben kaum mehr vorhanden, und wie wir — speziell Caspari, der am meisten von der Bergkrankheit Geschädigte, — dies ausgehalten hätten, ist gar nicht abzusehen.

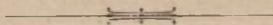
Der Abstieg der großen Karawane begann. Auf dem Sesiajoch wurden noch an der berüchtigten, früher schon erwähnten Stelle, wo die Bergkrankheit so häufig und plötzlich ausbricht, elektrische Messungen vorgenommen. Da sah man wieder,

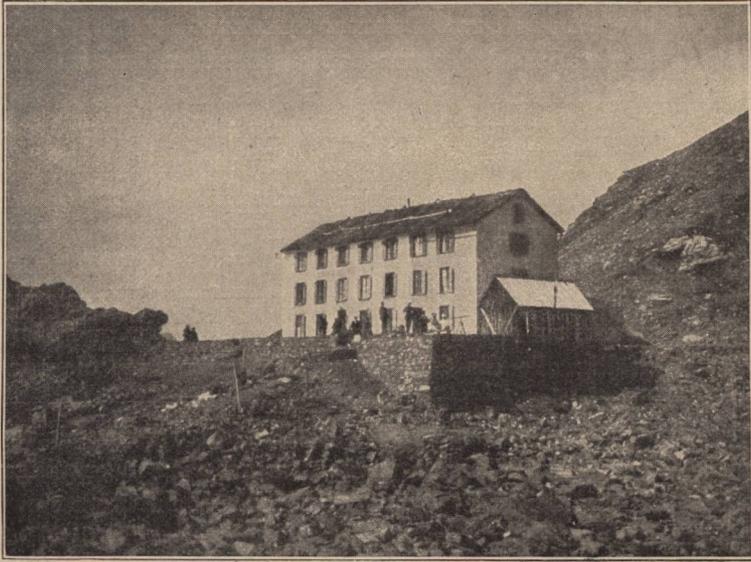
wie viel doch relativ geringe Höhendifferenzen innerhalb der für die Bergkrankheit „kritischen Zone“ für das Befinden ausmachen. Hier schon, bei noch 4000 m Höhe, konnte Caspari seine Ablesungen, platt auf dem Bauche liegend, ausführen, was er auf der Margherita-Hütte ohne empfindliche Atemnot nicht hätte vollbringen können.

Sonst wurden die Haltepunkte nur noch dazu verwandt, die Schönheiten der Umgebung in der photographischen Kammer festzuhalten. In der Gnifetti-Hütte eine kurze Frühstücksrast! Schnell ging es an den großen Spalten vorbei und in den ersten Nachmittagsstunden waren wir in Col d'Olen. Dort wurde zunächst eine nach zehntägiger Pause nicht überflüssige gründliche Reinigung vorgenommen. Dann vereinigten wir uns zu einem solennen, nun nicht mehr analysierten Schlußdiner, in dem sorgfältig alle die Gerichte vermieden wurden, die wir nun sechs Wochen lang täglich verzehrt hatten.

Wenn auch die Strapazen der letzten Zeit nicht spurlos an uns vorübergegangen waren, überwog doch die Erinnerung an das viele überwältigend Schöne, das wir gesehen und erlebt hatten, und das befriedigende Bewußtsein, im wesentlichen den vorgezeichneten Plan durchgeführt zu haben, sowie die Hoffnung, mit dem gewonnenen Material einige neue und allgemein interessante Gesichtspunkte für Wissenschaft und Praxis zu gewinnen.

So herrschte eine gehobene und festliche Stimmung bei dem lukullischen Mahle, das alle der Freiheit und dem Alltagsleben wiedergab.





Das Gasthaus auf dem Col d'Olen. 2900 m hoch.

Kapitel V.

Untersuchungsmethoden.

Will man erfahren, welche Zersetzungsprozesse in unserem Körper ablaufen und in welchem Umfange sie vor sich gehen, so muß man, um das noch einmal kurz zu rekapitulieren, die Beschaffenheit, die Menge und den Energiegehalt einerseits des eingeführten Nährmaterials, andererseits der Ausscheidungen des Körpers bestimmen. Man darf also während eines Stoffwechselfersuches nur durch Wägung genau bestimmte Mengen solcher Nahrung einführen, deren chemische Zusammensetzung und Energiegehalt ermittelt ist; man muß ferner die Abgänge aus dem Darm und den Nieren — den Kot und Harn — quantitativ sammeln, gleichfalls chemisch analysieren und auch ihren Energiegehalt feststellen. Endlich ist es notwendig, die gasigen Ausscheidungen aus Lunge und Haut zu messen und ihre Beschaffenheit zu ermitteln.

Ein Stoff- und Kraftwechselfersuch erfordert demnach einen erheblichen Arbeitsaufwand und stellt große Anforderungen sowohl an den Untersucher wie auch an den passiv am Versuch Beteiligten, an den, dessen Stoffwechsel untersucht werden soll; letzterer muß eine nicht geringe Mühe, Sorgfalt und dauernde Aufmerksamkeit auf den Versuch wenden, wenn er ihn nicht durch eine einzige unüberlegte Handlung ergebnislos machen will. Man halte sich nur vor Augen, welche Selbstbeobachtung es erfordert, keinen Bissen ungewogen zum Munde zu führen, alles was als Harn oder aus dem Darne entleert wird, genau zu sammeln und wiederum zu wägen. Ist man nun gar zu gleicher Zeit Untersucher und Untersucher, so wächst die Arbeit in beträchtlichem Maße. Man muß deshalb versuchen, sie da, wo es ohne Schaden für den Versuch durchführbar ist, einzuschränken. Das

geschieht am leichtesten dadurch, daß man die Nahrung möglichst einfach gestaltet und sie aus möglichst wenigen Gerichten zusammensetzt. Dadurch spart man viel analytisch-chemische Arbeit und entgeht zugleich Irrtümern, die bei Berechnung der aufzunehmenden Nahrungsmenge, — wenn diese sich aus vielerlei Stoffen zusammensetzt — leicht unterlaufen können.

Was allerdings auf der einen Seite ein Gewinn, ist auf der anderen ein Nachteil. Denn die Kost wird nun einförmig und widersteht bald, wenn sie nicht gut ausgewählt und sorgfältig zubereitet wird. Das mußte besonders bei unserem, sich über sechs Wochen erstreckenden Stoffwechselversuch berücksichtigt werden.

Über die Art und die Auswahl der Nahrung, sowie über die Erwägungen, die uns dabei leiteten, sind im vorigen Kapitel ausführlichere Mitteilungen gemacht worden.

Hier wollen wir uns auf die Angabe beschränken, daß wir Kakes, Schokolade und Orangenmarmelade, ferner als Mittagmahl neben Fleisch, Reis und getrocknete Gemüse — Karotten, Schoten, Spinat — wählten. Alles dies war in Berlin beschafft, analysiert und wurde mit auf die Expedition genommen. Hierzu kamen Butter und Käse. Diese mußten öfters frisch bezogen werden. Von ihnen nahmen wir Proben, konservierten sie, um Fäulnis zu verhindern, mit etwas Chloroform und analysierten sie erst nach unserer Rückkehr in Berlin. — An den Arbeitstagen wurde entsprechend dem durch die Arbeit gesteigerten Stoffumsatz eine Zulage zu der gewöhnlichen Nahrung gegeben. Sie bestand aus stickstoffarmem Nährmaterial, Kakes, Schokolade, Zucker, Butter, Bier, da die Menge stickstoffhaltiger Stoffe möglichst konstant erhalten werden sollte.

Für die Untersuchung der Nahrung sowohl wie aller Ausscheidungen sind bestimmte Methoden ausgearbeitet, die dem Fachmann wohl geläufig sind. Es könnte ausreichend erscheinen, einfach auf diese zu verweisen, um so mehr, als ein besonderes Interesse an physiologisch-chemischer Methodik und ihren Feinheiten nicht bei allen Lesern vorausgesetzt werden kann. Nichtsdestoweniger glauben wir diesen Untersuchungsmethoden ein eigenes Kapitel widmen zu müssen. Denn einmal beruhen alle unsere Ergebnisse auf ihrer Exaktheit und Zuverlässigkeit, und der Fachmann hat nicht nur ein Interesse, vielmehr sogar einen Anspruch darauf, zu erfahren, wie wir vorgegangen sind, um den Wert unserer Untersuchungen beurteilen zu können. Sodann aber meinen wir, daß es auch für den Fernerstehenden belehrend ist, einen Blick in die Werkstatt wissenschaftlicher Tätigkeit zu werfen und den Weg kennen zu lernen, auf dem die Ergebnisse Schritt für Schritt gewonnen werden.

Dabei ist im Auge zu behalten, daß wir doch in mancherlei Beziehung von den sonst gangbaren und gewohnten Wegen abweichen mußten. Wir konnten einen großen Teil unserer Versuche nicht in einem mit allen Behelfen der Neuzeit wohlausgerüsteten Laboratorium ausführen, mußten vielmehr unsere Arbeitsstätten improvisieren und uns nach den gegebenen Verhältnissen richten. — So war es schon in Brienz, wo wir uns noch am komfortabelsten einrichten konnten, schwerer war es auf dem Brienzer Rothorn, am unangenehmsten machten sich der Mangel aller Hilfsmittel, die räumliche Enge und die Störungen durch klimatische Bedingungen, insbesondere die Kälte, welche einen erheblichen Einfluß auf unsere Tätigkeit ausübte, auf der Monte Rosa-Spitze fühlbar.

Wir wollen zunächst ganz kurz die Analysierung der Nahrung besprechen. — Eine solche ist bei jedem exakten Stoffwechselversuche notwendig. Es existieren zwar von allen Nahrungsmitteln genaue Analysen, die Prof. König in Münster in einem sehr umfangreichen Werke zusammengestellt hat. Aber eine Durchsicht dieser ergibt, daß bei jedem Nahrungsmittel so große Schwankungen in der Zusammensetzung und im Brennwert bestehen, daß alle Resultate illusorisch würden, wollte man im Einzelfalle einen Durchschnittswert aus allen Bestimmungen zugrunde legen.

Bei jedem der vorstehend genannten Nahrungsmittel bestimmten wir den Eiweißgehalt und den Fettgehalt. Letzterer wurde durch Extraktion der gepulverten Substanz mit Äther in dem von Soxhlet angegebenen Apparat ermittelt. Die Butter wurde einfach mit kaltem Äther ausgezogen und die von diesem aufgenommene Fettmenge durch Wägung bestimmt. Die grob zerkleinerten Käseproben, sowie das vollkommen getrocknete Fleisch wurden zunächst mit kaltem Äther extrahiert und so die Hauptmenge ihres Fettes gewonnen, dann wieder getrocknet, fein gepulvert und weiter in dem Soxhletschen Apparate zweimal 24 Stunden mit Äther behandelt.*) Besondere Versuche zeigten, daß eine weitere Extraktion kein Fett mehr lieferte.

Die Bestimmung des Eiweißes geschah stets indirekt durch Ermittlung des Stickstoffes nach dem jetzt am meisten gebräuchlichen Verfahren von Kjeldahl.

Die zu analysierenden Substanzen wurden mit englischer Schwefelsäure unter Zusatz von etwas Quecksilber — das die Verbrennung erleichtert — zersetzt. Der Stickstoff des Eiweißes wird dabei zu schwefelsaurem Ammoniak. Dieses wird durch starke Lauge gespalten und das freigewordene flüchtige Ammoniak durch Erhitzen ausgetrieben. Man leitet es in eine bekannte Menge von dünner Schwefelsäure und bestimmt, wieviel es davon mit Beschlag belegt hat. — Aus der Menge des Ammoniakstickstoffes berechnet sich dann die Menge Eiweiß, in der es enthalten war. 100 Teile Eiweiß enthalten im Durchschnitt 16 Teile Stickstoff; auf 1 Teil Stickstoff kommen demnach 6.25 Teile Eiweiß. Der gefundene Stickstoff mit 6.25 multipliziert ergibt also die Eiweißmenge, der er entstammt.

Die dritte Gruppe der in den organischen Nahrungsmitteln enthaltenen Nährstoffe, die Kohlehydrate, haben wir nicht direkt bestimmt. Sie wurden durch Differenz berechnet, aber nicht wie gewöhnlich aus dem Rest, der nach Abzug von Eiweiß, Fett, Wasser und Asche von dem Gesamtgewicht des zur Analyse benutzten Nahrungsmittels bleibt. Dabei muß die Kohlehydratbestimmung unsicher ausfallen, denn einerseits werden alle in dem Reste befindlichen Stoffe als Kohlehydrate gerechnet, wiewohl sie physiologisch durchaus nicht gleichwertig sind, andererseits fallen alle analytischen Ungenauigkeiten auf die einfach durch Rechnung gewonnene Größe. Ein anderes Verfahren, bei dem wir von dem „Brennwert“, d. h. dem Energiegehalt der in den Nahrungsmitteln vorhandenen organischen Bestandteile, ausgingen, schien uns sicherer.

Dem Eiweiß und Fett kommt ein bestimmter Energiegehalt, „Brennwert“, zu, d. h. eine bestimmte Menge von ihnen, sagen wir 1 g, entwickelt bei ihrer Verbrennung eine ganz bestimmte und bekannte Menge Wärme. Wir haben nun in besonderen Experimenten, auf die wir sogleich zu sprechen kommen, den Brennwert unserer einzelnen Nahrungsmittel ermittelt. Ziehen wir von diesem Brennwert

*) Das Fleisch wurde nach der zweiten Trocknung zunächst mit salzsaurem Alkohol behandelt, dann erst mit Äther ausgezogen.

den des Eiweißes und Fettes ab und ihn kennen wir ja, da wir die vorhandene Menge an Eiweiß und Fett festgestellt haben, so bleibt eine Wärmemenge übrig, die auf Kohlehydrate und ihnen im Nährwert ähnliche Stoffe zu beziehen ist, und aus der wir den physiologisch in Betracht kommenden Wert der Kohlehydrate berechnen können.

Weiter haben wir noch die Alkohol- und Extraktmenge des von uns genossenen Bieres und den Alkoholgehalt des Weines nach den für die Alkoholbestimmung in der Nahrungsmittelanalyse gebräuchlichen Methoden ermittelt. Den Nährwert der Extraktmenge bestimmten wir durch Verbrennung des von Alkohol befreiten Trockenrückstandes. — Die Methode der Brennwertbestimmung wird im folgenden ausführlich besprochen werden.

Bezüglich der Ausscheidungen verfahren wir folgendermaßen: Der Harn wurde während der Expedition quantitativ genau gesammelt, gewogen und sein spezifisches Gewicht bestimmt. Der Harn jedes Tages kam in eine besondere, luftdicht zu verschließende Flasche.

Wichtig war es, eine Fäulnis des Harns zu verhüten. Man kann sich dazu verschiedener antiseptischer Zusätze bedienen. Die Art des Antiseptikums richtet sich nach den Untersuchungen, denen der Harn später unterzogen werden soll. Es gibt viele, die gleich zweckmäßig sind, wenn es sich einfach darum handelt, den Harn später chemisch zu analysieren. Da wir auch seinen Brennwert feststellen wollten, mußte zunächst ermittelt werden, ob nicht die konservierenden Zusätze den Brennwert änderten. In Versuchen, die Dr. Cronheim im Anschluß an unsere Expedition über das beste Verfahren, den Harn unverändert aufzubewahren, angestellt hat, ergab sich, daß Thymol hierzu geeigneter ist als andere Antiseptika, wie z. B. Sublimat

Danach haben wir unserem Harne stets gepulvertes Thymol hinzugefügt.

Die spätere Untersuchung im Berliner Laboratorium erstreckte sich auf die Bestimmung des Stickstoffs, der ein Maß für die Menge des zersetzten Eiweißmateriales abgibt. Sie geschah nach der oben geschilderten Methode von Kjeldahl.

Die Darmentleerungen wurden in luftdicht schließenden Blechtöpfen gesammelt und täglich gewogen. Wir teilten die ganze Dauer unserer Expedition, entsprechend den verschiedenen Aufenthaltsorten, in vier Perioden und sammelten die Entleerungen der einzelnen Personen für jede Periode gesondert. Die entleerte Menge wurde täglich gewogen. Die Zersetzung wurde durch Chloroform verhütet, das zugleich den Vorteil hatte, den penetranten Geruch gut zu verdecken.

Da die Entleerung der von einer bestimmten Mahlzeit herrührenden Nahrungsreste verschieden lange Zeit nach der betreffenden Mahlzeit erfolgen kann, nach 24 Stunden, 48 Stunden oder noch später, im Beginn und am Schluß eines Stoffwechselversuches also nicht schon die der ersten bzw. letzten Mahlzeit folgende Darmentleerung die Reste dieser Mahlzeiten herauszufördern braucht, muß man besondere Maßnahmen anwenden, um die dem Stoffwechselversuche selbst angehörenden Entleerungen erkennen zu können. Man benutzt in der Stoffwechselphysiologie dazu verschiedene Mittel. Alle kommen darauf hinaus, dem Darminhalt vor der ersten und nach der letzten in Betracht kommenden Entleerung besondere Merkmale zu erteilen, meist besondere Färbungen. So gibt man vor der ersten und nach der letzten Mahlzeit kleine Portionen Kohle, oder Knochenasche, oder Kiesel-

säure (Sand), oder — was in Versuchen am Menschen besonders beliebt wird — Beerenobst, z. B. Preiselbeeren, deren Hüllen ja fast unverändert im Kote erscheinen. Im Versuch am Fleischfresser kann man auf diese Weise meist leicht eine Abgrenzung der entleerten Portionen vornehmen, beim Menschen gelingt es nicht immer, wie wir uns in unseren Vorversuchen überzeugten.

Wir entschlossen uns, anders zu verfahren und reinigten im Beginn jeder Versuchsperiode den Darm durch Wassereinflüsse von den Nahrungsresten der vorhergehenden Periode. Gewöhnlich mußten die Eingießungen mehrmals wiederholt werden, zwei- bis viermal, bis die letzten Reste entfernt waren. Sie waren gut zu erkennen an den deutlich unterscheidbaren Bestandteilen desjenigen Gemüses, das am Mittag zuvor gegessen war. — Das Einlaufwasser wurde angesäuert, auf ein kleines Volumen eingedampft und dem gesammelten Kote hinzugefügt.

Die Verarbeitung der Exkremente geschah derart, daß sie zunächst in einem sog. Vakuumtrockenapparat, d. h. in einem Kasten, aus dem die Luft fast vollständig ausgepumpt war, über konzentrierter Schwefelsäure bei höchstens 60° getrocknet wurden. So geht die Trocknung sehr schnell vor sich und Zersetzungen werden möglichst verhütet. Um etwaige trotzdem zustande gekommene Zersetzungen der stickstoffhaltigen Bestandteile des Kotes in ihrem Umfange festzustellen, wurde die Schwefelsäure vor und nach dem Trocknen auf einen etwaigen Gehalt an Stickstoff untersucht. Dieser weist auf eine Zersetzung stickstoffhaltiger Bestandteile hin. Es hat sich in unseren Versuchen stets um sehr kleine Verluste, die vernachlässigt werden konnten, gehandelt.

Die Darmausscheidungen enthalten außer Salzen erhebliche Mengen organischer Bestandteile und zwar organische stickstoffhaltige Verbindungen und fettartige Stoffe. Von Kohlehydraten finden sich Zucker und Stärke so gut wie gar nicht; wohl aber Zellulose, besonders wenn viel mit vegetabilischen Nahrungsmitteln eingeführt wird. Stickstoff und Fett mußten bestimmt werden. Für erstere konnte wiederum die Methode von Kjeldahl, so wie sie bei der Nahrungsanalyse geschildert wurde, benutzt werden.

Für die Fettbestimmung wurde der trockene Kot zunächst mit salzsaurem Alkohol (ebenso wie die Nahrung) behandelt, dann mit siedendem Äther im Soxhletschen Apparat zweimal 24 Stunden extrahiert. Auch hier ließ sich dann kein Fett mehr ausziehen. Nur wenn der Kot sehr fettreich war, wurde er zunächst mit kaltem Äther übergossen, der innerhalb 24 Stunden das meiste Fett aufnahm, dann erst nach Soxhlet extrahiert.

Neben dem Stoffumsatz haben wir, wie schon erwähnt, auch den Energieumsatz zu ermitteln gesucht. Dazu war es notwendig, den Energiegehalt der Nahrung und den Energiegehalt der Ausscheidungen festzustellen. Die Differenz ergibt uns, wieviel von der Energie der Nahrung dem Körper zugute gekommen ist. Der Körper kann die nicht in den Ausscheidungen wiedererscheinende Energiemenge in andere Energieformen: Wärme und mechanische Arbeit verwandelt haben oder er hat einen mehr oder weniger großen Teil des energiehaltigen Materiales in sich zurückbehalten und in Form von Eiweiß, Fett, Kohlehydrat angesetzt. Welche Möglichkeit zutrifft, ergibt die gleichzeitige Untersuchung des Stoffumsatzes; sie zeigt, wieviel und welches Material im Körper zersetzt oder angesetzt ist. — Da

mechanische Arbeit sich ohne weiteres in Wärme ausdrücken läßt, kann man alle im Körper freiwerdende Energie durch die Menge der gebildeten Wärme ausdrücken. Diese dient also als Maß für den Energieumsatz. — Der Zweig der Wärmelehre, der sich mit dieser Frage befaßt, heißt Kalorimetrie und die Apparate, welche der Ermittlung der Wärmebildung bei der Verbrennung organischen Materiales dienen, Kalorimeter. Wir bestimmten nicht direkt die im Körper freiwerdende Wärme, bedienten uns vielmehr der sogenannten indirekten Kalorimetrie, bei der die Wärmemenge bestimmt wird, die die Einnahmen — also die Nahrung — und die festen und flüssigen Ausgaben — also Harn und Kot — bei der Verbrennung liefern. — In den gebräuchlichen Kalorimetern mißt man diese Wärmemenge an der Erwärmung einer bestimmten Wassermasse, in die das Gefäß, in welchem die Verbrennung vor sich geht, hineingesetzt wird. Solche Kalorimeter werden heutzutage vielfach auch in der Technik verwendet, besonders zur Feststellung des Brennwertes unserer Heizmaterialien.

Wir benutzten das zur Zeit exakteste und bequemste, nämlich das von Berthelot¹⁾ angegebene, in der Modifikation von Stohmann.⁶⁾

Die beistehende Figur zeigt es im Durchschnitt. Der wesentlichste Bestandteil ist das Gefäß, in dem die Verbrennung erfolgt, die sog. Bombe *C*. Sie besteht aus sehr resistantem Stahl, dessen innere Oberfläche emailliert ist, um bei der Verbrennung nicht angegriffen zu werden und dadurch selbst Wärme zu bilden. Auf sie wird luftdicht ein dicker stählerner Deckel aufgeschraubt, dessen Innenfläche mit Platin ausgelegt ist. Das ganze Gefäß muß sehr widerstandsfähig sein, denn die Verbrennung geschieht nach Einleiten von Sauerstoff unter einem Druck von 25 Atmosphären, wobei es im Momente der Verbrennung zu einem Druck von wenigstens 250 Atmosphären kommt. Hierdurch ist es ermöglicht, selbst sehr schwer verbrennliche Substanzen vollkommen zu verbrennen. — Den Deckel durchsetzen, von ihm isoliert, zwei Platinstäbe *a*, deren einer ein Platinschälchen *c* zur Aufnahme der zu verbrennenden Substanz trägt, deren anderer dicht oberhalb des Schälchens endet. Beide werden vor dem Versuche durch eine kleine Spirale von dünnem Eisendraht *b*, die gerade die Oberfläche der Substanz berühren muß, verbunden. Außerhalb der Bombe enden die Platindrähte in sogenannten Polschrauben, in die die Drähte einer elektrischen Batterie eingeführt werden (*F*).

Der Deckel trägt außerdem ein Röhrchen *d*, das durch eine Verschraubung geschlossen werden kann und das der Sauerstoffeinleitung dient. Um die mit der Substanz versehene, gut geschlossene Bombe mit Sauerstoff zu füllen, bringt man sie in Verbindung mit einem Zylinder mit komprimiertem Sauerstoff und läßt diesen einströmen, bis ein zwischengeschaltetes Manometer ca. 25 Atmosphären Druck anzeigt. Nach Beendigung der Sauerstofffüllung wird das Zuleitungsröhrchen *d* geschlossen und die Bombe kommt nun in das eigentliche Kalorimetergefäß. Dieses ist ein Metallgefäß *B*, das ein bestimmtes Wasserquantum enthält und selbst wieder in einem größeren doppelwandigen, kupfernen Kessel *A* steht, dessen Wandung mit

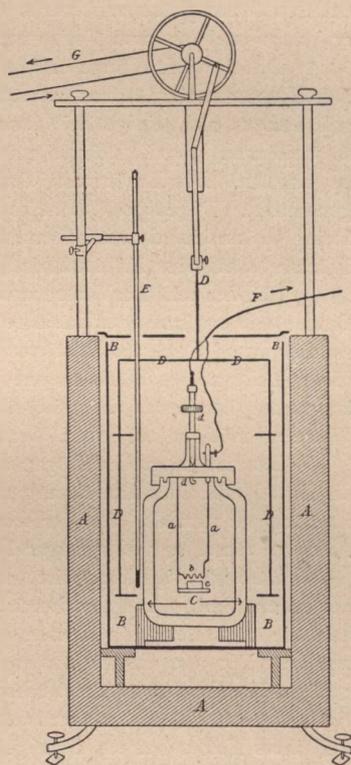


Fig. 1.
Berthelot-Stohmanns
Kalorimeter.

Wasser gefüllt ist. Der Kessel *A* hat den Sinn, von außen kommende Einflüsse, die die Temperatur des Kalorimetergefäßes ändern könnten, abzuhalten. In das Kalorimetergefäß taucht noch ein sehr genaues Thermometer *E* ein und ein Rührwerk *D*, durch dessen Tätigkeit eine gleichmäßige Temperatur in allen Wasserschichten erzielt wird. Es wird mittels eines kleinen Elektromotors in stetiger Bewegung erhalten.

Zur Vornahme einer Verbrennung bringt man die mit der zu untersuchenden Substanz und mit Sauerstoff gefüllte Bombe in das Kalorimetergefäß, verbindet den Leitungsdraht *F* mit einer Batterie, setzt das Rührwerk in Tätigkeit und liest den Stand des Thermometers ab. Nachdem dieser für mehrere Minuten konstant geblieben ist, oder doch ein gleichmäßiges Sinken oder Steigen gezeigt hat, schickt man einen starken elektrischen Strom durch *F* und durch die Platinröhrchen *a*. Durch ihn kommt der Eisendraht *b* ins Glühen, verbrennt in der Sauerstoffatmosphäre und wirkt für die zu untersuchende Substanz gewissermaßen als Zünder, er bringt auch sie zum Verbrennen.

Dabei wird Wärme frei, die sich der Bombe und dem sie umgebenden Wasser mitteilt. Das Thermometer beginnt zu steigen und erreicht nach 1—3 Minuten einen höchsten Stand, auf dem es sich einige Zeit konstant erhält. — Kennt man die Wassermenge im Kalorimeter, so weiß man, wieviel Wärme entwickelt werden mußte, um die gefundene Temperatursteigerung zu erzielen. Die Erwärmung des Wassers wird in der Physik als Maß der gebildeten Wärme genommen. Diejenige Wärmemenge, die 1 g Wasser um 1° C. zu erwärmen vermag, wird als kleine Wärmeeinheit oder Grammkalorie, die, welche 1 kg Wasser um 1° C. erwärmt, als große Wärmeeinheit oder Kilokalorie (Kal. oder W. E.) bezeichnet.

Bei der mit der Verbrennung einhergehenden Erwärmung muß natürlich, wie erwähnt, die Bombe mit erwärmt werden, ebenso das eintauchende Thermometer, das Rührwerk und, soweit es mit dem Wasser in Berührung ist, auch das Kalorimetergefäß. Die zur Erwärmung aller dieser Teile nötige Wärmemenge ist für jeden Apparat eine konstante und wird ein für allemal im voraus bestimmt. Man berechnet sie in Kalorien und addiert sie der zur Erwärmung des Wassers nötigen bei jedem Versuche hinzu.

Das ist in groben Zügen das kalorimetrische Verfahren, dessen wir uns bedienen. Auf die Einzelheiten der Ausführung und Berechnung kann hier natürlich nicht eingegangen werden. Erwähnt sei nur, daß das Verfahren äußerst genaue Resultate ergibt, genauere als die chemische Analyse, zumal es viel weniger Zeit verlangt.

Eine wichtige Frage ist, wie die auf ihren Brennwert zu untersuchenden Substanzen am besten zur Verbrennung vorbereitet werden. Sie verbrennen um so besser, je weniger Feuchtigkeit sie enthalten; sie müssen also, wenn ihr Wassergehalt ein hoher ist, zuvor getrocknet werden. Die von uns benutzten Gemüse, auch die Kakes, der Reis, die Schokolade hatten den genügenden Grad von Trockenheit, um zu verbrennen. Anders war es mit dem Fleisch und Brot, die erst getrocknet werden mußten. Die Käse wurden zuerst durch Äther von dem größten Teil ihres Fettes befreit, dann getrocknet und verbrannt. Das extrahierte Käsefett, die Butter, wurde für sich verbrannt.

Die getrockneten Substanzen können aber nicht ohne weiteres auf das Tellerchen geschüttet werden. Bei der Entzündung würde nur ein Teil verbrennen, ein anderer würde in der Bombe verstäubt und umhergeschleudert werden. Man muß sie in eine kompakte Masse verwandeln; zu dem Zwecke pulvert man sie und preßt in einer Pastillenpresse aus ihnen kleine, $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ g schwere Tabletten, die den heute vielfach benutzten medikamentösen Tabletten gleichen.

Ein Nahrungsmittel verträgt natürlich diese Behandlung nicht, das ist die Butter. Sie ist aber so leicht verbrennlich, daß sie in Berührung mit dem verbrennenden Eisendraht ohne weiteres mitverbrannte. — Die Marmelade ließ sich auch nicht gut trocknen. Man kann sie trotzdem mit Hilfe eines kleinen Kunstgriffes direkt verbrennen; man bringt auf ihre Oberfläche in Berührung mit dem Eisendraht ein gewogenes Kriställchen (wenige Milligramm) einer leicht brennbaren organischen Substanz, etwa Naphthalin, die die Verbrennung dann gut auf die Marmelade überträgt. —

Ebenso wie die Nahrung wurden die Darmabgänge behandelt. Sie wurden getrocknet, gepulvert, in Pastillen gepreßt, verbrannt.

Kompliziert wurde die Sache beim Harn. Man kann ja auch ihn trocknen und seinen Trockenrückstand verbrennen. Aber beim Trocknen treten leicht Zersetzungen ein, wodurch der Brennwert erheblich geändert werden kann. Es ist von Professor Kellner in Leipzig empfohlen worden, an Stelle der direkten Trocknung den Harn sich in kleine Zellulosepflockchen einsaugen zu lassen, diese über Schwefelsäure zu trocknen und zu verbrennen. Die Pflockchen haben natürlich selbst einen Brennwert, der von der bei der Verbrennung gebildeten Wärme in Abzug zu bringen ist. Die Mitverbrennung der Pflockchen gibt bei sonst exakter Arbeit keine Fehlerquelle ab.

Auch beim Trocknen in den Pflockchen tritt eine geringe Zersetzung der stickstoffhaltigen Substanzen des Harns ein; wir zogen diese jedoch in Rechnung entweder dadurch, daß wir den von der Schwefelsäure beim Trocknen aufgenommenen Stickstoff bestimmten oder dadurch, daß wir neben den zur Verbrennung bestimmten Pflockchen einige weitere sich mit Harn vollsaugen ließen, trockneten und dann die Stickstoffmenge in ihnen ermittelten. Da wir die Stickstoffmenge einer gleichen Menge des frischen Harns kannten, erfuhren wir so die beim Trocknen verschwundene und konnten eine Korrektur dafür einsetzen. Diese war, da die Trocknung bei niedriger Temperatur — Zimmertemperatur — geschah, stets sehr gering.

Messung und Analyse der gasförmigen Ausscheidungen. Die Untersuchung der gasförmigen Ausscheidungen des Körpers gibt die wertvollsten Aufschlüsse über die Größe des gesamten Stoffumsatzes im Körper.

Die Menge der im Organismus gebildeten Kohlensäure und des für die Umsetzungen im Körper verbrauchten Sauerstoffes geben uns ein Maß für die Menge des zum Zerfall gelangten organischen Materials. Sie liefern uns aber weiterhin, wie in Kapitel III auseinandergesetzt wurde, auch einen Einblick in die Art der vorwiegend im Körper zerfallenden Stoffe, wenn man das Verhältnis der Mengen gebildeter Kohlensäure und verbrauchten Sauerstoffes, also den sog. respiratorischen Quotienten, ins Auge faßt. Bestimmt man zugleich die Stickstoffmenge, die mit dem Harn ausgeschieden wird, so ist man imstande, mit Hilfe des respiratorischen Quotienten festzustellen, wieviel Eiweiß, Fett und Kohlehydrate im Körper verbrannt werden, wie ebenfalls schon im Kapitel III erörtert wurde. Unter Umständen, die den Eiweißzerfall nicht beeinflussen, kann man auch ohne Kenntnis der Stickstoffmenge im Harn, allein aus dem Verhalten des respiratorischen Quotienten, sich darüber orientieren, ob in dem Verhältnis, in dem Fett und Kohlehydrate zerfallen, eine Änderung eingetreten, d. h. ob eins von beiden in relativ stärkerem oder geringerem Maße vom Körper zerlegt worden ist.

Es ist aus diesen Gründen wichtig, bei Untersuchungen des Gaswechsels sowohl die Kohlensäurebildung wie den Sauerstoffverbrauch zu bestimmen und sich nicht allein auf die Ermittlung ersterer zu beschränken, wie das früher meist geschehen ist und auch heute noch bei Benutzung der gleich zu besprechenden Respirationskammern geschieht.

Ein Gasaustausch erfolgt beim Menschen, wie erwähnt, auf zweierlei Wegen: durch die Lungen und durch die Haut. Der gesamte Gasaustausch kann also eigentlich nur durch Messung von Lungen- und Hautgaswechsel ermittelt werden. Das geschieht so, daß man das Versuchsindividuum in große zimmerartige Kästen, sog. Respirationskammern, bringt und die Veränderungen, die deren Luft durch den Aufenthalt der Versuchsperson erfährt, ermittelt.

Der erste derartige Apparat, der einen beliebig langen Aufenthalt eines Menschen in seinem Innern gestattete und dabei in bezug auf die Genauigkeit der Kohlensäurebestimmung

allen wissenschaftlichen Ansprüchen genügt, wurde von den Münchener Professoren Pettenkofer und Voit⁴⁾ erbaut. Er befindet sich im Münchener physiologischen Institut und hat historische Berühmtheit erlangt. Er war der erste, in dem in exakter Weise die Kohlensäurebildung des Menschen studiert wurde. Mittels einer Dampfmaschine wird durch ihn ständig Luft hindurchgesaugt, deren Menge man durch einen Gasmesser feststellt. In einem kleinen Teil der durchgesaugten Luft, dessen Menge ein kleinerer Gasmesser anzeigt, wird die von der Versuchsperson an die Kammerluft abgegebene Kohlensäure festgestellt. Man kann so bei Kenntnis der gesamten durchgesaugten Luftmenge die gesamte abgegebene Kohlensäure berechnen.

Im Prinzip ähnliche, aber vollkommenerere Apparate sind später von Tigerstedt⁷⁾ und von Atwater erbaut und viel benutzt worden. —

Um neben der Kohlensäurebildung auch den Verbrauch an Sauerstoff zu bestimmen, und das ist, wie schon betont, von großer Bedeutung, hatten sich die französischen Physiker Regnault und Reiset⁶⁾ schon vor Pettenkofer und Voit eines etwas anderen Verfahrens bedient, dessen Prinzip bereits im Kapitel III geschildert wurde. Hier sei nur erwähnt, daß in großem Maßstabe zur Benutzung für den Menschen nach dem Regnault-Reisetschen Prinzip von Hoppe-Seyler ein Apparat gebaut worden ist, der aber wenig benutzt wurde. Regnault und Reiset hatten nur an kleineren Tieren experimentiert.

Es ist klar, daß wir uns dieser Verfahren auf unserer Expedition nicht bedienen konnten. Wir fanden keine Respirationskammern an den von uns besuchten Orten vor, hätten sie auch, selbst wenn sie vorhanden gewesen wären, für unsere Zwecke nicht gut benutzen können. —

Auf dem internationalen Physiologenkongreß in Turin im Jahre 1901 hat Tigerstedt den Vorschlag gemacht, auf der Punta Gniffetti in Verbindung mit der Margherita-Hütte eine Respirationskammer zu erbauen. — Der Plan erscheint angesichts der zu überwindenden Schwierigkeiten etwas kühn. Aber bei dem heutigen Stande der Technik wäre er nicht unausführbar.

Eine andere Frage ist, ob der Bau einer solchen Kammer lohnend und wertvolle wissenschaftliche Ergebnisse zu liefern geeignet ist. Und da muß man doch sagen, daß gerade zur Lösung derjenigen Fragen, die bei Untersuchungen im Hochgebirge vorzüglich in Betracht kommen, sich kammerartige Apparate nicht recht eignen. — Die Respirationskammern sind nicht, wie man das früher wohl annahm, imstande, alle Fragen des Gaswechsels exakt zu entscheiden. Sie haben ihre ganz spezielle Domäne und leisten Vortreffliches, wenn es darauf ankommt, die Kohlensäurebildung für längere Perioden zu ermitteln. Auf diese Weise sind die exaktesten Bilanzen des Stoffwechsels bei Mensch und Tier gewonnen worden. Es wurde der Umfang des Gaswechsels während der Stunden des Schlafes mit dem bei relativer Ruhe im Wachen verglichen, ferner die Wirkung der gesamten Verdauungstätigkeit für die Zeit, über die sie sich hinzieht, ermittelt, ebenso die gleichmäßiger Muskelarbeit.

Wenn es sich aber speziell um die Feststellung der Wirkungen handelt, die äußere Einflüsse auf den Gaswechsel ausüben, und die zu kurzen, schnell vorübergehenden Änderungen führen, sind Kammern nicht brauchbar. Will man die Wirkung eines Wärme- oder Kältereizes studieren, z. B. die von warmen oder kalten Bädern, Duschen usw., die Effekte schmerzhafter Eingriffe, insbesondere aber die Effekte der Muskeltätigkeit quantitativ genau verfolgen, so muß man Methoden benutzen, die gestatten, den Gaswechsel in beliebig kurzen Zeitabschnitten genau festzustellen unter gleichzeitiger Bestimmung sowohl der Kohlensäurebildung wie des Sauerstoffverbrauches.

Gerade diese letzteren Fragen beschäftigten uns aber auf unserer Expedition und eben deshalb mußten wir von der Benutzung von Kammern absehen, selbst wenn sie uns zur Verfügung gewesen wären. Dazu kommt, daß, wie gelegentlich schon erwähnt, beim Aufenthalt in den Kammern das Höhenklima gar nicht direkt auf das Versuchsindividuum wirken kann, also gar kein richtiges Bild von allen seinen Wirkungen zu gewinnen ist.

Sieht man von der Benutzung von Respirationskammern ab, so muß man sich allerdings bewußt sein, daß man nicht mehr den gesamten Gaswechsel einer Untersuchung unterwirft. Man ist auf die Feststellung des Lungengaswechsels beschränkt.

Das konnte aber unbedenklich geschehen, da dieser den Hauptanteil am gesamten Gaswechsel ausmacht. Der Hautgaswechsel beträgt nur $\frac{1}{2}$ —1% desselben und steigt nur, wenn es, sei es durch hohe Außentemperaturen, sei es durch anstrengende Muskelarbeit, zu Schweißbildung kommt, auf etwa 2% an.

Bei Bestimmung des Lungengaswechsels wird die Ausatemluft direkt in einen Gasmesser, mit dem der Mund des Atmenden durch Schlauchleitungen verbunden ist, hineingeatmet.

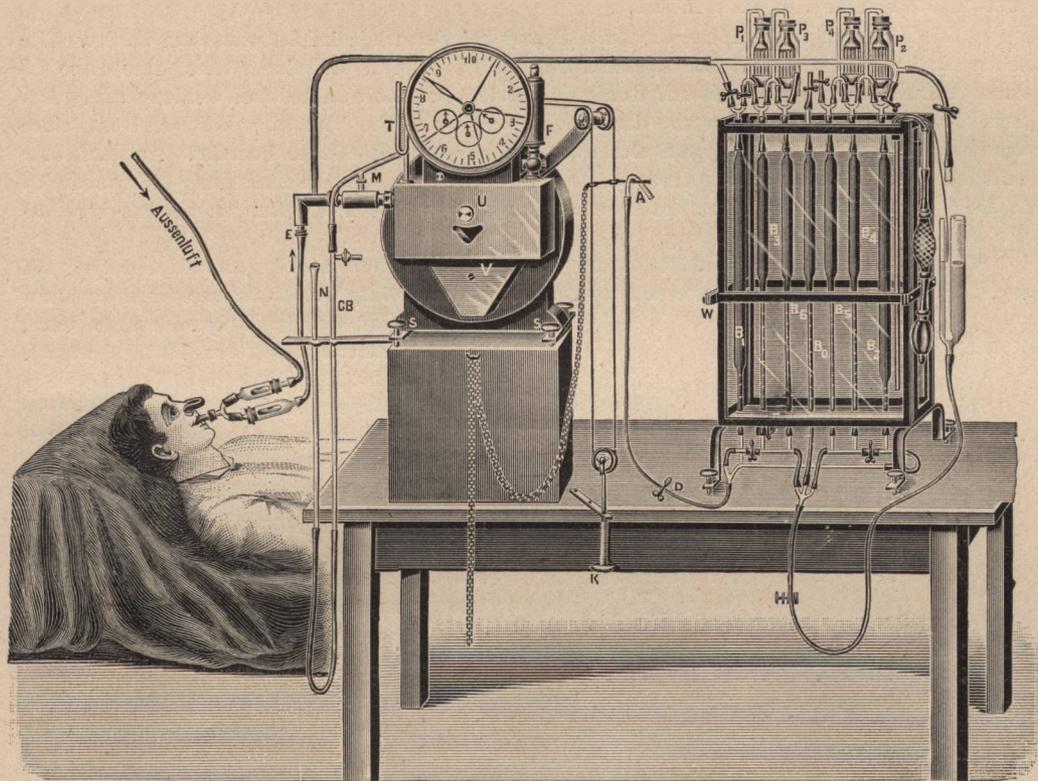


Fig. 2. Untersuchung des Atmungsprozesses bei Körperruhe mittels des Zuntz-Geppertschen Apparates.

Der Zuntz-Geppertsche Apparat zur Untersuchung des Lungen-Gaswechsels.³⁾ Der Apparat, der sich am brauchbarsten für solche Untersuchungen erwiesen hat und die sichersten Ergebnisse liefert, ist vor einer Reihe von Jahren von Zuntz und Geppert angegeben worden. Auch wir haben uns seiner bedient. Sein Prinzip ist, die gesamte Atemluft direkt durch einen Gasmesser gehen zu lassen, hier zu messen, eine kleine Probe der Expirationsluft, die eine genaue Durchschnittsprobe darstellen muß, zu sammeln und deren Prozentgehalt an Sauerstoff- und Kohlensäure zu bestimmen. Kennen wir diesen, so kennen wir auch den Kohlensäure- und Sauerstoffgehalt der gesamten während des Versuches expirierten Luft, deren Menge uns ja bekannt ist, d. h. also die gesamte Kohlensäurebildung und den gesamten Sauerstoffverbrauch.

Der Zuntz-Geppertsche Atemapparat setzt sich aus drei Teilen zusammen: einem Ventilapparat, der die eingeatmete Luft von der ausgeatmeten scheidet und letztere durch einen angefügten Schlauch in die Gasuhr treten läßt; aus dem Gasmesser („Gasuhr“) selbst und aus einem Analysenapparat, in dem die Kohlen- säure- und Sauerstoffmenge einer Probe der Expirationsluft bestimmt wird.

Jeder dieser Teile zeigt Verschiedenheiten der äußeren Form, je nachdem es sich um Versuche bei Körperruhe oder bei Körperarbeit, um Versuche im Labora- torium oder fern von ihm handelt.

Die Fig. 2 zeigt die Form, die der Apparat bei Versuchen im Laboratorium besitzt. Wir sehen einen Ruheversuch. Die Versuchsperson liegt bequem auf einem Sofa, ihre Nase ist durch einen Klemmer verschlossen, damit durch sie keine Luft ausgeatmet werden kann. Aus dem Munde ragt ein Rohr heraus, das von einem Mundstücke kommt, welches in Form einer durchlocherten weichen Gummiplatte sich zwischen Lippen und Zähnen befindet. An dem Rohr befindet sich außen ein Ventilapparat, der so eingerichtet ist, daß die Einatmungsluft von außen in die Lungen eindringen kann, die Ausatmungsluft dagegen von den Lungen aus nur zur Gas- uhr ihren Weg zu nehmen vermag.

Man kann sich verschiedener Arten von Ventilen bedienen. Fig. 3a und b zeigen ein sog. Lösches Klappenventil, wie man es besonders zweckmäßig bei Marschversuchen benutzen kann. — Fig. 3a gibt das geschlossene Ventil,

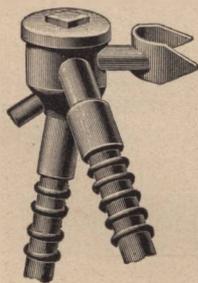


Fig. 3a.

Lössches Atmungs-
ventil geschlossen.

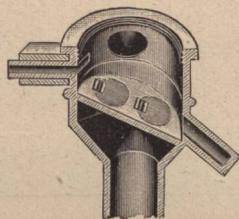


Fig. 3b.

Lössches Atmungs-
ventil im Durchschnitt.

Fig. 3a gibt das geschlossene Ventil, 3b den Durchschnitt des Ventiles wieder. Atmet man ein, so heben sich die aus dünnen Gummiplättchen bestehenden beiden schräg liegenden Klappen und lassen Luft von außen eintreten, atmet man aus, so werden sie an die Unterlagen angepreßt, und die Atemluft muß ihren Weg durch die in der Seiten- wand liegende Klappe nehmen, um von ihr aus durch einen Verbindungsschlauch in die Gasuhr zu gelangen.

Die auf Fig. 2 abgebildete Uhr stellt eine sog. feuchte Gasuhr dar, deren Bau ganz dem der Leuchtgasmesser entspricht.

Sie wird von vorn nach hinten von einer sehr leicht beweglichen Achse durchsetzt, die an der Mitte der Hinterwand nach außen tritt. Auf dieser Achse befindet sich eine Anzahl Flügel, durch die das Innere in verschiedene Kammern geteilt wird. Die untere Hälfte der Uhr ist mit Wasser gefüllt, so daß die eine Hälfte der Flügel unter Wasser taucht, die andere sich über Wasser befindet. Die in die Gasuhr eintretende Expirationsluft setzt die Flügel und damit die Achse in Bewegung; diese Bewegung wird mittels eines Räderwerkes auf eine Anzahl von Zeigern über- tragen, die sich vor Zifferblättern befinden, an denen man die Menge der durchgegangenen Luft direkt abliest. Die Expirationsluft tritt aus der Gasuhr wieder aus durch ein hinter dem Ziffer- blatt befindliches, auf der Abbildung nicht sichtbares Rohr.

Da die expirierte Luft, wie alle Gase, in ihrem Volumen von dem herrschenden Baro- meterdruck und der Temperatur abhängig ist, so muß man, um die Ergebnisse vergleichbar zu machen, alle Messungen auf denselben Druck und dieselbe Temperatur bringen. Man hat sich gewöhnt, die Gasvolumina auf 0° und 760 mm Barometerdruck zu reduzieren. Dieser Reduktion dient das links an der Gasuhr herablaufende graduierte Glasrohr und das mit ihm durch einen Schlauch verbundene zweite Rohr.

Ersteres setzt sich nach oben in eine Kapsel fort, die sich in der Erweiterung des die Expirationsluft zur Gasuhr führenden Rohres *E* befindet. Das Rohr, das die Expirationsluft aus der Gasuhr austreten läßt, trägt in sich eine zweite gleichartige Kapsel. Beide Kapseln sind durch ein enges Rohr miteinander verbunden. Füllt man in das graduierte und in das mit

ihm verbundene bewegliche Rohr Wasser ein, so hat man ein Luftquantum in den Kapseln abgesperrt, dessen Volum sich mit den Schwankungen des Barometerstandes und der Temperatur der die Gasuhr passierenden Luft in regelmäßiger Weise verändert. Man hat also ein Thermobarometer. — Der Inhalt der Kapseln und des sie verbindenden Rohres, sowie des obersten Teiles des graduierten Glasrohres bis zu dessen Nullpunkt beträgt gerade 100 cem bei 0°, 760 mm Druck und Trockenheit. Sperrt man diese Luftmenge ab, so ist es durch eine einfache Proportion möglich, jedes die Gasuhr passierende Luftquantum auf 0°, 760 mm Druck und Trockenheit zu reduzieren. Lese ich z. B. an Thermobarometer 106.5 ab und sind nach Angabe der Gasuhr 5 l Atemluft in der Minute durch die Gasuhr gegangen, so geschieht deren Reduktion nach der Gleichung $\frac{100}{106.5} = \frac{x}{5}$, also $x = 4.7$ l.

An der Gasuhr sind oben zwei Räder und unten ein Rad sichtbar, über die eine Schnur läuft; die Schnur trägt ein gekrümmtes Röhrechen, das durch einen Gummischlauch mit dem dritten Teil des Apparates, dem Analysenapparat, verbunden ist. Die Schnur verläuft über die Gasuhr weg nach hinten wieder über zwei Räder und dann über eine Schnurscheibe, die der hinten hervorragenden Fortsetzung der Achse aufgesetzt ist. Die Bedeutung dieser Einrichtung, die der automatischen Sammlung einer genauen Durchschnittsprobe der Expirationsluft dient, wird später erörtert werden.

Rechts von der Gasuhr befindet sich der dritte Teil des Apparates, der der Analyse — der Bestimmung des Kohlensäure- und Sauerstoffgehaltes der expirierten Luft — dient. Die Analyse ist eine sog. volumetrische. Man bestimmt zunächst das Volumen der gesammelten Durchschnittsprobe, läßt die Kohlensäure in gleich zu beschreibender Art absorbieren, bestimmt dann die Menge des verbleibenden Restgases. Man entfernt dann auch den Sauerstoff durch geeignete Absorption und mißt den nun verbleibenden Gasrest, der aus reinem Stickstoff (eingerechnet die geringe Menge von Argon) besteht.

Der Analysenapparat besteht danach aus sieben graduierten Meßröhren, sog. Meßbüretten, und aus den der Absorption der Kohlensäure und des Sauerstoffes dienenden Teilen, den sog. Absorptionspipetten.

Die Meßbüretten stehen in einer großen, mit Wasser gefüllten Wanne. Das Gasvolumen in ihnen erfährt keine erheblichen durch den Wechsel der Außentemperatur bedingten Schwankungen, und alle Gase haben die gleiche Temperatur wie das Wasser.

Die beiden äußersten Röhren dienen der Aufsammlung und Messung je einer Durchschnittsprobe der Expirationsluft; die beiden folgenden sind zur Messung der von Kohlensäure befreiten Luft bestimmt, die beiden nächsten zur Messung der von Sauerstoff befreiten. Das siebente, in der Mitte befindliche Rohr stellt wiederum ein Thermobarometer dar. Es enthält eine abgeschlossene Luftmasse, deren Volumen sich bei allen Änderungen des Luftdruckes und der Temperatur ändert und diese Änderungen anzeigt. Da die Luft in ihm sich unter denselben Bedingungen befindet wie die zu analysierenden Gase in den anderen Büretten, so gibt ihr Verhalten über alle thermobarometrischen Veränderungen dieser Aufschluß und ermöglicht, sie durch Rechnung auszugleichen.

Man kann nun entweder zu gleicher Zeit zwei Gasproben auffangen und analysieren und hat damit einen guten Anhalt für die Exaktheit der Bestimmungen, oder man sammelt zuerst eine Probe in der einen seitlichen Bürette, dann ohne Unterbrechung eine in der zweiten, dann eine dritte in der ersten, die unterdes von der ersten Gasprobe freigemacht wurde usf.; man kann also eine große Reihe von Bestimmungen hintereinander vornehmen und somit die Untersuchung des Gaswechsels über mehrere Stunden ausdehnen.

Die oberen Enden der beiden zu äußerst in der Wanne befindlichen Sammelröhren stehen durch ein enges Rohr in Verbindung mit dem Rohrstutzen, der die Atemluft in die Gasuhr eintreten läßt.

Wie man weiter sieht, durchsetzen alle Röhren mit ihrem unteren Ende den Boden der Wanne und stehen mit einem U-förmigen Gefäße, einem sog. Niveaurohr, in Verbindung. Hebt man dieses, nachdem man es mit Wasser gefüllt hat, so kann man alle Röhren mit Wasser füllen und die Luft aus ihnen verdrängen, senkt man es, so sinkt der Wasserspiegel in ihnen

und Luft tritt ein. Außerdem aber stehen sie mit dem schon erwähnten gekrümmten Röhrechen in Verbindung, das sich an dem an der Gasuhr befindlichen Schnurlauf befindet. Diese Verbindung bewirkt die automatische Sammlung einer genauen Durchschnittsprobe der Expirationsluft in folgender Weise:

Sobald durch Hineinatmen in die Gasuhr die Achse sich zu drehen beginnt, drehen sich auch die ihrem hinten herausragenden Ende aufgesetzten Schnurscheiben und der über sie gelegte, in sich geschlossene Schnurlauf fängt an sich zu bewegen. Dabei steigt der rechte Schenkel des auf der Figur sichtbaren Schnurstückes nach abwärts, der linke nach aufwärts. Die Drehung des Schnurlaufes geschieht vollkommen proportional der Größe des einzelnen Atemzuges, je größer dieser, um so erheblicher die Bewegung der Schnur. — Derjenige Schenkel der Schnur, der sich nach abwärts bewegt, trägt das schon besprochene gekrümmte Röhrechen, das wir Auslaufrohr nennen wollen. Es ist so hoch angebracht, daß seine Öffnung sich in der Höhe des Nullpunktes der Meßbüretten in der Wanne befindet. Sobald die Schnur sich bewegt, sinkt das Auslaufrohr ein Stück nach unten, um so weniger, je weniger die Schnur sich dreht, und umgekehrt. Es sinkt allmählich tiefer und tiefer, bis es in der Höhe des unteren Endes der Büretten angelangt ist.

Im Beginn eines Versuches sind alle Büretten, das diese mit dem Auslaufrohr verbindende Schlauchstück und das Auslaufrohr selbst mit schwach angesäuertem Wasser gefüllt. Sinkt nun das Auslaufrohr herab, so läuft das Wasser aus ihm aus, der Wasserspiegel in den mit ihm kommunizierenden beiden Büretten sinkt gleichfalls und durch das enge Rohr, das die Büretten oben mit der Gasuhr verbindet, wird Atemluft aus der Gasuhr eingesaugt. Es wird um so mehr bei jedem Atemzuge einströmen, je größer dieser ist, denn um so mehr sinkt ja dann das Auslaufrohr, um so weniger, je kleiner dieser. Die Entnahme der Probe geschieht also vollkommen proportional der Größe der Atemzüge und ganz automatisch. Die gewonnene Gasprobe stellt daher eine genaue Durchschnittsprobe dar. Ist das Auslaufrohr nach unten gesunken, so sind die Sammelröhren mit Expirationsluft gefüllt.

Wir müssen nun noch die Absorptionspipetten betrachten: Sie sind oberhalb der Wanne angeordnet, derart, daß jederseits eine mit der äußeren und mittleren, eine zweite mit der mittleren und inneren Bürette verbunden ist. — Sie bestehen aus zwei ineinander gesteckten Zylindern, deren äußerer unten geschlossen und oben offen ist, deren innerer unten offen, oben geschlossen ist und sich hier in ein kapillares Rohr fortsetzt, das die Verbindung zu den Meßbüretten herstellt.

Die beiden äußeren der Absorption der Kohlensäure dienenden Pipetten sind mit starker Kalilauge gefüllt, die beiden inneren enthalten kleine Phosphorstangen und destilliertes Wasser. In ihnen wird der Sauerstoff festgehalten.

Der Gang der Analyse ist sehr einfach. Nachdem die äußeren Meßbüretten sich mit der Atemgasprobe gefüllt haben, werden durch die in der Figur sichtbaren Quetschhähne ihre Verbindungen mit dem Auslaufrohr und mit der Gasuhr zugesperrt. Dagegen öffnet man einen Quetschhahn, der ihre Verbindung mit dem U-förmigen Niveaurohr bisher verschloß. Man bringt jetzt das Flüssigkeitsniveau in dem Niveaurohr in die gleiche Höhe mit dem in der Bürette und liest die Gasmenge an der Teilung des Rohres ab. Öffnet man nun den Quetschhahn, der zwischen Meßbürette und Kalipipette liegt, so kann man durch Heben des Niveaurohres der Gasprobe in die Pipette hineintreiben. Die Absorption der Kohlensäure geht hier sehr schnell vor sich. Schon nach einer Minute kann man unter Senken des Niveaurohres und Öffnen des oberen Quetschhahnes, der sich zwischen Kalipipette und mittleren Meßbürette befindet, das Gas in diese letztere hineinsaugen. Man liest nun wiederum, indem man die Flüssigkeitsniveaus in der Bürette und im Niveaurohr in gleiche Ebene bringt, das Volumen des Gases an der Teilung ab. Die Differenz gegen das frühere Volumen ergibt unter gleichzeitiger Berücksichtigung etwaiger thermobarometrischer Änderungen die Menge der absorbierten Kohlensäure.

In gleicher Weise verfährt man nun weiter. Man treibt, wieder durch Heben des Niveaurohres, das Gas in die Phosphorpipette, saugt es nach Beendigung der Sauerstoffabsorption, die je nach der Temperatur 5—15 Minuten dauert, in die dritte Bürette und liest wieder die Gasmenge ab. Die Differenz ergibt die Menge des absorbierten Sauerstoffes.

Da wir wissen, wieviel Kohlensäure und wieviel Sauerstoff die eingeatmete Luft enthält, können wir ohne weiteres den Zuwachs, den sie an Kohlensäure, und den Verlust, den sie an Sauerstoff durch die Atmung erfahren hat, berechnen.

Wegen der Einzelheiten der Berechnung, insbesondere der des Sauerstoffverbrauches, verweisen wir auf die Tabellen der Respirationsversuche im Anhange.

Der bisher beschriebene Apparat stellt die ursprüngliche Form dar, die auch heute noch überall da, wo der Apparat stabil aufgestellt werden kann, in Laboratorien, Krankenhäusern usw., am meisten zu empfehlen ist. Alle anderen Apparate, mögen sie auch noch so sehr äußerlich von ihm differieren, sind doch nur Modifikationen desselben.

Ein transportabler Apparat. Wir wollen kurz die Form des Apparates beschreiben, dessen wir uns auf unserer Reise bedienen. Sowohl die Gasuhr, wie der Analysenapparat zeigen Besonderheiten.

Für die Ruheversuche in Brienz und vielleicht auch noch auf dem Briener Rothorn hätten wir im Notfalle den vorstehend beschriebenen Apparat benutzen können. Für die Monte Rosa-Spitze konnte er nicht in Betracht kommen, und für unsere Marschversuche konnten wir ihn auch nicht benutzen.

Wir ließen deshalb die große Gasuhr in Berlin und nahmen dafür zwei transportable, kleine sog. trockene Gasmesser mit auf die Reise.

Sie sind in Fig. 4 bis 6 wiedergegeben. Die trockene Gasuhr stellt einen sechsseitigen Kasten aus Eisenblech dar. Ihr Inneres enthält leicht bewegliche Lederbälge, die durch die eintretende Luft entfaltet werden. Ihre Bewegung überträgt sich auf eine senkrecht stehende Achse, deren Ende an der oberen Fläche der Gasuhr herausragt und hier ein Zählrädchen trägt (Fig. 5). Die Achse steht mit einem Räderwerk in Beziehung, das mehrere Zeiger in Bewegung setzt. Sie lassen die Menge der durch die Uhr hindurchtretenden Luft an den Zifferblättern, die oben an der Gasuhr angebracht sind, ablesen.

Die Uhr trägt ferner zwei Thermometer, eines, das die Temperatur der eintretenden, das andere, das die der austretenden Luft anzeigt. Sie wiegt nur wenige Kilo, kann bequem auf dem Rücken getragen werden und ist zu diesem Zwecke mit Riemen versehen, die über die Schultern gelegt werden können. Mehr als diese direkte Befestigung auf dem Rücken empfiehlt sich die Aufstellung des Gasmessers auf einem Holzgestelle, einem „Kraxen“, wie die Gebirgs-

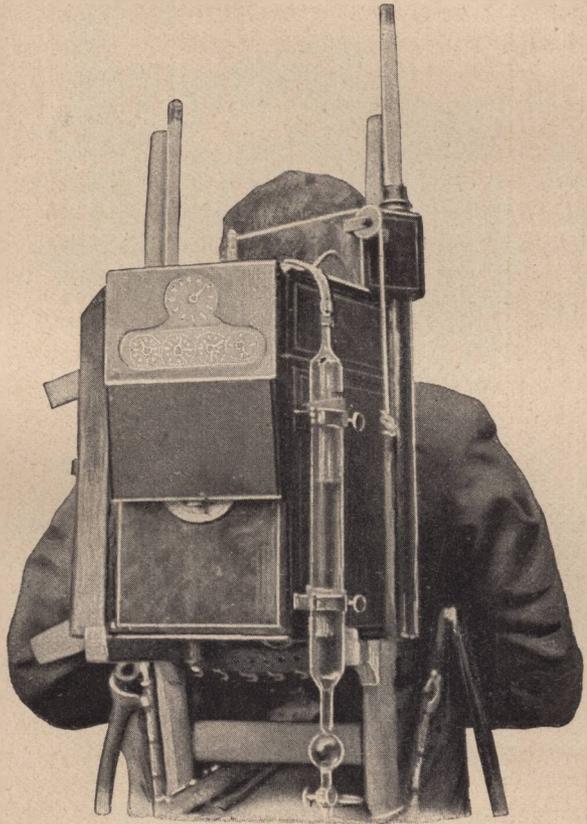


Fig. 4.

Trockene Gasuhr mit Gassammelrohr.

bewohner ihn nennen, der dann mit Riemen auf den Rücken geschnallt wird. — Diese Einrichtung zeigt die Figur 6 und sie läßt auch ersehen, wie unter Verschuß der Nase die Ausatemungsluft in die Gasuhr hineingeblasen wird.

An der rechten Seite ist die Glasröhre befestigt, welche die zur Analyse bestimmte Probe der Atemluft aufnehmen soll. Sie steht oben durch ein Stückchen dickwandigen Gummischlauches mit einem Röhrchen in Verbindung, das die Atemluft aus dem Innern der Uhr in sie übertreten

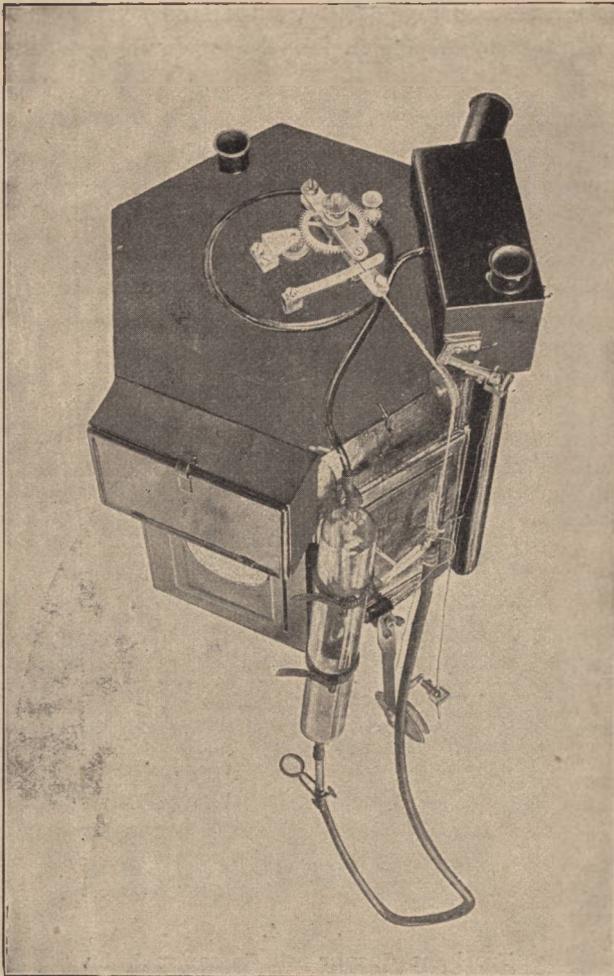


Fig. 5.

Gasuhr, Ansicht von oben.

läßt; unten trägt sie einen längeren Gummischlauch, dessen anderes Ende zu einem gekrümmten Auslaufrohr führt. Dieses ist, wie die Figur 5 zeigt, mittels einer Schnur an einem Röllchen befestigt, das oben auf der Gasuhr auf einem beweglichen Hebel sitzt. Auch dieser trägt ein kleines Zahnrad. — Vor Beginn des Versuches sind Sammelrohr, Schlauch und Auslaufrohr mit angesäuertem Wasser gefüllt. Soll die Probeentnahme der Expirationsluft beginnen, so wird der bewegliche Hebel so gedreht, daß beide Zahnräder ineinander greifen; das Röllchen beginnt sich zu drehen, die Schnur wickelt sich ab. Das Auslaufrohr sinkt, das Wasser fließt aus ihm ab und der Wasserspiegel im Sammelrohr fällt, so daß Atemluft in dieses hineingesaugt wird. Da die Drehung der Achse proportional der Größe der Atemzüge erfolgt, ist die bei jedem Atemzuge gesammelte Probe ein stets gleicher Anteil der Atemluft, die gesamte Probe also ein genauer Durchschnitt der expirierten Gasmenge.

Sollte ein Ruheversuch gemacht werden, so wurde die Gasuhr einfach an die Lagerstelle des zu Untersuchenden gebracht, gewöhnlich an das Bett des Betreffenden, da die Versuche, wenn nicht besondere Umstände etwas anderes ver-

langten, frühmorgens vor dem Aufstehen angestellt wurden. Das Versuchsindividuum bekam das Mundstück in den Mund, seine Nase wurde verschlossen und die Atmung in die Gasuhr begann. Wenn sie gleichmäßig geworden war, drehte man den Hebel, so daß die Zahnräder ineinander griffen. Die Schnur wickelte sich ab und die Aufsammlung der Atemprobe nahm ihren Anfang.

Während des Marschierens ist eine genaue Ablesung der Zeiger kaum möglich, da die Gasuhr die Schwankungen des Körpers beim Gehen mitmacht.

Man muß also die erste Ablesung an den Zifferblättern vor dem Beginn des Marschierens ausführen, die zweite Ablesung nach Beendigung des Marsches. Nun darf aber die Entnahme der Gasprobe, also die Senkung des Schnurlaufes, erst erfolgen, nachdem bereits einige Minuten marschiert ist und die Atmung eine gleichmäßige, der Marscharbeit zukommende Größe erreicht hat. Auch muß die Atmung in die Gasuhr mit dem Moment der Beendigung des Marsches sistieren. Das ist dadurch ermöglicht, daß in dem Schlauch, der die Atemluft vom Munde zur Gasuhr führt, ein sogenannter Cloverscher Hahn, wie ihn die Zahnärzte zur Stickoxydulnarkose benutzen, eingeschaltet ist. Er ist auf Figur 6 abgebildet. Er besitzt eine Öffnung, durch die die Atemluft zunächst ins Freie entweicht; erst in dem Moment, in dem die Probenahme beginnen soll, schließt ihn der Marschierende, so daß nun die Atemluft durch die Gasuhr gehen muß. In dem Augenblick, in dem der Marsch beendet ist, wird er wieder geöffnet.

Nach Schluß des Versuches wird das Gassammelrohr von der Gasuhr entfernt, sein oberes Ende durch einen Quetschhahn oder durch ein Glasstäbchen verschlossen. An das untere Ende, von dem der Schlauch mit dem Auslaufrohr abgenommen wird, wird ein anderer Schlauch, der mit einem größeren kugeligen Behälter verbunden ist, angesetzt. Dieser Schlauch und die Kugel sind natürlich auch mit Wasser gefüllt.

Das so vorbereitete Sammelrohr bringt man nun an die Analysenwanne (Abbildung auf S. 159) und fügt es da an, wo sonst die obere Verbindung zur Gasuhr war. Anstatt aus der Gasuhr tritt nun das Atemgas aus dem Sammelrohre in die äußeren Büretten über, wenn man das an der Wanne befindliche Niveauröhr senkt und die Kugel, mit der das Sammelrohr zuvor verbunden wurde, hebt. Ist das Atemgas in die Bürette hineingebracht, so wird es so, wie zuvor beschrieben, analysiert.

Nach Brienz konnten wir unseren Analysenapparat mit Wasserwanne mitnehmen, auf dem Briener Rothorn dagegen und auf der Monte Rosa-Spitze mußten wir uns anders behelfen. Wir sahen von dem Wassergefäß ganz ab, stellten sieben Meßbüretten und vier Absorptionspipetten genau so zusammen, wie sie an der Wanne angeordnet sind, und befestigten diesen Analysenapparat an der Wand des Zimmers. Das Gas in den Büretten war nun allerdings den Temperaturschwan-



Fig. 6. Bereit zum Marschversuch.

kungen des Raumes frei ausgesetzt. Das zeigte sich bald sehr störend, denn es traten erhebliche Schwankungen der Gasvolumina ein und es dauerte lange, bis sie die Zimmertemperatur angenommen hatten. Wir brauchten für drei Analysen so viel Zeit wie sonst für zehn und mußten sehr vorsichtig arbeiten, um nicht durch die Wärmeausstrahlung unseres Körpers und speziell durch den unserem Munde entströmenden warmen Atem die Büretten zu erwärmen und so fehlerhafte Messungen zu erhalten.

Eine eigentümliche Schwierigkeit bot die Sauerstoffabsorption im Phosphor. Es wurde schon erwähnt, daß sie von der Temperatur abhängig ist. Unterhalb 14° geht sie nicht mehr vollkommen vor sich. Im Analysenzimmer mußte also eine Temperatur über 14° herrschen. In kleineren Berghotels und in Hütten sind nicht alle Zimmer heizbar. Auf dem Briener Rothorn fanden wir wenigstens ein heizbares, das wir als Laboratorium benutzten; auf dem Col d'Olen-Wirtshaus konnten wir nur ein Zimmer benutzen, das indirekt geheizt wurde. Es lief nämlich der Rauchfang eines kleinen eisernen Ofens, der ein Stockwerk tiefer aufgestellt war, durch dieses Zimmer hindurch und vermochte es, wenn unten kräftig geheizt wurde, genügend zu erwärmen. In der Margherita-Hütte mußten wir unseren Wand-Analysenapparat in dem Raume aufhängen, der als Wohnraum, Speiseraum, Küche zugleich diente und nun auch zum Laboratorium wurde.

Der Raum führte direkt ins Freie. Wurde die Tür geöffnet, so drang ein Strom eisiger Luft hinein, der eine gewaltige Temperaturänderung und damit eine entsprechende Volumschwankung der Gase in den der Tür gegenüber aufgehängten Büretten hervorrief. Hier war alle Aufmerksamkeit erforderlich, um nicht Analysefehler zu begehen, die den Versuchen allen Wert rauben konnten. Später wurde uns von dem oben anwesenden Prof. Sella aus Rom ein kleiner Ofen überlassen, der sein meteorologisches Observatorium zu heizen bestimmt war. Dank dieser Liebenswürdigkeit, die man erst ermessen kann, wenn man erwägt, daß die nicht geheizten Räume der Hütte eine Temperatur dicht an Null oder unter Null Grad hatten, konnten wir ein zweites Zimmerchen, das sonst den Hüttenkustoden zum Aufenthalt diente, erwärmen und unseren Analysenapparat in dieses bringen. Es war Temperaturschwankungen weit weniger ausgesetzt.

Im Jahre 1903 benutzten Durig und Zuntz in der Margherita-Hütte einen neuen, von Durig konstruierten Apparat, der alle diese Mängel vermeidet. Er besitzt ebenso wie unser zuerst beschriebener Apparat einen Wassermantel und ist dabei gut transportabel. — Da es sich um einen Apparat handelt, der bestimmt erscheint, alle bis jetzt benutzten zu verdrängen und allen späteren Untersuchern ausgezeichnete Dienste zu leisten, wollen wir ihn hier abbilden und beschreiben.

Zwei Gasbüretten und das Thermobarometer *B* sind in einen $8\frac{3}{4}$ cm weiten und 110 cm hohen Glaszylinder eingesenkt und kommunizieren durch ein gegabeltes Glasrohr miteinander und mit dem Niveauröhr *N*. — Die links stehende Gasbürette dient zur Ablesung des Volumens der Expirationsluft und des nach Absorption der Kohlensäure in der Pipette *K* verbleibenden Gasrestes. Der aus Stickstoff und Sauerstoff bestehende Gasrest wird in die Phosphorpipette *P* und dann zur Ablesung des restierenden Stickstoffes in die rechte Gasbürette übergeführt, von hier ins Freie entlassen. Alle Glasteile sind, wie die Zeichnung zeigt, an einer in den Tisch eingeschraubten und mit Schnüren an der Decke versicherten eisernen Stange befestigt. Die Phosphorpipette befindet sich in einem heizbaren mit Wasser gefüllten Metallmantel, der seinerseits einen Flanellmantel

und oben einen zugleich das Licht vom Phosphor abhaltenden Filzdeckel trägt. Aus den an der transportablen Gasuhr mit dem Atemgase gefüllten Sammelröhren *A* wird das Gas mit Hilfe der Fällkugel *F* zur Analyse in die linke Gasbürette hinübergetrieben. Der die Bürette mit *A* verbindende dickwandige Kapillarschlauch ist in Wirklichkeit nur wenige Zentimeter lang. Ebenso ist die Verbindung von *P* mit den Büretten nicht länger als die von *K*.

Der kompendiöse Apparat gestattete ein fast ebenso schnelles Arbeiten wie die im Laboratorium gebräuchliche, von uns in Brienz benutzte Analysenwanne (Fig. 2).

Die vorstehenden Schilderungen geben ein Bild davon, wie es gelungen ist, auch unter den schwierigen Verhältnissen des Hochgebirges mit Erfolg den Gaswechsel des Menschen zu untersuchen.

Wir müssen noch mit wenigen Worten auf unsere Arbeitsversuche zurückkommen. — Um die Größe des Stoffumsatzes, den die Arbeit beansprucht, beurteilen zu können, muß die Arbeitsleistung genau bekannt sein. Wir müssen also Mittel haben, um sie festzustellen.

Die Arbeit, die wir während unserer Expedition leisteten, war Marschierarbeit, und zwar marschierten wir entweder auf horizontalem, oder auf schräg ansteigendem, oder auf schräg abfallendem Wege. Die Prinzipien dieser Arbeitsmessung sind schon im Kapitel III besprochen. Man muß das Gewicht des marschierenden Menschen kennen, die Länge des Weges, den er zurücklegt, und, wenn es sich um Bergauf- oder -abgehen handelt, die erstiegene Höhe bzw. den vollzogenen Abstieg in Metern.

Unser Gewicht bestimmten wir mittels zu diesem Zweck direkt beschaffter

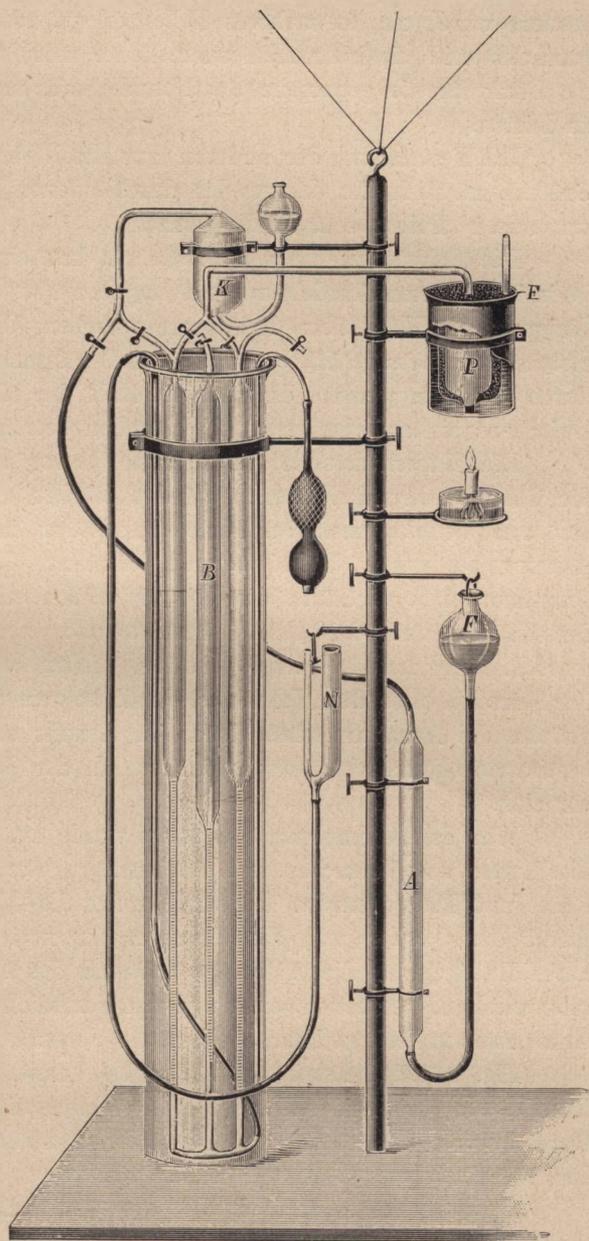


Fig. 7. Neuer Gasanalysenapparat nach Durig.

sehr genauer Wagen. Die eine war eine Schalenwage, die die Wägung von Menschen bis auf 1 g genau gestattete, die zweite eine gute Dezimalwage. Erstere benutzten wir in Brienz, letztere auf dem Briener Rothorn und auf der Gnifettispitze. Auf letztere wurde sie, in mehrere Teile zerlegt, auf dem Rücken von Trägern hinaufgeschafft und sie schmückt auch heute noch die Hütte. Wir ließen sie dort als Dank für die genossene Gastfreundschaft, um späteren Forschern einen Dienst zu leisten.

Die Feststellung der anderen, zur Ermittlung der Arbeitsleistung notwendigen Größen, nämlich der Länge des durchlaufenen Weges und der erstiegenen Höhe, war uns in Brienz sehr leicht gemacht.

Die Bahntrace, die wir benutzten, hat eine ausgezeichnete Markierung. Sie ist in ihrer ganzen Ausdehnung mit Angaben über die Länge des Weges, den Grad der Steigung, die Höhe über dem Meere versehen. Die Steigung ist eine fast durchweg gleiche und beträgt 25%. Kleinere Wegstrecken konnten hinreichend exakt dadurch gemessen werden, daß man die Zahl der überschrittenen Schwellen zählt. Der Zwischenraum zwischen je zwei Schwellen beträgt stets 90 cm.

Die Marschversuche gingen nun so vor sich, daß die Versuchsperson den die Gasuhr tragenden Kraxen auf den Rücken nahm, die Nase wurde zugeklemmt, das am Ventilapparat befestigte Mundstück in den Mund genommen und die Atmung begonnen. Dabei war der erwähnte Cloversche Hahn offen, so daß die Ausatemluft nicht in die Gasuhr drang. Eine zweite Person las den Stand der Gasuhr und der beiden Thermometer ab. — Nun folgte der sog. Vormarsch. Er dauerte einige Minuten. Dann schloß auf ein bestimmtes Zeichen der Marschierende den Hahn und damit begann der eigentliche Versuch, denn jetzt strömte die Ausatemluft durch die Gasuhr und die Sammlung der zur Analyse bestimmten Durchschnittsprobe in dem an der Gasuhr befestigten Sammelrohr ging vor sich. —

War das Sammelrohr gefüllt, so wurde auf ein zweites Zeichen des Begleiters der hinter der Versuchsperson hergegangen war, der Cloversche Hahn wieder geöffnet und Halt gemacht. Es wurde sofort die Dauer des Marsches, der nunmehrige Stand der Gasuhr und der Thermometer notiert. — Die Versuchsperson selbst hatte die Aufgabe, die Atemzüge während des Marsches zu zählen. Das Sammelrohr wurde abgenommen, oben und unten luftdicht verschlossen und nach Befestigung eines zweiten Rohres konnte ein neuer Versuch beginnen.

Fig. 6 zeigt Loewy zum Marsch bereit. Eine weitere Erläuterung ihrer Einzelheiten erübrigt sich hier wohl. Hingewiesen sei nur auf den eigenartigen Kopfschmuck. Es ist das ein noch öfter zu erwähnender Helm, der das zur Messung der Windbewegung bestimmte Anemometer trägt.

Noch bequemer war es, bei den Kontrollversuchen in Berlin den Energieaufwand festzustellen, den das Aufwärtssteigen erforderte. Wir bedienten uns hier eines besonderen, für gleiche Zwecke, wie wir sie verfolgten, eigens gebauten Apparates, einer sog. Tretbahn. Sie ist seinerzeit beim Zuntzschens Laboratorium aufgestellt worden, um den Verbrauch, den horizontal oder auf geneigter Bahn — sei es aufwärts, sei es abwärts — gehende Pferde haben, genau zu ermitteln.

Die Tretbahn ist auf Figur 8 in Seitenansicht abgebildet.*) Auf einem starken Holzgestell bewegt sich eine aus einzelnen Gliedern bestehende in sich geschlossene Bahn, eine sog. „Bahn ohne Ende“, mittels kleiner Räder auf einem Schienenpaare. Die einzelnen Glieder bestehen aus starken Bohlen. Die Bahn bewegt sich vom Vorderende des Tretwerkes zum hinteren. Hat ein Glied sich bis zum hinteren Ende der Bahn bewegt, so schlägt es nach unten um und wird unterhalb der Bahn wieder nach vorn geführt. Dort wird es mit Hilfe eines Zahnrades *E* wieder nach oben gehoben.

Das Gestell, auf dem die Bahn sich bewegt, ruht auf zwei Unterstützungspunkten. Vorn liegt es mit einer Querachse in einer Art Mulde *O*, in einem etwas vertieften Ausschnitte, in dem die ganze Bahn drehbar ist. Hinten wird das Gestell von einer mit Zahnrädern versehenen Stahlachse *H* gehalten, die in zwei senkrecht stehende Zahnstangen *I* eingreift, die ihrerseits an Pfosten *G* befestigt sind. Die Stahlachse kann mittels eines langen eisernen Hebels an der Zahnradstange hoch und niedrig eingestellt werden und so die Bahn horizontal gestellt oder in verschiedenem Grade aufwärts oder abwärts geneigt werden. Es ist also horizontaler Gang, Bergaufsteigen und Bergabgehen möglich.

Die Tretbahn ist noch mit einigen Nebenvorrichtungen versehen. — Die Achse des erwähnten Zahnrades *E* trägt jederseits eine große Scheibe; die eine nimmt den von der Dampf-

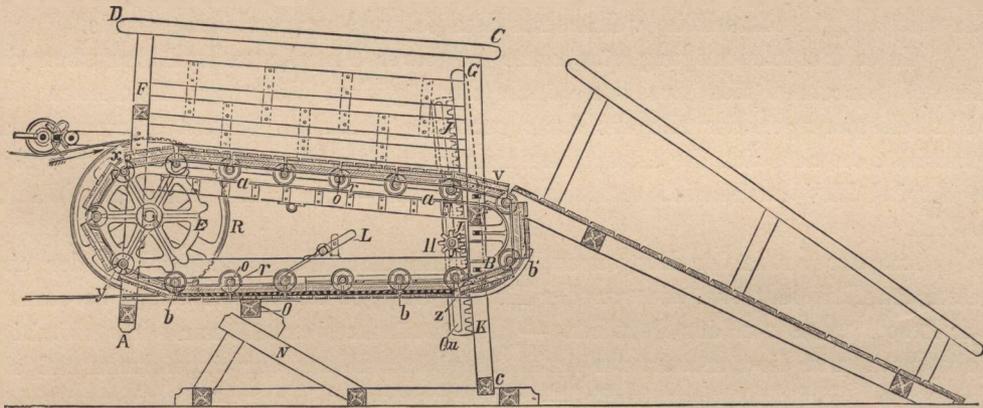


Fig 8. Unsere Tretbahn.

maschine kommenden Riemen auf, der die Tretbahn in Bewegung setzt, die zweite dient der Bremsung der Bahn. Über sie läuft ein Stahlband, dessen eines Ende oben am Gestell befestigt ist, dessen anderes frei endet und eine Schale trägt, die entsprechend der gewünschten Bremsung mit Gewichten belastet werden kann. Neben der Bremscheibe befindet sich auf der Achse noch ein Tourenzähler. Er gibt die Zahl der Umdrehungen des Rades *E* an, woraus sich der von der Bahn zurückgelegte Weg berechnen läßt.

Der Marschierende steht auf der Bahn, die, wie erwähnt, sich von vorn nach hinten bewegt. Er ist sonach gezwungen, wenn er an Ort und Stelle bleiben will, vorwärts zu gehen und zwar gerade so viel, wie die Bahn sich nach rückwärts bewegt.

Um die während des Marsches auf geneigter Bahn erstiegene Höhe zu messen, muß man neben der durchmessenen Wegstrecke genau den Winkel kennen, den die Bahn mit der Horizontalen bildet. Dann ist die Höhe nach einfachen trigono-

*) Die Tretbahn ist zuerst beschrieben bei N. Zuntz, C. Lehmann, O. Hagemann: „Untersuchungen über den Stoffwechsel des Pferdes“. Landwirtschaftl. Jahrbücher. XVIII. 1889.

metrischen Gesetzen zu berechnen. (Sie ist gleich dem Sinus dieses Winkels multipliziert mit der durchschrittenen Wegstrecke.) Der Neigungswinkel wurde mittels eines genauen Nivellierinstrumentes in jedem Versuche ermittelt.

Die Beschreibung der Technik, die uns zur Messung des Gaswechsels dienen sollte, mußte etwas breiter und umständlicher gegeben werden, um verständlich zu sein und um zu zeigen, daß wir alle in Betracht kommenden Faktoren in ausreichendem Maße berücksichtigt haben.

Wir können uns nun um so kürzer fassen. — Es ist bei der Besprechung des Versuchsplanes darauf hingewiesen worden, daß wir während der ganzen Dauer unseres Versuches ständig kontrollieren wollten, welche Mengen Flüssigkeit von unserer Haut- und Lungenoberfläche verdampfen und auch in Form von Schweiß von der Haut sezerniert werden. — Diese Kenntnis war notwendig, einerseits zur Beurteilung der Wärmeregulierung, d. h. zur Bestimmung der Wärmemengen, die uns durch Verdampfung entzogen werden, andererseits zur Berechnung der Menge stickstoffhaltigen Materiales, welche mit dem Schweiß ausgeschieden wurde.

Unter Berücksichtigung sämtlicher wägbarer Einnahmen und Ausgaben des Körpers berechnet sich aus den durch die täglichen Wägungen bekannten Gewichtsschwankungen des Körpers der sogenannte insensible Verlust (*Perspiratio insensibilis*), an dem sich die abgegebene Kohlensäure beteiligt, der aber — wie später in Kapitel XIV ausführlich erörtert werden wird — im wesentlichen aus Wasser besteht.

Aus der Größe der Lungenventilation und dem Wasserdampfgehalt der eingeatmeten Luft läßt sich die von der Lunge abgegebene Wassermenge berechnen. Der Rest stammt von der Haut her. — Das Hautsekret enthält nun stickstoffhaltige Substanzen und diese müssen zur Aufstellung einer Bilanz der eingeführten und abgegebenen stickstoffhaltigen Stoffe — der sog. Stickstoffbilanz — bestimmt werden. Diese Bestimmung war, wenn man nicht groben Täuschungen unterliegen wollte, für die Tage mit großen Märschen bergauf, an denen die Schweißabgabe eine bedeutende war, geradezu notwendig. Wir gingen so vor, daß wir den abgesonderten Schweiß in besonderem wollenen Unterzeug auffingen. Dies war zuvor wiederholt mit saurem Wasser ausgewaschen worden, bis die Waschwässer nur noch Spuren von Stickstoff enthielten. Nach dem Tragen wurden sie wiederum wiederholt ausgewaschen und die Menge des jetzt ausgelaugten Stickstoffes ermittelt.

Vor dem Anlegen des Schweißzeuges war der ganze Körper mit warmem Wasser abgewaschen worden; nach dem Versuche wurde eine neue Waschung vorgenommen und auch dieses Waschwasser sowie die benutzten Waschtücher auf ihren Stickstoffgehalt untersucht. Dasselbe geschah mit den Taschentüchern, die wir während des Marsches zur Entfernung des Schweißes von Kopfhaut, Gesicht, Stirn, Nacken benutzten. Auch deren Gehalt an Stickstoff wurde festgestellt. Wir sorgten also in jeder Beziehung dafür, daß kein Tropfen Schweiß verloren ging.

Neben den bisher besprochenen Methoden, die den Stoffwechsel im weitesten Sinne betrafen, haben wir ferner unser Augenmerk auf das Verhalten des Pulses, die Form der Atmung, die Beschaffenheit des Blutes gerichtet.

Es scheint uns zweckmäßig, die dafür benutzten Methoden und Apparate nicht an dieser Stelle, vielmehr in den diesen Funktionen speziell gewidmeten Kapiteln zu beschreiben.

Literatur.

¹⁾ Berthelot: *Chaleur animale*. Paris.

²⁾ W. Cronheim: *Arch. f. Physiolog.* 1902. Supplementbd.

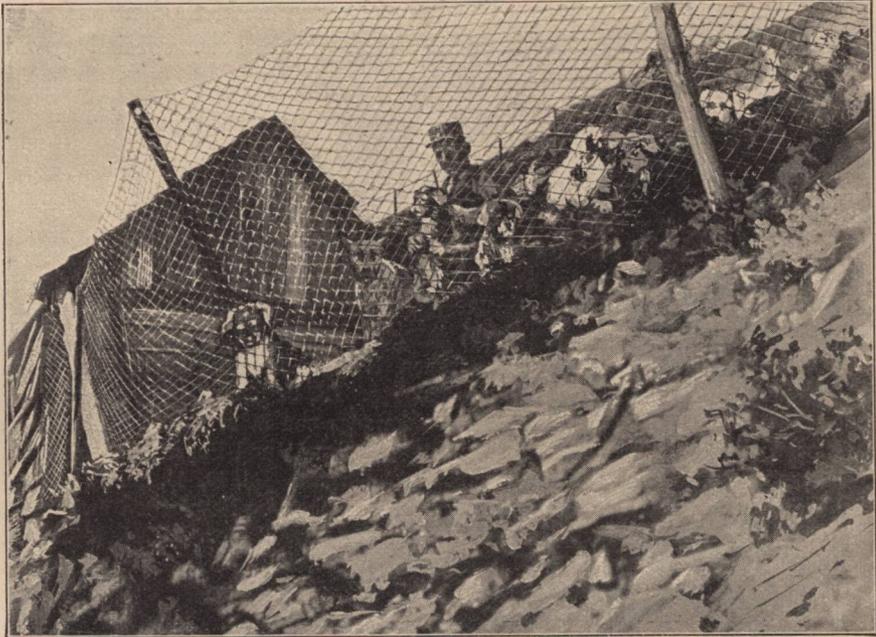
³⁾ J. Geppert und N. Zuntz: „Über die Regulation der Atmung“. *Pflügers Arch. f. die gesamte Physiologie*. Bd. 42. Hier ist das Prinzip des Apparates angegeben. Eine eingehende Beschreibung findet sich bei A. Magnus-Levy: *Pflügers Arch. f. d. gesamte Physiologie*. Bd. 55.

⁴⁾ M. v. Pettenkofer: „Über einen neuen Respirationsapparat“. *Abhandlungen der Mathemat.-physikal. Klasse der Akademie zu München*. IX, 2. 1862.

⁵⁾ Regnault und Reiset: „*Recherches chimiques sur la respiration des animaux des diverses classes*“. Paris 1849. — Auch: *Annalen der Chemie und Pharmazie*. LXXIII. 1850.

⁶⁾ Stohmann und Langbein: *Journ. f. prakt. Chemie*. Bd. 42, 44, 45.

⁷⁾ R. Tigerstedt und Sondén: „*Untersuchungen über die Respiration und den Gesamtstoffwechsel des Menschen*“. *Skandinavisches Archiv für Physiologie*. Bd. VI, 1.



Unsere Hunde am Brienzer Rothorn.

Kapitel VI.

Die Wirkung des Höhenklimas auf das Blut und die blutbildenden Organe.

1. Frühere Versuche.

Eine eingehende Betrachtung der Wirkungen, die das Höhenklima auf das Verhalten des im menschlichen und tierischen Organismus kreisenden Blutes äußert, ist aus mehreren Gründen interessant und bedeutsam.

Zunächst muß daran erinnert werden, daß es die Feststellung von Veränderungen des Blutes war, durch die der erste Nachweis dafür geliefert wurde, daß das Höhenklima einen greifbaren Einfluß auf den tierischen Organismus äußert. Ferner nahmen bisher unter den Untersuchungen, die den physiologischen Wirkungen des Höhenklimas gewidmet waren, gerade die das Blut betreffenden den breitesten Raum ein; endlich sind diese vom allgemein naturwissenschaftlichen Standpunkte aus besonders wichtig, da sie uns einen vortrefflichen und klaren Einblick in Vorgänge geben, auf die der Fortbestand aller Lebewesen angewiesen ist, deren Wirkungen sehr in die Augen fallen, deren Natur jedoch oft sehr dunkel ist, nämlich in die Vorgänge der Anpassung an neue Lebensbedingungen, oder wie man es in unserem speziellen Falle nennt: die Akklimatisation.

Paul Berts Anschauungen. Der berühmte französische Physiologe Paul Bert,²⁾ dessen im Jahre 1878 erschienenes Werk: *La pression barométrique* für

die Erkenntnis der Wirkungen der verdünnten Luft auf den tierischen und pflanzlichen Organismus grundlegend geworden ist, hatte bereits den Gedanken ausgesprochen, daß beim Aufenthalt in verdünnter Luft Veränderungen des Blutes vor sich gehen müssen. Er war zu dieser Idee durch die Tatsache geführt worden, daß in Höhen, welche sich für alle Tieflandbewohner schädlich erweisen und bei diesen mehr oder weniger schwere Krankheitserscheinungen hervorrufen, die im Hochland Geborenen sich gesund und kräftig fühlen. Paul Bert setzte auch schon theoretisch auseinander, worin diese Veränderungen bestehen müßten.

Die Beschwerden, die in großen Höhen einsetzen und die mit dem in den letzten Jahrzehnten ja auch den Laien geläufig gewordenen Namen der Bergkrankheit bezeichnet werden, beruhen nach P. Berts Anschauung auf der mangelhaft werdenden Sauerstoffzufuhr. Wie sich aus dem der Bergkrankheit besonders gewidmeten Kapitel XIX ergeben wird, muß die Anschauung P. Berts trotz allem, was unterdes dagegen vorgebracht und geltend gemacht wurde, auch heute noch im wesentlichen als richtig anerkannt werden.

Der Sauerstoff, dessen unsere Gewebe bedürfen, wird in den Lungen von den Zellen des sie durchströmenden Blutes aufgenommen; der in den Blutzellen enthaltene rote Blutfarbstoff ist es, der den Sauerstoff an sich kettet. Aus den Lungen gelangen die mit Sauerstoff beladenen Zellen ins linke Herz und werden durch dessen Tätigkeit den verschiedenen Provinzen des Körpers zugeführt.

Nun hängt aber die Sauerstoffmenge, die der rote Blutfarbstoff, das Hämoglobin, aufnehmen kann, von der Menge des in den Lungen vorhandenen Sauerstoffes ab. Diese Menge nimmt mit zunehmender Höhe ab, und so nehmen auch die Blutzellen immer weniger auf, bis schließlich eine Grenze kommt, an der die in ihnen enthaltene Menge nicht mehr ausreicht, um den Bedarf, den die einzelnen Organe zur Bestreitung ihrer Verbrennungsprozesse an Sauerstoff haben, zu decken. — Es tritt dann „Sauerstoffmangel“ ein, und dieser führt zu dem Bilde der Bergkrankheit.

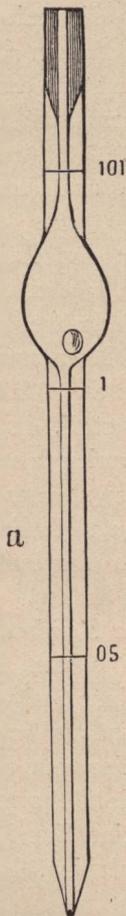
Die genaueren Einzelheiten werden später noch besprochen werden. Das eben Mitgeteilte genügt jedoch, um zu verstehen, daß alles, was zu einer Steigerung des Sauerstoffgehaltes im Blute zu führen vermag, geeignet ist, die Luftverdünnung, den Aufenthalt in der Höhe besser ertragen zu lassen, die Erscheinungen der Bergkrankheit hinauszuschieben, also zu einer Akklimatisation an die Höhe zu führen. Hierher gehört eine Steigerung der Zahl der roten Blutzellen, eine Zunahme ihres Hämoglobingehaltes, auch eine derartige Veränderung des Hämoglobins, daß es imstande ist, mehr Sauerstoff zu binden.

Paul Bert nahm an, daß solche Veränderungen nicht schnell eintreten können, sondern im Laufe von Generationen allmählich durch Anpassung erworben werden. Die weiteren Forschungen zeigten, daß die Grundanschauung Paul Berts vollkommen den wirklichen Vorgängen entsprach, daß aber gar nicht längere Zeiträume für die Akklimatisation erforderlich sind, diese sich vielmehr schon in ganz kurzer Zeit, innerhalb weniger Wochen, ausbildet.

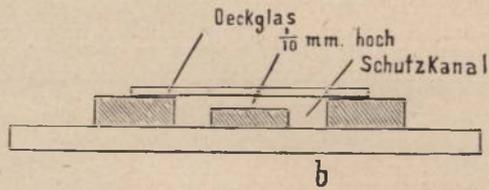
Paul Bert war auch der erste, der experimentelles Beweismaterial für die Richtigkeit seiner Anschauungen beibringen konnte. Er ließ sich Blut von Tieren, die im Hochgebirge heimisch sind, nach Paris senden. Aus La Paz in Bolivia,

3700 m hoch gelegen, erhielt er geeignete Blutmengen vom Hirsch, Schaf, Schwein, Lama, Alpaka, im wesentlichen also von domestizierten Pflanzenfressern, und fand darin wirklich vielmehr Sauerstoff als im Blute der Pflanzenfresser des Tieflandes.

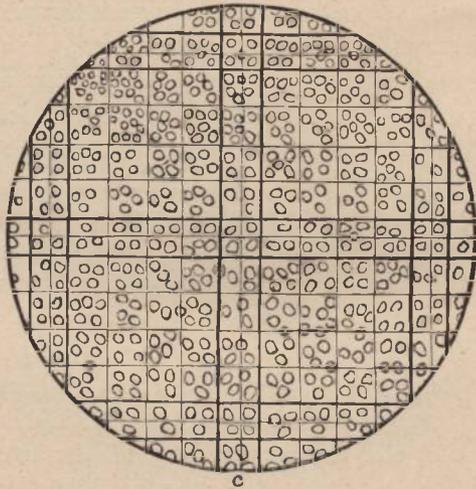
Untersuchungen über die Zahl der Zellen im Kubikmillimeter Blut und über den Gehalt des Blutes an Farbstoff im Höhenklima. Von Paul Bert angeregt, hat dann ein anderer französischer Forscher, Viault,²⁷⁾ auf einer Reise durch die Anden von Peru und Bolivia weitere Untersuchungen ausgeführt.



Mischpipette.



Zählkammer (Durchschnitt)
(vergrößert).



Zähltablette mit Blutkörperchen
bei mikroskopischer Betrachtung
(ca. 400fach vergrößert).

Er nahm Zählungen der Blutzellen vor an eingeborenen oder längere Zeit dort lebenden Tieren und Menschen, aber auch an sich selbst und seinem Begleiter, einem peruanischen Arzte. Er fand, daß die Blutzellenzahl enorm hoch war und daß sie bei ihm und seinem Begleiter in Morococha, 4392 m hoch, $7\frac{1}{2}$ bis 8 Millionen im Kubikmillimeter Blut betrug, während sie drei Wochen zuvor in Lima an der Küste des Stillen Ozeans nur 5 Millionen betragen hatte. — Fünf Millionen roter Blutzellen ist die normale Zahl, die sich bei gesunden Menschen im Tieflande findet.

Dieser Befund Viaults war eine wesentliche Erweiterung dessen, was Paul Bert festgestellt hatte, denn er zeigte die Schnelligkeit, mit welcher die Veränderung vor sich gehen kann.

Die Zählung der Blutzellen geschieht in dem beistehend abgebildeten Apparate, der sog. „Thoma-Zeißschen Zählkammer“. Ein Blutströpfchen wird in die Kapillare der Mischpipette a bis zur Marke 1 aufgesogen, dann eine geeignete Verdünnungsflüssigkeit bis zur Marke 101. Nach gehöriger Durchmischung bringt man von dem so verdünnten Blut ein Tröpfchen auf das mittlere „Tischchen“ der Zählkammer b, bedeckt mit dem Deckglas und zählt unter dem Mikroskope die Zellenzahl, die sich über den einzelnen Quadraten des Tischchens befindet (s. Abbildung c).

Weitere Versuche über die Blutveränderungen im Höhenklima stellte dann Müntz²⁰⁾ an. Er hatte auf dem Pic du Midi in den Pyrenäen (2877 m hoch) im Jahre 1883 Kaninchen ausgesetzt. Im Jahre 1890 untersuchte er deren Nachkommen und fand, daß der Eisengehalt ihres Blutes erheblich höher lag als der der Kaninchen des Tieflandes. Da das Eisen nur an den Farbstoff des Blutes gebunden ist, so weist dies darauf hin, daß die Farbstoffmenge des Blutes vermehrt war.

Die vorstehend mitgeteilten Untersuchungen sind nun der Ausgangspunkt einer sehr großen Zahl weiterer Forschungen geworden, um deren planmäßige Durchführung sich besonders der Baseler Professor der Physiologie, Miescher, verdient gemacht hat. Er veranlaßte eine Reihe seiner Schüler, in verschiedenen Höhenlagen der Schweizer Alpen Blutfarbstoffbestimmungen und Zählungen der Blutkörperchen vorzunehmen. Diesen Arbeiten folgten dann viele weitere in den deutschen Mittelgebirgen, so daß Bestimmungen aus allen Höhenlagen, bis zu 1800 m Höhe, vorliegen.

Es kann nicht unsere Aufgabe sein und würde auch des Interesses ermangeln, hier auf alle diese Untersuchungen einzugehen, zumal, mit vereinzelt Ausnahmen, alle das ergaben, was die vorstehend besprochenen gezeigt hatten, nämlich eine Zunahme der Blutzellenzahl und der Farbstoffmenge in der Höhe. Dabei war gewöhnlich die Zahl der Zellen mehr erhöht als ihr Gehalt an Hämoglobin.

Die Zunahme ist schon nach 24 Stunden deutlich, schreitet während der ersten 2—3 Wochen ziemlich energisch fort, während der nächsten Monate dann langsamer. Manchmal ist in den ersten 24 Stunden eine enorme Zunahme um 600000—800000 Zellen im Kubikmillimeter beobachtet worden; es folgte für einige Tage ein Stillstand, dann ein weiteres kontinuierliches Ansteigen.

Der Umfang der nach längerer Zeit erreichten Zunahme ist individuell verschieden; bei einzelnen Personen beträgt er nur gegen 6%, bei anderen bis gegen 50%, so daß aus 5 Millionen Zellen im Kubikmillimeter bei längerem Aufenthalt in der Höhe 7.5 Millionen werden können. Wer näher in den Gegenstand einzudringen wünscht, sei auf eine sehr umfassende Schrift von H. J. A. van Voornveld¹¹⁾ und eine von Jaquet²⁸⁾ in Basel verwiesen, von denen besonders letztere sich durch kritische Darstellung auszeichnet. Erwähnen möchten wir nur einige neuere Untersuchungen, die von den eben genannten Autoren nicht mit berücksichtigt und nicht leicht auffindbar sind.

Zunächst eine von W. A. Campbell.⁵⁾ Er nahm Zählungen der Blutzellen an Menschen und Kaninchen zunächst am Fuß des Pikes-Peak in 1830 m Höhe vor. Sodann fuhr er mit der Bahn auf dessen Spitze, auf der sich ein berühmtes astronomisches Observatorium in 4314 m Höhe befindet, und hielt sich dort längere Zeit auf. Er fand bei Mensch und Tier eine sofortige, sich aber allmählich steigernde Zunahme der Blutzellenzahl. — Am Pikes-Peak stellte auch George T. Kemp⁶⁾ Untersuchungen an, zunächst in 210 m, dann in 2800 m, zuletzt in 4330 m Höhe. An allen diesen Punkten hielt er sich längere Zeit auf. Auch er fand eine Zunahme der Zellenzahl und des Blutfarbstoffes, jedoch kein Parallelgehen beider.

Demgegenüber konnten Armand-Delille und Mayer⁶⁾ bei Kaninchen und Meerschweinchen, die sie für sieben Wochen in die Walliser Berge brachten, in 2070 m Höhe keine deutliche Wirkung sehen, und von den Tieren, die kurze Zeit in der Höhe weilten, zeigten nur einzelne eine Zunahme der Zellenzahl.

Um einen Einblick in den Zusammenhang von Blutzellenzahl und Höhe zu ermöglichen, wollen wir eine Tabelle wiedergeben, die Meißen aufgestellt hat. — Sie enthält die Mittelzahlen der Blutzellen gesunder Männer, die längere Zeit auf der betreffenden Höhe gelebt hatten, zugleich mit den Namen der einzelnen Untersucher.

Christiania (Laache)	4970000	im Kubikmillimeter Blut
Göttingen 148 m (Schaper)	5225000	„ „ „
Hohenhonnet 236 m (Schröder)	5332000	„ „ „
Tübingen 314 m (Reichert)	5322000	„ „ „
Zürich 412 m (Stierlin)	5752000	„ „ „
Auerbach i. V. 400—450 m (Wolff)	5748000	„ „ „
Görbersdorf 561 m (Schröder)	5800000	„ „ „
Reiboldgrün 700 m (F. Wolff)	5970000	„ „ „
Dowrefjäll-Norwegen 950 m (Schaumann)	6112000	„ „ „
Davos 1560 m (Kündig)	6551000	„ „ „
Arosa 1800 m (Egger)	7000000	„ „ „
Cordilleren 4392 m (Viault)	8000000	„ „ „

Auf Grund der bisher vorliegenden Untersuchungen muß man es als Tatsache gelten lassen, von der nur wenig Ausnahmen bisher gefunden wurden, daß Blutzellenzahl und Hämoglobingehalt im Kubikmillimeter Blut — allerdings nicht parallel miteinander — im Höhenklima höher gefunden werden als im Tieflande. Wie aber ist diese Tatsache aufzufassen?

In der ersten Freude über den Befund nahm man die Ergebnisse etwas unkritisch auf. Man sah in der gefundenen Zunahme der Blutzellenzahl in der Volumeneinheit Blut ohne weiteres eine wirkliche Zunahme der Gesamtzahl der Blutzellen und des Blutfarbstoffes durch vermehrte Neubildung.

Das wäre sowohl vom allgemein naturwissenschaftlichen Standpunkte bedeutsam, da es, wie bereits erwähnt, eine sehr zweckmäßige Anpassung an veränderte Lebensbedingungen darstellen würde, als auch vom speziell ärztlichen Gesichtspunkte äußerst wertvoll, insofern damit anscheinend ein Mittel gegeben ist, die darniederliegende Blutbildung anzuregen.

Für eine vermehrte Neubildung von Blutzellen im Gebirge sprach auch der weitere Befund, der von den meisten Forschern, die darauf achteten, erhoben wurde,

daß bei der Rückkehr ins Tiefland die Zellenzahl allmählich wieder abnahm.

Ursachen des Mehrgehalts an Blutzellen und Hämoglobin beim Aufenthalt im Höhenklima. Der bereits erwähnte Prof. Miescher¹⁹⁾ stellte eine sehr bestechende Theorie für diese Neubildung auf. Er nahm an, daß die Sauerstoffarmut der dünnen Luft der Höhen zu einem Sauerstoffmangel der blutbildenden Organe, speziell des Knochenmarkes, führe und daß dieser Sauerstoffmangel einen Reiz zur verstärkten Neubildung von Blutzellen abgebe.

Die Mieschersche Anschauung mußte Widerspruch herausfordern. Denn die Steigerung der Zellenzahl ist ja schon, wie aus der vorstehenden Zusammenstellung hervorgeht, in 400—500 m wahrzunehmen, also in Höhen, wo von einem Sauerstoffmangel gar nichts bekannt ist. Will man die Mieschersche Annahme gelten lassen, so muß man schon eine weitere Hypothese machen, die zuerst zwei finnische Forscher — Schaumann und Rosenqvist²²⁾ — ausgesprochen haben. Die blutbildenden Organe sollten nämlich weit empfindlicher gegen Luftverdünnung sein als alle anderen, und bezüglich der Intensität der Blutbildung derart vom Barometerdruck abhängen, daß sie bei vollem Atmosphärendruck am wenigsten Zellen produzieren, beginnende Luftverdünnung sie jedoch schon zu erhöhter Tätigkeit anregt.

Die Steigerung der Blutzellenzahl im Kubikmillimeter Blut beweist nicht die Zunahme ihrer Gesamtzahl im Körper. — Gegenüber diesen Ansichten wurde alsbald darauf hingewiesen, daß weder die gefundene Zunahme der Zellen, noch die des Hämoglobins für eine gesteigerte Neubildung beweisend seien. — Das Blut stellt eine sog. Suspension dar, d. h. eine Aufschwemmung geformter Elemente in einer wässrigen Lösung. Alle bisher besprochenen Untersuchungen bestimmten die Menge der Formelemente oder des in ihnen enthaltenen Farbstoffes in 1 cmm der Lösung. Es ist einleuchtend, daß eine solche Bestimmung überhaupt keinen Rückschluß auf eine etwaige Mehrbildung erlaubt; sie sagt nur etwas über das Mengenverhältnis des suspendierten Bestandteiles zur Flüssigkeit aus, und eine Vermehrung der suspendierten Blutzellen besagt nur, daß diese im Verhältnis zum Blutwasser gegen früher überwiegen. Das könnte aber auch durch andere Ursachen zustande kommen. Zunächst schon dadurch, daß die Menge des Blutwassers sich aus irgendwelchen Gründen vermindert hat, das Blut sich also eindickt. Das kann z. B. geschehen durch starke Wasserabgabe vom Körper durch die Haut, durch starkes Schwitzen, oder durch reichliche wässrige Entleerungen. Von letzteren ist schon seit einem halben Jahrhundert bekannt, daß sie das Blut erheblich einzudicken vermögen, daher bei der asiatischen Cholera die Zahl der Blutzellen in der Volumeinheit Blut bedeutend vermehrt ist.

Die Zunahme der Blutzellen kann aber auch daher rühren, daß gerade in den Gefäßabschnitten, aus denen das Blut zur Untersuchung entnommen wird, das sind die Gefäße der Haut, sich mehr Blutzellen angesammelt haben, während andere Gebiete an ihnen verarmt sind.

Durch diese Überlegungen kamen manche Forscher dahin, eine vermehrte Neubildung ganz zu leugnen. — Es wird sich jedoch zeigen, daß man auf Grund

weiterer Untersuchungen zu dem Schlusse kommen muß, daß beiderlei Vorgänge im Höhenklima Platz greifen.

Wir wollen zunächst sehen, ob etwa im Höhenklima Faktoren vorhanden sind, die eine Zunahme der Blutzellen in den Gefäßen der Haut zustande bringen können, ohne daß eine Neubildung stattfindet.

Rufen wir uns die charakteristischen Eigentümlichkeiten des Höhenklimas, wie sie in Kapitel II geschildert wurden, noch einmal ins Gedächtnis zurück. Es waren — abgesehen von dem verminderten Luftdruck — tiefe Lufttemperaturen, starke Sonnenstrahlung und damit erhebliche Temperaturoegensätze zwischen besonnten und nicht besonnten Stellen, energische Luftbewegung, Vorwiegen bedeutender Trockenheit der Luft und starke Verdunstung. — Diese Faktoren können nun in der Tat in verschiedener Weise das im Körper kreisende Blut derart beeinflussen, daß die Zahl der Blutzellen in der Haut eine Steigerung erfährt, ohne daß doch eine gesteigerte Neubildung stattfindet; und wirklich hat man alle diese Möglichkeiten zur Erklärung herangezogen.

So hat Grawitz^{10a)} geglaubt, daß die durch die Trockenheit und Dünne der Luft gesteigerte Verdunstung das wirksame Moment sei. Dunstet der Körper mehr als normal Wasser ab, so dickt sein Blut sich ein und die Folge ist natürlich, daß in einem Volumen Blut mehr zellige Elemente vorhanden sind als zuvor. — Aber zur Erzielung einer der Zellvermehrung entsprechenden Eindickung müßten viele Kilo Wasser abgegeben werden, der Körper also um so viel leichter werden, was nie beobachtet wurde.³⁰⁾

Die abnorme Wasserabgabe würde sich auch noch in anderer Weise dokumentieren. Es müßte nämlich die wasserärmere Blutflüssigkeit, das sog. Blutplasma, schwerer sein und mehr feste Bestandteile, mehr Trockensubstanz enthalten als zuvor. Untersuchungen der spezifischen Schwere des Blutplasmas, die wir^{15) 26)} bei den früheren Expeditionen zum Monte Rosa an unserem eigenen Blute ausgeführt haben, ergaben jedoch, daß sie gegen die Werte in Berlin nicht gesteigert war; eher war sie etwas geringer geworden. — Eine etwa gesteigerte Verdunstung muß also durch gesteigerte Wasserzufuhr ausgeglichen worden sein. — Die im folgenden noch zu besprechenden Ergebnisse unserer diesmaligen Expedition werden übrigens zeigen, daß gar keine vermehrte Wasserverdunstung im Hochgebirge stattfindet. — Auf etwaige Änderungen der festen Bestandteile, des sog. Trockenrückstandes, hat zuerst Egger⁷⁾ gefahndet. Er bestimmte ihn bei zwei Kaninchen, zuerst in Basel, dann nach dreiwöchigem Aufenthalt in Arosa (Graubünden 1800 m). Er fand Differenzen, die in die Breite der Versuchsfehler fallen. Weiter untersuchten Jaquet und Suter¹³⁾ Kaninchen gleicher Rasse, hielten einen Teil in Basel und verbrachten den anderen nach Davos, wo die Tiere bei gleicher Ernährung mehrere Monate lebten. Sie konnten nur einen ganz geringfügigen Unterschied im Trockenrückstand des Bluteserums zwischen beiden Gruppen feststellen. Er betrug nur 0.24% (bei den Baseler Tieren 6.89%, bei den Davoser 7.13%).

Eine Eindickung durch gesteigerte Verdunstung kann also die Zunahme der Blutzellen nicht erklären, denn sie besteht gar nicht, oder in viel zu geringfügigem Maße.

Erwähnung verlangen hier noch Versuche von Abderhalden.¹⁾ Er bestimmte den Gehalt an Trockensubstanz und an Eiweiß im Blute von Rindern und Schweinen, deren eine Gruppe in St. Moritz, deren andere in Basel gelebt hatte. Bei den Rindern war die Differenz nur gering, die Baseler Tiere hatten 0.36% weniger feste Bestandteile und 0.53% weniger Eiweiß im Blutserum. Nur bei den Schweinen waren die Unterschiede erheblicher. Hier machten sie 0.76% im festen Rückstand und 0.83% im Eiweiß aus. Eine genauere Vergleichung der Einzelwerte zeigt zudem, daß eine Anzahl oben geborener Tiere ein an Eiweiß sehr armes, eine Anzahl erst ganz kurze Zeit sich in der Höhe aufhaltender Tiere dagegen ein sehr konzentriertes Serum besaß.

Bestimmte Schlüsse auf eine Wirkung des Höhenklimas lassen sich aus Abderhaldens Versuchen nicht ziehen, da hier zwei weitere Faktoren mit ins Spiel kommen, die den Trockengehalt und Eiweißbestand des Blutserums erheblich zu beeinflussen vermögen, nämlich die Verschiedenheit der Ernährung und die der Rasse. —

Von den obengenannten Klimafaktoren vermögen nun aber die Temperaturverhältnisse und die Luftbewegung in anderer Weise die uns interessierende Erscheinung hervorzurufen: nämlich durch ihre Einwirkung auf die Weite der Gefäße, speziell die der Haut.

Es ist eine alltägliche Erfahrung, daß unsere Haut erblaßt, wenn sie von Kälte getroffen wird, daß sie in der Hitze sich rötet. Im ersteren Falle ziehen sich die Gefäße der Haut mit Hilfe der in ihrer Wandung gelegenen Muskelringe zusammen, im anderen Falle erweitern sie sich, da ihre Muskeln erschlaffen. Durch die Kontraktion wird nun die Lichtung eines Teiles der feinen Haargefäße, der Kapillaren, die die Schlagadern mit den Blutadern verbinden, so verengt, daß sie nur für sehr wenige Blutzellen Platz bieten oder zum Teil überhaupt keine Zellen eintreten lassen und nur vom Blutplasma durchströmt werden.

Man kann das unter dem Mikroskop sehr schön sehen, wenn man die Kapillaren in der Schwimmbaut des Frosches beobachtet und an eine Stelle einen kleinen Eiskristall bringt. Sofort ziehen sich die Blutgefäße energisch zusammen und werden zum Teil ganz frei von Blutzellen. — Die aus den kontrahierten Gefäßen verdrängten Blutzellen müssen in anderen Gefäßen Platz finden; während also erstere arm an Zellen oder sogar zum Teil zellenfrei geworden sind, sind letztere reich an Zellen. Es hat eine andere Verteilung der Zellen im Gefäßsystem stattgefunden.

Das sind Vorgänge, die in jedem Klima sich abspielen, wenn man sich hohen oder niedrigen Temperaturen, Besonnung oder Beschattung, starkem Winde aussetzt; sie sind nicht für das Höhenklima charakteristisch, aber in ihm wohl besonders stark ausgeprägt, da die sie auslösenden Klimaelemente gerade in der Höhe sehr ausgebildet sind. Wie energisch sie hier ablaufen, erweisen wieder Versuche von A. Loewy, J. Loewy und Leo Zuntz¹⁵⁾ in 3900 m Höhe (Gnifetti-Hütte). Sie hielten sich abwechselnd im Freien auf dem Gletscher oder in dem erwärmten Raume der Hütte auf, in Sonne oder Dunkelheit, und konnten so innerhalb weniger Minuten Zahlen für die Blutzellen in den Gefäßen des Ohrläppchens feststellen, die um Millionen differierten, nach unten bis zu 3 Millionen, nach oben bis zu 7 Millionen

gingen. Bei der Schnelligkeit, mit welcher hier Änderungen der Zellenzahl um Millionen im Kubikmillimeter zustande kamen, kann es sich nur um Änderungen der Verteilung handeln. — Direkt beweisend für diese sind die Ergebnisse einiger Tierversuche, die die verschiedene Anfüllung mit Blutzellen in den verschiedenen Teilen des Gefäßsystems zeigen. So fand Campbell⁵⁾ auf dem Pikes Peak eine Vermehrung der Blutzellen in den Ohrgefäßen bei Kaninchen, dagegen in den Gefäßen des Darmgekröses gleichzeitig eine Verminderung, und Armand-Delille und Mayer sahen — gleichfalls bei Kaninchen — eine erhebliche Differenz in der Zahl der Blutzellen zwischen Ohr- und Herzblut auf den Walliser Alpen, während die Blutzellen im Tieflande in beiden Gefäßgebieten in gleicher Menge vorhanden waren.

Endlich fand Foá^{7a)}, der im Jahre 1903 Mosso auf die Margherita-Hütte begleitete, daß in den ersten Tagen des Aufenthaltes bei Kaninchen die Blutzellenzahl in den Ohrgefäßen zunimmt, dagegen die in den großen arteriellen Gefäßbahnen nicht ansteigt. Vom achten Tage an ändert sich jedoch das Bild. Jetzt ist auch die Blutzellenzahl in letzteren gesteigert. Zu gleicher Zeit treten nun Veränderungen in dem als Bildungsstätte der roten Blutzellen dienenden Knochenmark auf, die wir später ausführlich besprechen werden.

Eine eigentümliche Deutung hat, einer Idee des Physiologen Bunge in Basel folgend, dessen Schüler Abderhalden entwickelt auf Grund seiner vorstehend mitgeteilten Untersuchungen über den in der Höhe vermehrten Trockenrückstand des Blutes, mit dem eine größere Menge an Blutzellen und an Hämoglobin einherging.

Abderhalden nimmt an, daß im Hochgebirge die Blutgefäße sich stärker zusammenziehen, daß infolgedessen der Druck im Blutgefäßsystem erhöht sei und nun ein Teil des Blutplasmas, und zwar ein an Trockensubstanz armer Teil, in die Gewebsspalten hinübergereßt werde. Im Gefäßsystem muß also ein an Trockensubstanz und Formelementen reicheres Blut zurückbleiben.

Diese Anschauung ist aus mehrerlei Gründen sehr anfechtbar. Wir wollen aber von einer Kritik derselben hier absehen, da sie ja, selbst wenn sie richtig wäre, gar nichts darüber aussagt, ob nicht neben den von Abderhalden angenommenen Vorgängen eine Mehrbildung von Blutzellen stattfindet. — Zudem hat bereits Jaquet in seiner angeführten Schrift Kritik an der Bungeschen Anschauung geübt. Auf diese sei hiermit verwiesen.

Die vorstehenden Auseinandersetzungen geben einen Begriff davon, wieviel Scharfsinn aufgewendet worden ist, um zu deduzieren, daß die Ergebnisse der Zählung und der Hämoglobinbestimmung nicht imstande sind, eine vermehrte Neubildung von Blutzellen einwandfrei zu erweisen.

Man muß in der Tat zugestehen, daß die von manchen Forschern mitgeteilten Ergebnisse nicht allein die Folge vermehrter Neubildung sind, daß vielmehr Änderungen der Verteilung der Blutzellen, wie sie vorstehend geschildert wurden, daran Anteil haben. Das dürfte besonders für die erwähnten enormen Steigerungen der Blutzellenzahl um mehr als $\frac{1}{2}$ Million im Kubikmillimeter innerhalb der ersten 24 Stunden des Höheng Aufenthaltes zutreffen. Weshalb sollten denn in der Höhe die klimatischen Wirkungen, die sich in jedem Klima geltend machen, nicht auch eine Rolle spielen?

Die Fragestellung darf heute auch gar nicht mehr so lauten: ist die Zunahme an Blutzellen und Hämoglobin, die man im Höhenklima findet, allein durch Mehrbildung bedingt? Vielmehr muß man fragen, ob vom Höhenklima neben den-

jenigen Einflüssen auf die Blutbeschaffenheit, die ihm ebenso wie jedem anderen Klima zukommen, noch spezifische, nur ihm eigentümliche Wirkungen ausgehen, welche zu einer nachweisbaren Steigerung der Blutbildung führen.

Zur sicheren Entscheidung dieser Frage muß man sich anderer als der bis jetzt besprochenen Methoden bedienen.

Allerdings deutet bei kritischer Betrachtung der bis jetzt besprochenen Versuche manches darauf hin, daß dem Höhenklima eine spezifisch blutbildende Wirkung inneohnt. Dafür spricht zunächst die Tatsache, die zuerst Egger beobachtete, daß die Zunahme an Blutzellen beim Übergang ins Hochgebirge nicht der an Blutfarbstoff parallel geht, sondern sie übertrifft. Das ist dasselbe Verhalten, das wir auch in sonstigen Fällen gesteigerter Blutbildung sehen, z. B. nach Blutverlusten. Auch hier nimmt zunächst wieder die Zahl der Zellen zu, ihr Hämoglobingehalt ist jedoch anfangs gering, um allmählich zu wachsen.

Ferner wurde, wie früher schon erwähnt, verschiedentlich festgestellt, daß nach dem Aufstieg das Maximum der Zunahme nicht sofort erreicht wird, vielmehr beim Verbleiben auf gleicher Höhe langsam in Wochen und Monaten ein kontinuierliches Weiteranstiegen der Zellenzahl und des Hämoglobins stattfindet. Auch das legte die Annahme einer Neubildung sehr nahe.

Das Auftreten junger Blutzellen als Beweis gesteigerter Neubildung.

Das Blut enthält dreierlei Formelemente: die „farblosen Zellen“ (Leukozyten), die Blutplättchen und die roten Blutzellen (Erythrozyten). — Nur letztere als die Sauerstoffträger kommen für uns in Betracht. Die roten Blutzellen der Säugetiere sind kernhaltige Gebilde, solange sie sich in den Blutbildungsstätten, speziell im Knochenmark, befinden. Werden sie aus diesem ins Blut hineingeschwemmt, so verlieren sie ihren Kern, kommen kernlos im Blute an, so daß alle roten Blutzellen im strömenden Blute kernlose Scheiben darstellen. Allein bei Neugeborenen und in der ersten Lebenszeit findet man einzelne kernhaltige im strömenden Blute. Wenn jedoch die Blutbildung eine übermäßig gesteigerte wird, wie nach Blutverlusten, oder krankhaft verändert ist, wie bei manchen Erkrankungen des Blutes, dann trifft man im Blutstrom mehr oder weniger zahlreich kernhaltige rote Zellen an. Diese jungen kernhaltigen Blutkörperchen sind also beweisend für eine abnorm gesteigerte Neubildung.

Es ist nun im Gebirge mit großem Fleiße nach dem Auftreten solcher Zellen gesucht worden, manchmal mit positivem, manchmal mit negativem Erfolge. Die Ergebnisse der verschiedenen Autoren stehen miteinander im Widerspruch.

Die ersten waren wohl die Gebrüder Loewy und Leo Zuntz¹⁵⁾, die in auf Deckgläschen angetrockneten Proben ihres Blutes auf kernhaltige Blutzellen fahndeten. Es wurden keine gefunden, obwohl die drei Genannten sich acht Tage in einer Höhe von ca. 2900 m, weitere acht Tage in 3700 m aufhielten. Auch Abderhalden²⁾ wie Foá^{7a)} gelangten bei Tieren zu negativen Befunden. Ebensowenig konnten v. Schrötter und Zuntz²⁴⁾ irgendwelche Abweichungen von der Norm an ihren Blutzellen während einer zehnstündigen Luftballonfahrt, bei der sie sich in Höhen zwischen 3000 und 5000 m hielten, feststellen. Dagegen gibt Gaule⁹⁾ an, daß er in seinem

Blute und im Blute einiger Begleiter während des Aufenthaltes in der Höhe anlässlich von Luftballonfahrten auffallende Veränderungen an den roten Zellen wahrgenommen habe. Speziell fand er viele junge kernhaltige Blutzellen, so daß er auf eine reichliche Neubildung schließt. Aus Gaules Beschreibungen und den Abbildungen seiner Präparate scheint jedoch hervorzugehen, daß es sich um Kunstprodukte handelt, vielleicht durch Einwirkung allzu hoher Kältegrade auf die Blutpräparate bedingt.

Zuverlässiger sind die positiven Resultate der schon früher genannten Forscher Schaumann und Rosenqvist²²⁾. Hunde, Kaninchen, Tauben hielten sie lange Zeit, Wochen und Monate hindurch unter einer gut ventilierten Glocke bei einer 450 mm Barometerdruck entsprechenden Luftverdünnung, also bei einer erheblicheren als alle obengenannten Forscher. Von Zeit zu Zeit bestimmten sie die Blutzellenzahl und den Hämoglobingehalt und untersuchten das Blut auf kernhaltige Elemente. Letztere konnten sie nun regelmäßig bei Hunden und Kaninchen konstatieren. Im Blute der Tauben stellten sie Teilungsvorgänge an den Zellen fest, welche unzweifelhafte Vorläufer der Neubildung sind.

Wie schon erwähnt, verlieren die jungen Blutzellen beim Austritt aus dem Knochenmark sehr schnell ihren Kern, so daß sie im strömenden Blute nicht mehr als junge Zellen zu erkennen sind. Selbst bei gesteigerten Neubildungsprozessen können sie im zirkulierenden Blute leicht dem Nachweis entgehen, weil die wenigen kernhaltigen Zellen sich in der ungeheuren Masse der kernlosen so verteilen, daß sie unauffindbar werden. Zum Nachweis einer vermehrten Neubildung sollte man daher das Blut zur Untersuchung benutzen, das direkt aus dem Knochenmarke abströmt, das Blut der Knochenvenen. Unter normalen Bedingungen enthält selbst dies nur die normalen Blutbestandteile, unter Verhältnissen dagegen, unter denen die Blutbildung gesteigert ist, finden sich im Knochenvenenblute reichlich die typischen kernhaltigen Zellen, die normal nur im Knochenmarke vorhanden sind. So ist es z. B. bei allen Zuständen, bei denen man Sauerstoffmangel, sei es des gesamten Tieres, sei es des untersuchten Knochens, erzeugt hatte. Letzteres erzielt man unter anderem dadurch, daß man die zum Knochen führende Schlagader unterbindet; dadurch beschränkt man die Blut- und Sauerstoffzufuhr.^{19a)}

Die beiden Bilder auf Tafel I, Fig. 1 und 2 veranschaulichen uns das Aussehen normalen Knochenvenenblutes und solches mit jungen, kernhaltigen Blutzellen bei mikroskopischer Betrachtung. Ersteres enthält die kernlosen, mit Delle versehenen roten Blutzellen, daneben eine Form der farblosen Zellen. Das zweite zeigt mehrere Arten farbloser Zellen. Zwei davon sind voll von den Kern umgebenden Körnchen, die in der einen Zelle sich nur mit einer neutralen Farbe färben lassen (neutrophile Zellen), in der anderen nur mit einem sauren Farbstoff (acidoder eosinophile Zellen). Die Verwandtschaft zu verschiedenen Farbstoffen deutet auf ein verschiedenes chemisches Verhalten der Körnchen hin. Zwei andere farblose Zellen haben keine Körnchen, aber sehr große Kerne, die den größten Teil ihres Innern ausfüllen. Daneben sieht man im Präparate dreierlei, durch ihre Größe sich voneinander unterscheidende, rote Blutzellen mit Kernen, und diese stellen den charakteristischen Bestandteil des Blutes bei reichlicher Neubildung dar.

Beweis der gesteigerten Neubildungsprozesse durch Bestimmung der gesamten Hämoglobinmenge im Körper. Entschieden war durch alle diese die Beschaffenheit der Blutzellen ins Auge fassenden Untersuchungen die Frage auch noch nicht, und so kam man denn, zeitlich zuletzt, zur Benutzung desjenigen Verfahrens, das eindeutige Ergebnisse liefern muß, und dessen Verwertung eigentlich am nächsten lag, nämlich zu vergleichenden Bestimmungen der gesamten im

Tierkörper vorhandenen Blutfarbstoffmengen. Man nahm Tiere gleicher Rasse und am besten gleichen Wurfes, hielt einen Teil im Tieflande, den zweiten unter möglichst gleichen Ernährungsbedingungen im Hochlande und stellte dann fest, wieviel Hämoglobin im Tierkörper vorhanden war.

Daß solche Untersuchungen erst spät unternommen wurden, erklärt sich aus den technischen Schwierigkeiten des Verfahrens. Es handelt sich darum, den gesamten Blutfarbstoff aus dem Tierkörper auszuziehen. Dazu muß man das Tier verbluten lassen, dann am besten das Gefäßsystem durchspülen, um noch möglichst viel von dem zurückgebliebenen Blut herauszubringen. Nun wird der Körper enthäutet und von Magen und Darm befreit, alles übrige zerhackt und zerkleinert, dann mit Wasser verrührt und so häufig ausgepreßt, bis das Preßwasser ganz farblos bleibt.

Ein unständliches und zeitraubendes, aber bei exakter Ausführung eindeutiges und sicheres Verfahren.

Der erste, der derartige Bestimmungen ausführte, war J. Weiss.²⁹⁾ Er brachte in der einen seiner beiden Versuchsreihen die eine Hälfte eines Wurfes Kaninchen auf den Pilatus (2070 m Höhe), in der zweiten nach Andermatt (1444 m), die andere Hälfte blieb jedesmal in Basel. Nach vierwöchigem Aufenthalt in der Höhe wurden die Höhentiere wieder nach Basel gebracht und hier das Gesamthämoglobin aller bestimmt. Während die Blutzellenzahl in der Volumeinheit Blut bei den Höhentieren um 12—24 % höher lag als bei den in Basel verbliebenen, war die Gesamthämoglobinmenge pro Kilo Körpergewicht die gleiche. Diese Versuche von Weiss können jedoch aus einer Reihe von Gründen, die Jaquet anführt, nicht als beweisend gelten; ihre Einzelheiten sind infolge der zu knappen Darstellung nicht zu kontrollieren.

Ganz im Gegensatz hierzu stehen die Ergebnisse von Jaquet und Suter,¹³⁾ und spätere von Jaquet.¹²⁾ Jaquet und Suter brachten eine Anzahl von Kaninchen nach Davos (1560 m Höhe), beließen sie hier einige Wochen und stellten nach ihrer Rückverbringung nach Basel ihren Gesamthämoglobingehalt fest und zugleich auch den der in Basel gebliebenen, unter ähnlichen Ernährungsbedingungen gehaltenen Kontrolltiere. Sie fanden, daß die absolute Hämoglobinmenge um ca. 23 % zugenommen hatte. Während die Davoser Tiere 6.59 g Hämoglobin pro Körperkilo hatten, fand sich in den Baseler nur 5.39 g. — Die Blutmenge hatte dabei um 14.8 % zugenommen.

Später ließ Jaquet Kaninchen vier Wochen in einem gut ventilierten Kasten unter Luftverdünnung leben (bei 640 mm Barometer) und verglich dann ihr Gesamthämoglobin mit dem der Kontrolltiere, die während dieser Zeit unter dem Luftdruck von Basel gelebt hatten. Auch in diesen Versuchen war nun die Gesamthämoglobinmenge bei den der verdünnten Luft ausgesetzten Tieren um mehr als 20 % höher als bei den Kontrolltieren. Letztere hatten pro Körperkilo 5.5 g Hämoglobin, erstere 6.73 g.

Weiterhin hat Abderhalden¹⁾ einschlägige Untersuchungen angestellt, und zwar an einem erstaunlich reichhaltigen Materiale, dem umfassendsten, das bis jetzt über die Gesamthämoglobinmenge bei im Höhenklima lebenden Tieren vorliegt.

Abderhalden hat an Kaninchen und Ratten gearbeitet. Für die Untersuchungen an ersteren benutzte er das Tiermaterial von 20 Würfen, für die an letzteren das von 24 Würfen. Nur wenige Würfe wurden ganz, sei es in Basel, sei es in St. Moritz (ca. 1800 m Höhe) gehalten, die meisten wurden geteilt, so daß ein Teil der Tiere dauernd in Basel, der zweite 4—8 $\frac{1}{2}$ Wochen in St. Moritz sich aufhielt. In diesen letzteren Versuchen ist ein Einfluß der Rasse bezw. der Individualität am besten ausgeschlossen, aber auch in den ersteren sind jedenfalls rein individuelle Differenzen zwischen den Baseler und St. Moritzer Tieren dadurch in ihrer Bedeutung beschränkt, daß diese Würfe eine große Zahl, nämlich 8 bis 11 Tiere, umfaßten. Die untersuchten Tiere waren in verschiedenem, aber alle in jugendlichem Alter und meist noch im Wachstum begriffen.

Die Art der Nahrung war an beiden Orten die gleiche. — Abderhalden hat an allen Tieren nicht nur den Gesamthämoglobingehalt, sondern auch die Blutzellenzahl und Hämoglobinnenge in der Volumeinheit Blut festgestellt. In letzterer Beziehung findet er, gleich der Mehrzahl seiner Vorgänger, ein sehr schnell erfolgendes Ansteigen der Blutzellenzahl sowohl wie des Hämoglobins um 10—20 $\frac{0}{0}$, und zwar steigen beide in gleichem Verhältnisse an.

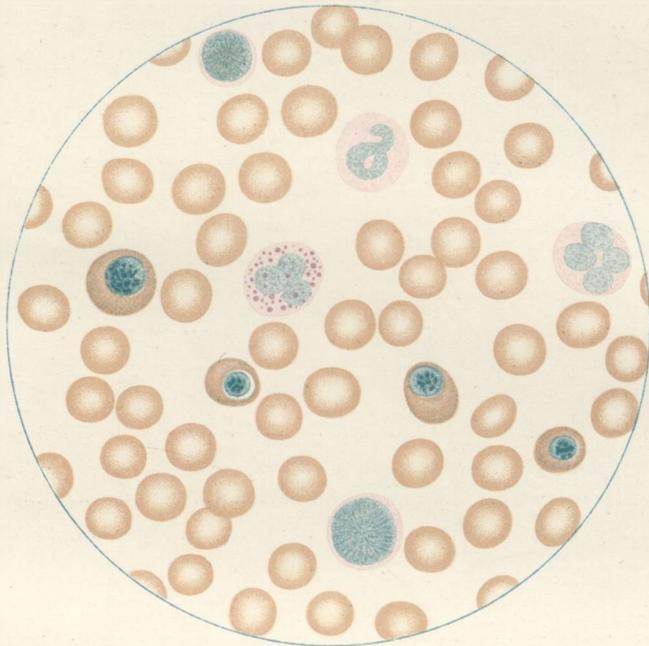
Uns interessiert jedoch vor allem das Verhalten des Gesamthämoglobins. Wir müssen hierauf ausführlich eingehen, weil die Abderhaldenschen Werte ein sehr breites Fundament für die Entscheidung der Frage, ob das Höhenklima in-stande ist, die Gesamthämoglobinnenge eines Tieres zu steigern, abgeben und demnach von besonderer Wichtigkeit sind, wie auch deswegen, weil Abderhalden selbst seine Ergebnisse in verschiedenen Publikationen verschieden deutet, und weil er Schlußfolgerungen aus ihnen zieht, die uns unrichtig erscheinen.

Wir betrachten zunächst die tatsächlichen Befunde Abderhaldens. Er findet, daß bei den Würfen, von denen die eine Hälfte nach St. Moritz gebracht wurde, die andere in Basel blieb, die St. Moritzer Tiere im allgemeinen — nicht durchweg — mehr Hämoglobin enthielten als die Baseler. Dieses Resultat trat um so prägnanter hervor, je länger der Aufenthalt in der Höhe dauerte. Dagegen war der Gesamthämoglobingehalt der gleiche, wenn in St. Moritz geborene Tiere mit gleichalterigen aus Basel verglichen wurden.

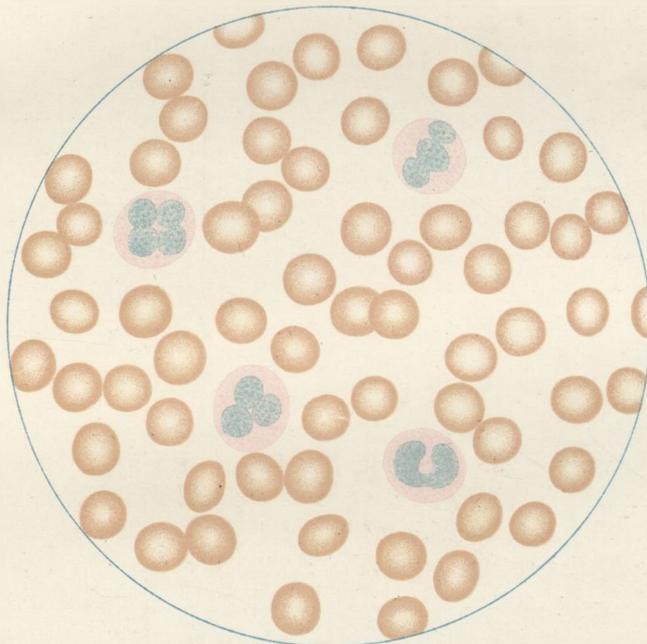
Setzt man nicht die Hämoglobinnengen der einzelnen Tiere miteinander in Beziehung, sondern diejenigen, welche sich für gleiche Gewichtsmengen, z. B. für je 1 Kilo Tier, berechnen lassen, so sind nach Abderhaldens Angabe die Ergebnisse keine anderen. Es wird sich jedoch im folgenden zeigen, daß diese Angabe nicht zutreffend ist, denn pro Kilo Tier berechnet, ist nicht nur bei den nach St. Moritz gebrachten, sondern auch bei den in St. Moritz geborenen Tieren, Ratten wie Kaninchen, die Hämoglobinnenge größer als bei den in Basel gehaltenen.

Weiter gibt Abderhalden an, daß die Gesamthämoglobinnenge bei den Höhentieren, die von St. Moritz nach Basel zurückgebracht wurden, nicht wieder abnahm, Auf eine solche Wiederabnahme legt Abderhalden besonderes Gewicht. In den früher mitgeteilten Versuchen, in denen Zählungen der Blutzellen und Blutfarbstoffbestimmungen in der Volumeinheit Blut vorgenommen waren, hatte sich ja, wie schon erwähnt, neben der Steigerung der Zellenzahl beim Übergang in die Höhe

Tafel I.



* Figur 1. Normales Blut aus einer Knochenvene.



* Figur 2. Knochenvenenblut bei künstlich erzeugter Blutarmut.
4 junge kernhaltige rote Blutzellen.

Triacid-Färbung.

(Zeiss-Apochromat Oel Imm. Ap. 1.30. Brennw. 3 mm. Okul. 12)

1000fache Vergrößerung.

Rübsaamen gez.

* Die Unterschriften zu Figur 1 und 2 sind verwechselt. Figur 1 erhält Unterschrift von Figur 2 und umgekehrt.

eine Wiederabnahme der Zahl und ein Zurückgehen der Farbstoffmenge bei der Rückkehr ins Tiefland gefunden. — Wenn diese Abnahme eine reelle war, bedingt durch Untergang des in der Höhe neugebildeten Blutfarbstoffes, so hätte auch die Gesamthämoglobinmenge in Abderhaldens Versuchen sinken müssen.

In Wirklichkeit trifft nun Abderhaldens Angabe, daß ein Sinken der Gesamthämoglobinmenge bei Rückkehr nach Basel nicht eintrete, nur für seine Ratten zu, die Kaninchen zeigen dagegen einen die Grenzen der Versuchsfehler wohl überschreitenden Abfall, da die Hämoglobinmenge von 13.754 g pro Tier auf 13.228 g, im Mittel einer sehr großen Zahl von Versuchen, sinkt. — Auf die für ein Kilo Tier berechneten Werte geht Abderhalden bei Besprechung dieser letzteren Ergebnisse nicht weiter ein. Diese zeigen aber, daß bei Ratten wie bei Kaninchen eine Verminderung der in der Höhe vorhanden gewesenen Hämoglobinnengen nach der Rückkehr nach Basel erfolgt.

Auf Grund vorstehenden Materiales kommt Abderhalden nun zu dem Schluß, daß im wesentlichen keine absolute Zunahme an Hämoglobin in der Höhe stattfindet; die in der Volumeinheit Blut gefundene Steigerung „entspricht keiner Neubildung von roten Blutzellen und Hämoglobin“. Die Abnahme von Hämoglobin in der Volumeinheit Blut, die beim Übergang von St. Moritz nach Basel festzustellen war, ist gleichfalls keine absolute, „der Gesamthämoglobinbestand bleibt dabei unverändert“.

Das heißt also, dem Höhenklima kommt nicht die Fähigkeit zu, die Blutbildung anzuregen. —

Es fragt sich nun, ob Abderhaldens Resultate zu diesem Schlusse berechtigen, und ob die Stellung, die Abderhalden seinen Ergebnissen gegenüber einnimmt, die richtige ist.

Zur Deutung der von Abderhalden erhaltenen Werte muß zunächst der Standpunkt genauer präzisiert werden, auf den man sich bei ihrer Beurteilung stellen will. Wie Abderhalden¹⁾ selbst hervorhebt, tritt in bezug auf den Gesamthämoglobingehalt die Individualität des einzelnen Versuchstieres deutlich hervor. Selbst bei Tieren desselben Wurfes, die ganz gleich, sei es in Basel, sei es in St. Moritz, gehalten waren, sieht man erhebliche Differenzen. Abderhalden schließt hieraus, daß man keinen Mittelwert ziehen solle, vielmehr jeden Versuch für sich betrachten müsse. Nun spielen doch aber gerade bei dieser Betrachtungsweise die individuellen Verhältnisse eine erhebliche Rolle, so daß dadurch die Wirkungen des Klimas ganz verdeckt werden können. Gerade bei Mittelung einer so großen Zahl von Werten, wie sie Abderhalden mitteilt, wird das individuelle Moment am ehesten eliminiert und die Wirkung äußerer Einflüsse am ehesten zutage treten können. In seiner Entgegnung auf die van Voornveldsche Kritik seiner Versuche hat Abderhalden¹⁾ denn auch Mittelwerte gezogen und sie seiner Antikritik zugrunde legt, und diese nebst einigen anderen, die wir aus Abderhaldens Einzelwerten berechnet haben, wollen auch wir für die folgenden Ausführungen benutzen.

Eine weitere Frage wäre, ob man den Gesamthämoglobingehalt der verschiedenen Tiere, sei es der einzelnen, sei es der zu einem Mittel vereinigten der verschiedenen Würfe, sei es der aller Würfe zusammengenommen, ohne weiteres

einander gegenüberstellen darf, oder ob man nicht von der Basis gleichen Gewichtes ausgehen und in erster Linie die Hämoglobinmenge pro Kilo Tier berücksichtigen soll. Es ist selbstverständlich, daß *ceteris paribus* große Tiere mehr Blut, und demnach mehr Hämoglobin haben als kleine, und ein unmittelbarer Vergleich zwischen solchen ist nicht angängig. Nun schwankt aber das Körpergewicht der Abderhaldenschen Tiere in ziemlich weiten Grenzen, und die Höhentiere haben im Durchschnitt ein geringeres Gewicht als die Baseler, wohl weil bei ihnen — die Nahrung war in beiden Fällen die gleiche — der Stoffverbrauch ein etwas regerer gewesen ist.

Abderhalden legt, wie uns scheint zu Unrecht, auf die pro Kilo Tier berechneten Werte so gut wie gar kein Gewicht, bezieht sich vielmehr in seinen Schlüssen im wesentlichen auf die direkt gefundenen Werte, trotz der bestehenden Differenzen in den Körpergewichten. Zur Begründung dessen bemerkt Abderhalden, daß die pro Kilo Tier berechneten Werte, die für die Höhentiere natürlich höher ausfallen müssen, da deren Gewicht bei annähernd gleichem Gesamthämoglobingehalt geringer ist als das der Baseler, nichts weiter beweisen, als daß die Höhentiere weniger an Körpergewicht zugenommen haben als die Baseler, bei gleicher Menge verzehrter Nahrung.

Zutreffender würde es, meinen wir, sein, den Schluß aus diesem Verhalten zu ziehen, daß im Höhenklima die Körpergewebe und Organe sich verhältnismäßig weniger entwickelt haben als das Blut, daß die Blutbildung im Höhenklima energischer vor sich gegangen ist als die der übrigen Bestandteile des Körpers. Und das ist es gerade, worauf es im vorliegenden Falle ankommt.

Legen wir nun, was uns richtiger scheint, das Verhalten der Hämoglobinmenge pro Kilo Körpergewicht zugrunde, so ergibt sich ein unzweideutiger und nicht geringer Einfluß des Höhenklimas auf die Blutbildung. Es zeigt sich, daß die Hämoglobinmenge sich sowohl bei den von Basel nach St. Moritz gebrachten Tieren höher stellt als bei den in Basel verbliebenen, wie auch, daß sie bei den in St. Moritz geborenen höher ist als bei den in Basel geborenen. Auch nimmt sie deutlich beim Übergang von der Höhe in das Tiefland ab.

Als Beleg dafür geben wir die folgende, Abderhaldens*) Mittelwerte enthaltende Zusammenstellung.

Tabelle 1.

A. Mittelwerte, genommen aus den Tieren aller derjenigen Würfe, von denen ein Teil (a) nach St. Moritz verbracht und dort später getötet wurde, ein anderer Teil (b) in Basel verblieb.

Kaninchen.

a) St. Moritzer Tiere . . .	Anzahl: 39;	Hämoglobin pro Körperkilo: 9.32 g
b) Baseler Tiere . . .	„ 24;	„ „ „ 7.99 „

*) Abderhalden gibt für Kaninchen noch eine vierte Zusammenstellung, in der obige Ergebnisse nicht zum Ausdruck kommen, jedoch handelt es sich nur um 6—7 Tiere, also eine weit kleinere Zahl als sonst für die Mittelung verwertet wurde. Ebenso gibt er für Ratten noch zwei weitere Mittel. In dem einen ist das Resultat das gleiche wie in den drei obigen, im anderen ist keine Differenz ersichtlich. An dem Ergebnis der oben zusammengestellten Werte würde durch die Hinzunahme dieser Tiere nichts geändert.

Ratten.

- a) St. Moritzer Tiere . . Anzahl: 16; Hämoglobin pro Körperkilo: 10.62 g
 b) Baseler Tiere . . . „ 22; „ „ „ 8.92 „

B. Mittelwerte, genommen von den in St. Moritz geworfenen und dort gehaltenen Tieren (a) und den in Basel geworfenen und gebliebenen (b).

Kaninchen.

- a) St. Moritzer Tiere . . Anzahl: 24; Hämoglobin pro Körperkilo: 11.04 g
 b) Baseler Tiere . . . „ 19; „ „ „ 10.16 „

Ratten.

- a) St. Moritzer Tiere . . Anzahl: 27; Hämoglobin pro Körperkilo: 10.78 g
 b) Baseler Tiere . . . „ 29; „ „ „ 9.92 „

C. Mittelwerte, genommen von Tieren, die nach einem Aufenthalt in St. Moritz nach Basel gebracht und hier zum Teil schon in den ersten Tagen getötet und untersucht wurden (a), und solchen, die bis zum Tode noch längere Zeit in Basel lebten (b).

Kaninchen.

- a) kurze Zeit in Basel . Anzahl: 9; Hämoglobin pro Körperkilo: 8.77 g
 b) längere Zeit in Basel . „ 14; „ „ „ 8.15 „

Ratten.

- a) kurze Zeit in Basel . Anzahl: 20; Hämoglobin pro Körperkilo: 9.85 g
 b) längere Zeit in Basel . „ 31; „ „ „ 9.65 „

Aus diesen Werten berechnen sich folgende Differenzen:

A. Im Mittel hatten die Kaninchen, welche nach St. Moritz heraufgebracht waren, pro Kilo um 16.65 % mehr Hämoglobin als die aus den gleichen Würfen, welche in Basel geblieben. Bei den Ratten war die Differenz pro Kilo Tier: +19.06 % für die Höhentiere.

B. Im Mittel hatten die in St. Moritz geworfenen Kaninchen pro Kilo 7.68 % mehr Hämoglobin als die in Basel geworfenen; die Ratten ein plus von 8.70 % Hämoglobin.

C. Im Mittel hatten die kurze Zeit nach ihrer Verbringung nach Basel getöteten St. Moritzer Kaninchen 7.61 % mehr Hämoglobin pro Kilo als die erst nach längerem Aufenthalt in Basel getöteten. Bei den Ratten war das plus: 2.07 % Hämoglobin.

Es ergibt sich somit, daß die Hämoglobinversorgung des Tierkörpers im Höhenklima bei den dort geborenen wie bei den dorthin überführten Tieren eine bessere war als in Basel, und daß beim Verlassen des Höhenklimas auch die Gesamtmenge an Hämoglobin pro Gewichtseinheit Tier abnimmt.

Dabei liegt die Steigerung beim Übergang in die Höhe nicht weit unter der von Jaquet und Suter und später von Jaquet allein gefundenen, die 20—30 % ausmachte.

Im Gegensatz zu dem, was Abderhalden selbst aus seinen Ergebnissen schließt, glauben wir gerade aus seinen, durch die große Zahl der untersuchten Tiere besonders beweiskräftigen Untersuchungen die beste Stütze für die Bedeutung der die Blutbildung anregenden Kraft des Höhenklimas hernehmen zu müssen.

Gegenüber diesen direkten positiven Ergebnissen Abderhaldens können, meinen wir, seine negativen Befunde nicht sehr ins Gewicht fallen. Er fand nämlich weder beim Aufenthalt in der Höhe kernhaltige, rote Blutzellen, noch bei

der Rückkehr in das Tiefland Schatten, d. h. Blutzellen, die ihren Farbstoff verloren haben und zum Absterben verurteilt sind.

Wenn man Abderhaldens Zahlenmaterial etwas gründlicher analysiert, so kann man aus ihm noch einige weitere sehr interessante Schlußfolgerungen ziehen.

Zunächst zeigt sich, daß sich eine ziemlich scharfe zeitliche Grenze bestimmen läßt, bis zu der der Hämoglobingehalt der Höhentiere, die nach Basel zurückgebracht wurden, noch höher liegt als der dem gleichen Würfe angehörigen, in Basel gebliebenen. Diese Grenze liegt bei den Kaninchen zwischen dem fünften und sechsten Tage.

Die folgende Zusammenstellung bezieht sich auf die 4—8 Wochen in St. Moritz gewesenen Kaninchen:

Tabelle 2.
Hämoglobingehalt pro Kilo Kaninchen.

Bei den Baseler Tieren	Bei den aus St. Moritz nach Basel zurückgebrachten Tieren	Tötung in Basel
g	g	Tage nach Ankunft
7.52	8.68	2
8.00	8.97	3
7.79	8.39	4
7.54	9.23	5
7.78	8.11	6
9.04	8.86	8
7.65	7.27	15
7.34	7.57	17
7.36	7.77	19

Also vor dem fünften bis sechsten Tage nach Rückkehr haben die im Höhenklima gewesenen Tiere noch mehr Blutfarbstoff als ihre in Basel gebliebenen Geschwistertiere, später jedoch nicht mehr.

Ein ferneres interessantes Resultat, das Berührungspunkte mit unseren eigenen Ergebnissen hat und durch sie dem Verständnis nähergebracht wird, ergibt sich, wenn man das Alter der Höhentiere in Betracht zieht. Es zeigt sich dann nämlich, daß die Hämoglobinzunahme in der Höhe um so erheblicher ist, je jünger die betreffenden Tiere sind.

In der folgenden Tabelle 3 beziehen sich die verglichenen Werte stets auf Tiere gleicher Würfe, von denen ein Teil in Basel geblieben war, ein Teil nach dem Hochlande befördert und oben getötet wurde.

Tabelle 3.
Hämoglobinmenge pro Kilo Tier.

Alter der Tiere	Basel	St. Moritz	Differenz in Prozenten
6—9 $\frac{1}{2}$ Monate	7.72	8.64	+ 11.92
5—3 „	7.48	9.06	+ 21.12
6 Wochen	8.50	10.96	+ 28.94

Die Blutbildung wird also um so mehr angeregt, je jünger das Individuum ist. Es dürfte dies mit den Verhältnissen im Knochenmarke, der Hauptblutbildungsstätte, zusammenhängen, über die im folgenden berichtet werden wird, und die zeigen, daß das Knochenmark wesentliche Veränderungen im Höhenklima erfährt, insbesondere bei jugendlichen Individuen.

2. Eigene Untersuchungen.

Als wir den Plan zu unseren Untersuchungen faßten, war uns auf Grund eigener früherer Erfahrungen, sowie im Hinblick auf das vorliegende literarische Material und die gerade damals sehr lebhaften Kontroversen klar, daß Untersuchungen allein unseres eigenen Blutes — und in jeder anderen Hinsicht dienen wir selbst ja als Untersuchungsobjekte — uns nicht viel fördern würden. Wir beschlossen deshalb, auch an Tieren die Wirkungen der Höhenluft auf das Blut zu studieren.

Die Untersuchungen am Menschen.

Blutkörperchenzählungen. Die Bestimmungen an unserem eigenen Blute betrafen zunächst, entsprechend dem Vorgehen der früheren Forscher, die Zählung der roten Blutzellen, die Ermittlung des spezifischen Gewichtes des Blutes und des Serums.

Die Blutkörperchenzählungen, die wir 1896 am Monte Rosa vorgenommen hatten, galten zu einem wesentlichen Teil der Frage, wie weit die dem Höhenklima nicht spezifischen Klimafaktoren: Hitze, Kälte, Sonnenbestrahlung, Beschattung verändernd auf die Zahl der in den Kapillaren strömenden Blutzellen einwirken und dadurch den Einfluß der Höhe, d. h. der Luftverdünnung, fälschen bzw. verdecken können. Nachdem die Bedeutsamkeit dieses Einflusses erkannt war, handelte es sich diesmal vielmehr darum, die Zählungen stets unter genau gleichen äußeren Verhältnissen vorzunehmen.

Die Zählungen geschahen, um den gerade bei so subtilen Vornahmen, wie Blutkörperchenzählungen, ins Gewicht fallenden persönlichen Faktor nach Möglichkeit auszuschließen, stets von denselben Beobachtern, den Herren Waldenburg und Kolmer, die Blutentnahme wurde stets in gleicher Weise ausgeführt, das Blut dem Ohrläppchen entnommen, in das nach Alkohol-Ätherreinigung ein so tiefer Schnitt gemacht wurde, daß das Blut in großen Tropfen hervortrat. Der erste Tropfen wurde nie benutzt, weil er mit Gewebsflüssigkeit verdünnt sein konnte. — Das Zimmer, in dem die Blutentnahme geschah, zeigte eine mittlere Lufttemperatur; nur die Untersuchungen auf dem Monte Rosa-Gipfel machen in dieser Beziehung eine noch zu besprechende Ausnahme. Die untersuchten Individuen befanden sich nicht im Verdauungszustande nach einer reichlichen Mahlzeit, auch wurde nicht unmittelbar nach großen Märschen, auf denen ein starker Wasserverlust stattgefunden hatte, gezählt bzw. wurden die dann gewonnenen Werte gesondert berücksichtigt. — Besonders sei noch hervorgehoben, daß der Ernährungszustand fast aller sechs Versuchsindividuen während der ersten vier Wochen der Expedition fast ungeändert blieb. Es trat in dieser Zeit bei fünf eine geringe Abnahme des Körpergewichtes ein. Nur bei einem (Caspari) sank es erheblicher.

Auf dem Monte Rosa-Gipfel änderten sich diese Verhältnisse, da hier infolge von Bergkrankheit die Nahrungsaufnahme während mehrerer Tage ganz darniederlag und das Körpergewicht um mehrere Kilo sank.

Was die Zählung selbst anlangt, so wurde sie in zwei Kammern vorgenommen, einer gewöhnlichen und einer „Schlitzkammer“. — Zur Zeit unserer Versuche gingen die Wogen des Kampfes um die für Untersuchungen bei verschiedenem Barometerdruck zweckmäßigste Blut-

zählkammer noch hoch. Besonders waren es Gottstein¹⁶⁾, Meißen, Schröder und Starke, die in der geschlossenen Kammer eine Quelle von Fehlern sahen, während andere, wie Sokolowski, Kündig, Meyer¹⁷⁾ in den Zählungsergebnissen der geschlossenen und geschlitzten Kammer keine Differenzen fanden. Um uns ein eigenes Urteil zu verschaffen, verglichen wir die Zuverlässigkeit beider Kammern derart, daß von zwei Beobachtern abwechselnd in beiden Kammern hintereinander Blutstropfen aus derselben Mischpipette entnommen und ausgezählt wurden. Die Differenzen waren, auch in der Höhe, derartig gering, daß sie in die Breite der Beobachtungsfehler fallen. Seitdem ist auch von Brüning, Gaule⁹⁾ und von Bürker⁴⁾, von letzterem durch direkte Messungen der Kammerhöhe, festgestellt worden, daß der Luftdruck keinen Einfluß auf die geschlossene Kammer ausübt.

Gezählt wurden stets dreimal je 100 Quadrate und das Mittel der Werte genommen.

Zugleich mit der Blutzählung wurde mit einer Chloroformbenzoldmischung nach Hammerschlag die Dichte des Blutes bestimmt.

Man verfährt dabei so, daß man in eine Chloroform-Benzoldmischung, die annähernd das spezifische Gewicht des Blutes hat, einen Tropfen des Blutes einfallen läßt, und nun, je nachdem er in der Mischung sinkt oder steigt, Chloroform oder Benzol unter Umrühren so lange hinzufügt, bis der Tropfen schwebt, ohne zu steigen oder zu sinken. Dann haben Mischung und Blut dasselbe Gewicht und man braucht nur das Gewicht der ersteren mittels Aräometer oder besser mittels der Mohrschen Wage zu bestimmen.

Die Dichte des Serums wurde folgendermaßen ermittelt: Eine Glaskapillare wird in der Wunde mit Blut gefüllt, beiderseits sofort versiegelt und senkrecht aufgestellt. Nach einigen Stunden wird durch einen Schnitt mit dem Glasmesser der untere Teil des Röhrchens mit dem daran haftenden Blutgerinnsel vorsichtig entfernt, das Röhrchen wieder versiegelt und senkrecht stehen gelassen. Nach etwa 2—3 Stunden hat sich das Serum von allen festen Bestandteilen geklärt, man schneidet wieder den unteren, die gesenkten Blutkörperchen enthaltenden Teil des Röhrchens ab, löst den oberen Siegellaackpfropf und bläst den Serumtropfen in eine Chloroformbenzoldmischung, die der mittleren Dichte des Blutserums entsprechend eingestellt war. Man verfährt dann wie bei der Blutdichtebestimmung.

Sowohl Blut- wie Serumdichtebestimmung lassen sich nicht von vielen Mängeln freisprechen; wir suchten letztere dadurch auf das geringste Maß zu beschränken, daß wir möglichst schnell arbeiteten,³¹⁾ und die unten angegebenen Zahlen haben insofern Anspruch auf Richtigkeit, als sich jedesmal mehrere übereinstimmende Werte ergaben.

Endlich wurden in verschiedenen Höhen sog. Trockenpräparate unseres Blutes nach einer Methode, die Ehrlich zuerst angegeben hat, hergestellt, um zur Feststellung etwaiger abnormer Formelemente dienen zu können.

Von unseren Ergebnissen seien zuerst die der Blutzählungen besprochen. Bei uns allen wurden — meist wiederholte — Zählungen in Brienz, unserer ersten Aufenthaltsstation, in 500 m Höhe vorgenommen, weiter auf dem Brienzer Rothorn in 2150 m, bei Müller, Kolmer und Loewy auch nach der Rückkehr nach Brienz vom Rothorn, wo sie sich zwölf Tage aufgehalten hatten.

Endlich fanden bei Zuntz, Caspari, Kolmer, Loewy wiederholt Zählungen auf dem Monte Rosa-Gipfel in der Capanna Regina Margherita, 4560 m hoch, wo der Aufenthalt acht Tage dauerte, statt; bei Müller auf Col d'Olen, 2900 m hoch, wo er mit Waldenburg acht Tage verweilte.

Alle Einzelwerte und die sich ergebenden Mittel finden sich auf der Tabelle Nr. XXIV des Anhangs zusammengestellt. Hier seien der Übersicht wegen die gefundenen Mittelwerte, nach den einzelnen Versuchspersonen geordnet, aufgeführt.

Tabelle 4.

Verhalten der Blutzellenzahl bei den einzelnen Versuchspersonen.

Person	Zahl der Blutzellen in cmm				Bemerkungen	
	Brienz 500 m	Brienzer Rothorn 2150 m	Col d'Olen 2900 m	Punta Gnifetti 4560 m		
Zuntz	5 595 200	5 855 500		6 142 000	Bei Loewy, Kolmer und Müller bedeuten die Brienzer Werte unter: a) die vor dem Aufstieg aufs Rothorn b) die nach Rückkehr nach Brienz aufgenommenen. Bis zur Zählung hatte d. 2. Aufenthalt in Brienz 4—5 Tage gedauert.	
Loewy	a) 6 332 000	5 456 000		5 584 000		
	b) 5 760 000					
Caspari	6 395 400	6 818 000				5 708 000
Waldenburg	5 932 000	6 854 500				—
Kolmer	a) 6 332 000	5 952 000		6 476 000		5 652 000
	b) 6 472 000					
Müller	a) 6 984 000	6 264 000	6 476 000	—		
	b) 6 404 000					

Es ergibt sich, daß, gegenüber den Werten in Brienz, auf dem Rothorn eine Steigerung der Zahl der Blutzellen bei Zuntz, Caspari und Waldenburg zu beobachten ist, bei den beiden ersteren ist die Steigerung eine relativ geringe, bei Waldenburg eine erhebliche. Bei Kolmer, Müller und Loewy, also bei denjenigen, die schon nach kurzem Aufenthalte in Brienz die Höhe aufsuchten, macht sich umgekehrt eine Abnahme geltend. Jedenfalls ergibt sich aus unseren Versuchen nicht die gesetzmäßige Zunahme der Zahl der Blutzellen, wie es die meisten anderen Untersucher gefunden haben. Ebensowenig Gesetzmäßiges zeigte sich beim Übergang auf die Monte Rosa-Spitze. Nur bei Zuntz steigt die Blutzellenzahl weiter, bei Caspari ist sie geringer als auf dem Rothorn, bei Loewy ist sie annähernd gleich der auf dem Rothorn, also niedriger als in Brienz, bei Kolmer ist sie noch weiter abgefallen. — Bei Müller ist beim Aufenthalt auf der Zwischenstation Col d'Olen die Zellenzahl kaum höher als auf dem Rothorn und auf dem gleichen Niveau wie in Brienz.

Auf die Monte Rosa-Werte möchten wir allerdings wenig Gewicht legen, denn dort waren vasomotorische Effekte, d. h. Einflüsse auf die Weite der Hautgefäße, nicht sicher ausgeschlossen. Die Temperatur in der Hütte, in der nur ein Raum, und auch dieser nur mangelhaft, geheizt werden konnte, war niedrig und beträchtlichen Schwankungen unterworfen, dazu kamen die Erscheinungen der Bergkrankheit, die sich bis zum Schluß des Aufenthaltes geltend machten.

Aus unseren Ergebnissen läßt sich jedenfalls soviel schließen, daß nicht einmal die Zellvermehrung in der Volumeinheit eine konstante ist, sogar da nicht, wo scheinbar alle Versuchsbedingungen gleichgesetzt sind. — Bei den einzelnen Zählungen spielen Zufälligkeiten mit, die die Wirkung der Höhe verdecken können.

Spezifisches Gewicht des Bluteserums und des Blutes. Wie schon erwähnt, wurden neben der Zählung der Blutzellen Dichtebestimmungen am Blut und Bluteserum vorgenommen. Die dabei erhaltenen Einzelwerte sind mit in der Tabelle Nr. XXIV des Anhangs enthalten. Eine übersichtliche Zusammenstellung der bei den

einzelnen Personen mit dem Höhenwechsel vorkommenden Änderungen gibt die folgende Tabelle 5.

Tabelle 5.

Mittlere Blut- und Blutserumdichte bei den einzelnen Versuchspersonen.

Person	Blutdichte				Blutserumdichte				Bemerkungen
	in Brienzi	auf dem Rothorn	auf Col d'Olen	auf Punta Gnifetti	in Brienzi	auf dem Rothorn	auf Col d'Olen	auf Punta Gnifetti	
Zuntz	1054.2	1057.6		1059.2	1023.4	1022.6		1026.8	Die Werte unter a beziehen sich auf die erste, die unter b auf die zweite Brienzer Periode.
Loewy . . .	a) 1053.0	1054.9		1058.0	1024.5	1025.6		1024.9	
	b) 1058.9								
Caspari . . .	1055.0	1059.8		1058.5	1021.2	1025.2			
Waldenburg	1056.2	1061.7			1026.8	1024.0			
Kolmer . . .	a) 1053.4	1056.5		1058.6	1026.5	1023.1			
	b) 1052.0								
Müller . . .	a) 1055.7	1055.5	1063.0		1024.5	1021.7	1024.6		
	b) 1059.0								

Beginnen wir mit einer Betrachtung der Blutserumdichte, als dem eindeutigeren Werte. 1895 und 1896 hatten wir beim Aufstieg nach Col d'Olen und zur Capanna Gnifetti (3900 m hoch) eine Verminderung der Serumdichte gefunden. Jetzt zeigt sich beim Übergang zum Brienzer Rothorn, also auf 2150 m, die gleiche Erscheinung bei Müller, Waldenburg und Kolmer deutlich ausgeprägt, bei Zuntz angedeutet. — Nur bei Loewy und Caspari steigt die Serumdichte an. Daß aber dieser Anstieg nichts Gesetzmäßiges ist, ergibt sich wenigstens für Loewy daraus, daß auf der Punta Gnifetti die Serumdichte wieder gleich der in Brienzi ist. Der hohe Wert auf dem Rothorn resultiert bei Loewy, wie eine Betrachtung der Einzelwerte zeigt, nur daraus, daß neben einem den Brienzer entsprechenden Werte ein zweiter gefunden wurde, der abnorm hoch liegt und demnach auch das Mittel erheblich in die Höhe treibt! Bei Caspari ist auf dem Rothorn nur ein einziger Wert festgestellt worden.

Wir können danach jedenfalls soviel sagen, daß der Übergang und selbst auch der längere Aufenthalt in der Höhe eine Konzentrationssteigerung des Blutserums nicht bedingt.

Das Ergebnis bestätigt nicht nur unsere früheren Resultate, es steht auch in Übereinstimmung mit den S. 178 zitierten Befunden von Egger und Jaquet-Suter an Tieren.

Auf Grund des Verhaltens des nun in einer genügenden Zahl von Fällen untersuchten Blutserums muß man die Annahme einer Eindickung des Serums bei Individuen, die aus dem Tieflande ins Höhenklima aufsteigen, fallen lassen; weder die auf gesteigerter Verdunstung basierende Theorie von Grawitz, noch die eine gesteigerte Filtration infolge erhöhten Tonus der Blutgefäße zur Erklärung heranziehende von Bunge-Abderhalden können vor den festgestellten Tatsachen bestehen. Die höhere Serumkonzentration, die Abderhalden bei seinen Rindern und Schweinen fand, die kürzer oder länger im Hochlande gelebt hatten, dürfte sich,

wie schon erwähnt, aus Rassenverschiedenheiten oder Ernährungsdifferenzen erklären.

Was die Dichte des Gesamtblutes anlangt, so kann sie in unseren Versuchen nicht viel besagen. Da die roten Blutzellen die spezifisch schwersten Bestandteile des Blutes sind, ist sie im allgemeinen ein Ausdruck für die Zahl derselben in der Volumeinheit und geht daher mit dieser auf und ab. In den vorliegenden Versuchen muß dieser Zusammenhang etwas verwischt werden, da die Blutflüssigkeit, wie die vorstehenden Angaben gezeigt haben, ihr spezifisches Gewicht nicht vollkommen konstant erhalten hat. Wir sehen deshalb nur bei Zuntz, Caspari und Waldenburg einen Parallelismus zwischen der Zellenzahl und dem Wert für die Blutdichte; bei den drei anderen Versuchspersonen ist der Gang beider Werte zum Teil ein divergenter.

Besondere Schlüsse lassen sich wohl aus den Werten nicht ziehen.

Endlich hätten wir noch der Ergebnisse der Trockenpräparate Erwähnung zu tun. Sie fielen, was das Auftreten kernhaltiger junger Blutzellen oder pathologischer Zellformen anlangt, vollkommen negativ aus. Also auch dieser Weg hat uns keinen Anhalt gegeben, ob eine gesteigerte Blutbildung anzunehmen ist.

Unsere Versuche an Menschen haben uns somit nur gelehrt, daß die anscheinende Gesetzmäßigkeit in der Zunahme der Blutzellen in der Volumeinheit Blut mit zunehmender Höhe doch nicht als absolut sicher und ausnahmslos anzusehen ist, und daß Konzentrationssteigerungen der Blutflüssigkeit beim Übergang in die Höhe entweder gar nicht eintreten oder doch nur in bedeutungslosem Maße.

Aber wir müssen noch einmal betonen, daß, sowenig die Steigerung der Blutzellenzahl im Kubikmillimeter Blut bei den im ersten Abschnitt genannten Forschern für eine Zunahme der Gesamtzellenzahl im Körper beweisend ist, sowenig unsere Befunde sie ausschließen.

Unsere Versuche an Hunden.

Um die Einwirkung eines längeren Aufenthaltes im Hochgebirge auf Blut und blutbereitende Organe und eine eventuelle Zunahme des Gesamthämoglobins feststellen zu können, unternahmen wir weitere Untersuchungen an acht Hunden.

Von diesen waren vier junge Foxterrier vom selben Wurf. Sie kamen in einem Alter von sieben Wochen in den Stall des physiologischen Instituts zu Bern, welcher zu diesem Zweck in liebenswürdigster Weise von Herrn Prof. Kronecker zur Verfügung gestellt worden war. Ferner wurden zwei vollkommen ausgewachsene Tiere von ungefähr gleicher Größe, im Gewicht von je 7 Kilo, und zwei weitere große Hunde im Gewicht von je 19 Kilo in demselben Stalle gehalten. Alle Tiere wurden in der zweiten Hälfte des Mai in den Versuch genommen.

Es muß bemerkt werden, daß die Tiere vollkommen genügenden Raum im Stalle und außerdem Platz zum Umherlaufen im Garten hatten und sich überhaupt unter den besten hygienischen Bedingungen befanden. Ihre Nahrung bestand aus in warmem Wasser aufgeweichten Hundekuchen (Spratts Patent) und einem geringen Zusatz von Knochenabfällen. Die Nahrung wurde reichlich gegeben, so daß die Hunde nach Belieben fressen konnten. Nachdem sie drei Wochen im Institut waren — wobei sie alle schon an Umfang und Gewicht zugenommen hatten — wurden die ersten Zählungen vorgenommen. Um Fehler zu vermeiden, wurde das

Tier dabei von einem Gehilfen gehalten, am Ohr rasiert, die Stelle mit Alkohol und Äther gereinigt und nach einigen Minuten mit einem scharfen Skalpell ein Haut- und Unterhautzellgewebe trennender Schnitt gemacht. Die Tiere verhielten sich dabei meist völlig ruhig und machten keinerlei Abwehrbewegungen. Die Zählung geschah in allen Fällen durch Kolmer.

Schon bei der ersten Zählung in Bern zeigten sich trotz Anwendung aller Vorsichtsmaßregeln bei den einzelnen Tieren — auch bei den Hunden von gleichem Wurf — große Differenzen in der Anzahl der Blutkörperchen.

Die zahlenmäßigen Belege hierfür finden sich auf der im Anhange befindlichen Tabelle Nr. XXV.

Am 5. Juni wurden die Hunde I, II, V, VII auf das Brienzer Rothorn gebracht. In einer Höhe von 2153 m wurde für sie ein Stall eingerichtet. Die Tiere hatten hier ebenso wie in Bern einen eingezäunten Platz, auf dem sie sich herumtummeln konnten, und auch außerhalb häufig zu ausgiebiger Bewegung Gelegenheit. Eine gut geschützte Schlafstätte bewahrte sie vor den Unbilden des ziemlich rauhen Klimas mit seinen häufigen Schneefällen. Die Nahrung bestand aus denselben Hundekuchen wie in Bern mit etwas Knochenabfällen und wurde reichlichst verabreicht. Alle Hunde befanden sich während der ganzen Beobachtungszeit sichtlich wohl, waren sehr lebhaft und zeigten keinerlei Anzeichen der bei Versuchstieren so häufigen Krankheiten.

Entgegen den Angaben mehrerer Autoren fanden sich in den ersten Stunden nach dem Eintreffen auf dem Gipfel keine abnormen Erscheinungen im Blutbilde vor.

In der Folgezeit wurden die Hunde, sowohl die in Bern zurückgebliebenen als auch — immer einen Tag später — die auf dem Rothorn, untersucht, und zwar am 22. Juni, am 15. Juli und im Laufe der dritten Augustwoche, als die Expedition auf dem Rothorn weilte. Die Tiere blieben bis zum 25. September oben in Pflege und wurden dann nach Bern gebracht, wo sie sogleich für die Gesamthämoglobinbestimmung und die Untersuchung des Knochenmarkes verwendet wurden.

Wir lassen hier in tabellarischer Übersicht zunächst die zu verschiedener Zeit erhaltenen Zahlen für die Menge der Blutzellen im Kubikmillimeter Blut folgen:

Tabelle 6.

A. Beobachtungen an den vier jungen Foxterriern von gleichem Wurf.

Monat der Blutkörperchenzählung	Tiere die zuerst in Bern, dann auf dem Rothorn lebten				Tiere, die dauernd in Bern lebten			
	Foxterrier I		Foxterrier II		Foxterrier III		Foxterrier IV	
	Gewicht g	Blutzellenzahl	Gewicht g	Blutzellenzahl	Gewicht g	Blutzellenzahl	Gewicht g	Blutzellenzahl
Mai	2800	3 880 000	3500	4 934 000	2800	5 293 000	2700	5 386 000
		4 268 000		4 398 000				
Juni	4300	6 712 000	3800	7 674 000	3700	6 606 000	3500	6 304 000
Juli	5560	6 806 000	5600	7 568 000	5320	7 186 000	4950	7 068 000
August	ca. 6650	7 676 000	ca. 7000	7 600 000				
September . .	7750		8300		6800		6750	

B. Beobachtungen an den erwachsenen Hunden.

Monat der Blutkörperchenzählung	Hunde, die zuerst in Bern, dann auf dem Rothorn lebten				Tiere, die dauernd in Bern lebten			
	Hund V		Hund VII		Hund VIII		Hund VI	
	Gewicht g	Blutzellenzahl	Gewicht g	Blutzellenzahl	Gewicht g	Blutzellenzahl	Gewicht g	Blutzellenzahl
Mai	7020	8 140 000	18 000	7 440 000 7 112 000	7650	7 360 000	19 500	9 741 300
Juni	7850	6 752 000 9 318 000	19 000	8 360 000	7650	8 896 000		9 630 000
Juli	8050	8 824 000	19 520	9 110 000	7930	8 922 400	20 550	9 032 000
August		9 800 000	19 500	9 280 000				
September . .			19 500	8 192 000 (carotis)	7800		21 250	7 398 400 (carotis)

Aus diesen Zahlen ergibt sich erstens, daß alle vier jungen Tiere erheblich an Gewicht zunahmen, und zwar diejenigen Tiere, die auf dem Rothorn waren, (I von 2800 auf 7750 g, II von 3500 auf 8300 g) mehr als die in Bern befindlichen (III von 2800 auf 6800 g, IV von 2700 auf 6750 g). Die ausgewachsenen Hunde nahmen dagegen nur wenig an Gewicht zu. Zweitens zeigt sich, daß bei allen acht Tieren bis auf eines auch die Zahl der Blutzellen in der Volumeinheit ansteigt. Aber die Zunahme ist eine quantitativ ganz verschiedene. Relativ gering ist sie bei den älteren Tieren (vgl. Tabelle 6, B). Hier ist auch ein Unterschied zwischen den beiden Berner und den beiden Rothorn-Tieren nicht deutlich. Je eines, nämlich Hund V — Rothorn — und Hund VIII — Bern —, weisen eine Zunahme um 22 % bzw. 21 % auf; von den beiden anderen hat das Rothorn-Tier — Hund VII — nur um 8 % mehr Blutzellen, das Berner Tier dagegen eine Abnahme gegenüber dem Anfangswert. — Nicht berücksichtigt sind hierbei die beiden Werte, die am Hund VII und VI im September in Bern erhalten wurden, da sie der Halsschlagader und nicht, wie sonst stets, den Ohrgefäßen entstammen. Sie sind daher mit den übrigen nicht direkt vergleichbar. Die Zellenzahl liegt in beiden erheblich niedriger, als die in den Monaten zuvor gefundene, dabei aber beträgt sie beim Rothorn-Tiere ca. 800000 mehr, als beim Berner Hunde.

Anders bei den jungen Foxterriern. Hier sind zunächst bei allen die Zunahmen stärker als bei den älteren Tieren, aber dabei stellt sich ein erheblicher Unterschied zugunsten der Rothorn-Tiere heraus. Während die Berner Tiere ihre Blutzellenzahl nur um 36 % (Hund III) und 30 % (Hund IV) vermehren, beträgt die Vermehrung bei Hund I 75 %, bei Hund II 53 %! —

Es ergibt sich somit, daß zwar auf dem Rothorn ausnahmslos eine Steigerung der Blutzellenzahl eintrat, daß sie jedoch bei den älteren Tieren nicht wesentlich größer war als im Tieflande unter gleichen Bedingungen. Dagegen weisen unsere Ergebnisse auf ein differentes Verhalten der verschiedenen Altersklassen hin, indem bei den noch im Wachstum befindlichen Tieren die Zunahme der Blutzellen im Hochgebirge eine erheblichere war als im Tieflande.

Wichtiger als die vorstehenden sind nun aber unsere weiteren an den Hunden gewonnenen Resultate.

Bestimmung der gesamten Hämoglobinmenge bei den Hunden. Foxterrier I (Rothorn-Tier) und Foxterrier III (Berner Tier) dienten der Bestimmung des Gesamthämoglobins. Das Rothorn-Tier wurde, wie schon erwähnt, am 25. September 1901 nach Bern zurückgebracht, und in den nächsten Tagen erfolgten die Bestimmungen im Berner physiologischen Institute. Wir wollen auch an dieser Stelle dem Leiter des Institutes, Herrn Professor Kronecker, nochmals unseren besten Dank aussprechen für die Liberalität, mit der er uns die Räume und Behelfe seines Laboratoriums zur Verfügung stellte.

Wir gingen so vor, daß wir nach Entnahme eines Teiles des Blutes die Tiere mit 0.9% iger Kochsalzlösung durchspülten, und damit nach dem Tode des Tieres fortfuhren, bis das Spülwasser farblos ablief, wobei wir durch Massage der Extremitäten und des Bauches die Zirkulation der Salzlösung unterstützten. Dann wurden die Tiere enthäutet, der blutleere Magendarmkanal und die Gallenblase entfernt, die Harnblase entleert, die Tiere vollkommen skelettiert, die Muskulatur und Eingeweide zerkleinert; der Brei wurde mit Wasser verrührt, wobei dieses sich kaum noch färbte. Nach Entfernung des Wassers wurde die restierende Masse in einer Buchnerschen Presse ausgepreßt.^{19b)}

Weiter wurde das Skelett gründlich zerkleinert, ausgelaugt und gleichfalls ausgepreßt. — Wir erhielten so drei Portionen bluthaltiger Flüssigkeit. Die erste enthielt das ausgeflossene Blut und die Durchspülungsflüssigkeit, die zweite die durch Auspressung und Auslaugen von Muskeln und Eingeweiden erhaltene Blutlösung, die dritte die aus den Knochen stammende Blutmenge. Jeder dieser Teile wurde gemessen und sein Hämoglobingehalt mittels eines Miescher-Fleischlschen Apparates ermittelt.

Das von Professor Fleischl in Wien konstruierte, von Miescher in Basel verbesserte Hämoglobinometer besteht aus einer kleinen, mit Glasboden versehenen Doppelkammer. In die eine kommt das zu untersuchende, verdünnte Blut, in die andere destilliertes Wasser. Unter dem Boden letzterer Kammer verläuft ein in der Farbe des Blutes rotgefärbter verschieblicher Glaskeil, dessen Farbintensität von dem einen Ende zum anderen kontinuierlich zunimmt. An dem einen Ende entspricht sie der eines Blutes, das nur 10% des normalen Farbstoffgehaltes enthält, an dem anderen der eines übernormalen Farbstoffgehaltes (ca. 140% der Norm). — Man blickt nun durch beide Kammern und verschiebt den Keil so lange, bis die Farbintensitäten der Blutlösung und des unter dem Boden der Kammer sichtbaren Keilstückes gleich geworden sind. An einer Skala kann man dann direkt den Hämoglobingehalt des Blutes ablesen.

Wir wollen hervorheben, daß wir die Hämoglobinbestimmung im Skelett nicht für unwichtig halten. Aus Versuchen von Franz Müller¹⁹⁾ wissen wir, daß trotz vollkommenster Durchspülungen eines Tieres im Knochenmark erhebliche und sehr wechselnde Quantitäten Blut zurückgehalten werden können. Sie scheinen von der morphologischen Struktur und dem ursprünglichen Blutgehalt der Knochen abzuhängen und sind um so weniger zu vernachlässigen, je blutreicher das Knochengewebe ist. Leider ist bisher bei keiner Untersuchung, außer der unsrigen, auf die Blutmengen im Knochenmarke Rücksicht genommen worden.

Die gesonderte Bestimmung des Blutgehaltes der Organe gibt uns einen Anhalt für die Vollständigkeit der Durchspülung; je besser diese war, um so weniger Blut müssen wir aus den Organen erhalten.

Die Ergebnisse an den beiden Foxterriern finden sich auf Tabelle 7 zusammengestellt.

Tabelle 7.
Bestimmungen der Gesamthämoglobinmenge.

	Foxterrier I, Rothorn Gewicht = 7.750 kg	Foxterrier III, Bern Gewicht = 6.800 kg
Hämoglobinmenge im Blut	92.990 g	65.491 g
Restierende Hämoglobinmenge in den Organen . .	4.444 g	6.535 g
Hämoglobinmenge im Skelett	3.289 g	1.301 g
Gesamthämoglobinmenge	100.723 g	73.327 g
Hämoglobin pro Körperkilo	12.997 g	10.783 g

Wir finden, daß das Rothorn-Tier ganz erheblich mehr Hämoglobin enthält als das Berner, nämlich 100.7 g gegenüber 73.3 g. Aber es ist auch erheblich schwerer. Beziehen wir die Hämoglobinmengen auf gleiches Gewicht, so werden die Differenzen zwar geringer, bleiben jedoch bestehen. Auf das Körperkilo enthielt das Rothorn-Tier 12.997 g Hämoglobin, das Berner nur 10.783 g, das erstere führte also 20.5 % mehr Hämoglobin als das letztere.

Die Hämoglobinmenge, um die das Höhentier reicher ist als das Berner, beträgt nur wenig mehr als in Abderhaldens Versuchen und entspricht fast genau den Werten von Jaquet-Suter. — Das ergibt sich aus Tabelle 8, in der wir des Vergleiches halber alle bisher über die Zunahme des Gesamthämoglobins im Höhenklima ermittelten Werte zusammenstellen.

Tabelle 8.
Vergleichende Zusammenstellung aller bisher über die Gesamthämoglobinzunahme im Höhenklima ermittelten Werte.

Autor	Tierart	Hämoglobinmenge pro Körperkilo				Prozentige Differenz
		in	g	in	g	
Jaquet-Suter	Kaninchen	Basel	5.39	Davos	6.59	+ 23
Jaquet	Kaninchen	Basel	5.50	Basel (Luftverdün- nung entspr. Davos)	6.73	+ 20
Abderhalden	Kaninchen	Basel	7.99	St. Moritz	9.32	+ 16.65
Abderhalden	Ratten	Basel	8.92	St. Moritz	10.62	+ 19.06
Wir	Hund	Bern	10.78	Brienzer Rothorn	13.00	+ 20.5

Gegenüber diesen, geradezu auffallend übereinstimmenden Ergebnissen zeigen nur die schon besprochenen Versuche von Weiß keine Steigerung.

Betrachten wir die Tabelle 7 genauer mit Bezug auf die Verteilung des Hämoglobins auf Blut, Organe, Skelett, so ergibt sich zunächst, daß in den Organen des Rothorn-Tieres viel weniger Hämoglobin verblieben war als in den des Berner. Die Durchspülung war also eine bessere gewesen. Nichtsdestoweniger sehen wir,

in Bestätigung der bereits erwähnten Müllerschen Befunde, daß das Skelett des Rothorn-Tieres weit mehr Hämoglobin enthält als das des Berner, nämlich noch 3.3 g gegen nur 1.3 g. — Bezogen auf die gesamte Hämoglobinmenge enthielt das Skelett des Rothorn-Tieres noch 3.4 ‰, das des Berner nur 1.8 ‰.

Wir würden also die Steigerung der Hämoglobinmenge zu gering veranschlagt haben, wenn wir das Skelett vernachlässigt hätten, und die Ergebnisse von Jaquet und Abderhalden dürften danach wohl auch als Minimalwerte anzusehen sein.

Die Übereinstimmung, in der sich unser Ergebnis mit dem von Jaquet-Suter befindet, veranlaßte uns, keine weiteren Durchspülungen vorzunehmen, vielmehr dem eigentümlichen Verhalten des Knochenmarkes, das uns beim Öffnen des Skelettes entgegentrat, weiter nachzugehen. Die Zahl der Tiere, die uns noch zur Verfügung standen — sechs — und die nicht einmal alle gleichen Wurfes waren, reichte nicht aus, um die Beweiskraft der zahlreicheren Versuche von Jaquet-Suter sehr erheblich zu steigern, wenn sie in gleichem Sinne ausfielen, oder sie zu erschüttern, wenn eine Vermehrung der Gesamthämoglobinmenge nicht nachgewiesen werden konnte.

Untersuchungen des Knochenmarkes unserer Hunde. Wie erwähnt, ließ sich aus dem Knochenmark des auf dem Brienzer Rothorn gewesenen Foxterriers, trotzdem die Durchspülung besser gewesen war als bei dem Berner Tier, mehr Hämoglobin beim Auslaugen nach dem Zerhacken gewinnen. Dementsprechend sah bei der makroskopischen Betrachtung das Mark des ersteren Tieres blutreicher, hyperämischer aus als das des letzteren. Zur weiteren Verfolgung dieses Befundes töteten wir deshalb die beiden anderen Foxterrier und die übrigen vier Tiere, deren zwei ca. 7 Kilo, die beiden anderen ca. 20 Kilo wogen, durch Chloroforminjektion, öffneten die großen Unterschenkelknochen (Tibiae), die Oberschenkelknochen (Ossa femoris) und einzelne Rippen und verglichen sie miteinander.

Zum Verständnis des Folgenden erscheint es uns notwendig, das Verhalten des Knochenmarkes, welches die Hauptblutbildungsstätte bei allen Wirbeltieren und auch beim Menschen nach der Geburt darstellt, zu besprechen. Wie alle Organe des tierischen Körpers einer allmählichen Abnutzung unterliegen, die durch dauernde Neubildung ausgeglichen werden muß, so ist es auch beim Blut. Selbst wenn keine Blutverluste aus besonderen Ursachen eintreten — bei der Frau finden solche ja übrigens periodisch statt —, geht doch immer von den zelligen Bestandteilen des Blutes ein bestimmter Prozentsatz zugrunde, wahrscheinlich in Leber und Milz. Deshalb muß eine dauernde Neubildung stattfinden. Diese ist jedoch, was ihren Umfang anbetrifft, in verschiedenen Lebensaltern sehr verschieden. Sie ist am intensivsten in der Jugend und nimmt mit fortschreitendem Alter mehr und mehr ab. Dementsprechend ist auch das Verhalten des Knochenmarkes in den verschiedenen Lebensaltern ein verschiedenes. Betrachten wir das Mark ganz junger Individuen, so sieht es durchweg blutrot aus (sog. rotes Mark). Mit zunehmendem Alter verschwindet die rote Färbung zunächst in den zentralsten Teilen des Markes (dabei beziehen wir uns auf die langen Röhrenknochen, die allein eine ausgebildete Markhöhle besitzen) und nimmt ein gelbes, fettähnliches Aussehen an. Dieses „gelbe oder Fettmark“, das nun keiner Blutbildung mehr fähig ist, dehnt sich immer weiter vom Zentrum zum Rand hin aus, so daß im höheren Alter das gesamte Mark der langen Knochen verfettet ist. Man bezeichnet daher ganz allgemein das rote Mark als tätiges, das gelbe als ruhendes.

Es gibt also schon die einfache Betrachtung des Knochenmarks Aufschluß darüber, ob es fähig ist, der Blutbildung zu dienen oder nicht.

Demgemäß war begründete Aussicht vorhanden, eine Einwirkung des Höhenklimas auf die blutbildenden Funktionen des Marks zu erkennen, wenn wir Gruppen von Tieren verschiedenen Lebensalters, jüngere und ältere, unter sonst genau gleichen äußeren Bedingungen zu einem Teil im Tieflande, zum anderen im Hochgebirge hielten. Verglich man dann die gleichalterigen Tiere, so waren etwaige Unterschiede im Aussehen des Knochenmarks beweisend für eine klimatische Wirkung.

Die Ergebnisse bestätigten in der Tat unsere Vermutungen: es fand sich wirklich bei den Höhentieren ein Verhalten des Knochenmarks, das für eine viel lebhaftere Blutneubildung, als bei den in Bern verbliebenen Tieren sprach.

Genau untersucht wurden von uns die großen Unterschenkelknochen, die Oberschenkelknochen und einige Rippen.

Während die Tibiae der beiden jungen Foxterrier, die in Bern gelebt hatten, ein bereits verfettetes Mark zeigten, war das der 2 Geschwistertiere, die auf das Rothorn verbracht waren, ganz „rotes Mark“. In den Oberschenkelknochen war das Mark der Berner Foxterrier gleichfalls verfettet, das der Rothorn-Tiere nur zum Teil fettig, zum Teil dagegen rötlich, es war sog. „gemischtes“ Mark. An den Rippen waren keine deutlichen Unterschiede zu erkennen, da bei den jungen, nur $\frac{3}{4}$ Jahr alten Tieren das Mark dort auch beim Aufenthalt im Tieflande noch von roter Beschaffenheit ist. In diesem Alter ist ja die Neubildung noch eine so rege, daß die platten Knochen tätiges Mark enthalten. — Bei den beiden älteren, schon ausgewachsenen Tieren war an den Tibiae und Rippen eine Differenz wegen zu weit vorgeschrittener Verknöcherung nicht deutlich wahrzunehmen. Dagegen hatten die beiden Oberschenkelknochen des Berner Tieres Fettmark, die des Rothorn-Tieres rotes Mark. — Bei den 2 alten Tieren waren die Röhrenknochen durchweg verfettet.

Bewiesen diese mit bloßem Auge wahrnehmbaren Befunde eine gesteigerte Tätigkeit des Knochenmarks in der Höhe, die darin ihren Ausdruck findet, daß junges tätiges Mark im Höhenklima länger persistiert als in der Tiefe, oder Fettmark sich in rotes Mark zurückverwandelt, so gab die mikroskopische Untersuchung noch einen genaueren Einblick in die anatomischen Verhältnisse.

Für diese Untersuchungen war nur das Mark der kleinen Foxterrier von gleichem Wurf zu benutzen, einerseits weil es sich hier um Geschwistertiere handelte, die Ergebnisse also so gut wie möglich vergleichbar waren, andererseits weil nur hier das Mark noch so wenig von Knochenbälkchen durchwachsen war, daß es sich in mikroskopische Schnitte zerlegen ließ.

Die Tibiae wurden in ca. 5 mm lange Stücke geteilt, diese nach teilweiser vorsichtiger Entfernung der Knochenrinde in Härtingungsflüssigkeiten gelegt und späterhin in Berlin weiter verarbeitet. Die weiteren Einzelheiten der Methodik finden sich auf den Tafeln selbst verzeichnet.

Hier sei zum Verständnis der Bilder nur angeführt, daß die Querschnitte des Markes durch Alkoholbehandlung ihr Fett verloren haben. Wo vorher Fett lag, finden sich nun helle, d. h. ungefärbte, leere Räume. Die Schnitte sind außerdem mit Methylenblau und Eosin gefärbt. Ersteren blauen Farbstoff haben nur die Kerne der roten Blutzellen behalten, letzteren roten das sog. Protoplasma der Zellen und zwar in wenig intensivem Ton. Je größeren Raum die blaugefärbten Anteile auf dem Schnitt einnehmen, um so mehr kernhaltige rote Blutzellen sind vorhanden, je mehr der farblose Anteil im Bilde überwiegt, um so stärker ist das Fettmark entwickelt.

Betrachtet man daraufhin die vier Querschnitte (Tafel II u. III nach Seite 200), von denen je zwei das Mark in 20 facher, die beiden anderen in 50 facher Vergrößerung zeigen, so sieht man besonders deutlich bei der stärkeren Vergrößerung, daß die blaue Zone bei dem Mark des Rothorn-Tieres ausgebreiteter ist, als bei dem

des Berner Tieres. Prägnant ist der Unterschied am Rande des Querschnittes, der bei dem Berner Tier neben zelligen Elementen auch die Anwesenheit von Fett zeigt, während beim Rothorn-Tier eine nur aus Zellen bestehende Randzone ohne Beimengung von Fett vorhanden ist.

Untersucht man die Schnitte bei 600—1000facher Vergrößerung, so findet man, daß die blauen Partien sich in der Tat im wesentlichen aus kernhaltigen roten Blutkörpern zusammensetzen. Diese zeigen Formen und Beschaffenheit, wie sie das Bild des Blutes der Knochenmarkvene auf Tafel I nach Seite 184 wiedergibt. Leider lassen sich die bei so starken Vergrößerungen erhaltenen Bilder der Markschnitte nicht gut reproduzieren, so daß wir die Zellen nicht so, wie sie an Ort und Stelle des Entstehens im Mark gelagert sind, wiedergeben konnten.

Die Untersuchung ergibt also, daß das Knochenmark des Höhentieres vorwiegend tätiges Mark, das des Berner Tieres vorwiegend ruhendes Fettmark darstellt.

Die Ursachen der gesteigerten Blutbildung im Höhenklima. Sowohl durch die Ergebnisse der Untersuchungen, in denen das Verhalten der gesamten im Körper kreisenden Blutfarbstoffmenge beim Aufenthalt im Höhenklima festgestellt wurde, wie auf Grund der Erforschung des Knochenmarkes müssen wir jetzt anerkennen, daß eine Steigerung der Blutbildung im Höhenklima stattfindet.

Es erhebt sich nun die weitere Frage: Welcher dem Höhenklima eigentümliche Faktor ist denn als der wirksame zu betrachten?

Auch diese Frage kann als geklärt angesehen werden. Wir besitzen eine größere Zahl von Untersuchungen, die übereinstimmend das Ergebnis gezeigt haben, daß es die Luftverdünnung ist, die blutbildend wirkt.

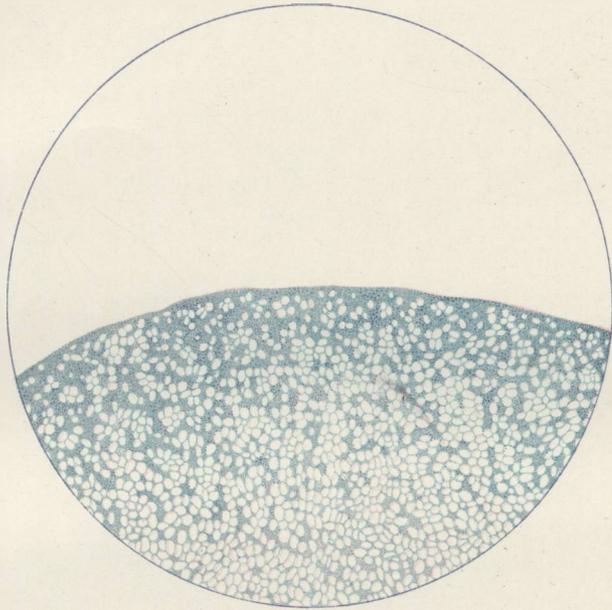
Die erste stammt von dem französischen Forscher Regnard.²¹⁾ Bald nach Viaults aufsehenerregenden Befunden stellte er einen Versuch derart an, daß er ein Meerschweinchen für einen Monat unter eine Glasglocke brachte, innerhalb derer die Luft dauernd in einer Verdünnung gehalten wurde, die einer Erhebung auf 3000 m gleichkam. Das Blut dieses Tieres konnte dann weit mehr Sauerstoff aufnehmen, als normales Meerschweinchenblut. Schüttelt man letzteres mit atmosphärischer Luft, so nehmen 100 ccm Blut 14—17 ccm Sauerstoff aus der Luft auf; das Blut des Tieres jedoch, das in der verdünnten Luft gesessen hatte, konnte 21 ccm aufnehmen. Regnard fand also dasselbe, was Paul Bert am Blute der Anden-Tiere beobachtet hatte.

Später stellte Schröder²³⁾ ähnliche Versuche an Meerschweinchen an, deren Blutzellen in der Volumeinheit er vor und nach einem 14tägigen Aufenthalt in verdünnter Luft zählte. Er fand eine Steigerung von gegen 14 %.

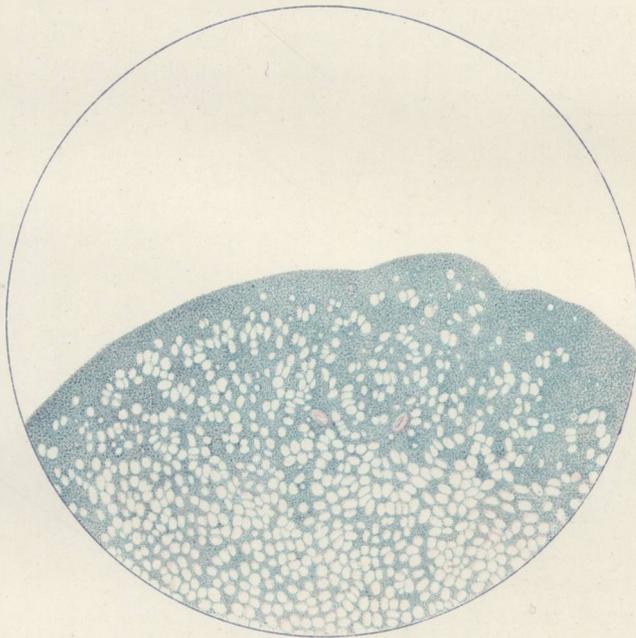
Sehr umfangreich waren die im Vorstehenden schon wiederholt zitierten Versuche von Schaumann und Rosenqvist²²⁾ an Kaninchen, Hunden, Tauben, die unter der allerdings erheblichen Verdünnung von 450 mm Quecksilberdruck gehalten wurden. Diese Verdünnung entspricht einer Höhe von etwa 4000 m. Es war dafür gesorgt, daß die Luft in der Glocke bezüglich der Temperatur, Feuchtigkeit und

Tafel II.

Knochenmarksschnitte. 20fache Vergrößerung.



Berner Tier.



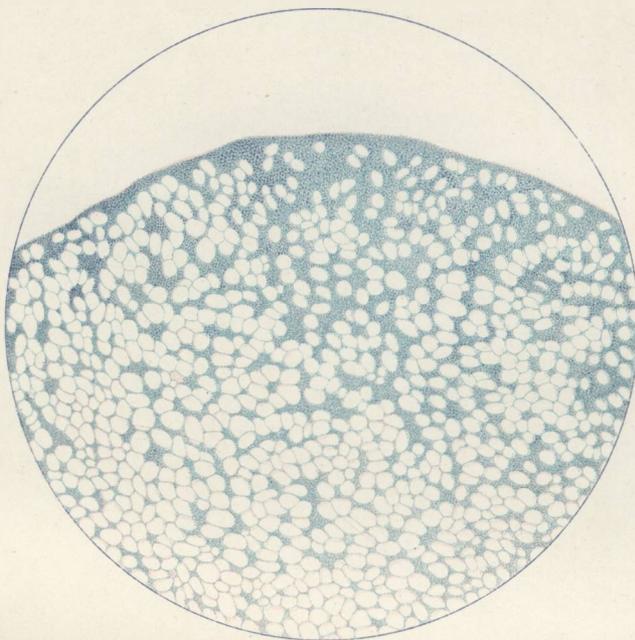
Rothortier.

(Fixierung in 4% Formalin; Alkohol, Paraffin. Beide Schnitte von gleicher Dicke, von der gleichen Stelle der Tibia, enthalten nur eine Zellage.)

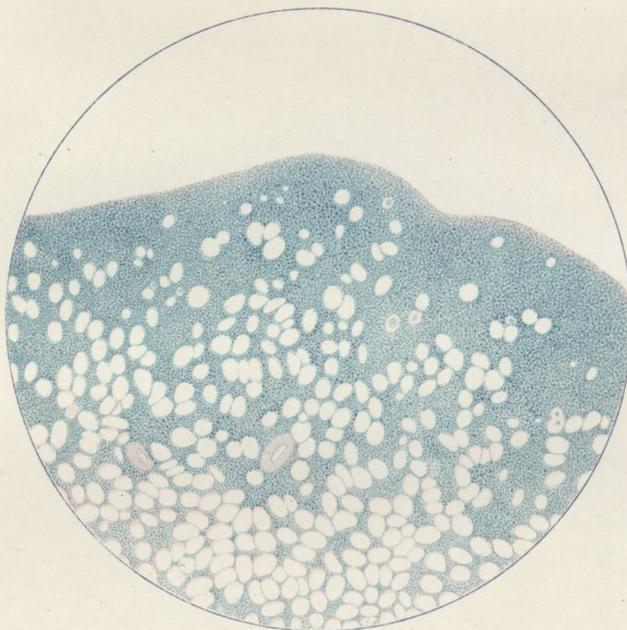
Färbung: Eosin-Methylenblau.

Tafel III.

Dieselben Knochenmarkschnitte. 50fache Vergrößerung.



Berner Tier.



Rothorntier.

(Fixierung in 4% Formalin; Alkohol, Paraffin. Beide Schnitte von gleicher Dicke, von der gleichen Stelle der Tibia, enthalten nur eine Zellage.)

Färbung: Eosin-Methylenblau.

sonstigen Beschaffenheit normal war und eben nur durch die Verdünnung sich von der Luft des Tieflandes unterschied. Auch diese Autoren fanden die Zunahme der Blutzellen, bei Aufhalten, die bis zu Monaten dauerten, daneben aber — und hierauf mag der hohe Grad der Verdünnung Einfluß gehabt haben — zahlreiche kernhaltige Zellen, die man als junge, neugebildete anzusehen hat.

Daß es sich auch in allen diesen Laboratoriumsversuchen um reelle Zunahme der Blutzellen, nicht um Änderungen der Verteilung oder ähnliches handelt, beweisen die bereits erwähnten Versuche von Jaquet und Suter.¹³⁾ Diese stellten die Gesamthämoglobinmenge bei Kaninchen fest, welche vier Wochen in einem Kasten bei einem Druck von 640 mm Quecksilber, gleich der Höhe von Davos, gelebt hatten, und fanden 23 % mehr Hämoglobin als bei Tieren, die analog gehalten wurden, aber ohne Luftverdünnung.

Endlich seien noch Versuche von Sellier²⁶⁾ genannt, die beweisen, daß nicht das mechanische Moment der Luftverdünnung hier das ausschlaggebende ist, vielmehr die Sauerstoffarmut, die mit der Verdünnung verknüpft ist.

Sellier hielt nämlich Wachteln nicht in verdünnter Luft, vielmehr in Luft, die sauerstoffarm gemacht war, unter vollem Barometerdruck. Auch so fand er die von allen vorstehend genannten Untersuchern gesehene Zunahme der Blutzellen.

Umgekehrt konnte Jaquet feststellen, daß nicht niedrige Temperatur, und Meyer,¹⁷⁾ daß nicht Wirkungen des Lichtes die für das Höhenklima charakteristischen Veränderungen des Blutes herbeiführen.

Fassen wir nunmehr alles Gesagte zusammen, so müssen wir zu dem Schluß kommen:

Das Höhenklima besitzt einen ausgesprochenen Einfluß auf die Blutbildung. Es steigert sie, indem es das Knochenmark in einen Zustand erhöhter Tätigkeit versetzt. Am ausgesprochensten geschieht dies bei jugendlichen Individuen. Der wirksame Faktor ist die Luftverdünnung, bezüglich die mit dieser parallel gehende Sauerstoffverarmung der Luft.

Literatur.

¹⁾ E. Abderhalden: Zeitschrift f. Biologie, Bd. 43, auch Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie, Bd. 92.

²⁾ Paul Bert: „La pression barométrique“. Paris 1878.

³⁾ Chr. Bohr: Zentralblatt für Physiologie. Bd. XVII.

⁴⁾ Bürker: Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie. Bd. 105 und 106.

⁵⁾ Campbell: Amer. Journ. of Physiol. VIII.

⁶⁾ Armand Delille und A. Mayer: Comptes rendus de la soc. de biol. 1902.

⁷⁾ F. Egger: Verhandlungen des XII. Kongresses für innere Medizin. 1893.

^{7a)} C. Foà: Laborat. scient. internat. du Mont Rosa. Trav. de l'année 1903. Turin 1904.

⁸⁾ A. Fraenkel und J. Geppert: „Über die Wirkung der verdünnten Luft auf den Organismus“. Berlin 1883.

⁹⁾ J. Gaule: Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie. Bd. 89.

¹⁰⁾ Gottstein: Berliner klin. Wochenschrift 1898 und Münch. mediz. Wochenschrift. 1899.

^{10a)} O. Grawitz: Berliner klinische Wochenschrift. 1895.

- ¹¹⁾ A. Jaquet: „Über die physiologische Wirkung des Höhenklimas“. Basel 1904.
 - ¹²⁾ Derselbe: Archiv für experimentelle Pathologie und Pharmakologie. Bd. 45.
 - ¹³⁾ A. Jaquet und Suter: Korrespondenzblatt für Schweizer Ärzte. 1898.
 - ¹⁴⁾ G. T. Kemp: Americ. Journ. of Physiol. X, No. VI.
 - ¹⁵⁾ A. Loewy, J. Loewy, Leo Zuntz: Pflügers Archiv f. d. ges. Physiologie. Bd. 66.
 - ¹⁶⁾ A. Loewy und N. Zuntz: Archiv für (Anatomie und) Physiologie. 1904.
 - ¹⁷⁾ C. F. Meyer: „Einfluß des Lichtes im Höhenklima“. Basel 1900.
 - ¹⁸⁾ F. Miescher: Korrespondenzblatt für Schweizer Ärzte. 1893.
 - ¹⁹⁾ Franz Müller: Archiv für (Anatomie und) Physiologie. 1901.
 - ^{19a)} Derselbe: Deutsche Medizinal-Zeitung. 1901.
 - ^{19b)} Derselbe: Virchows Archiv. Bd. 164, S. 134.
 - ²⁰⁾ A. Müntz: Comptes rendus de l'academ. 1891. Bd. 112.
 - ²¹⁾ P. Regnard: „La cure d'altitude“. Paris 1898.
 - ²²⁾ O. Schaumann und E. Rosenqvist: Zeitschrift für klinische Medizin. Bd. 35.
 - ²³⁾ G. Schröder: „Veränderungen des Blutes in Görbersdorf“. Halle 1894.
 - ²⁴⁾ v. Schrötter und Zuntz: Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie. Bd. 92.
 - ²⁵⁾ Schumburg und Zuntz: Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie. Bd. 63.
 - ²⁶⁾ J. Sellier: „Influence de la tension de l'oxgène sur l'hématopoièse“. Bordeaux 1895.
 - ²⁷⁾ Viault: Compt. rend. de l'académie des sciences. 1890—1892.
 - ²⁸⁾ van Voornveld: Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie. Bd. 102.
 - ²⁹⁾ J. Weiß: Zeitschrift für physiologische Chemie. Bd. 22.
 - ³⁰⁾ N. Zuntz: Berliner klinische Wochenschrift. 1895.
 - ³¹⁾ L. Zuntz: Pflügers Archiv. Bd. 66.
-

Kapitel VII.

Einfluß von Höhenklima und Muskularbeit auf die Verdauung der Nahrung.

Dem Plane der Expedition entsprechend wollten wir den Stoffwechsel von zwei Gesichtspunkten aus betrachten: erstens, bezüglich der Änderungen, welche er im Hochgebirge durch Einwirkung der Luftverdünnung und der anderen klimatischen Faktoren erleidet, und zweitens, ob und in welcher Art er unter dem Einfluß anstrengender Muskularbeit, wie sie das Bergsteigen mit sich bringt, modifiziert wird. Die zahlenmäßigen Ergebnisse des sechswöchentlichen Versuchs sind in den Anhangstabellen III—VIII zusammengestellt. Hier, im Texte des Buches, wollen wir uns bemühen, eine allzu reichliche Aufführung von Zahlen zu vermeiden. Wir wollen vielmehr die Tatsachen, die sich aus dem im Anhang befindlichen Zahlenmaterial ergeben, heraus Schälen, sie diskutieren und so weit als nötig mit älteren Erfahrungen in Zusammenhang bringen. Auf diese Weise hoffen wir, allgemeinere Gesichtspunkte zum Verständnis des Lebens im Hochgebirge zu gewinnen.

Von den zahlreichen Stoffwechselproblemen sollen in diesem Kapitel zunächst die die Verdauung betreffenden betrachtet werden. Wie die folgenden Ausführungen zeigen, hat die Untersuchung der Verdauungsvorgänge Resultate gezeitigt, die erweisen, daß Höhenluft und Muskularbeit auf den Verdauungsapparat in spezifischer und sehr interessanter Weise einwirken. Der Leser mag es verzeihen, wenn wir ihn hier gleich zu Beginn der Stoffwechselbetrachtungen sehr eingehend



Unsere Küche in Brienz.

von Dingen unterhalten, deren Besprechung man im täglichen Leben möglichst vermeidet, und mit denen man sich auch selbst nur ungern beschäftigt. Trugen doch für uns die zur quantitativen Gewinnung der Darmentleerungen nötigen Prozeduren, die zu Beginn und am Schluß jeder Periode stattfindenden Abgrenzungen, auch nicht gerade zur Erhöhung des Genusses des Hochgebirgsaufenthaltes bei. Die eingehende Behandlung dieser Fragen rechtfertigt sich aber durch die Aussicht, mit Hilfe des Studiums der Verdauungsprozesse einen tieferen Einblick in die Veränderungen zu gewinnen, die der menschliche Organismus als Ganzes durch Höhenluft einerseits, Muskeltätigkeit andererseits erleidet.

Die Verdauungsvorgänge im allgemeinen. Unter dem Begriff „Verdauung“ fassen wir alle sich im Magendarmkanal abspielenden Vorgänge zusammen, einerseits die Veränderungen, welche die eingeführte Nahrung erleidet, bevor sie in die Körpersäfte aufgenommen wird, andererseits die Aufnahme der veränderten Nahrungsbestandteile durch die Darmwand, sowie ihre Überführung in Blut und Lymphe.

Mit dem Kauen beginnt die Verdauung. Damit die Nährstoffe aus dem Rohmaterial der Nahrung mit möglichst geringem Aufwand in Lösung übergeführt werden können, müssen sie, abgesehen von den in flüssiger Form eingenommenen Substanzen, zunächst mechanisch zerkleinert werden. Je feiner die Zermahlung erfolgt, desto größer wird die Angriffsfläche der nunmehr freigelegten Nährstoffe für die Verdauungsssekrete.^{17) 18) 31)} Diese Sekrete sind das Produkt der Tätigkeit von Drüsenzellen, die teils in der Wand des Verdauungskanals selbst, teils in dessen Nähe liegen und ihr Sekret durch besondere Ausführungsgänge in ihn hinein entleeren. Zu ersteren gehören die Schleimdrüsen des Mundes, die den Magensaft liefernden Drüsen der Magenschleimhaut und die verschiedenartigen, in der Darmwand gelegenen sekretbildenden Zellen; zu letzteren die Speicheldrüsen des Mundes und die großen drüsigen Organe des Bauches: Leber und Bauchspeicheldrüse („Pankreas“). Die Sekrete enthalten Bestandteile (lösliche Fermente, Enzyme), die auf eine der Nährstoffkategorien, Eiweißkörper, Fette oder Kohlehydrate in ganz spezifischer Weise einwirken. Jede Drüse liefert ein besonderes Produkt. Sie dienen aber alle dem Zwecke, die Nahrungsstoffe zu lösen und für die Aufnahme in die Körpersäfte vorzubereiten. Hatten schon die grundlegenden Untersuchungen von Heidenhain^{7b)} und seinen Schülern über die Tätigkeit des Magens und der Darmschleimhaut ein erstaunlich fein abgestuftes Ineinandergreifen dieser Vorgänge gezeigt, so sind unsere Kenntnisse in den letzten zehn Jahren durch die bahnbrechenden Untersuchungen von Pawlow und seiner Schule sehr erheblich erweitert worden.²⁰⁾ Wir wissen heute, in wie außerordentlich subtiler Weise sowohl die Menge der abgesonderten Sekrete wie ihr Fermentgehalt durch die Beschaffenheit und Zubereitung der Nahrung beeinflusst werden, wie sogar nicht nur nach Einführung von Speisen in den Magen, sondern schon beim Vorzeigen eines leckeren und Appetit anregenden Gerichtes, oder beim Kauen, ohne daß Speise in den Magen gelangt (bei der sog. Scheinfütterung), die Magen- und Darmschleimhaut Sekret absondert, und zwar, je nach der Beschaffenheit der Speise, in verschiedener, für die betreffende Nahrung immer gerade pas-

sender Menge und Zusammensetzung. Man hat durch genial ausgedachte und mit allen Hilfsmitteln moderner operativer Technik ausgeführte Tierversuche erfahren, daß die verschiedenen Abschnitte des Verdauungskanals sich gegenseitig in ihrer Tätigkeit beeinflussen und so den regelmäßigen Fortgang der Verdauung gewährleisten. Neueste Versuche an normalen Menschen wie an solchen, denen wegen Verschlusses der Speiseröhre eine Magenfistel^{30) 27^b)} angelegt war, haben gezeigt, daß diese wunderbare Regulation nach Nahrungsaufnahme wie nach Scheinfütterung hier in ganz ähnlicher Weise wie beim Tier abläuft. — Mit Hilfe dieser Absonderungen vollzieht sich im Magen und Dünndarm die chemische Aufspaltung der gelösten Stoffe in relativ einfach gebaute Substanzen. Das große Molekül der zunächst aus den Eiweißkörpern entstandenen, noch eiweißähnlichen Produkte (Albumosen, Peptone) wird in kleinere zerlegt, die keine Eiweißnatur mehr besitzen (Aminosäuren). Die Fette werden in Glycerin und Fettsäuren gespalten. Auf dem Wege durch die Darmwand fügen sich die Spaltungsprodukte aber zum Teil wieder zusammen, so daß wir sie jenseits der Darmwand in Blut und Lymphe nicht mehr nachweisen können.

Man bezeichnet die Vorgänge, die sich bei Aufnahme der so veränderten Nahrungsbestandteile abspielen, die Aufsaugung in den verschiedenen Darmabschnitten und den Übergang in Blut oder Lymphe, als „Resorption“. Die Resorption ist niemals eine ganz vollkommene. Ein Teil der Nahrung geht stets im Kot verloren. Dieser bildet sich erst in den tiefsten Darmabschnitten nach Aufsaugung des größten Teiles des Wassers aus dem breiigen oder ganz flüssigen Dünndarminhalt. Wie in Kapitel III dargelegt, hat aber der Kot zwiefachen Ursprung. Er besteht neben wechselnden Mengen unverdauter Nahrungsbestandteile aus Resten der in den Darm ergossenen Sekrete, ferner aus dem als Schutz der gesamten Darmoberfläche abgesonderten Schleim und aus abgestoßenen Oberflächenzellen der Darmschleimhaut,^{16) 22) 31)} endlich aus den für den Körper überschüssigen Salzen der schweren Metalle, z. B. des Eisens und der alkalischen Erden, Kalk und Magnesia.

Die unverdauten Nahrungsreste können wir vermittels des Mikroskops nachweisen. So finden wir Muskel- und Bindegewebsfasern, Stärkekörner, nach pflanzlicher Nahrung besonders reichlich Zellmembranen, Chlorophyllkörner, Spiralgefäße. Je nach Art, Menge und Zusammenstellung der Kost muß also der Anteil des der Resorption entgehenden Nahrungsrestes an der gesamten Menge des Kotes wechseln. Andererseits aber enthält der Kot nicht alles, was dem Körper von der Nahrung verloren geht. Gewisse Mengen der im Darne befindlichen Stoffe werden durch Gärungsvorgänge in gasförmige Produkte verwandelt und entziehen sich so der Bestimmung. Diese spielen allerdings beim Menschen eine geringe Rolle, anders bei manchen Tieren, bei denen sie bis zu 10⁰/₀ der verdauten Nahrung ausmachen können.^{9a)}

So ist also die Gesamtmenge der resorbierten Nahrung nicht ohne weiteres durch Abzug des im Kot Ausgeschiedenen von dem in der Nahrung Aufgenommenen bestimmbar. Wenn man sich ein Urteil über die Funktionen unseres Verdauungsapparates und über die Verluste bilden will, die der Körper bei bestimmter Ernährung unter bestimmten äußeren Bedingungen erleidet, muß man daher die einzelnen, die Kotbildung beeinflussenden Momente einer näheren Betrachtung unterziehen.

Menge des Kotes. Die Masse des frischen Kotes hängt in erster Linie von seinem Wassergehalt ab. Dieser ist so gut wie unbeeinflusst durch die Wassermenge, die dem Körper in der flüssigen und in erheblichem Umfange auch in der sog. festen Nahrung zugeführt wird. Das Wasser wird im oberen Darm resorbiert, und soweit es nicht im Körper verbleibt, von Lunge und Niere wieder ausgeschieden. Der Wassergehalt und damit die Masse des Kotes wechselt vielmehr im wesentlichen entsprechend der Schnelligkeit, mit welcher die Nahrung den Darm passiert. Wenn sie länger darin verweilt, so bei vorwiegend tierischer Nahrung, ist der Kot fest und wasserarm. Bei vorwiegend pflanzlicher Kost folgen die Entleerungen einander schneller, der Kot wird massiger, breiiger. Eine Zusammenstellung mag dies illustrieren.

Tabelle 1.

Nahrung	Wassergehalt des frischen Kotes in %	Trockensubstanz auf 100 Teile feuchten Kotes
Rüben, Kohl	92—96	4—8
Kartoffel, Erbsen, Schwarzbrot .	81—87	13—19
Weißbrot	74	26
Eier	70	30
Fleisch	70	30

Jedermann weiß aber aus den Erfahrungen des täglichen Lebens, daß die Häufigkeit der Darmentleerungen nicht bloß von der Art der Speisen, sondern auch sehr bedeutungsvoll durch zahlreiche, die Funktionen des Gesamtorganismus beeinflussende Momente modifiziert wird. Wer hätte nicht schon die stürmischen Darmbewegungen infolge von Schreck und Aufregung empfunden, wer kennt nicht den Einfluß aktiver und passiver Muskelbewegung, von Turnübungen und Massage, wer nicht den Unterschied im Funktionieren des Verdauungsapparates bei vorwiegend sitzender Beschäftigung und während regelmäßiger Körperbewegung? Das ist ja oft ein Hauptgrund, welcher die während vieler Monate des Jahres zum Stubenhocken gezwungenen Stadtmenschen veranlaßt, in der Ferienzeit die Berge aufzusuchen, um durch „Auslaufen“ die Trägheit der Verdauungsorgane zu kurieren. Diese heilsame Wirkung des Marschierens hat Scheffel, der begeisterte Freund der Bergwanderungen, in sehr drastischer Weise besungen:

„Dir weiß für Leib und Seele ich keine bess're Kur:
 Von einem Marschbefehle erhoffe Rettung nur
 Von Pickeln und vom Stocken im Unterleibsrevier.
 Mach' rasch dich auf die Socken, ist besser als Klistier!

Wenn der Wassergehalt des Kotes für die Beurteilung der Darmbewegungen von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist, so hatte er für uns noch einen speziellen Wert zwecks Aufstellung einer Wasserbilanz. Handelt es sich aber darum, den Verlust an Nährmaterial zu ermitteln, dann spielt die Masse des Kotes eine geringe Rolle. Es braucht nämlich der größeren Menge an feuchtem Kot durchaus nicht eine vermehrte Ausscheidung fester Substanzen zu entsprechen.

Ausschließlich die letzteren, d. h. die Menge des Trockenkotes, gibt uns ein Maß für den Nährstoffverlust.

Der Trockenkot. Die Menge des Trockenkotes ist in der Regel gering nach tierischer Nahrung, groß nach pflanzlicher, und zwar aus verschiedenen Gründen. Zunächst entgeht ein großer Teil der die Hülle vieler Vegetabilien bildenden Zellulose der Aufsaugung. Mit den Pflanzenhüllen gelangen aber auch in ihnen eingeschlossene Nährstoffe mit zur Ausscheidung, da die Verdauungsssekrete die Hülle nicht zu durchdringen vermögen. Selbst nach Sprengung der Zellulosekapseln können diese noch mechanisch reizend auf die Darmschleimhaut wirken, stärkere Darmbewegung (Peristaltik) und dadurch so schnelle Entleerung erzeugen, daß ein Teil der bei normaler Darmtätigkeit gut resorbierbaren Stoffe nunmehr als unverdauter Nahrungsrest verloren geht. Weiter ist die pflanzliche Kost in den Mengen, wie sie unsere Landbevölkerung, namentlich bei Kartoffel- und Schwarzbrotgenuß, zur völligen Deckung des Bedarfes zu sich nimmt, so voluminös, daß nicht alle Schichten des Darminhalts in genügender Weise mit den Darmsekreten in Berührung kommen.¹⁷⁾ Welche Bedeutung dies hat, zeigen u. a. die Rubnerschen Untersuchungen,²⁶⁾ bei denen nach überreicher Kartoffelnahrung fast unveränderte Kartoffelstückchen entleert wurden. Endlich entstehen, wenn sich zu viel Stärkemehl im Darm befindet, Gärungen. Die gebildeten Säuren und Gase reizen den Darm, die Entleerungen folgen einander häufiger, als zur vollkommenen Aufsaugung der Nährstoffe dienlich ist. Die Bedeutung des Zellulosegehalts der Nahrung wird durch die folgende kleine Zusammenstellung illustriert.

Tabelle 2.

Art der Nahrung	Zellulosegehalt der Nahrung	Trockenkot im Mittel
	in %	in g
Fleisch	0	5
Weißbrot	0.39	4—6
Roggenbrot	0.80	bis 11
Pumpernickel	1.48	19

Wir sehen also, wie mit Zunahme der Zellulose die Menge des ausgeschiedenen Trockenkotes steigt. Dabei ist die Größe der Kotbildung aber individuell recht verschieden. Daher sind die soeben genannten Zahlen nur als Durchschnittswerte zu betrachten.

Wir hatten ausgeführt, daß neben den nicht resorbierten Resten der Nahrung der Kot Sekrete der Verdauungsdrüsen enthält. So kommt es, daß der Darm nicht bloß nach Nahrungsaufnahme, sondern auch im Hunger fortdauernd in individuell sehr verschiedener Menge Kot produziert: Der Hungerkünstler Cetti schied z. B. während 10tägigen Fastens 3.8 g, der Hungerkünstler Breithaupt während 6tägigen Fastens 2 g,¹²⁾ drei hungernde Kranke¹⁶⁾ 4.0, 4.35 und 5.9 g Trockensubstanz pro Tag aus.

Zusammensetzung des Trockenkotes. Die übliche Kotanalyse erstreckt sich auf stickstoffhaltige Substanz, fettartige Stoffe, Aschenbestandteile und die Gesamtmenge des brennbaren Materials. Bemerkenswert ist, daß der Hungerkot in seiner Zusammensetzung kaum von dem nach leicht verdaulicher Nahrung gebildeten abweicht. Man hat daraus den Schluß gezogen, daß der Kot auch bei leicht verdaulicher Kost im wesentlichen aus Darmabscheidungen besteht.

Der Stickstoffgehalt des Hungerkotes betrug

bei Cetti	8.3 %	des lufttrockenen Kotes
„ Breithaupt	5.7 %	„ „ „
„ einer hungernden Kranken	10.3 %	„ „ „

Ähnliche individuelle Differenzen finden wir auch nach Nahrungsaufnahme, aber über sie hinaus sehen wir doch charakteristische Beziehungen zur Kost. Allerdings ist es nicht der Stickstoffgehalt der Nahrung, der den Stickstoffgehalt des Kotes bestimmt, sondern teils die Beimischung von Verdauungssekreten, teils die Menge des unresorbierten, stickstofffreien Materials. Der in 100 g Trockenkot enthaltene Stickstoff ist beträchtlich nach wenig voluminöser Kost, die wenig Reste läßt (feinem Weißbrot, Reis, Fleisch), niedrig dagegen bei einer sehr massigen, von der viel stickstofffreie Reste, speziell Zellulose, unresorbiert bleiben (gelbe Rüben, Kohl).

Ebenso wie der Stickstoff ist auch die Fettmenge des Kotes vom Fettgehalt der Nahrung fast völlig unabhängig. Sie zeigt große, ihm durchaus nicht parallel gehende Schwankungen. So enthält:

Hungerkot	20—48 %	Rohfett
Kot nach reiner Fettnahrung	ca. 25 %	„
Kot nach Milchnahrung	22—28 %	„

Erst bei exzessiver Fettzufuhr, zwischen 200—300 g pro Tag, steigt die Fettmenge des Kotes an.²⁶⁾ Der nicht der Nahrung entstammende größere Teil des Kotfettes besteht, wie die Analyse ergibt, vorwiegend aus Gallenbestandteilen und gerade aus dem Hungerkot hat man solche Stoffe in größerer Menge rein gewinnen können.¹⁶⁾ Diese Substanzen sind keineswegs Fett im Sinne der chemischen Definition, d. h. „Glyzerinfettsäureester“. Das was wir „Kotfett“ nennen, ist ein Gemisch von wirklichen Fetten, Fettsäuren, Cholestearinen, Lecithinen und unbekanntem, in Äther löslichen Stoffen. Wir sprachen daher soeben und sprechen auch späterhin in den Tabellen, unter Adoptierung eines von den Agrikulturchemikern gebrauchten Ausdruckes, von „Rohfett“ als der Summe der durch Äther aus der Nahrung oder dem Kot extrahierbaren Substanzen.

Der Kohlehydratgehalt des Kotes ist beim Erwachsenen unter normalen Bedingungen äußerst gering. Abgesehen von der Zellulose und geringen durch sie geschützten Kohlehydratmengen erscheinen so gut wie gar keine Kohlehydrate im Kot. Schließlich ist auch der Brennwert des Kotes, der ein Maß für die Menge der organischen Stoffe in ihm abgibt, von der Nahrung ziemlich unabhängig, wenigstens solange sie keine größeren Mengen pflanzlicher Zellhüllen enthält. Er schwankt natürlich je nach dem Stickstoff- und Fettgehalt.

Wollen wir genauer untersuchen, wie sich die einzelnen Kategorien der brennbaren organischen Stoffe auf den Gesamtbrennwert des Kotes verteilen, so ist dies für Rohfett leicht zu bewerkstelligen. Es wird, wie früher beschrieben, durch Extraktion mit Äther gewonnen. Der dann bleibende Rest besteht aus stickstoffhaltigen Körpern und Kohlehydraten. Der Brennwert des fett- und kohlehydratfreien Kotes zeigt nun, daß die stickstoffhaltigen Stoffe nicht ausschließlich Eiweißkörper sein können. Pro Gramm Stickstoff liefert solcher Kot 50—70 Wärmeinheiten, Eiweiß hingegen nur 35. Es müssen also stickstoffhaltige Stoffe vorliegen, die pro Gramm Stickstoff einen höheren Brennwert als Eiweiß besitzen, und zwar dürfen wir auf Grund der Feststellungen von Pflüger²¹⁾ und von Frenzel und Schreuer⁷⁾ vermuten, daß es Gallenbestandteile sind. Der Brennwert pro Gramm Stickstoff, der sog. „kalorische Quotient“ des entfetteten Kotes, gibt uns daher wertvolle Aufschlüsse über das Verhalten des Verdauungsapparates.

Inwieweit im übrigen die Verdauungsvorgänge individuell und unter dem Einfluß äußerer Momente, wie Muskeltätigkeit, Sauerstoffmangel, Reize des Hochgebirges, Differenzen aufweisen, soll später an der Hand unserer eigenen Untersuchungen erörtert werden.

Ausnutzung der Nahrung. Nach dem Gesagten dürfte es nunmehr verständlich sein, daß wir die Gesamtmenge der bei einer bestimmten Kost in die Körpersäfte aufgenommenen Nahrung nicht ganz exakt bestimmen können. Wir wissen nie genau, welcher Anteil des Kotes der Nahrung entstammt, was von den Verdauungsdrüsen gebildet und wieviel in Gasform verloren gegangen ist. Wir müssen uns vielmehr mit einem Annäherungswert begnügen und benutzen als solchen die Differenz zwischen der Menge und Zusammensetzung der eingeführten Stoffe einerseits, der vom Darne wieder ausgeschiedenen andererseits. Diese Zahl heißt: der „Ausnutzungswert“ der betreffenden Nahrung. Man ist nun aber berechtigt, die „Ausnutzung“ an Stelle der uns unbekanntem wahren Resorption bei Stoffwechselbetrachtungen einzusetzen, weil die vom Darmkanal und seinen Drüsen gelieferten Produkte dem Organismus genau so gut verloren gehen, wie der unresorbierte Nahrungsanteil, und daher dieselbe Bedeutung haben, als wenn entsprechend weniger von der Nahrung aufgesaugt wäre. Die gasförmigen Produkte aber spielen, wie erwähnt, beim Menschen eine sehr geringe Rolle. Die Ausnutzung gibt uns Auskunft darüber, wie viel von der Nahrung dem Körper zugute kommt und liefert wichtige Anhaltspunkte für die Vergleichung verschiedener Kostsätze hinsichtlich ihres Nährwertes. Dabei muß man unterscheiden, ob die Ernährung ausschließlich durch das zu prüfende Nahrungsmittel geschieht oder ob neben ihm noch anderes Nährmaterial gereicht wird.

Betrachten wir die Anhangstabelle Nr. IXc, welche die Ausnutzungswerte für die wichtigsten Nahrungsmittel enthält, wie sie sich in einer großen Anzahl von Versuchen bei einseitiger Ernährung mit diesen ergeben haben, so zeigt sich, daß die Kohlehydrate am besten verwertet werden. Ihre Ausnutzung sinkt nur bei den Stoffen, in welchen das Kohlehydrat in unverdaulicher Hülle steckt und so der Wirkung der Verdauungssäfte zum Teil entzogen ist (grobes Brot, gekochte Erbsen,

Kohl). Auch das Fett hat keine allzu großen Verlustzahlen. Da wo der prozentische Verlust groß erscheint, wie bei Mais oder Erbsen, ist die absolute aufgenommene Fettmenge so gering, daß der Fettgehalt der Darmsekrete ausschlaggebend wird. Es kann sogar vorkommen, daß bei einer Kost mit wenig Fett und reichlich Eiweiß und Kohlehydrat der Kot mehr Fett enthält als die Nahrung.¹³⁾ — Am interessantesten ist die Stickstoffausnutzung. Bei ihr treten die für die Ausnutzung maßgebenden Faktoren besonders scharf hervor. Wir finden bei den schlackenarmen lange im Darne verweilenden Stoffen, wie Fleisch und Milch, geringe Verluste, und zwar größere bei Milch als bei Fleisch.

Gerade die Ausnutzung der Milchbestandteile ist aber individuell sehr verschieden, weil viele Menschen schon bei relativ kleinen Mengen Verdauungsstörungen bekommen. So fand Atwater trotz reichlicher Zufuhr durchwegs geringe Verluste, im Mittel 4.4%, während andere Autoren bis zu 23% Verlust feststellen konnten. Bei Kindern ist die Milchausnutzung im allgemeinen besser als beim Erwachsenen (3—9% Verlust).

Die pflanzlichen Produkte werden, wenn bei der Zubereitung die Schlacken schon abgeschieden sind, im allgemeinen nicht schlechter ausgenutzt als animalische. Bei grobem, noch unveränderte Pflanzenzellen enthaltendem Material (Roggenbrot, Pumpernickel) sind dagegen die Verluste erheblich größer. Die Zubereitung in der Küche ist also von großem Einfluß. So haben einfach gekochte Kartoffeln 32%, Kartoffelbrei nur 20% Verlust,⁵⁾ Erbsen mit Schale 30%, nicht übergroße Mengen Erbsenbrei 5.5%,¹³⁾²⁶⁾ also nur etwa soviel wie Milch.

Auch bei Zulage schlackenreicher Nahrungsmittel zu einer gemischten Kost macht sich eine schlechtere Ausnutzung der Gesamtkost bemerkbar. Das zeigen recht eklatant Versuche von Prausnitz²²⁾. Er gab seinen Versuchspersonen zu der gleichen, aus Fleisch, Kartoffeln, Butter, Milch, Kaffee und Bier bestehenden Nahrung 500—600 g Brot, das aus verschiedenen Mehlsorten hergestellt war, und fand folgende Stickstoffverluste der Gesamtnahrung:

Tabelle 3.

Art der Zukost	Prozentig. Verlust an Stickstoff	
	für Person R.	für Person P.
Weizenbrot	9.1	15.1
Roggen- und Weizenbrot	—	20.1
Roggenbrot	15.9	23.5
Kommißbrot	—	31.9

Die Tabelle erweist zwar evident, daß die Ausnutzung individuell stark differiert. Man kann aber doch mit Bestimmtheit aus ihr entnehmen, daß genau wie bei einseitiger Brotnahrung hier bei Zugabe desselben zu gemischter Kost der Stickstoffverlust regelmäßig ansteigt, wenn Brot aus größerem Mehl mit mehr Rohfaser genommen wird.

Prausnitz stellte daher (1893) die Forderung auf, daß den Soldaten nicht gerade ein Brot gegeben werden sollte, das aus dem größten Mehl besteht und bedeutend schlechter ausgenutzt wird, als alle anderen Brotsorten, die in Deutschland verzehrt werden, mit Ausnahme des Pumpernickels. Dem Soldatenbrot hat übrigens seitdem die preußische Militärbehörde gebührende

Aufmerksamkeit zugewandt. Umfassende, von Pannwitz¹⁹⁾ angestellte Versuche führten zu der Erkenntnis, daß es bei normalen Handelspreisen des Roggenmehles und der Kleie geradezu billiger sein kann, gebeuteltes Mehl für den Menschen zu verwenden und die Kleie als Viehfutter zu verkaufen, als das ganze Korn in Form von Kommißbrot zur Ernährung der Soldaten zu benutzen.

Es kosteten 100 kg geschroteter Roggen . .	12.01	Mark
25 „ Kleie	2.23	„
also 75 kg Feinmehl (ohne Kleie) .	9.78	Mark
oder 100 „ „ „ „ .	13.04	„

Es wurden verdaut aus:

100 kg Brot aus dem geschroteten Roggen:	6.06 kg Eiweiß,	76.32 kg Kohlehydrate
100 „ „ „ „ Feinmehl:	6.83 „ „	83.92 „ „

Man erhält demnach für 1 Mark an verdaulichen Nährstoffen in Form von Brot aus dem geschroteten Roggen: **0.506** kg Eiweiß und **6.355** kg Kohlehydrate nach Auszug von 25% Kleie: **0.524** „ „ „ **6.435** „ „

Bedenkt man nun noch, daß die Kleie vom Vieh gut verdaut wird und uns in Form von Butter, Milch und Fleisch in leicht ausnutzbarer Form zugute kommt, veranschlagt man ferner die erheblich größere Verdauungsarbeit, welche das grobe Brot erheischt, so sieht man, wie unökonomisch seine Verwendung besonders dann ist, wenn ein erheblicher Teil des Nährstoffbedarfs durch Brot gedeckt werden soll und außerdem durch starke Arbeitsleistungen der absolute Bedarf und damit die Beanspruchung des Verdauungsapparates gesteigert sind. Wenn trotzdem in der Soldatenkost auch heute noch kleiehaltiges Brot Verwendung findet, so ist dies deshalb berechtigt, weil der größere Teil der Rekruten an solches, Schwarzbrot oder Pumpernickel, von Jugend auf gewöhnt ist und nun desselben zur Erzielung befriedigenden Sättigungsgefühls und ausreichender Darmbewegung bedarf. Man muß aber, wie aus den obigen Berechnungen hervorgeht, vom nationalökonomischen Standpunkt aus wünschen, daß unsere Bevölkerung ähnlich wie die der westeuropäischen Länder sich allmählich an den Genuß eines kleiearmen Brotes gewöhnte. Die Ernährung würde dann nicht nur billiger, sondern auch die Leistungsfähigkeit des Arbeiters infolge verminderter Arbeit des Verdauungsapparates eine größere sein. — Genau wie für den Soldaten und Arbeiter kommen diese Gesichtspunkte natürlich bei Auswahl der Nahrung des Bergsteigers in Betracht.

Interessant ist ferner, daß eine schlecht verdauliche Nahrung durch Zusatz eines leicht resorbierbaren Nahrungsmittels in ihrer Ausnutzung verbessert werden kann. So erhöht Zugabe von Parmesankäse zur Polenta, wie sie ja in Italien allgemein üblich ist, den Ausnutzungswert des Mais um die Hälfte, 7% gegenüber 15% Verlust, so daß der Volksinstinkt hier wieder einmal, wie so oft, das Zweckmäßige getroffen hat.¹⁹⁾

Was die Bedeutung äußerer Momente für die Ausnutzung gemischter Nahrung betrifft, so war der Effekt des Hochgebirgsaufenthaltes bisher überhaupt noch nicht untersucht worden. Den Effekt der Arbeit haben Atwater und seine Mitarbeiter in größerem Umfange geprüft und dabei gefunden, daß die Individualität der Versuchspersonen keine Unterschiede bedingte. Meist war überhaupt kein Unterschied zwischen Ruhe und Arbeitszeit zu konstatieren. Ältere Versuche an Hunden²⁵⁾ ergaben einige Male Schädigung der Verdauung durch Arbeit, andere Male keine solche.

Atwater hat die Ausnutzung einer gemischten, aus Milch, Fleisch, Brot, Butter und Zucker bestehenden Kost bei 5 Versuchspersonen, teils in relativer Ruhe bei Laboratoriumsbeschäftigung oder sitzender Tätigkeit, teils während Leistung einer mit Hilfe sinnreicher

Methoden genau meßbaren Arbeit studiert. Die Arbeit bestand im Drehen eines gebremsten Rades, im Treten eines feststehenden Fahrrades oder im Besteigen eines 45 m hohen Hügels. Keine der Verrichtungen hatte irgendwelchen Einfluß auf die Ausnutzung.

Ganz kürzlich hat Lavonius ^{11a)} in Stockholm die Ausnutzung bei 2 Preis-Ringkämpfen untersucht. Seine Versuche sind zwar nicht mit genau analysierter Nahrung gemacht, aber bei dem eklatanten Resultat trotzdem als gesichert zu betrachten. Er fand, daß die Ausnutzung durch die exzessive Muskelleistung eines nur 2 Stunden währenden Ringkampfes außerordentlich verschlechtert wurde.

Es wird daher von Interesse sein festzustellen, wie wir sechs, die wir fast sechs Wochen lang unter gleichen Verhältnissen lebten, uns in bezug auf Zusammensetzung des Kotes, sowie Ausnutzung der Nahrung verhielten, und welchen Einfluß Höhe und Muskularbeit ausübten.

Bekömmlichkeit der Nahrung. Die Ausnutzung, wie sie bisher betrachtet wurde, ist für die Beurteilung einer Nahrung zwar von großer Bedeutung, aber doch nicht allein ausschlaggebend. Wichtig sind auch die subjektiven Empfindungen, welche die Speisen vor, während und nach dem Essen hervorbringen. Ebensowenig wie man vom ökonomischen Gesichtspunkte aus außer acht lassen darf, ob 10 oder 30% des Aufgenommenen verloren gehen, soll man das, was der allgemeine Sprachgebrauch als „gute Bekömmlichkeit“ bezeichnet, vernachlässigen. Die Bekömmlichkeit hat aber mit der Verdauung, wie wir sie definierten, d. h. mit der Überführung in lösliche Form und der Aufnahme in die Körpersäfte, nur indirekt zu tun. Sie ist nicht identisch mit dem Ausnutzungswert. Wenn der eine nur weiche oder rohe Eier, der andere nur solche, deren Eiweiß geronnen ist, verträgt, so kann doch die Ausnutzung die gleiche sein. Man meint ja eben auch nur, wenn man davon spricht, daß harte Eier oder zu hart gekochtes Fleisch oder rohe Milch „schwer verdaulich“ seien, daß ihr Genuß Beschwerden verursacht. Auf diese Bekömmlichkeit muß aber bei der Ernährung des einzelnen, wie besonders bei der Massenernährung in Kasernen, Gefängnissen usw., Rücksicht genommen werden. Sie entscheidet, ob eine Kost dauernd in der dem Bedarf entsprechenden Menge aufgenommen werden kann. Sie bedingt auch ihre Verwendbarkeit für lange dauernde Stoffwechselversuche. Das Auftreten von Widerwillen und Ekelgefühl, von Magen- und Darmstörungen muß vermieden werden. Unsere Kost war gerade von diesem Gesichtspunkte aus gewählt und ausprobiert. Dementsprechend hatten wir während der fünf Wochen der Hauptversuche im Hochgebirge keine Gelegenheit, durch sog. Unbekömmlichkeit bedingte Wirkungen zu beobachten.

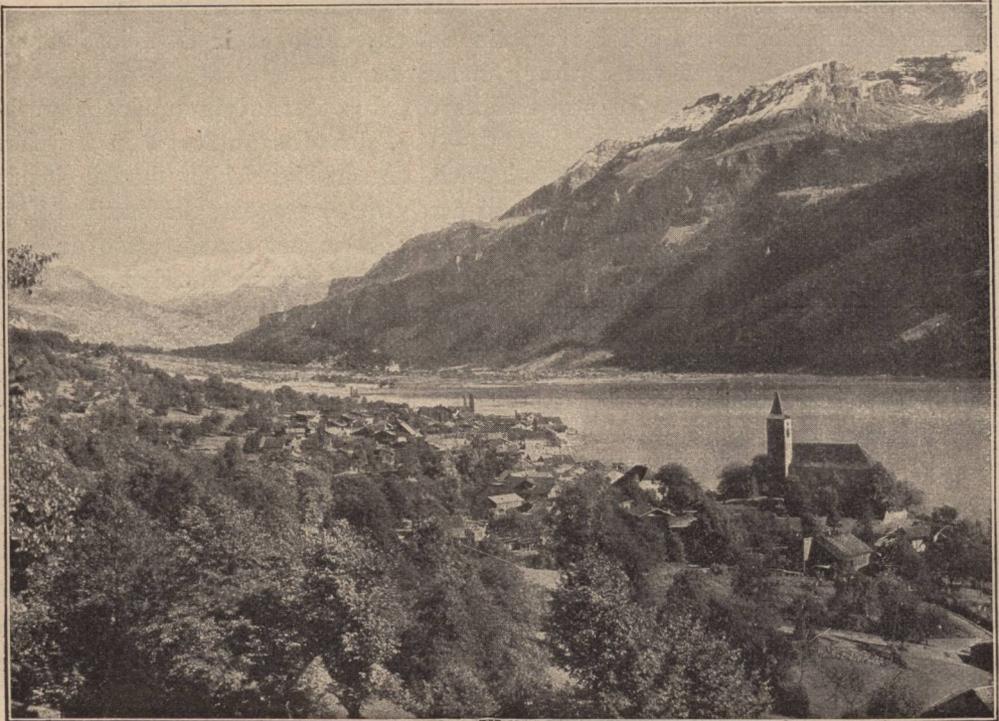
Eigene Versuche.

Unsere eigenen Versuche geben für die vorstehend angeregten Fragen nach verschiedenen Richtungen verwertbare Resultate, die wir auf Grund der Anhangstabellen Nr. IXa und b erläutern wollen.

Die auf die Zusammensetzung des Kotes bezügliche Tabelle IXa zeigt, periodenweise geordnet, in Stab 3—5 für 100 g getrockneten Kot die Menge an Stickstoff, an Rohfett und den Brennwert, ausgedrückt in Wärmeeinheiten (W. E.). Durch Division von Stab 5 durch Stab 3 erhalten wir die in Stab 6 zusammengestellten Zahlen, d. h. den auf 1 g Stickstoff entfallenden Brennwert, den „kalorischen Quotienten“. Da der Kot, wie gesagt, fast kohlehydrat-

frei ist, so hängt der Gesamtbrennwert des Kotes vom Fett und von den stickstoffhaltigen Stoffen ab. Das Kottfett ist, wie auch schon ausgeführt, hauptsächlich ein Produkt der Verdauungsdrüsen. Das Verhältnis von Brennwert zu Stickstoff im fettfreien Kot, Stab 7, ist daher ein Maßstab, ob Störungen, sei es in der Aufsaugung der Kohlehydrate, sei es in der Absonderung stickstoffhaltiger Sekretstoffe, vorliegen.

Tabelle IXb enthält in der gleichen Anordnung die Ausnutzung für Stickstoff, Fett und Brennwert, ausgedrückt in Verlustprozenten der eingenommenen Nahrung (Stab 4—6), ferner die täglich entleerte Menge an lufttrockenem Kot (Stab 3).



Blick auf Brienz von unserer „unteren Versuchsstrecke“.

Zusammensetzung unseres Kotes. Zur Entscheidung der Frage, ob sich individuelle Verschiedenheiten in dem prozentischen Stickstoff- und Fettgehalt des Trockenkotes nachweisen lassen, sollen zunächst nur die Perioden miteinander verglichen werden, in welchen die äußeren Bedingungen für den einzelnen gleich sind und ein Einfluß der Muskelarbeit oder der Höhe noch nicht in Betracht kommt.

Unsere Kost war in der ersten und dritten Brienzener Periode, bzw. auf dem Rothorn, für alle fast völlig identisch. Trotzdem schwankt der Stickstoffgehalt des Trockenkotes von in maximo 6.3% bis in minimo 4.9%. Größer noch sind die Differenzen, wenn wir die Ruhezeit des Berliner Vorversuches hinzunehmen, bei dem eine von der Brienzener abweichende Nahrung verzehrt wurde. Hier beträgt

das Maximum für Stickstoff	7.9%	das Minimum	4.9%
„ „ „ Rohfett	28 %	„ „	8 %
„ „ „ Brennwert	563 W.E.,	„ „	461 W.E.

Unsere Mittelzahlen: für Stickstoff (6.2 %) und für den Brennwert (504 Wärmeinheiten) entsprechen fast genau den Atwaterschen Werten. Er fand im Durchschnitt von 47 Einzelperioden auf 100 g Trockenkot 5.33 g Stickstoff und 538 Wärmeinheiten. Auch bei uns sind wie bei ihm die Differenzen für dieselbe Person zu verschiedenen Zeiten etwa ebenso groß wie zwischen verschiedenen Individuen. Von individuellen Differenzen oder einer Gruppierung ist also trotz der großen Schwankungen keine Rede. Ferner tritt ein Einfluß der Kost auf den prozentischen Stickstoffgehalt des Kotes beim Vergleich unserer Berliner und Briener Ruheperioden deutlich hervor, ein Befund, der ganz in Übereinstimmung steht mit den Erfahrungen von Rubner und Prausnitz.*)

Der Brennwert pro Gramm Stickstoff des fetthaltigen Kotes wechselt während der Ruheperioden zwischen 67—108, der des entfetteten zwischen 37—71 Wärmeinheiten, also recht erheblich. Auch hier fehlen durchgreifende individuelle Unterschiede. Nicht einmal bei der, wie gesagt, sehr gleichartigen Kost der Briener Perioden I und III ist der kalorische Quotient im entfetteten Kot der einzelnen Personen konstant. Er schwankt hier immer noch zwischen 40 bis 60 Wärmeinheiten pro Gramm Stickstoff.

Frentzel und Schreuer⁷⁾ hatten seinerzeit bei Verwertung der Resultate nur unserer Berliner Vorversuche eine gewisse Konstanz der kalorischen Quotienten zu erkennen geglaubt. Der Mittelwert der damals untersuchten Kote betrug in Übereinstimmung mit dem von ausschließlich mit Fleisch gefütterten Hunden etwa 48 Wärmeinheiten. Das gesamte, uns jetzt vorliegende Material erweist demgegenüber, wie gesagt, daß die Differenzen größer sind.

Trotzdem ist der kalorische Quotient des Kotes nicht ohne Bedeutung für das Studium der Vorgänge im Darmkanal. So ändert die Inanspruchnahme des Körpers durch starke Marschanstrengung während unserer Arbeitsperioden in Berlin und am Briener Rothorn nur wenig am prozentischen Stickstoff- und Fettgehalt, der kalorische Quotient dagegen weist auf eine durch die Märsche bedingte charakteristische Änderung der Darmabscheidungen hin. Die Werte sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Tabelle 4.
Kalorischer Quotient des entfetteten Kotes.
Wärmeinheiten pro Gramm Stickstoff.

	Waldenburg		Kolmer		Caspari	Müller		Loewy
	Berlin	Brienz	Berlin	Brienz	Brienz	Berlin	Brienz	Brienz
Ort . . .	Berlin	Brienz	Berlin	Brienz	Brienz	Berlin	Brienz	Brienz
Ruhe . . .	45.6	49.0	54.6	59.0	61.9	71.1	51.4	40.3
Arbeit . . .	50.3	57.7	57.2	60.1	70.6	52.8	56.5	40.1

Bei allen, mit Ausnahme von Müller, im Berliner Vorversuch, und von Loewy, steigt der Quotient, d. h. der Brennwert ist im Verhältnis zum Stickstoffgehalt erhöht.

) Wenn Schierbeck^{27)} in einer kürzlich erschienenen Arbeit individuelle Differenzen findet, und zwar derart, daß die eine Reihe von Personen bei jeder Kost einen Kot mit etwa 4,5%, die andere mit etwa 6,5% Stickstoff entleerte, während nur bei einer dritten die Änderung der Nahrung von entscheidendem Einfluß war, so stellt dieses Ergebnis jedenfalls nur ein seltenes Vorkommnis dar.

Es müssen sich also nichtfettartige Stoffe von hohem Brennwert infolge der angestregten Muskeltätigkeit im Kot angehäuft haben, sei es zelluloseartige aus der Nahrung, oder schleimähnliche, die vom Darm in verstärktem Maße abgeschieden wurden. Mag das erstere vielleicht für die Berliner Versuche zutreffen, bei denen während der Märsche eine stärker kotbildende Nahrung genossen wurde, so ist es in Brienz, wie die später folgenden Berechnungen des in den Kot gehenden Anteils der Nahrung zeigen werden, sicher nicht der Fall. Man kann daher wohl mit gewisser Wahrscheinlichkeit den Grund in einer durch die Arbeit bedingten Vermehrung der Darmdrüsentätigkeit suchen.

Der Aufenthalt in großer Höhe dagegen hatte eine nur unerhebliche Wirkung auf den kalorischen Quotienten: Im entfetteten Kot finden wir während der Monte Rosa-Periode allein bei Loewy eine deutliche Steigerung (in Brienz 40, oben 50 Wärmeeinheiten). Das ist leicht verständlich, da im Kot völlig unveränderte Erbsen nachgewiesen wurden. Auch prozentischer Stickstoff- und Fettgehalt sowie Brennwert sind unter dem Einfluß der Luftverdünnung recht wenig geändert, wie die folgenden Tabellen zeigen.

Tabelle 5.
In 100 g Trockenkot sind enthalten:

	Waldenburg			Müller		
	Stickstoff g	Fett g	Brennwert W. E.	Stickstoff g	Fett g	Brennwert W. E.
Brienz bezw. Rothorn III	5.33	16.8	458.5	5.63	18.9	468.9
Col d'Olen	5.08	19.5	408.7	6.36	19.3	505.4

	Stickstoff in g				Fett in g				Brennwert fett- haltig				Brennwert fett- frei			
	Kolmer	Caspari	Loewy	Zuntz	Kolmer	Caspari	Loewy	Zuntz	Kolmer	Caspari	Loewy	Zuntz	Kolmer	Caspari	Loewy	Zuntz
Brienz bezw. Rothorn III	5.6	5.0	5.8	6.2	18.1	18.0	23.3	19.9	516	474	461	542	345	303	240	353
Margherita-Hütte . .	5.4	8.3	6.2	6.1	22.8	35.7	12.7	14.3	531	821	433	492	314	482	312	356

Eine bemerkenswerte Ausnahme macht Caspari, der am stärksten erkrankt war. Bei ihm sind auf dem Monte Rosa alle Werte erheblich erhöht, trotz viel geringerer Einnahme als in Brienz. Der hohe Stickstoffgehalt des Trockenkotes und die, wie später auszuführen ist, sehr schlechte Stickstoffausnutzung dürfen auf Verlust von unverdaulichem Nahrungseiweiß durch den Kot bezogen werden. Ob sich dagegen die Steigerung der prozentischen Fettmenge bei ihm durch den Übergang von Nahrungsfett in den Kot oder durch größere Lebhaftigkeit der Darmdrüsentätigkeit erklärt, ist schwer zu entscheiden. Das Anwachsen des Brennwertes endlich ist nur zum Teil durch die Fettzunahme bedingt. Denn auch der Brennwert des fettfreien Kotes ist ja erheblich höher als in der vorhergehenden Periode, zum Teil sicherlich infolge Anwesenheit der großen Menge stickstoffhaltiger Produkte.

Scheinen nach dem bisher Gesagten Märsche und Aufenthalt im Hochgebirge die Zusammensetzung der Darmabscheidungen nur in seltenen Fällen zu verändern, so ist doch ein konstanter Einfluß zu bemerken, wenn die Tage vor Aufenthalt auf dem Rothorn und vor den Marschübungen mit den ihnen folgenden verglichen werden.

Vom 5.—11. August waren alle in Brienz vereinigt (Periode I), am 12. fuhren dann drei Personen zu 12tägigem Aufenthalt auf das Rothorn hinauf. In diesen 12 Tagen (Periode II) führten beide Gruppen kleine und große Übungsmärsche aus, nach deren Abschluß die drei anderen Teilnehmer auf dem Rothorn stationiert wurden, während die ersten nach Brienz zurückkehrten (Periode III). In dieser letzten Periode standen also alle sechs unter Nachwirkung der Märsche, außerdem die ersten drei unter der des Höbenaufenthaltes, die zweiten drei unter direktem Einfluß der Höhe.

Die folgende Zusammenstellung zeigt nun, daß fast ausnahmslos (Zuntz wird bei der Betrachtung ausgeschaltet, da der Kot aus Brienz I beim Transport verloren ging) in 100 g Trockenkot der dritten Periode weniger Stickstoff, Fett und brennbare Stoffe enthalten waren als in der ersten.

Tabelle 6.
In 100 g Trockenkot sind enthalten:

Name	Periode	Stickstoff g	Rohfett g	Brennwert W. E.
Waldenburg	Brienz I	6.04	17.7	465.3
	Rothorn III	5.33	16.8	458.5
Kolmer	Brienz I	5.72	19.4	524.0
	Brienz III	5.61	18.1	516.5
Caspari	Brienz I	4.91	23.6	529.1
	Rothorn III	4.96	18.0	473.9
Müller	Brienz I	6.19	19.9	507.8
	Brienz III	5.63	18.9	468.9
Loewy	Brienz I	6.35	22.4	470.8
	Brienz III	5.78	23.3	461.4

Ob es sich hier mehr um einen besonderen Einfluß des Aufenthaltes in mittlerer Höhe oder um Nachwirkungen der vorangegangenen Märsche handelt, soll, da auch die Ausnutzung ähnliches ergab, erst bei dieser näher erörtert werden.

Individuelle Verschiedenheiten der Ausnutzung. Die Kost war bei den 6 Versuchspersonen nicht vollkommen identisch (siehe Tabelle Ia des Anhanges). Das mußte dem früher Gesagten zufolge kleine Unterschiede in der Ausnutzung bedingen. Zwischen Periode I und III des Hauptversuches im August fehlt allerdings fast jede Verschiedenheit, so daß die hier erhaltenen Ausnutzungszahlen zunächst ohne weiteres miteinander verglichen werden können.*) Trotz der Übereinstimmung in der Ernährung sind nun doch beträchtliche Differenzen in der absoluten Menge des Trockenkotes nachzuweisen, welche für die Ausnutzung

*) Bei Müller allein war die Nahrung in Periode I und III verschieden reich an stark kotbildenden Bestandteilen, er wurde daher bei dieser Vergleichung nicht berücksichtigt.

mehr in Betracht kommen als die geringen Unterschiede in der prozentischen Zusammensetzung desselben. Der Fettverlust betrug

in minimo (bei Müller) 2.3 % der Einnahme
 in maximo (bei Loewy) 4.1 % „ „

Der Brennwertverlust stellte sich

in minimo (bei Müller) auf 2.6 % der Einnahme
 in maximo (bei Müller) auf 4.5 % „ „

Gesetzmäßigkeiten haben wir aus diesen Werten aber nicht folgern können. Dagegen liegt eine solche für den Stickstoff vor. Es lassen sich zwei Gruppen von Individuen unterscheiden, von denen die erste die stickstoffhaltigen Nahrungsbestandteile besser, die zweite schlechter ausnutzt, dabei beträgt die Menge des Trockenkotes im Mittel pro Tag bei jener 22 g, bei dieser 27 g pro Tag.

Tabelle 7.

Stickstoffverlust in Prozenten des eingeführten Stickstoffs.

Periode	Gruppe I		Gruppe II	
	Kolmer	Caspari	Waldenburg	Loewy
Brienz I	6.2	6.1	9.8	10.7
Brienz III bezw. Rothorn III .	7.6	6.6	9.4	7.6

Für die Vergleichung aller Ruheperioden stehen wir jetzt vor der Frage, ob man trotz der Verschiedenheiten in der Kost die Ausnutzung bei den sechs Personen doch vergleichen darf. Es ist ja selbstverständlich, daß nach Genuß von 100 g Schokolade, deren Stickstoff zu 32 % in den Kot geht, der Verlust größer sein wird, als wenn statt dessen Käse mit durchschnittlich 2 1/2 % Verlust genossen wird. Allerdings ist es, zumal bei gemischter Kost, recht schwer, Mittelwerte für die Ausnutzung anzugeben. Hatten wir doch erwähnt, daß erhebliche individuelle Schwankungen vorkommen, und daß die einzelnen Nahrungsbestandteile sich auch zuweilen gegenseitig beeinflussen, so daß die Addition der Verlustzahlen der einzelnen Stoffe durchaus nicht den richtigen Gesamtverlust anzugeben braucht. Trotz der hieraus resultierenden Unsicherheit können wir indes die durch Kostverschiedenheiten hervorgerufenen Variationen der Ausnutzung in Betracht ziehen, wenn wir im Auge behalten, daß wir nur Annäherungswerte vor uns haben. Im folgenden werden wir daher — und zwar auch späterhin beim Vergleich von Ruhe und Marschzeiten, bei denen gerade die Marschzulage sehr verschiedenartig war, und teils aus Schokolade, teils aus Bier, Butter und Zucker bestand — durchgehend für Backware, Mehlspeisen, Reis und grünes Gemüse 20 % Stickstoffverlust annehmen. Für Käse und Fleischiweiß setzen wir 2.5 % Verlust an und für die von uns verzehrte Schokolade auf Grund der mit derselben ausgeführten Versuche von Zuntz und Bendix 32.2 %²⁾ (siehe Tabelle IXc des Anhangs). So können wir nun rechnerisch feststellen, ob sich beim Vergleich der Ruhezeiten in Berlin, Brienz und auf dem Rothorn individuelle Verschiedenheiten in der Ausnutzung ergeben.

Die folgende Tabelle zeigt, daß die gefundenen Werte nur wenig von den berechneten abweichen. Wir sind daher berechtigt, auch fernerhin die direkt gefundenen Ausnutzungszahlen auf dieselbe Weise zu korrigieren und so miteinander vergleichbar zu machen.

Tabelle 8.

Versuchsperson	Periode	Trockenkotmenge pro Tag	Stickstoffverlust in % der Einnahme		Der Stickstoff der Nahrung wird prozentisch ausgenutzt:	
			auf Grund der vorliegenden Mittelwerte der Ausnutzung berechnet	gefunden	besser als berechnet	schlechter als berechnet
Waldenburg	Vorversuch I	17.0	6.2	4.9	1.3	
	Brienz I. . .	28.3	7.9	9.8		1.9
	Rothorn III.	30.9	8.2	9.4		1.2
Kolmer	Vorversuch I	24.1	13.0	15.2		2.2
	Brienz I. . .	20.0	8.1	6.2	1.9	
	Brienz III. .	25.7	8.0	7.6	0.4	
Caspari	Vorversuch I	14.7	9.9	8.7	1.2	
	Brienz I. . .	21.0	7.3	6.1	1.2	
	Rothorn III.	22.6	7.6	6.6	1.0	
Müller	Vorversuch I	29.6	9.4	13.7		4.3
	Brienz I. . .	25.7	7.9	9.7		1.8
	Brienz III. .	16.1	7.3	5.5	1.8	
Loewy	Vorversuch I	37.9	6.8	[19.7]		12.9
	Brienz I. . .	27.3	6.7	10.7		3.0
	Brienz III. .	20.7	6.8	7.6		0.8
Zuntz	Vorversuch I	17.9	7.6	11.3		3.7
	Rothorn III.	22.9	8.4	9.1		0.7

Wir sehen zunächst, daß, wie zu erwarten, der Stickstoffverlust je nach der Menge unverdaulicher Stoffe schwankt.

	bei stark kotbildender Kost	bei wenig kotbildender Kost
Es zeigten: Kolmer . .	15.2 %	6.2 % Stickstoffverlust
Müller . .	13.7 %	9.7 % „

Im ganzen ergibt sich aber die gleiche Gruppierung, die wir bei direkter Vergleichung der Versuchsergebnisse von Periode I und III konstatiert hatten. Caspari hat immer, Kolmer meist geringere Verluste, als nach ihrer Nahrung zu erwarten war, beide bei relativ kleinen Kotmengen. Umgekehrt ist ausnahmslos bei Loewy und Zuntz, meist bei Waldenburg und Müller der Verlust erheblicher und die Kotmenge relativ hoch. Die stärkste Abweichung von den berechneten Werten zeigt Loewy. Dieser neigte aber vor Beginn der Vorversuche sogar zu direkten Verdauungsstörungen. Er hatte während vieler Monate des Jahres 1900 bis zum November an chronischem Darmkatarrh gelitten. Der Stickstoffverlust von 19.7 % der Einnahme in der ersten Berliner Ruhezeit muß daher noch als pathologisch angesehen werden und läßt

sich nicht ohne weiteres mit den Zahlen der anderen vergleichen. Der Wert ist aber außerordentlich interessant. Fühlte sich Loewy doch zur Zeit des Versuches vollkommen wohl und betrachtete die Darmstörung als vollkommen ausgeheilt. Trotzdem sehen wir, daß er von dem zugeführten Eiweißmaterial dreimal so viel verliert, als man für die betreffende Kost hätte erwarten sollen, und daß er erheblich größere Kotmengen entleerte, obwohl von Durchfall keine Rede mehr war. Man nimmt meist an, daß nur unter dem Einfluß evidenter Darmstörungen eine Verschlechterung der Ausnutzung statt hat.¹⁸⁾ Die von uns gefundene Tatsache zwingt zu dem Schluß, daß die Störungen länger als die manifeste Erkrankung andauern können und vielleicht häufiger auftreten, als man bisher zu beobachten Gelegenheit hatte. Es wird danach leicht verständlich, daß die Kräftigung nach Darmkatarrhen eine so schleppende ist, daß es oft Wochen dauert, bis nach Aufhören der wirklichen Krankheit die volle Arbeitsfähigkeit wiederkehrt. Es ist auch leicht einzusehen, wie vorsichtig man überhaupt nach Darmstörungen die Nahrung, speziell vom Standpunkt der leichten Verdaulichkeit, auszuwählen hat. Besonders der Tourist, dessen Stoffbedarf durch die körperliche Arbeit erheblich gesteigert ist, muß sich vor derartigen Störungen hüten und sollte, wenn sie bestehen, auf anstrengende Bergmärsche verzichten, zumal dazu noch der schädigende Einfluß kommt, den die Marscharbeit, wie wir gleich hören werden, häufig auf die Ausnutzung hat.

Fassen wir unsere Befunde zusammen, so haben wir bei normalem Funktionieren des Darmkanals individuelle Verschiedenheiten der Stickstoffausnutzung feststellen können, die vornehmlich durch die individuell sehr erheblich schwankenden Mengen des Trockenkotes, weniger durch Differenzen in der prozentischen Zusammensetzung desselben, bedingt sind.

Einfluß der Märsche auf die Ausnutzung. Im Berliner Vorversuch betrug die Ruhezeit vier Tage, die Marschperiode, in der täglich ca. 20 km in drei bis vier Stunden zurückgelegt wurden, sechs Tage. Wir finden bei dem Versuch im Dezember für Loewy und Müller folgende Werte:

Tabelle 9.

	Loewy			Müller			
	Trocken-	Stickstoff-	Brennwert-	Trocken-	Stickstoff-	Fett-	Brennwert-
	kot	verlust	verlust	kot	verlust	verlust	verlust
	g	%	%	g	%	%	%
Ruhezeit	38	19.7	6.8	30	13.7	1.6	5.4
Märsche	22	9.6	3.3	21	11.4	1.9	3.4

Die Ausnutzung ist während der Märsche nach jeder Richtung hin verbessert. Für den Stickstoff ist dieser Effekt sogar noch erheblich größer, als sich in der Tabelle darstellt, da während des Marsches eine Nahrung aufgenommen wurde, die an sich mehr Stickstoff in den Kot liefern mußte. Die bei beiden Per-

sonen gefundene Verbesserung ist aber nur bei Müller mit Sicherheit auf den Einfluß der Marscharbeit zu beziehen.*) Für Loewy ist das Resultat nicht eindeutig. Da sich aber seine, wie erwähnt, monatelang abnorme Verdauung jetzt fortdauernd günstiger gestaltete, so darf man wohl auch für ihn von einem heilsamen Effekt der Muskularbeit sprechen, der die fortschreitende Gesundheit jedenfalls unterstützte.

Ein anderes Resultat ergab der Berliner Vorversuch im April:

Tabelle 10.

	Waldenburg				Kolmer			
	Trocken- kot pro Tag	Verlust in % der Einnahme			Trocken- kot pro Tag	Verlust in % der Einnahme		
		Stickstoff	Fett	Brennwert		Stickstoff	Fett	Brennwert
Ruhezeit . .	17	4.9	3.1	2.8	24	15.2	2.3	4.2
Märsche . .	23	6.1	2.6	2.8	39	21.6	2.3	5.1

Die bei Waldenburg und Kolmer zunächst auffallende Differenz in der Ausnutzung schon während der Ruhe ist auf Grund der Verschiedenheit ihrer Kost verständlich. Waldenburg aß viel Käse, Kolmer viel Schokolade. Während der Marschzeit verschlechterte sich nun die Stickstoffausnutzung unter Zunahme der Kotmenge bei beiden. Sie nahmen allerdings etwas mehr kotbildende Speisen, aber die tatsächliche Verschlechterung ist doch viel größer, also durch die geringe Koständerung nicht erklärt, so daß die Märsche hier auf die Ausnutzung ungünstig gewirkt haben. Für Kolmer kommt hinzu, daß er infolge wenig ansprechender Zubereitung der Kost im Laboratorium schon am vierten Tage des zehntägigen Versuchs den Appetit völlig verlor. Das Essen erregte ihm Ekelgefühl und er mußte sich die Mittagsmahlzeit geradezu einzwängen. Da die Pawlow'schen Untersuchungen gezeigt haben, wie bedeutungsvoll Störungen des Appetits die Absonderung der Verdauungssekrete beeinflussen, so läßt es sich nicht von der Hand weisen, daß derartige Momente hier mit im Spiele waren. —

Während der Marschzeiten im Sommer am Brienzner Rothorn finden wir ausnahmslos eine Erhöhung des Stickstoffverlustes:

Tabelle 11.

Verlust in Prozenten der Einnahme.

Periode	Gruppe I: Kolmer, Loewy	Trocken- kot pro Tag	Stick- stoff	Fett	Brenn- wert	Gruppe II: Waldenburg, Caspari, Zuntz	Trocken- kot pro Tag	Stick- stoff	Fett	Brenn- wert
I	Brienz . . .	23.6	8.44	3.22	3.67	Brienz . . .	24.6	9.00	3.42	3.93
II	Rothorn . . .	28.1	10.22	3.27	4.06	Brienz . . .	28.6	10.03	3.08	4.33
III	Brienz . . .	23.2	7.61	2.99	3.42	Rothorn . . .	25.5	8.35	3.31	4.05

*) Während der Stickstoffverlust um 2,3 % abnimmt, hätte er auf Grund der Änderungen in der Zusammensetzung der Nahrung um 3,4 % zunehmen müssen!

Daran ist die Zunahme der schlackenreichen Stoffe nur zum geringsten Teile schuld. Bei Kolmer und Loewy fällt die Zeit der Übungsmärsche mit dem Aufenthalt auf dem Gipfel des Rothorns zusammen. Daß die Höhe aber der ausschlaggebende Faktor für die Erhöhung der Stickstoffverluste nicht ist, ergibt eine Betrachtung der Ausnutzungswerte der zweiten Gruppe. Bei dieser war nämlich der Verlust während der Ruhezeit in der Höhe sogar geringer als im Tale. Es müssen daher die Märsche sein, die nachteilig gewirkt haben. Bei Müller, der bisher noch nicht besprochen wurde, erscheint im Gegensatz zu den anderen der Stickstoffverlust in der Marschzeit geringer als in der Ruhe, 6.5 gegenüber 9.7%. Das hängt aber mit Änderungen in seiner Kost zusammen, so daß die bessere Ausnutzung jedenfalls zum Teil eine Folge der weniger schlackenreichen Nahrung ist.

Im Vergleich zum Stickstoff ändert sich Fett und Brennwert während der Märsche bei allen nur wenig und in individuell verschiedener Weise. Auch hier tritt, wie im Berliner Vorversuch, die Unabhängigkeit des Fettgehaltes im Kot von dem der Nahrung aufs deutlichste hervor. So steigt die Fetteinnahme bei der Rothorngruppe infolge der Marschzulage um 14%, der Fettverlust im Kot bleibt fast unverändert.

Der Widerspruch, daß die Märsche während des Briener Aufenthaltes die Ausnutzung fast ausnahmslos, in Berlin dagegen nur ausnahmsweise verschlechterten, daß andererseits Atwater, Rosenberg u. a. jede Wirkung der Arbeit vermißten, dürfte sich folgendermaßen erklären: Die Märsche am Rothorn fanden im Sommer, die anderen Arbeitsversuche alle im Winter statt. Jedermann weiß aber, wie empfindlich gerade im Sommer die Verdauungsorgane sind, wie leicht sich Durchfälle einstellen, die, wie bei Loewy in Berlin, von lange andauernder Steigerung des Stickstoffverlustes gefolgt sein können. Das ist ja eine der Ursachen, welche in den Tropen die Menschen oft zu viele Monate dauernder Unterernährung zwingt, weil jede Nahrungsaufnahme die gefürchteten Durchfälle zur Folge hat (R. E. Ranke^{23a}). Im Hochgebirge hatte nur Zuntz mehrfach unter dieser Einwirkung der Hitze zu leiden. Die anderen wiesen, wohl infolge der reizlosen gleichmäßigen Kost, keine offenkundigen Störungen der Darmtätigkeit auf, aber die Zunahme der Kotbildung während der Marschzeit zeigt auch bei ihnen eine erhöhte sekretorische Tätigkeit der Verdauungsorgane an. Übrigens finden sich in der Literatur Beispiele eines ähnlichen Verhaltens. So erhielten Grandeau und Leclerc^{7a}) bei Pferden, die längere Zeit in raschem Tempo liefen, Vermehrung der Kotmenge und eine um mehrere Prozente schlechtere Ausnutzung als bei im Schritt gehenden Tieren, selbst wenn letztere eine absolut größere Arbeit leisteten. Auch in unseren Versuchen sind durchgehends Stickstoffverlust und Menge des Kotes in gleichem Sinne geändert.

Einfluß der Höhe. Bei der geringen Höhendifferenz von 500 m zwischen Berlin und Brienz war eine Beeinflussung der Ausnutzung durch den Ortswechsel kaum zu erwarten. Wurde doch im Vorstehenden schon berichtet, daß Differenzen in der Verwertung der Nahrung an beiden Orten sich ohne weiteres aus Änderungen in der Kost erklären. Demgegenüber finden wir recht auffallende Verschiedenheiten

beim Vergleich der Ausnutzung in Brienz vor dem Aufenthalt auf dem Rothorn (Periode I) und nach resp. während desselben (Periode III) [vergl. Tabelle 8 auf S. 218]. Bei Müller und Loewy ist in Periode III die Stickstoffausnutzung erheblich verbessert, bei Waldenburg ist eine Verbesserung angedeutet. Für Zuntz fehlt der Ruhewert aus Brienz vor dem Rothornaufenthalt (Periode I), doch können wir, auf seine Berliner Zahl (Berliner Ruhezeit) gestützt, auch bei ihm eine bessere Verwertung der Nahrung während des Rothornaufenthaltes nachweisen. Caspari kommt zum Vergleich nicht in Betracht, da Änderungen in der Nahrung das Resultat beeinflussen. Bemerkenswert ist, daß Kolmer eine Ausnahme macht. Gerade diese ist geeignet, die Ursache der gefundenen Differenz zu beleuchten. Er war der einzige von uns, der vollkommen trainiert und für mittlere Höhen akklimatisiert an die Versuche heranging.

In der Verbesserung der Nährstoffverwertung erkennen wir jedenfalls ein ökonomischeres Arbeiten des Verdauungsapparates. Die Wirkung des Höhengaufenthaltes und der vorangegangenen Marsche prägte sich übrigens, wie die folgenden Kapitel lehren werden, analog der Verbesserung der Ausnutzung auch darin aus, daß in der gleichen Periode Atmung und Herz ruhiger arbeiteten, sowie Stoffverbrauch und Eiweißumsatz herabgesetzt waren. Alles Anzeichen dafür, daß der gesamte Organismus sparsamer wirtschaftete als zuvor!

Zur Erklärung dieses eigentümlichen Befundes kommen zwei Momente in Betracht, Höhe und Muskelarbeit. Nur bezüglich der letzteren befanden sich die vier Versuchspersonen unter gleichen Bedingungen, insofern es sich in dieser III. Periode um eine der anstrengenden Muskeltätigkeit folgende Ruhezeit handelt. Bezüglich der Höhe verhielten sie sich verschieden. Müller und Loewy befanden sich nach beendeten Höhengaufenthalt wieder in Brienz, Waldenburg und Zuntz begannen denselben auf dem Rothorn. Für Loewy und Müller kann daher die Nachwirkung beider als Ursache der Sparung in Betracht gezogen werden. Waldenburg und Zuntz aber standen unter dem direkten Einfluß des Höhenklimas. Da sie genau das gleiche Verhalten wie die Erstgenannten aufwiesen, so spricht dieser Umstand in dem Sinne, daß die voraufgegangene Muskelarbeit der entscheidende Faktor für die Verbesserung der Verdauungsprozesse gewesen ist.

Dadurch wird nun die bekannte Tatsache verständlich, daß sich nach Bergtouren, welche die Kräfte stark in Anspruch nehmen, in den darauffolgenden behaglichen Ruhezeiten die durch ungewohnte Marschleistungen zunächst hervorgebrachte Einbuße nicht nur ausgleicht, daß vielmehr im Gegenteil als Endeffekt solcher Gebirgsreisen bei vielen eine gesteigerte Leistungsfähigkeit, eine Zunahme des Gewichts, überhaupt eine Stärkung des Gesamtorganismus resultiert. Hier werden weitere Arbeiten einzusetzen haben, um den Einfluß der Nachwirkung des Höhengaufenthaltes einerseits, der Muskeltätigkeit andererseits gesondert beurteilen zu können.

Mit der Höhe von Col d'Olen (2900 m) treten die Wirkungen der Höhe auf die Verdauungsprozesse deutlich hervor. Während des fünftägigen Aufenthaltes von Waldenburg und Müller hier oben fehlten zwar evidente Verdauungsstörungen

vollkommen. Trotzdem sehen wir bei beiden eine Verschlechterung der Ausnutzung, die nicht nur den Stickstoff, sondern auch Fett und Brennwert betrifft. Dabei war die Nahrung ziemlich gleich, nur ein wenig kohlehydratreicher als in der vorhergehenden Periode.

Tabelle 12.

Periode	Waldenburg				Müller			
	Trockenkot pro Tag g	Verlust in % der Einnahme			Trockenkot pro Tag g	Verlust in % der Einnahme		
		Fett	Brennwert	Stickstoff		Fett	Brennwert	Stickstoff
Periode III . . .	30.9	3.5	4.4	9.4	16.1	2.3	2.6	5.5
Col d'Olen (IV).	32.3	4.2	4.9	10.4	18.5	2.7	2.8	7.7

Viel stärker noch macht sich der Einfluß der Höhe in der Margherita-Hütte bemerkbar. Er tritt aber in unseren Werten noch nicht einmal mit seiner vollen Größe hervor, weil die Periode schon mit dem Abmarsch von Gressoney am 1. September begann, in den ersten zwei Tagen des Aufstieges zum Monte Rosa aber bei völligem Wohlbefinden eine so große Nahrungsmenge eingenommen wurde, wie im ganzen in den sieben Tagen des Aufenthaltes oben. Die faktische Höhenwirkung muß daher viel bedeutender sein, als aus unseren Zahlen hervorgeht (siehe die folgende Tabelle 13).

Tabelle 13.

Name	Periode	Trockenkot pro Tag g	Im Kot pro Tag			Verlust in % der Einnahme		
			Stickstoff g	Fett g	Brennwert W. E.	Stickstoff g	Fett g	Brennwert W. E.
Kolmer	Brienz III	25.7	1.4	4.6	133	7.6	2.7	3.7
	Monte Rosa	22.1	1.2	5.0	117	10.7	4.7	4.8
Caspari	Rothorn III	22.6	1.1	4.0	106	6.6	2.9	3.4
	Monte Rosa	21.2	1.8	7.6	174	20.8	9.8	9.2
Loewy	Brienz III	20.7	1.2	4.8	96	7.6	3.3	3.3
	Monte Rosa	21.2	1.3	2.7	91	17.0	3.5	4.6
Zuntz	Rothorn III	22.9	1.4	4.6	124	9.1	3.5	4.3
	Monte Rosa	23.4	1.4	3.3	110	12.9	3.1	5.7

Erinnern wir uns aus Kapitel IV an die Schilderung des Befindens der vier oben weilenden Personen während dieser Tage, so waren Kolmer und Caspari am schwersten und nachhaltigsten von der Bergkrankheit betroffen. Loewy fühlte sich zwar zunächst auch sehr unwohl, erholte sich aber schneller. Zuntz vertrug die Höhe am besten. Nach dem, wie gesagt, auf drei Tage verteilten, durchaus nicht anstrengenden Aufstieg von Gressoney bis zum Gipfel, der ohne erhebliche Störungen bei allen abgelaufen war, setzten bald nach Eintreffen in der Margherita-Hütte die Symptome der Bergkrankheit: Übelkeit, Brechneigung, Atemnot und Kopfschmerzen mit

voller Stärke ein. Es bestand Widerwillen gegen jederlei Nahrung, der vom dritten Tage des Hüttenaufenthaltes ab allmählich nachließ. Kolmers Appetit hob sich langsam, ohne aber ausreichend zu werden, Caspari dagegen behielt das Ekelgefühl und den Appetitmangel bis zum letzten, dem achten Tage. Beide aßen vorwiegend Fleisch und Käse, also eine wenig kotbildende Kost. Loewy empfand, ebenso wie Caspari, starke Abneigung gegen Fett, seine Nahrung bestand vorwiegend aus Kohlehydraten. Zuntz hatte schon am zweiten Tage etwas Appetit und begann sich fast vorschriftsgemäß mit Fett, Eiweiß und Kohlehydrat zu ernähren. Er allein von allen konnte am letzten Tage endlich seinen Bedarf an



Absturz des Lysgletschers (oberhalb der Gnifetti-Hütte).

Nahrungsmaterial vollkommen decken. Die mittlere tägliche Nahrungsmenge war also bei allen geringer als in der Periode zuvor (siehe Tabelle Ia des Anhangs).

Wir sehen, wie bei allen trotz Abnahme der Nahrungsmenge die Menge des Kotes annähernd gleich bleibt. Es wurde also verhältnismäßig mehr Trockensubstanz ausgeschieden als in der Periode zuvor. Beispielsweise nahm der Trockensubstanzgehalt der Nahrung auf dem Monte Rosa:

bei Kolmer im Vergleich zu Brienz (III) um 29⁰/₀, bei Zuntz im Vergleich zu Rothorn (III) um 18⁰/₀ ab, der Trockensubstanzgehalt des Kotes dagegen nur um 14⁰/₀ ab bzw. sogar um 2⁰/₀ zu.

Die Ausnutzung ist ausnahmslos erheblich verschlechtert. Am eklatantesten tritt dies beim Stickstoff hervor, am wenigsten im Fett. Auf der Höhe des Monte Rosa tritt also bei allen vier Versuchspersonen eine Störung der Verdauungs-

prozesse zutage, die in einer vermehrten Bildung von Darmsekret oder größerem Verlust von unverarbeitetem Nahrungsmaterial bestehen kann.*)

Man könnte bei der verminderten Nahrungsaufnahme Bedenken tragen, allein aus dem prozentischen Verlust der Nährstoffe bindende Schlüsse auf eine Störung der Darmtätigkeit zu ziehen. Diese Zweifel fallen aber da fort, wo sowohl dieser prozentische Verlust wie die absolute Menge der täglich im Kot abgeschiedenen Stoffe gesteigert ist. Bei Caspari gilt dies für alle drei Kategorien, bei Loewy für Stickstoff, bei Kolmer für Fett. Bei Zuntz endlich weist der unveränderte absolute Stickstoffverlust bei geringerer Stickstoffzufuhr gleichfalls auf Störungen hin.

Interessant ist, daß gerade der am schwersten erkrankte Caspari auch zahlenmäßig die schwerste Darmstörung erkennen läßt (Durchfälle fehlten vollkommen, es bestand im Gegenteil Verstopfung!), und wie individuell verschieden bei dem einen mehr die Fett-, bei dem anderen die Stickstoffverwertung leidet.

Suchen wir nach dem maßgebenden Faktor, der von einer bestimmten Grenze an in der Höhenluft die Schädigung der Verdauungsprozesse herbeiführt, so können wir ihn in dem Sauerstoffmangel vermuten. Es würde sich so eine Analogie zu der die Ausnutzung verschlechternden Wirkung der Muskelarbeit ergeben, bei welcher die veränderte Blutverteilung Sauerstoffarmut im Darm herbeiführt. Wissen wir doch, daß sich das Blut während der Arbeit im Körper derart verteilt, daß die arbeitende Muskulatur, ferner das Gehirn und die Haut, blutreicher werden, der Darm dagegen blutärmer wird. In besonders schöner Weise haben das die Versuche von J. Ranke²³⁾ und von Chauveau und Kaufmann⁴⁾ gezeigt. Letztere fanden, daß beim Pferd die einen Kaumuskel pro Minute durchströmende Blutmenge in der Ruhe 17.5 %, in der Tätigkeit 85 % des Gewichts des Muskels ausmachte. Da der Darm von allen Gebieten des Körpers zuerst sein Blut hergibt, wenn es in anderen Regionen gebraucht wird, so ist leicht verständlich, daß die Durchblutung während der Muskelarbeit verschlechtert und eine Schädigung der Verdauungsprozesse herbeigeführt wird. In den großen Höhen des Monte Rosa haben wir andererseits allgemeinen Sauerstoffmangel. Damit die wichtigsten Organe, vor allem das Gehirn, genügend Sauerstoff erhalten, wird das Blut wiederum dem Darm entzogen. Diesen Vorgang sehen wir am ausgeprägtesten bei der Erstickung, also hochgradigstem Sauerstoffmangel, bei der sich die Darmgefäße bis zum vollständigen Verschuß kontrahieren. Auch kennen wir die zahlreichen Verdauungsstörungen blutarmer Individuen, bei welchen ein zu sauerstoffarmes Blut im Körper kreist. Durch Sauerstoffmangel bedingte Verdauungsstörungen können nun wohl bestehen, ohne daß sonstige Symptome desselben, vor allem Hirnerscheinungen, zur Beobachtung gelangen. Wird nämlich das Hirn gut durchblutet, so fehlen Schwindel, Kopfschmerz usw., die Verdauungsorgane sind aber dauernd ungünstig versorgt. Dies erklärt uns, weshalb auf Col d'Olen zwar keine Allgemeinstörungen auftraten, wohl aber eine Ver-

*) Im letzteren Sinne spricht sowohl der ganz enorm hohe prozentische Stickstoffgehalt des Kotes von Caspari, der auf Vorhandensein von Eiweiß oder dessen nächsten Abkömmlingen hindeutet, wie die Tatsache, daß im Kot von Loewy wenig veränderte Erbsen direkt nachzuweisen waren. Sicher läßt sich die Frage allerdings nur durch mikroskopische Untersuchung des frischen Kotes entscheiden; der Trockenkot, den wir allein untersuchen konnten, ist erheblich schwieriger mikroskopisch in seine Bestandteile zerlegbar.

schlechterung der Verdauungsprozesse nachgewiesen wurde, und daß bei einigen von uns auf dem Monte Rosa die bei Darmerkrankungen häufige Appetitlosigkeit und das Ekelgefühl anhielten, während Atemnot und Kopfschmerzen überwunden waren. Doch abgesehen von Beeinträchtigungen der Darmtätigkeit kann die mangelhafte Hirndurchblutung auch direkt zu Appetitstörung führen. Daß der Appetit aufs feinste von dem Verhalten des Zentralnervensystems beeinflusst wird, weiß ja jedermann. Die Pawlowschen Untersuchungen haben außerdem zahlenmäßige Belege dafür geliefert, wie sehr die Tätigkeit der Verdauungsdrüsen und die Zusammensetzung der von ihnen produzierten Sekrete vom „Appetit“ abhängen. Hatten wir auch nicht ausnahmslos unter wirklichem Ekelgefühl zu leiden, so empfanden wir doch alle während des Aufenthaltes in der Margherita-Hütte eine ausgesprochene Neigung für appetitanreizende Speisen, die nach dem Eintreffen auf Col d'Olen und in der Gnifetti-Hütte vollkommen fehlte. So konnten sowohl Kolmer, der sonst gänzlich alkoholabstinent lebt, wie Zuntz, welcher nur ausnahmsweise Alkohol zu sich nimmt, zweifellos große Förderung ihres Wohlbefindens durch den Genuß von Glühwein konstatieren, ganz abgesehen von der dadurch erzielten Erwärmung. Ähnlich erging es später Müller bei seinem Aufenthalt auf der Hütte: Die unangenehmen Empfindungen von seiten des Magens und Darmes gingen auch bei ihm durch Alkoholgenuß bald vorüber. Da Alkohol die Magensaftsekretion anregt, ist die Wirkung leicht verständlich und, wie wir uns auch sonst zum Alkoholgenuß im Hochgebirge stellen mögen, hier ist jedenfalls ein günstiger Effekt auf die Symptome der Bergkrankheit nicht zu leugnen.

Fassen wir unsere Resultate zusammen, so haben wir:

Erstens individuelle Verschiedenheiten in der Ausnutzung einer annähernd gleichen, leicht verdaulichen Nahrung gefunden.

Zweitens bewirkten die Märsche während der Wintermonate Verbesserung, während der Sommermonate fast durchgehends Verschlechterung der Ausnutzung der Nährstoffe, vor allem des Stickstoffs. Als Nachwirkung der Trainiermärsche und vielleicht auch des Aufenthaltes in 2300 m Höhe trat Verbesserung der Ausnutzung ein.

Was drittens den direkten Einfluß der Höhe betrifft, so verhielten sich mittlere und große Berghöhen verschieden. Erstere zeigten keinen nachweisbaren Einfluß, letztere (2900 m und 4500 m) dagegen bewirkten eine Steigerung der Stoffverluste infolge von Störungen der Verdauungsprozesse.

Literatur.

¹⁾ Atwater:

^{a)} Zeitschrift für Biologie 1887. Bd. 24.

^{b)} Chemistry and economy of food. Washington 1895. U. S. Department of Agriculture Office of experimental Stations. Bulletin. Nr. 21.

^{c)} Annual Report of Connecticut Storrs Station 1896.

^{d)} Bulletin U.S. Department of Agriculture: Nr. 89 (Versuche 1897/99) [Ch. E. Wait].

„ „ „ „ 1901, Nr. 98 [Atwater und Sherman].

„ „ „ „ 1902, Nr. 21 (Versuche 1900/01) [H. C. Sherman].

„ „ „ „ 1904 (Versuche 1901/1903), Nr. 149.

^{e)} Ergebnisse der Physiologie von Asher-Spiro 1904. Bd. I.

- 2) B. Bendix: Therapeutische Monatshefte 1895, Juli.
- 3) Camerer: „Stoffwechsel des Kindes“. Tübingen 1894.
- 4) Chauveau und Kaufmann: Comptes rendus de l'Ac. Sciences Bd. 104, 105.
- 5) Constantinidi: Zeitschrift für Biologie. 1887. Bd. 23.
- 6) J. Frentzel und N. Toriyama: Archiv für Anatomie und Physiologie 1901.
- 7) J. Frentzel und M. Schreuer: Archiv für Anatomie u. Physiologie 1901, 1902, 1903.
- 7^a) Grandeau und Leclerc: Études expérimentales sur l'administration du cheval de trait.
- 7^b) Heidenhain: Hermanns Handbuch der Physiologie. Bd. V, 1.
- 8) Hultgren und Landergreen: Skand. Archiv; Malys Jahresberichte. Bd. 19. 1891.
- 9) J. König: „Chemie der menschlichen Nahrungs- und Genußmittel“. IV. Aufl. Teil I u. II.
- 9^a) Kellner: „Landwirtschaftliche Versuchsstationen“.
- 10) Krummacher: Pflügers Archiv 1890. Bd. 47. — Zeitschrift für Biologie 1896. Bd. 33.
- 11) Lange: Jahrbuch für Kinderheilkunde 1895. Bd. 39.
- 11^a) Lavonius: Skandinav. Archiv. 1905.
- 12) C. Lehmann, Fr. Müller, J. Munk, H. Senator, N. Zuntz: Virchows Archiv 1893. Bd. 131, Suppl.
- 13) Malfatti: Wiener Sitzungsberichte 1889. III. Abtl., S. 110.
- 14) G. Meyer: Zeitschrift für Biologie. 1871. Bd. 7.
- 15) Magnus-Levy: Pflügers Archiv. Bd. 53, S. 544.
- 16) Friedrich Müller: Zeitschrift für Biologie XX., 1884. — Berliner klinische Wochenschrift 1887, 434. — Zeitschrift für klinische Medizin. 1887. Bd. 12.
- 17) J. Munk und Uffelmann: „Die Ernährung“. II. Aufl. 1891 und
J. Munk: „Einzelnahrung und Massenernährung“. Handbuch der Hygiene von Th. Weyl. Bd. III. 1. Abteilung.
- 18) v. Noorden: „Pathologie des Stoffwechsels“. I. Aufl. 1893.
- 19) Pannwitz in Plagge-Lebbien: „Untersuchungen über das Soldatenbrot“. Berlin 1897. Hirschwald.
- 20) Pawlow: „Die Tätigkeit der Verdauungsdrüsen“. (Deutsch von Walther.) Bergmann, Wiesbaden.
- 21) Pflüger: Pflügers Archiv. 1892. Bd. 52.
- 22) Prausnitz: Zeitschrift für Biologie 1889. Bd. 25. — Archiv für Hygiene 1893. Bd. 17. — Zeitschrift für Biologie 1894. Bd. 30; ebenda 1897. Bd. 35 und
Prausnitz und Menicanti: Ebenda. 1894. Bd. 30, S. 350.
- 23) J. Ranke: „Die Ernährung des Menschen“. München 1876. Archiv für Anatomie und Physiologie 1862.
- 23^a) K. E. Ranke: Einwirkung des Tropenklimas auf die Ernährung des Menschen. Berlin, Hirschwald, 1900.
- 24) Rieder: Zeitschrift für Biologie 1884. Bd. 20.
- 25) S. Rosenberg: Pflügers Archiv. 1892. Bd. 52.
- 26) Rubner: Zeitschrift für Biologie 1879. Bd. 15; ebenda Bd. 16; ebenda Bd. 19; ebenda Bd. 36. — Archiv für Hygiene 1891. Bd. 13.
- 27) Salvioli: Archives italiennes de Biologie 1892. Bd. 17.
- 27^a) Schierbeck: Zeitschrift für Biologie 1904.
- 27^b) Sommerfeld: Verhdlg. physiol. Gesellsch. Berlin 1905, Juli.
- 28) Spirig: Dissertation. Bern 1892.
- 29) Tsuboi: Zeitschrift für Biologie 1897. Bd. 35.
- 30) Ueber: Berliner klinische Wochenschrift 52, S. 56.
- 31) C. v. Voit: „Stoffwechsel und Ernährung“, in Hermanns Handbuch der Physiologie. Bd. VI.
- 32) N. Zuntz: Therapeutische Monatshefte 1890, Oktober.



„Obere Versuchsstrecke“ in 2000 m Höhe auf dem Briener Rothorn.

Kapitel VIII.

Die Verbrennungsprozesse im Körper.

In Kapitel III haben wir die Bedeutung des Gaswechsels für die Beurteilung des Stoffumsatzes und der Leistungen des Körpers auseinandergesetzt. Wir haben dort gesehen, daß der Gaswechsel die Natur und Menge der im Organismus umgesetzten Stoffe genau erkennen läßt und uns dadurch befähigt, die Kraftmengen zu berechnen, welche der Körper für seine Leistungen aufwendet. Dort wurde auch schon erörtert, daß von den zwei Methoden der Gaswechseluntersuchung diejenige, welche Apparate verwendet, in die der Mensch behufs Untersuchung des Gesamtumsatzes auf längere Zeit eingeschlossen wird, für uns nicht in Betracht kommen konnte. Alle uns interessierenden Fragen ließen sich dagegen in befriedigender Weise durch Untersuchung der Lungenatmung während kurzer Zeitperioden lösen. Hierbei werden, wie in Kapitel V beschrieben, die Atemwege des Menschen direkt mit den Meßapparaten verbunden.

1. Der Gaswechsel bei Körperruhe.

Wir wollten ermitteln, ob die veränderten Lebensbedingungen, welche der Aufenthalt in der Höhe einerseits, intensive Muskeltätigkeit andererseits schafft, den Stoffumsatz des ruhenden Menschen beeinflussen. Das konnte nur so geschehen, daß wir möglichst alle verändernd einwirkenden Momente ausschalteten, um die Atmung

im Zustande der Ruhe und unter den Bedingungen zu vergleichen, welche die einfachsten sind. Aus früheren Untersuchungen wissen wir, daß ein in behaglicher Bettwärme morgens nüchtern ruhender Mensch diesen Normalzustand am besten und vollkommensten repräsentiert. Der so gemessene Verbrauch wird durch eine ganze Reihe von Einflüssen während des Tages verändert, meist vergrößert. Von diesen Einflüssen sind die wichtigsten die früher schon ausführlich gewürdigte Muskeltätigkeit, die Tätigkeit des Verdauungsapparates, der Einfluß der äußeren Temperatur, endlich die Art der Ernährung, insofern ein größerer Eiweißreichtum der Kost, auch abgesehen von der Verdauungsarbeit, einen intensiveren Stoffumsatz bewirkt. Ein Einfluß psychischer Momente ist nur dann nachweisbar, wenn diese mit Spannungen oder Bewegungen im Bereich der Muskulatur verbunden sind. Das hat schon Speck²²⁾ durch eine Reihe einwandfreier Versuche dargetan, das konnte Loewy¹³⁾ und ihn bestätigend Johansson⁸⁾ durch Vergleich des Gaswechsels eines Menschen im Zustande absoluter willkürlicher Ruhe einerseits, im Schlaf andererseits feststellen. Sie fanden, daß absolut kein Unterschied im Verbrauch vorhanden war.

Wir haben die Untersuchung des Gaswechsels bei absoluter Ruhe morgens im Bett während sämtlicher Phasen unserer Versuchsreihe, beginnend in Berlin und endend mit dem Aufenthalt auf dem Gipfel des Monte Rosa, durchgeführt.

Die Ergebnisse sind in den Tabellen X—XV des Anhangs übersichtlich zusammengestellt.

Zur Erläuterung derselben diene folgendes: Das Volumen der ausgeatmeten Luft wurde jede Minute abgelesen. Der mittlere Wert desselben findet sich in Stab 2, und ist in Stab 3 auf den Normaldruck von 760 mm und die Temperatur von Null Grad umgerechnet. Wie in Kapitel V beschrieben, wurde eine genaue Durchschnittsprobe der ausgeatmeten Luft gesammelt. Die Ergebnisse der Analyse derselben gibt Stab 4 und 5. Aus dem Sauerstoff- und Stickstoffgehalt der ausgeatmeten Luft berechnet sich die Menge Sauerstoff, welche der Körper aus 100 ccm Expirationsluft aufgenommen hat, das prozentische „Sauerstoffdefizit“^{*)} Hieraus multipliziert mit dem Wert von Stab 3 ergibt sich der Sauerstoffverbrauch in Stab 7. In gleicher Weise wird die in Stab 8 aufgeführte Kohlensäureausscheidung aus 3 und 5 berechnet, nachdem von dem Kohlensäurevolumen der Gehalt der eingeatmeten Luft an Kohlensäure abgezogen ist.^{**)} Den in seiner Bedeutung in Kapitel III, S. 95, ausführlich erörterten respiratorischen Quotienten, d. h. das Volumenverhältnis der Kohlensäureausscheidung zum Sauerstoffverbrauch, zeigt Stab 9. Die Atemfrequenz, d. h. die Zahl der Atemzüge pro Minute (Stab 10), in das Minutenvolum (Stab 2) dividiert, gibt die mit jedem Atemzug geförderte Luftmenge, die „Atemtiefe“ (Stab 11).

Behufs späterer Erörterung der Atemmechanik und der sie regulierenden nervösen Mechanismen finden sich noch in Stab 12 und 13 Zahlen, welche die Spannung des Sauerstoffs und der Kohlensäure in den Lungenbläschen, und in Stab 14 solche, welche die Beziehung der Kohlensäurespannung in den Lungenbläschen zur Gesamtgröße der Atmung (vgl. Kapitel XI) angeben.

Wir betrachten in diesem Kapitel zunächst nur Stab 7 und 8: Sauerstoffverbrauch und Kohlensäureausscheidung.

Da jede Muskeltätigkeit den Atemprozeß beeinflusst, hängt die Erzielung vollkommen normaler Zahlen einigermaßen von der Sachkenntnis der Versuchspersonen

^{*)} Wegen der Art der Berechnung vergleiche man z. B. die Arbeit von Heineman, Pflügers Arch. 83. S. 451.

^{**)} Dieser wurde zu Beginn und im Verlauf der Versuche durch zahlreiche Analysen der Zimmerluft ermittelt.

ab. Dieselben müssen es verstehen, eine vollkommen bequeme Lage einzunehmen, die Verbindung mit dem Mundstück und den Ventilen derart herzustellen, daß sie keinerlei Belästigungen dabei empfinden. Nur so ist es möglich, während des Versuchs jede Bewegung und jede Muskelspannung auszuschließen. Es muß ferner darauf gehalten werden, daß der Körper sich im Zustande behaglicher Wärme befindet. Die Herren Waldenburg und Kolmer waren weniger geübt als die anderen Experimentatoren und daher finden sich bei ihnen größere Abweichungen der Einzelversuche vom Mittel, wie ein Blick auf Tabelle X und XI des Anhangs zeigt.

Vergleich des Gaswechsels in Berlin und Brienz. Es fragt sich nun zunächst, ob die Veränderung der Lebensweise und der klimatischen Bedingungen, welche mit dem Übergang von Berlin nach Brienz verbunden war, irgendeinen Einfluß auf die Verbrennungsprozesse ausgeübt hat. Für die Mehrzahl von uns bedeuteten die ersten sechs Tage in Brienz (Periode I Brienz) trotz der ständigen Anspannung der Aufmerksamkeit, welche der Stoffwechselversuch erforderte, eine angenehme Erholungszeit in schöner Natur. Hierauf folgte die Periode der Übungsmärsche, während deren sich Kolmer, Müller und Loewy zwölf Tage lang auf dem Gipfel des Rothorns aufhielten. Nach ihrer Rückkehr lebten sie in Brienz genau wie in den ersten Tagen (Periode III Brienz).

Wir stellen nun die Mittelwerte des Sauerstoffverbrauchs und der respiratorischen Quotienten dieser Perioden zusammen.

Tabelle 1.

	Berlin			Brienz I			Brienz III		
	Sauerstoffverbrauch in ccm		Respi- rator. Quot.	Sauerstoffverbrauch in ccm		Respi- rator. Quot.	Sauerstoffverbrauch in ccm		Respi- rator. Quot.
	absolut	pro kg		absolut	pro kg		absolut	pro kg	
Waldenburg	248.3	4.43	0.73	244.2	4.28	0.83			
Kolmer . . .	267.5	3.74	0.79	254.0	3.72	0.85	238.2	3.48	0.83
Caspari . . .	226.0	3.42	0.76	224.1	3.46	0.76			
Müller . . .	248.7	3.40	0.85	243.4	3.37	0.77	227.8	3.19	0.77
Loewy . . .	227.0*)	3.78	0.76	207.8	3.43	0.76	197.1	3.29	0.77
Zuntz	{ 227.9**)	3.35	0.82	218.9	3.21	0.78			
	{ 228.0***)						3.30	0.80	
Mittel	240.9	3.63	0.78	227.5	3.58	0.78			

Ein Überblick über diese Zahlen lehrt zunächst, daß die respiratorischen Quotienten im Mittel unverändert geblieben sind, daß also der Anteil der einzelnen Nährstoffe an den Verbrennungsprozessen sich nicht wesentlich verschoben hat. Weiter zeigt sich ausnahmslos eine geringe Abnahme des Sauerstoffverbrauches in Brienz, verglichen mit Berlin. Im Mittel beträgt die Abnahme 5,6%. — Nach der Rückkehr vom Rothorn sinkt der Verbrauch noch weiter. Im Mittel beträgt er bei den drei hier in Betracht Kommenden:

*) Versuche vom Juli 1903 in Berlin.

**) 1895—1896 5 Versuche.

***) 21 Versuche aus dem Jahre 1903.

in Berlin	Brienz I	Brienz III
247.7 ccm bei 0.80 RQ.	235.1 ccm bei 0.79 RQ.	221.0 ccm bei 0.79 RQ.

Der Unterschied zwischen Berlin und der ersten Brienzler Periode dürfte auf verschiedenen Momenten beruhen. Bei einigen von uns ist zu bedenken, daß sie bei ihren Berliner Versuchen noch nicht ganz vollkommen die Aufgabe, sich absolut ruhig zu halten, erfüllten, ferner, daß diesen Versuchen der teils zu Fuß, teils auf dem Fahrrad zurückgelegte Weg ins Laboratorium kurz voranging, während die Brienzler Versuche stets morgens im Bett ausgeführt wurden. Solche Gesichtspunkte können aber den Unterschied der ersten und dritten Brienzler Periode nicht erklären.

Auf Grund früherer Erfahrungen hätten wir eigentlich eine Steigerung des Ruheverbrauchs durch das Training der Muskeln erwarten dürfen. Es liegen in dieser Hinsicht Mitteilungen von Zuntz und Schumburg²⁷⁾ vor. Danach stieg der Sauerstoffverbrauch im Laufe des Trainings durch angestrengte Märsche bei der einen Versuchsperson von 4.04 ccm pro kg Körpergewicht und Minute auf 4.30, bei der anderen von 3.74 auf 4.24, d. h. um 6.4 bzw. 13.0%, also in recht erheblichem Maße. Ähnliche Erfahrungen hatte Zuntz²⁸⁾ an Hunden gemacht. Bei einem Hunde, dessen Gaswechsel durch eine Reihe von Jahren beobachtet wurde, stieg die Wärmeproduktion, nachdem drei Wochen lang täglich ein Weg bergauf mit etwa 2000 m Steigung gemacht war, um 17.4% des Wertes, welcher am Ende einer zweijährigen Ruheperiode bestand, und sank dann wieder bei Körperruhe im Laufe von zwei Jahren bei gleichzeitig eiweißärmerer Kost bis 11.5% unter den Anfangswert. —

Fast unbeeinflusst durch Höhenwirkungen fand bei den drei in Brienz verbliebenen Mitgliedern unserer Expedition das Training durch Märsche statt. Unter ihnen zeigt Waldenburg, der jüngste von uns, am 23. August (d. h. am Schluß der Übungsmärsche) eine ausgesprochene Steigerung des Verbrauchs, auch bei Zuntz besteht eine Steigerung, auf die allerdings wegen der geringen Zahl der Versuche kein Wert zu legen ist. Bei Caspari hat sich nichts geändert; für ihn ist aber zu bemerken, daß er zwei Tage vor den letzten Versuchen infolge einer Fußverletzung absolut geruht hatte, was vielleicht genügte, um die Wirkung des Training rückgängig zu machen. Angesichts dieser Verhältnisse muß die Abnahme des Verbrauchs um 5.6% bei den vom Rothorn Zurückgekehrten erst recht auffallen. Sie kann nur mit dem vorangegangenen Höhengaufenthalt in Beziehung gebracht werden. — Der Zusammenhang wird später noch näher erläutert werden.

Vergleich des Gaswechsels in Brienz (530 m) mit dem in höheren Berglagen. Über den Einfluß der Höhe liegen uns bereits eine Reihe älterer eigener Erfahrungen vor. Nachdem Loewy gefunden hatte, daß kurzdauernde Luftverdünnung, wie man sie im pneumatischen Kabinett erzeugt, den Gaswechsel unverändert läßt, fanden Schumburg und Zuntz²¹⁾ in Höhen bis zu 2900 m bei Zuntz gar keine, bei Schumburg eine nur geringe Steigerung des Sauerstoffverbrauchs, die nur etwa so groß war, daß sie gerade zur Deckung der Mehrarbeit der Atemmuskeln ausreichte. Es wuchs nämlich seine Atemgröße pro Minute von 5653 ccm in Berlin auf 6364 in 1600 m und 7060 ccm in 2900 m Höhe. Da nun, wie vielfache Versuche ergeben haben, eine Mehrventilation von 11 den Sauerstoffverbrauch infolge der gesteigerten

Arbeit der Atemmuskeln um etwa 5 ccm erhöht, so erklärt diese Mehrventilation im wesentlichen den gesteigerten Sauerstoffverbrauch. Nur auf dem Monte Rosa-Gletscher in 3675 m Höhe war die Zunahme eine recht erhebliche, hier waren aber Muskelspannungen nicht ganz ausgeschlossen, außerdem standen die Versuche unter der Nachwirkung der Steigarbeit, so daß sie keine einwandfreien Schlüsse in bezug auf die Wirkung der Höhe auf den Sauerstoffverbrauch in der Ruhe zulassen. Zwei Jahre später nahm Loewy¹⁵⁾ mit seinem Bruder und Leo Zuntz diese Untersuchungen wieder auf. Zuvor wurden an L. Zuntz Ruheversuche im pneumatischen Kabinett ausgeführt, die wiederum ein Gleichbleiben des Sauerstoffverbrauchs bei Luftverdünnung ergaben. Dagegen hatte die zu längerem Aufenthalt benutzte Berghöhe von 3700 m bei allen eine deutliche Steigerung zur Folge, während in der Höhe von 2900 m nur bei L. Zuntz eine solche zu beobachten war.

Der Sauerstoffverbrauch betrug in der Meereshöhe von:

	40 m	2900 m	3700 m
bei A. Loewy	205 ccm	198 ccm	218 ccm (+ 6.3%)
„ J. Loewy	239 „	225 „	287 „ (+ 20.1%)
„ L. Zuntz	231 „	291 „ (+ 26%)	269 „ (+ 16.5%)

Bei dem Letztgenannten kam außerdem ein allerdings nur wenige Stunden dauernder Aufenthalt in der Gipfelhütte des Monte Rosa (4560 m) hinzu, wobei noch nach mehrstündiger Ruhe der Sauerstoffverbrauch 431 ccm (+ 86.6%) betrug. Man sieht, daß die Wirkung der zunehmenden Höhe keine regelmäßige ist. Es ist bemerkenswert, daß eine gewisse Akklimatisation an die Höhe nach einigen Tagen eintrat, welche z. B. bei Leo Zuntz bewirkte, daß der Verbrauch nach einigen Tagen des Aufenthaltes in 3600 m Höhe zwar noch gegen Berlin gesteigert, aber niedriger als anfangs in 2900 m Höhe war.

Geringere Effekte des Höhengaufenthaltes, und zwar selbst des Aufenthaltes in der Gipfelhütte des Monte Rosa, fanden die Mitarbeiter von Mosso¹⁶⁾ auf dessen Expedition vom Jahre 1894. Hier wurde nicht, wie in unseren Versuchen, Sauerstoff und Kohlensäure, sondern nur die Kohlensäureausscheidung bestimmt. Für die Beurteilung dieser Versuche kommt in Betracht, daß die mehr oder weniger knappe Ernährung, wie sie das Hüttenleben und die Schädigung der Verdauung in sehr großen Höhen mit sich bringen, eine Herabsetzung des respiratorischen Quotienten bewirkt. Das heißt: es kommt zu einer Abnahme der Kohlensäureausscheidung, obwohl der Sauerstoffverbrauch unverändert geblieben oder gar ein wenig gestiegen sein kann. Dazu kommt, daß Mossos Versuche wohl technisch nicht sehr vollkommen waren, wie die großen Schwankungen der Kohlensäureausscheidung unter gleichen Versuchsbedingungen beweisen. (Siehe Mosso: „Der Mensch auf den Hochalpen“, S. 270 ff.) Wir können daher die Versuche von Mosso nicht als unbedingt gegensätzlich zu den vorher erwähnten ansehen. Sie berechtigen aber vielleicht zu dem Schlusse, daß bei manchen Personen die Steigerung des Gaswechsels selbst in der Höhe des Monte Rosa-Gipfels noch nicht eintritt. Es kommt noch hinzu, daß Mosso seine Versuche an Bergsoldaten anstellte, welche sich aus den Hochtälern der piemontesischen Alpen rekrutieren, also von Jugend auf an Höhengaufenthalt und Bergbesteigung gewöhnt sind. Zudem wurde die Mehrzahl dieser Versuchspersonen ganz allmählich in die Höhe geführt. Mehrtägige Stationen wurden in 1600 m, 2500 m, 3047 m und 3620 m Höhe gemacht. Daß aber durch Gewöhnung die Steigerung des Gaswechsels unter dem Einfluß der Höhe geringer wird, ist vorher gesagt worden.

Noch seien die ein Jahr vor unserer Expedition angestellten Beobachtungen von Jaquet und Stähelin⁷⁾ besprochen. Diese Forscher gingen, nachdem sie eine größere Anzahl von Respirationsversuchen in Basel angestellt hatten, auf den 1600 m hohen, im Jura gelegenen Chasseral. Wir werden ihre Stoffwechselversuche in Kapitel IX eingehender betrachten. Die Untersuchung der Atmung ergab selbst in dieser geringen Höhe eine erhebliche Steigerung, welche sich nicht nur in den Nüchternversuchen (Sauerstoff + 8.8%, Kohlensäure + 14.8%) zeigte, sondern auch bei Vergleichung derselben Verdauungsphasen bei stets gleicher Ernährung. Um 11 Uhr vormittags Zunahmen von 5.6 und 10.1%, um 5 Uhr nachmittags während der Hauptverdauungsperiode von 6.7 resp. 11.3%. Nach der Rückkehr vom Chasseral nach Basel

steigerte sich zunächst der Gaswechsel noch weiter während einer Reihe von Tagen. 20 Tage nach der Rückkehr von der Höhe war die Kohlensäureausscheidung auf dem höchsten Wert angelangt; der Sauerstoffverbrauch war um diese Zeit 5% größer als im Durchschnitt des Höheng Aufenthaltes. Erst 4 Monate nach der Rückkehr war wieder annähernd der Ruhewert der Vorperiode erreicht. Die Steigerung, welche Jaquets Gaswechsel in so geringer Höhe erfuhr, muß im Hinblick auf alle sonstigen Erfahrungen als eine individuelle Eigentümlichkeit angesehen werden. Da nach der Rückkehr in die Ebene die Steigerung anhielt und anfangs sogar noch zunahm, wird man zweifeln müssen, ob sie überhaupt als Höhenwirkung aufzufassen ist. Wir fanden nach der Rückkehr von der Höhe, wie schon ausgeführt, ein Absinken des Gaswechsels unter die vor dem Bergaufenthalte beobachtete Größe.

Es seien schließlich noch einige Forscher genannt, welche, ähnlich wie Mosso, nur Kohlensäurebestimmungen ausgeführt haben: Mermod¹⁸⁾ fand bei möglichst gleichmäßiger Lebensweise in Straßburg 191 ccm, in Saint Croix, 1100 m hoch, 205 ccm Kohlensäure pro Minute.

Marcet¹⁷⁾ sah am Pik von Teneriffa in den verschiedenen Höhen keinen deutlichen Unterschied der Kohlensäureausscheidung, während er in den Alpen erhebliche Steigerungen mit der Höhe festgestellt hatte. Er schiebt diese aber nicht auf die Höhenwirkung an sich, sondern auf die dabei gleichzeitig stattfindenden Temperaturunterschiede, welche bewirkten, daß er auf dem Matterjoch in 3222 m und auf dem Breithorn in 4171 m Höhe wesentlich mehr Kohlensäure produzierte, als am Ufer des Genfer Sees. Bei den Versuchen von Veraguth²³⁾ stellten sich wieder erheblichere Steigerungen in der Höhe heraus, auf welche aber bei den enormen Schwankungen der Einzelwerte kaum Gewicht gelegt werden kann. Bürgi⁴⁾ endlich fand in einigen Versuchen eine geringe Steigerung der Kohlensäureausscheidung zwischen Brienz und dem Gipfel des Brienzler Rothorns. Die Resultate Bürgis stehen zu den unserigen in einem gewissen Gegensatz durch die absolute Größe der Kohlensäureausscheidung in der Ruhe. Seine Zahlen sind höher als wir sie je gefunden haben. Sein Mittelwert in Brienz 0.56 g pro Kilogramm und Stunde ergibt, auf unsere Einheiten berechnet, 4.77 ccm pro Kilogramm des bekleideten Mannes von 98 kg Gewicht. Auch Kronecker ist die große Differenz aufgefallen; er macht sie durch Umrechnung unserer älteren Hochgebirgsversuche auf die von Bürgi benutzte Einheit deutlich. Dabei ergibt sich, daß wir nur 0.27—0.30 g CO₂ pro Kilogramm und Stunde ausschieden. Kronecker scheint an Fehler unsererseits zu denken und meint, unsere Versuche seien weniger genau, weil wir „Durchschnittsproben“ analysieren, seine Schüler aber das ganze während der Versuche ausgeschiedene Kohlensäurequantum wogen. Er macht ferner darauf aufmerksam, daß unsere Werte niedriger liegen, als die von Pettenkofer und Voit (0.41—0.73 g CO₂ pro Kilogramm und Stunde), J. Ranke (0.373 g im Hunger, 0.52 g nach stärkster Ernährung) u. A. gefundenen. Diese Differenz erklärt sich aber vollkommen dadurch, daß die letztgenannten Autoren länger dauernde Versuche in Respirationskammern anstellten, wobei die Versuchspersonen nicht gehalten waren, absolute Muskelruhe zu bewahren. Was das bedeutet, hat am prägnantesten Speck²²⁾ ausgeführt, welcher selbst (l. c. S. 222) den erheblichen Unterschied zwischen seinen und unseren Zahlen ganz richtig daraus erklärt, daß wir in liegender Stellung bei absoluter Entspannung der Muskeln, er im Sitzen oder Stehen untersucht.

Es kommt hier wohl noch weiter in Betracht, daß sowohl Speck als die Schüler Kroneckers alle Beobachtungen selbst ausführten und dabei nicht nur in einer gewissen Spannung sich befanden, sondern auch unvermeidlich Bewegungen ausführen mußten. Bei uns dagegen ruht die atmende Person in bequemster Bettlage, während Mundstück und Ventile derart aufgehängt sind, daß jede Zerrung ausgeschlossen ist. — Wir möchten noch darauf hinweisen, daß bei Untersuchung der Atmung von Zuntz einerseits nach unserer Methode, andererseits im Tigerstedtschen Respirationsapparate, welcher eine Verbesserung des Pettenkoferschen Kastenapparates darstellt, absolut identische Werte gefunden wurden. — Auch die musterhaften Versuche von Atwater und Benedict³⁾ können wir als Belege für die Richtigkeit unserer Werte anführen. Beispielsweise betrug hier die Kohlensäureausscheidung pro kg und Stunde während der sechs Nachtstunden, in welchen die Bewegungen am geringsten waren, aber immerhin die letzte Mahlzeit noch steigend wirkte, im Experiment 26 und 28 (Bullet. Nr. 109, pag. 88) zwischen 0.33 und

0.36 g Kohlensäure pro kg und Stunde. Während der Vormittagsstunden stieg dagegen die Kohlensäureausscheidung, ohne daß größere Arbeit geleistet wurde, bis auf 0.61 g.

Ein Besuch von Dr. Bürgi in Berlin gab uns übrigens Gelegenheit, die Frage mit ihm zu erörtern. Er hatte auch die große Liebenswürdigkeit, an sich selbst zwei Respirationsversuche nach unserer Methode anstellen zu lassen. Von diesen war der erste Versuch unvollkommen, insofern es Herrn Dr. Bürgi noch nicht gelang, absolute Muskelruhe zu bewahren. Auch stimmte die Doppelanalyse schlecht in bezug auf den Sauerstoff. Der zweite Versuch war dagegen in jeder Hinsicht tadellos. Die Zahlen sind pro Minute:

	Atemgröße in Liter		Sauerstoff- verbrauch ccm	Kohlensäure- ausscheidung ccm	Respiratorischer Quotient
	beobachtet	0°, 760 mm			
1.	10.80	9.82	374	284	0.76
2.	10.69	9.72	330	278	0.84

Bei einem Körpergewicht von 99.7 kg sind das 3.31 ccm Sauerstoff und 2.79 ccm Kohlensäure pro kg und Minute, während Bürgis frühere Versuche 4.77 ccm Kohlensäure pro kg und Minute ergeben hatten. Herr Kollege Bürgi gewann bei Ausführung der Versuche selbst die Überzeugung, daß die früher von ihm gefundenen höheren Werte durch Körperbewegungen bedingt waren, und will deshalb die Versuche an seinem Apparat unter Ausschluß dieses Momentes wiederholen. Es kann also keinem Zweifel unterliegen, daß Bürgis Ruheversuche durch ein gewisses Maß von Muskularbeit resp. -spannung kompliziert waren. Trotzdem dürfte sein Ergebnis, daß in der Höhe der Ruhestoffwechsel ein wenig erhöht ist, zu Recht bestehen, da die einzelnen Versuche nur wenig voneinander abweichen, also nicht anzunehmen ist, daß die komplizierende Muskeltätigkeit in Brienz und auf dem Rothorn verschieden war.

Wir wollen nunmehr das Ergebnis unserer Expedition vom Jahre 1901 in bezug auf die Wirkungen von Höhen bis zu 3000 m auf den Atemprozeß erörtern. Als Grundlage der Besprechung stellen wir die Mittelwerte in nebenstehender Tabelle 2 zusammen.

Dabei ist zu bemerken, daß einzelne der auf dem Rothorn angestellten Versuche deshalb nicht berücksichtigt wurden, weil bei ihnen Muskelbewegungen meist durch Kälteempfindung ausgelöst, den Stoffwechsel steigerten.

Wir haben mit diesen Versuchen gleich die an Waldenburg und Müller auf Col d'Olen in 2900 m Höhe ausgeführten zusammengestellt. Wie ein Blick auf die Tabelle lehrt, sind die respiratorischen Quotienten in den zu vergleichenden Perioden desselben Individuums ein wenig verschieden. Gleicher Sauerstoffverbrauch bedeutet daher, wie in Kapitel III ausgeführt, nicht mehr gleiche Energieentwicklung. Wir haben deshalb nach den dort besprochenen Grundsätzen den Energieverbrauch aus Sauerstoff und respiratorischem Quotienten berechnet und in Stab 5 (der Tabelle 2) aufgeführt. Ein Blick auf Stab 7, welcher die Änderungen des Energieverbrauches in Prozenten des Verbrauchs während des vorangehenden Brienzener Aufenthaltes gibt, läßt erkennen, daß eine kleine Steigerung des Stoffwechsels bei fünf Personen auf dem Rothorn vorhanden war und nur bei Waldenburg ein geringes Minus von 2.2 % besteht.

Die beobachtete Steigerung übertrifft allein bei Kolmer merklich den Wert, welcher zur Deckung der bei allen etwas gesteigerten Atemarbeit (Erhöhung der Lungenventilation um 400—850 ccm pro Minute) erforderlich ist. Das ergibt sich aus Stab 8, in dem die prozentische Änderung des Energieverbrauches eingetragen ist, welche übrigbleibt nach Berücksichtigung dieser gesteigerten Atem-

arbeit. Diese Änderung ist in drei Fällen gleich Null, sie zeigt zweimal schwach positiven, einmal einen geringen negativen Wert. Der Ruhestoffwechsel in strengerem Sinne ist also bis zur Höhe von 2100 m bei uns unverändert geblieben, doch macht es der Befund an Kolmer wahrscheinlich, daß es Individuen gibt, welche in dieser Höhe schon eine Steigerung der Oxydation aufweisen, wie sie Jaquet sogar schon in 1600 m gefunden hat.

Tabelle 2.
Mittelwerte des Sauerstoff- und Energieverbrauchs in
verschiedenen Höhen.

1 Name	2 Ort	3 Sauerstoff- verbrauch pro Minute ccm	4 Respira- torischer Quotient	5 Energie- verbrauch proMinute w. e. *)	6 Änderung des Energieverbrauchs verglichen mit dem in Brienz		8 Wirkung der Höhe auf den Energiever- brauch nach Aus- schaltung des Ein- flusses der Atem- arbeit prozentisch
					absolut w. e.	7 prozen- tisch	
Waldenburg	Brienz I, II .	257.2	0.797	1233.9			
	Rothorn . . .	252.2	0.787	1206.9	- 27.0	- 2.2	- 3.0
	Col d'Olen . .	279.1	0.808	1342.8	+ 108.9	+ 8.8	+ 6.6
Caspari	Brienz I, II .	224.0	0.782	1070.5			
	Rothorn . . .	226.3	0.826	1093.8	+ 23.3	+ 2.2	± 0
Zuntz	Brienz I, II .	230.7	0.794	1106.0			
	Rothorn . . .	234.8	0.768	1118.1	+ 12.1	+ 1.1	± 0
Kolmer	Brienz I . . .	254.0	0.852	1235.7			
	Rothorn . . .	268.4	0.832	1294.2	+ 58.5	+ 4.7	+ 4.8
Müller	Brienz I . . .	243.4	0.774	1160.8			
	Rothorn . . .	248.5	0.736	1173.5	+ 12.7	+ 1.1	± 0
	Col d'Olen .	229.4	0.813	1105.5	- 55.3	- 4.7	- 6.0
	Margh.-Hütte (1 Tag)	223.6	0.863	1091.0	- 71.8	- 6.0	- 12.2
Loewy	Brienz I . . .	207.8	0.763	988.3			
	Rothorn . . .	211.3	0.809	1016.8	+ 28.5	+ 2.9	+ 1.2

Unser Befund ist in guter Übereinstimmung mit dem von Schumburg und Zuntz in 1600 und 2900 m Höhe, sowie von Durig und Zuntz in 2900 m Höhe (Col d'Olen). Letztere fanden nur an Durig eine geringe Steigerung, die den Verbrauch für die Zunahme der Lungenventilation etwas übertraf. Bei der unter Loewys Leitung ausgeführten Expedition von 1896 zeigten zwei Teilnehmer in 2900 m Höhe keine Erhöhung des Sauerstoffverbrauches, nur bei dem jüngsten und zugleich

*) Wir gebrauchen in Tabelle 2 und weiter häufig das Symbol w. e. Es bedeutet eine kleine Wärmeeinheit oder Granmkalorie, d. i. die Wärmemenge, welche 1 g Wasser um 1° C. erwärmt; eine große Wärmeeinheit W. E. ist dagegen, wie Seite 160 ausgeführt, die Wärmemenge, welche 1 kg Wasser um 1° C. erwärmt.

kräftigsten, Leo Zuntz, war er um fast 18% gesteigert, während die Lungenventilation um kaum 500 ccm erhöht war.

In 2900 m Höhe (Col d'Olen) fanden wir bei Waldenburg eine leichte Steigerung des Sauerstoff- und Energieverbrauchs, doch kommen in Brienz einzelne Werte vor, welche dem Durchschnitt von Col d'Olen nahestehen. Es dürfte wohl kein Zufall sein, daß auf Col d'Olen ein langsamer Abfall des Verbrauchs während des Aufenthaltes zu bemerken ist, eine Folge zunehmender Akklimatisation (vgl. Anhangstabelle X). Die beiden letzten Versuche an Waldenburg sind nur in bezug auf die Kohlensäure zu verwerten und ergeben hier etwas unter dem Durchschnitt aller Versuche liegende Zahlen.*)

Bei Müller ist das Mittel der auf Col d'Olen ausgeführten Versuche sogar niedriger als das der Ruheversuche in Berlin und Brienz, und merkwürdigerweise zeigt hier gerade der erste Versuch nach dreitägigem Aufenthalt in der Höhe einen besonders niedrigen Wert. Wenn man dieses mit allen sonstigen Erfahrungen über die Höhenwirkung im Widerspruch stehende Resultat als Versuchsfehler zu deuten geneigt wäre, so wird eine solche Deutung doch im hohen Maße unwahrscheinlich, wenn man das Verhalten Müllers auf dem Monte Rosa-Gipfel vergleicht. Hier weilte er nur 24 Stunden. Es wurde an ihm der erste Respirationsversuch am 9. September morgens, eine Stunde nach der Ankunft, und ein zweiter am folgenden Morgen nach ziemlich schlaflos verbrachter Nacht, beide unter deutlichen Symptomen der Bergkrankheit, ausgeführt. Diese beiden geben noch niedrigere Werte als das Mittel der Col d'Olen-Versuche, 219.7 resp. 227.6 ccm Sauerstoff. Bemerkenswert ist, daß Müller im Gegensatz zu dieser anomalen Reaktion auf die Reize des Hochgebirges eine hochgradige Empfindlichkeit gegen die Luftverdünnung im pneumatischen Kabinett gezeigt hatte und hier auch eine erhebliche Steigerung des Sauerstoffverbrauches bis auf 334 ccm aufwies (siehe Anhangstabelle XVI). Allerdings war die Luftverdünnung in drei Versuchen noch bedeutend über die der Monte Rosa-Höhe entsprechende gesteigert worden, bis auf einen Luftdruck von 385—392 mm, entsprechend einer Berghöhe von 5370 m.

Müller verhielt sich also in bezug auf seine Verbrennungsprozesse auf dem Monte Rosa-Gipfel ganz eigenartig. Die von Mosso untersuchten Bergsoldaten hatten immerhin nur Gleichbleiben der Kohlensäureausscheidung ergeben. Auf die Reize des Seeklimas hat Müller in den von Loewy und ihm in Sylt ausgeführten Untersuchungen ganz anders reagiert. Es fand sich bei ihm in Sylt im Mittel ein Sauerstoffverbrauch von 260 ccm, eine Zahl, die während des ganzen Höhenaufenthaltes von Brienz bis zur Monte Rosa-Spitze nicht erreicht wurde. Ausdrücklich sei noch hervorgehoben, daß diese Ruheversuche in Sylt sämtlich auch morgens nüchtern im Bette bei behaglicher Wärme, also nicht bei unmittelbarer Einwirkung der spezifischen Reize der Seeluft ausgeführt wurden.

Kolmer, Caspari, Loewy und Zuntz hatten Col d'Olen nur als Durchgangstation für eine Nacht benutzt, der weitere Aufstieg zum Gipfel des Monte Rosa

*) Die abnorm niedrigen, in der Anhangstabelle X eingeklammerten Zahlen des Sauerstoffverbrauches beruhen wohl auf Analysefehlern, ohne daß wir eine Erklärung dafür geben können.

erfolgte mit Zwischenschiebung eines Nachtquartiers in der Guifetti-Hütte, 3700 m, um stärkere Anstrengungen bei Ersteigung des Gipfels auszuschließen. Das bei diesem Aufstieg an jedem der beiden Tage geleistete Arbeitsmaß überstieg wohl auch nicht das bei den großen Märschen zwischen Brienz und Rothorn-Kulm aufgewendete. Von den Ruheversuchen auf der Margherita-Hütte konnten allenfalls die des ersten Tages, 3. September, durch die vorangegangene Anstrengung beeinflusst sein. Es zeigt sich aber nicht nur an diesem Tage, sondern auch in allen späteren Versuchen eine sehr erhebliche Steigerung der Oxydationsprozesse im Vergleich mit allen vorher beobachteten Zahlen.

Die Steigerung des Sauerstoffverbrauchs und das entsprechende Wachsen der Energieentwicklung auf dem Monte Rosa geht aus folgender Tabelle hervor:

Tabelle 3.
Mittelwerte der Ruheatmung nüchtern.

1	2	3	4	5	6	7
Name	Ort	Sauerstoffverbrauch pro Minute ccm	Respiratorischer Quotient	Energieverbrauch pro Minute w. e.	Zunahme des Energieverbrauchs in %	Bemerkungen
Kolmer	Brienz ¹⁾	248.3	0.823	1200.8	17.3	¹⁾ Mittelwert der Periode I u. III
	Margherita-Hütte	293.0	0.806	1409.0		
Caspari	Brienz	224.0	0.782	1070.5	43.7	
	Margherita-Hütte	324.6	0.750	1538.5		
Loewy	Brienz ¹⁾	202.4	0.767	963.6	29.1	
	Margherita-Hütte	262.2	0.755	1244.3		
Zuntz	Brienz	230.7	0.794	1106.0	42.8	
	Margherita-Hütte	331.7	0.770	1580.4		

Im einzelnen war das Verhalten im Laufe des Gipfelaufenthaltes verschieden. Bei Kolmer und Zuntz bleibt die Steigerung bis zum letzten Tage, 9. September, unverändert, bei Zuntz zeigt sogar dieser letzte Tag den höchsten Wert, während Caspari und Loewy am 7. und 8. resp. 9. sehr viel weniger Sauerstoff verbraucht haben als in den ersten Tagen, wenn auch noch erheblich mehr als in den tieferen Regionen. Zur Erklärung dieser Differenzen kommt bei Kolmer und Zuntz vielleicht der Umstand in Betracht, daß sie am Nachmittag des 8. Marschversuche auf dem Schneefeld des Monte Rosa ausgeführt und dabei sich erheblich angestrengt hatten. Auffallend bleibt freilich, daß Caspari, welcher an diesen Marschübungen ebenfalls Anteil nahm, am 9. den niedrigsten, überhaupt an ihm auf dem Monte Rosa beobachteten Sauerstoffverbrauch von 243.8 ccm zeigte, während er zwei Tage vorher in absoluter Ruhe noch 290.9 ccm verbraucht hatte. Die Steigerung, welche er am 9. noch gegenüber dem Durchschnitt der Brienzener Werte aufweist, ist beinahe durch die Erhöhung des Atemvolumens von 4.8 auf 7.5 l erklärt. Dabei muß erwähnt werden, daß Caspari von uns allen am meisten unter der Einwirkung der Höhenluft litt. Er war so gut wie vollkommen appetitlos, ver-

daute die geringen aufgenommenen Nahrungsmengen nur in der unvollkommensten Weise und mußte bei den Marschversuchen außerordentliche Willensenergie aufwenden, um die nötigen Arbeiten auszuführen.

Die starke Einbuße an Körpersubstanz und speziell an Eiweißkörpern, welche ja die aktiven, den Sauerstoffverbrauch bedingenden Gewebe aufbauen, hätte an sich den Sauerstoffverbrauch unter die Norm herabdrücken müssen. Es bedeutet also auch noch die geringe, am letzten Tage beobachtete Steigerung einen abnorm hohen Stoffwechsel. Das tritt deutlich hervor, wenn wir den Verbrauch auf 1 kg Körpersubstanz berechnen.

Wir haben dann bei Caspari pro 1 kg und 1 Minute

in Brienz am 6. und 7. August . . .	3.46 ccm Sauerstoff,	2.78 ccm Kohlensäure
auf dem Monte Rosa am 9. September	4.05 ccm „	3.17 ccm „

also am letzten Tage des Monte Rosa-Aufenthaltes immer noch ein Mehr von 17 % im Sauerstoff, von 13 % in der Kohlensäure.

Angesichts der erheblichen Unterschiede im individuellen Verhalten des Gaswechsels in den großen Höhen erschienen weitere Versuche dringend erforderlich. Diese wurden im Jahre 1903 von Durig und Zuntz ausgeführt und ergaben im wesentlichen folgendes:

Auf Col d'Olen in 2900 m war bei Zuntz keine merkliche Steigerung des Sauerstoffverbrauches gegen die Werte der Ebene zu konstatieren. Bei Durig bestand eine geringe Erhöhung um etwa 10 ccm. Auf dem Monte-Rosa-Gipfel war die Steigerung des Verbrauches bei beiden eine erheblichere, aber bei Zuntz lange nicht so bedeutend, wie 2 Jahre vorher. Während sie damals im Mittel 45.6% betrug, war sie hier im Mittel von 16 Versuchen morgens nüchtern im Bette nur 13.7%. Unter Berücksichtigung des respiratorischen Quotienten entspricht dieser Zahl ein Mehr an entwickelter Energie von 130.8 w.e. resp. 11.9%. Besonders bemerkenswert ist, daß diese kleinere, im Jahre 1903 beobachtete Steigerung sich vom Anfang bis zu Ende des fast dreiwöchentlichen Aufenthaltes kaum änderte, daß sogar am ersten Tage der Verbrauch etwas unter dem Durchschnitt der ganzen Reihe lag. Zur Erklärung des Unterschiedes kommt vielleicht doch wesentlich der Umstand in Betracht, daß eine sechstägige Übergangsperiode auf dem Col d'Olen in 2900 m stattfand, zumal auch bei Müller, der 1901 ebenfalls, ehe er zum Gipfel aufstieg, längere Zeit auf Col d'Olen verweilt hatte, eine Steigerung ganz ausgeblieben war. An Waldenburg, der sich mit Müller auf Col d'Olen aufgehalten hatte, ist leider der einzige auf dem Monte Rosa ausgeführte Versuch teilweise verunglückt, es existiert nur die eine Zahl für die Kohlensäureausscheidung und diese ist ebenfalls nicht höher als in Brienz und auf dem Col d'Olen.

Bei Durig ist das Verhalten fast genau dasselbe wie bei Zuntz. Die Steigerung ist nur ganz wenig größer, der Sauerstoffverbrauch beträgt oben im Mittel 277.5 ccm gegen 231.8 ccm in Wien, das heißt oben 19.7% mehr. Auf Wärmeinheiten umgerechnet beträgt die Steigerung 213 w.e. oder 19.3% der Wärmeproduktion in Wien.

Die in der Höhe, wie die Atemgröße pro Minute zeigt, erheblich gesteigerte

Arbeit der Atemmuskeln erklärt nur einen Teil der Erhöhung des Sauerstoffverbrauchs. Es können von dem Zuwachs des Sauerstoffverbrauchs um 31 ccm pro Minute bei Zuntz etwa 14 ccm, von dem entsprechenden Zuwachs bei Durig (45 ccm) nur 10 ccm durch gesteigerte Atemarbeit bedingt sein.

Fassen wir alle vorstehend aufgeführten Tatsachen zusammen, so finden wir, daß selbst die große Höhe des Monte Rosa in manchen Fällen gar keinen Einfluß auf die Verbrennungsprozesse gehabt hat. Nur in einem einzigen Falle, bei Müller, ist das eingetreten, was bei naiver Betrachtung der Verhältnisse am ehesten zu erwarten wäre: eine Herabsetzung der Oxydationsprozesse. Ein Ofen, der weniger Luft bekommt, brennt schwächer. Lange Zeit hat man geglaubt, daß in gleicher Weise der menschliche Organismus von der Konzentration des Sauerstoffs in der umgebenden Luft abhängig sei. Wir wissen jetzt auf Grund vielseitigster Versuche, daß dies innerhalb weiter Grenzen nicht der Fall ist, daß man den Sauerstoffgehalt der geatmeten Luft auf die Hälfte herabsetzen kann, ohne eine Änderung der Verbrennungsprozesse hervorzurufen.

Überraschend bleibt es aber doch, daß wir im Hochgebirge in der Mehrzahl der Fälle eine Steigerung der Verbrennungsprozesse fanden, und zwar eine um so erheblichere, je weiter man sich über das Meeresniveau erhebt. — Behufs Erklärung dieser Steigerung haben wir die einzelnen in Betracht kommenden Faktoren des Klimas möglichst gesondert auf uns einwirken lassen.

Wirkung der Klimareize des Hochgebirges auf den Stoffumsatz. Die Expedition von Durig und Zuntz lieferte eine Anzahl von Beobachtungen, die Aufschluß darüber geben können, welche klimatischen Faktoren bei der Steigerung des Sauerstoffverbrauchs mitwirken. Es wurde das Verhalten der Ruheatmung einerseits im Zimmer, in den einer angestregten Marschleistung oder längerem Ruheaufenthalt im Freien folgenden Stunden, andererseits unter direkter Einwirkung der klimatischen Verhältnisse, der Sonnenstrahlung und des Windes, beobachtet. Diese Untersuchungen konnten dank dem ungewöhnlichen Wetterglück, welches diesen Gipfelaufenthalt begünstigte, vielfach variiert werden.

Bei Zuntz kommen folgende Zahlen in Betracht: Er hatte, wie gesagt, morgens nüchtern im Mittel von 16 Versuchen einen Sauerstoffverbrauch von 259.2 ccm bei einem respiratorischen Quotienten von 0.738. Die Extreme waren 241.5—275.8 ccm Sauerstoff.

Nach mehrstündigem windgeschütztem Aufenthalte in greller Sonne auf dem Dache der Hütte betrug der Sauerstoffverbrauch im Mittel von 5 Versuchen 272.0 ccm, also gegenüber Bettruhe ein Mehr von 12.8 ccm oder 5%. Die Extreme waren 253.6—289.2.

Der Vergleich mit dem Versuch im Bette an denselben Tagen zeigt aber

27. August im Bette	267.3 ccm
4. September im Bette	272.9 „
	—————
	Mittel 270.1 ccm

gegen 272.0 ccm auf dem Dache, also fast volle Identität.



Blick vom Sesiajoch auf die Walliserberge. (Einsinken im tiefen Schnee.)

Phot. Vittorio Sella, Biella.

Die analogen Versuche an Durig ergaben in der Sonne auf dem Dache sogar einen geringeren Gaswechsel als durchschnittlich morgens im Bette:

Mittel von 14 Versuchen im Bette:

277.5 ccm Sauerstoffverbrauch, 0.76 respiratorischer Quotient, 7.97 l Ventilation,

Mittel von 5 Versuchen in der Sonne:

255.5 ccm Sauerstoffverbrauch, 0.74 respiratorischer Quotient, 7.79 l Ventilation.

Auch die Bettversuche der beiden Versuchstage selbst sind mit 274.4 ccm und 267.3 ccm, im Mittel 270.8 ccm Sauerstoffverbrauch, und 7.70 und 8.05, im Mittel 7.88 l Lungenventilation höher als der Gaswechsel auf dem Dache in der Sonne.

Etwas erheblicher ist die Klimawirkung anscheinend bei einigen Versuchen, welche im Liegen auf dem Schneefelde ausgeführt wurden. Der höchste hier beobachtete Sauerstoffverbrauch, 308.4 ccm bei Zuntz und die am selben Tage beobachteten Zahlen 321.0 und 316.4 bei Durig sind durch die noch nicht abgeschlossene Verdauung der Mittagsmahlzeit beeinflusst. Außerdem spielt aber noch ein anderes Moment eine Rolle, das indirekt mit der Sauerstoffarmut der Luft zusammenhängt und den Stoffwechsel im Hochgebirge steigern kann, die vorangegangene Muskelarbeit.

Auf Col d'Olen (2900 m) schon fand man, daß nach einem raschen Aufstieg mit Gepäck, ohne stärkere Sonnen- oder Windwirkung, der Sauerstoffverbrauch noch nach einer Stunde um 6% bei Zuntz und um 11% bei Durig erhöht war. Ganz entsprechend war der Verbrauch bei Zuntz einige Stunden nach dem für ihn sehr anstrengenden Aufstieg zur Margherita-Hütte bedeutend höher als während des späteren Aufenthalts daselbst (290 ccm gegen 259 ccm). In viel stärkerem Maße war derselbe Effekt bei Leo Zuntz hervorgetreten, als er im Jahre 1896 von der Gnifetti-Hütte zur Margherita-Hütte gegangen war. Noch drei Stunden nach der Ankunft war sein Sauerstoffverbrauch um 86% erhöht. Sehr frappant tritt der dominierende Einfluß dieses Momentes bei den Versuchen von Durig und Zuntz auf dem Schneefelde des Monte Rosa zutage. Wären hier die Witterungseinflüsse in erster Linie maßgebend, so müßte der Verbrauch mit der Dauer des Aufenthalts im Freien wachsen; gerade das Umgekehrte ist aber der Fall. Die ersten Versuche, welche etwa 1 Stunde nach der nicht einmal großen Muskelarbeit des Abstiegs von der Hütte ausgeführt wurden, zeigten den höchsten Sauerstoffverbrauch, nach 2—3 Stunden Schneeaufenthalt war derselbe trotz Wind, Kälte und Sonnenbestrahlung nicht mehr höher als morgens im Bette.

	27. August	3. September
Zuntz: 1 Stunde nach Verlassen der Hütte	308.4 ccm	301.5 ccm
1 Stunde später	269.5 „	277.0 „
noch 1 ¹ / ₄ Stunde später		267.3 „
„ 1 „ „		271.0 „

Selbst nach einem siebenstündigen Aufenthalt auf dem Schneefelde, wo in den ersten 5 Stunden Marschübungen stattfanden, die letzten 2 Stunden aber in der Sonne liegend, zum Teil schlafend verbracht wurden, war bei ihm der Verbrauch

dem im Bette fast gleich, nämlich 256.5 ccm gegen 259 ccm im Durchschnitt der Bettversuche. Die klimatischen Faktoren für sich haben also, wenn überhaupt, jedenfalls nur in geringem Maße den Stoffumsatz gesteigert. Das gleiche gilt für Durig, der nur am 27. August auf dem Schneefelde einen erhöhten Umsatz zeigte, zu dessen Erklärung wiederum einerseits die noch nicht ganz beendete Verdauung, andererseits eine vorangegangene sehr große und anhaltende, mit Beklemmung verbundene Arbeit beim Zusammenzimmern eines Schlittens heranzuziehen ist. Auch die nach vorausgegangenem längerem Aufenthalt im Freien ausgeführten Versuche im Bette können nicht wohl im Sinne einer Nachwirkung von Sonne und Luft gedeutet werden. Bei Zuntz, dem weniger ans Hochgebirgsklima gewöhnten, überragt zwar das Mittel dieser 8 Versuche dasjenige der Morgenversuche um 9.8%, bei dem berggewohnten Durig aber bleibt es um 1.4% darunter. Außerdem sind einige dieser Versuche durch die noch nicht ganz vollendete Verdauung und durch vorangegangene Muskelarbeit erhöht. Auffallend ist allerdings der bei Durig und Zuntz gleichmäßig hohe Verbrauch am 26. August nach nur 1³/₄ Stunden Aufenthalt auf dem Dache in der Sonne. Es war die erste derartige Einwirkung und außerdem wurde während dieser Stunden starke Ionisation der Luft, verbunden mit ausgesprochener Unipolarität der atmosphärischen Elektrizität, beobachtet.

Da der Aufenthalt im Freien mehrfach zu Zeiten stattfand, wo diese für das Hochgebirge so charakteristische Unipolarität der Luftelektrizität sehr ausgesprochen war, können wir auch diesem Moment trotz der am 26. August beobachteten Steigerung keinen erheblichen Einfluß auf den Sauerstoffverbrauch zuschreiben; dagegen scheint es die Atemmechanik und das subjektive Befinden zu beeinflussen; namentlich war einige Male Beklemmungsgefühl notiert, wenn längerer Aufenthalt im Freien bei starker Unipolarität stattgefunden hatte.

Für die Erklärung der Stoffwechselsteigerung in der ersten Stunde nach Muskeltätigkeit kommt die erhöhte Temperatur des Körpers und speziell der Extremitätenmuskulatur in Frage. Wie alle chemischen Prozesse, so werden auch die Umsetzungen in unserem Organismus durch Erhöhung der Temperatur gesteigert. Wie sehr nach Arbeit die Temperatur unseres Körpers erhöht ist, ergibt sich aus den Darlegungen in Kapitel XV. Mehr noch als die innere Körperwärme wird aber die Temperatur der peripheren Muskelschichten durch Arbeit gesteigert. Daß diese Schwankungen der Temperatur die Oxydationsgröße beeinflussen, haben wir vielfach konstatieren können. Der Effekt dieses Momentes könnte aber im Hochgebirge nicht größer sein als in der Ebene bei niedriger Lufttemperatur. Hier hat die Arbeit keine so lange nachwirkende Steigerung des Sauerstoffverbrauchs im Gefolge (Schumburg und Zuntz). Ferner haben Zuntz und Hagemann²⁰⁾ (l. c. Tab. XXXII, S. 268) am Pferde festgestellt, daß vor und nach anstrengender Arbeit der Ruheverbrauch genau gleichgroß ist.

Es ergibt sich aus Vorstehendem, daß die Klimawirkung nur geringen Einfluß auf den Stoffwechsel hat, größeren die vorangegangene Muskel-tätigkeit. Wo diese nicht in Betracht kommt, wie bei unseren Ruheversuchen morgens im Bett, bleibt von allen uns bekannten Eigenschaften der Höhe nur die Luftverdünnung als erklärendes Moment übrig.

Versuche in der pneumatischen Kammer. Wenn es richtig ist, daß der Sauerstoffmangel und sein Anwachsen während der Muskeltätigkeit das wichtigste,

den Stoffwechsel im Hochgebirge steigernde Moment ist, kann man eine solche Steigerung auch bei und nach Aufenthalt in der stark verdünnten Luft des pneumatischen Kabinetts erwarten.

Wie schon S. 90 erwähnt, haben unsere Hochgebirgsstudien ihren Ausgang genommen von den Untersuchungen Loewys¹⁴⁾ über das Verhalten des Menschen in der pneumatischen Kammer. Die Person, an welcher Loewy seine meisten Untersuchungen ausführte, zeigte aber ebenso wie er selbst keine erhebliche Änderung der Sauerstoffaufnahme selbst bei solchen Verdünnungen, welche bereits zu großer Müdigkeit, Taumeln und Benommenheit des Kopfes führten. Erheblich nahm dagegen bei beiden die Kohlensäureausscheidung zu, so zwar daß der respiratorische Quotient bei Loewy von 0.72 auf 0.81 stieg, als der Luftdruck von 750 auf 360 mm (entsprechend 6300 m Höhe) erniedrigt wurde. Ebenso führte schon die Druckverminderung auf 440 mm bei der Versuchsperson W. eine Erhöhung des Quotienten von 0.75 auf 0.82 herbei und bei 415 mm stieg der Quotient gar auf 0.887.

Weitere Kabinettversuche wurden im Anschluß an die Hochgebirgsexpedition von 1896 ausgeführt. Sie ergaben im Mittel von je zwei Versuchen an L. Zuntz:

bei 758 mm Luftdruck	231.2 ccm Sauerstoffverbrauch	und 0.865 R. Q.
„ 448 „ „	238.7 „ „	„ 0.89 „

Im Hochgebirge zeigte derselbe:

bei 528 mm Luftdruck	290.4 ccm Sauerstoffverbrauch	und 0.78 R. Q.
„ 482 „ „	268.6 „ „	„ 0.86 „
„ 424 „ „	430.9 „ „	„ 0.84 „

Die Steigerung des Sauerstoffverbrauchs im Hochgebirge war also bei geringerer Luftverdünnung viel bedeutender, andererseits war der respiratorische Quotient nicht höher als in Berlin bei normalem Luftdruck. Das legt wieder den Gedanken nahe, es sei im Hochgebirge die Ursache, welche im Kabinett allein wesentlich in Betracht kommt, nämlich der Sauerstoffmangel, nicht bestimmend für die Veränderung des Stoffwechsels. Ehe wir aber eine solche Folgerung ziehen, müssen wir der vorher besprochenen Tatsache eingedenk sein, daß der Stoffwechsel bei verschiedenen Personen in sehr differenter Weise durch das Hochgebirge affiziert wird, und daß so starke Wirkungen, wie bei L. Zuntz, in mäßigen Höhen zu den Ausnahmen gehören. Wir müssen ferner an den erheblichen Unterschied zwischen Kabinett- und Hochgebirgsversuch erinnern, auf welchen Aron²⁾ hingewiesen hat: Im Kabinett wirkt die Luftverdünnung höchstens während einiger Stunden, im Hochgebirge tagelang auf den Menschen ein; es können sich also kleine chemische Veränderungen, welche der Sauerstoffmangel bedingt, in ganz anderer Weise häufen und so wirksam werden.

Jedenfalls war es wichtig, auch an den auf die Einwirkungen des Hochgebirges so sehr verschieden reagierenden Mitgliedern unserer Expedition einige Versuche über die Wirkung reiner Luftverdünnung anzustellen. Die Ergebnisse derselben sind in der Anhangstabelle XVI zusammengestellt.

Bei Betrachtung dieser Tabelle wird man bemerken, daß wir in einem Teil der Versuche den Luftdruck noch erheblich unter die der Monte Rosa-Höhe ent-

sprechende Zahl, 440 mm, erniedrigten, in anderen Fällen nicht so weit gingen. Im ersteren Falle ist der respiratorische Quotient fast regelmäßig über die Norm erhöht. Solche Erhöhung beobachten wir im Hochgebirge nicht. Das hängt, wie in Kapitel XVIII noch genauer zu erörtern sein wird, mit der Dauer der Einwirkung der verdünnten Luft zusammen.

Das Verhalten der Sauerstoffaufnahme war im pneumatischen Kabinett ein recht wechselndes. Unter den 25 in Tabelle XVI zusammengestellten Versuchen scheidet der zweite Versuch vom 20. Juni 1901 an Caspari aus, weil die hier sehr hochgradige Verdünnung (5670 m Berghöhe entsprechend) eine solche Benommenheit herbeigeführt hatte, daß das Mundstück zeitweise dem Munde entglitt und dadurch Gasverluste stattfanden. Es erinnert dieser Zustand der Benommenheit übrigens an ähnliche, wenn auch nicht so hochgradige Erscheinungen auf dem Monte Rosa (siehe S. 146). Unter den übrigen Versuchen haben wir dreizehn normale Werte des Sauerstoffverbrauches, d. h. solche, welche im Bereich der bei gewöhnlichem Luftdruck beobachteten Schwankungen liegen. Nur zweimal ist dasjenige eingetreten, was man, unbefangen urteilend, als den wahrscheinlichsten Effekt der Luftverdünnung erwarten würde, ein abnorm niedriger Sauerstoffverbrauch. In diesen beiden Fällen (je einmal bei Loewy und Waldenburg) bestand nur sehr mäßige, noch nicht der Monte Rosa-Höhe entsprechende Luftverdünnung. Man muß hier wohl an Zufälligkeiten oder Versuchsfehler denken. — In neun Fällen aber beobachteten wir im pneumatischen Kabinett erhöhten Sauerstoffverbrauch, und zwar immer bei starker Erniedrigung des Luftdrucks unter den der Monte Rosa-Höhe entsprechenden Wert. Daß hier erst bei stärkerer Luftverdünnung, als der im Hochgebirge wirksamen, Effekte eintreten, darf uns nicht wundern, da der Aufenthalt im Kabinett immer von kurzer Dauer war.

Besonders bemerkenswert ist das Verhalten von Müller, welcher ja auf dem Monte Rosa-Gipfel keine Steigerung des Sauerstoffverbrauchs gezeigt hatte; ebenso verhielt er sich im pneumatischen Kabinett bei 481 mm Luftdruck, entsprechend 3800 m Meereshöhe, und selbst als für kurze Zeit der Druck bis auf 384.6 mm entsprechend 5670 m Höhe herabgesetzt wurde. Auch die Atemgröße war in diesen beiden Fällen nicht erhöht, aber dennoch war die Atemmechanik sehr erheblich gestört, es schwankte die Tiefe der einzelnen Atemzüge und auch die pro Minute geatmete Luftmenge sehr stark. In einem zweiten Versuche nach der Rückkehr von unserer Expedition wurde der Luftdruck längere Zeit auf 392 mm = 5500 m Höhe gehalten; dabei war der Sauerstoffverbrauch erst um 11 %₀, eine halbe Stunde später um 34 %₀ erhöht. Hier kam es auch zu erheblicher Steigerung der Lungenventilation, verbunden mit großer Unregelmäßigkeit der Atmung. Bemerkenswert ist, daß in diesen Versuchen bei einer Temperatur der Kammer von über 27° C. Kältegefühl und Muskelzittern bestand, während die beiden anderen gleichzeitig in der Kammer anwesenden Personen die hohe Temperatur als drückend empfanden; ein Beweis, wie verschieden das Nervensystem auf die durch den Sauerstoffmangel bewirkten Störungen des Stoffwechsels reagiert. Wie im Fieberfrost abnorme, im Blute zirkulierende Stoffe das Nervensystem derart erregen, daß es auch in warmer Luft zum Frösteln, Zittern und zu dadurch bewirkter Erhöhung

des Stoffumsatzes kommt, so haben hier wohl die durch Sauerstoffmangel erzeugten Substanzen Kältegefühl, Muskelzittern, und infolgedessen die bei jeder Muskeltätigkeit auftretende Erhöhung des Stoffumsatzes bewirkt.

Bei Waldenburg, der sich zugleich mit Müller im Kabinett befand, war an diesem Tage die Steigerung des Sauerstoffverbrauches noch etwas größer (33 und 38 ‰), aber das Wohlbefinden war nicht gestört, nur zum Schlusse bestand große Müdigkeit.

Bei Caspari wiederum trat nach etwas längerem Aufenthalt bei 418.8 mm Druck (entsprechend 4960 m Höhe) ein heftiger Beklemmungsanfall ein, dabei übertrug der Sauerstoffverbrauch die Norm nur um 8 ‰.

Bei Zuntz endlich haben wir bei 426 mm Luftdruck dreimal Erhöhung des Sauerstoffverbrauches um 28—35 ‰, verbunden mit erheblicher Steigerung der Lungenventilation, aber ohne subjektives Unbehagen. Hier sehen wir also im pneumatischen Kabinett ein analoges Verhalten wie auf dem Monte Rosa-Gipfel.

Versuche im Luftballon. Für Zuntz sind schließlich noch zum Vergleich jene Versuche hervorzuheben, welche er im Verein mit H. von Schrötter²⁰⁾ im Luftballon in Höhen zwischen 3200 und 5160 m ausführte. Diese Fahrten dauerten zwar erheblich länger als die Luftverdünnungen im pneumatischen Kabinett, sie sind aber doch sowohl der Zeitdauer nach als auch wegen des Fehlens jeglicher Muskelanstrengung beim Übergang in die verdünnte Luft eher mit den Kabinettversuchen, als mit dem Aufenthalte auf dem Monte Rosa-Gipfel in Parallele zu stellen. Klimatisch kommt neben der sehr niedrigen, bis -15° C. herabgehenden Lufttemperatur die starke Insolation in Betracht, welche mit der absoluten Windstille*) zusammenwirkt, um die niedrige Temperatur wenig merklich zu machen, ja, zeitweise so stark war, daß sie Hitzegefühl und Schweiß erzeugte.

Auch diese Versuche zeigen sowohl bei Zuntz wie bei seinem Mitarbeiter von Schrötter eine geringe Erhöhung des Sauerstoffverbrauches in den größeren Höhen; bei Zuntz übersteigt der höchste Wert den Durchschnitt der Berliner Versuche um 24 ‰, wenn man aber den Anteil der erhöhten Atemarbeit in Rechnung stellt, nur um 14 ‰; bei von Schrötter liegen, wenn wir von einem durch starke Frostschauer komplizierten Versuche absehen, die Verhältnisse ganz ebenso: die höchste Steigerung beträgt 21 ‰, nach Korrektur für die Atemarbeit 14 ‰. — Eine Erhöhung der Atemtätigkeit, also eine Reizung des Atemzentrums durch den Sauerstoffmangel ist deutlich vorhanden, doch kommt hier nach anderweitigen Erfahrungen auch die starke Lichtwirkung als Reiz für die Atemtätigkeit in Betracht. Erhöhung des respiratorischen Quotienten tritt im Ballon fast noch prägnanter als im pneumatischen Kabinett zutage.

Nachwirkung des Aufenthaltes in verdünnter Luft. Wenn es die durch Sauerstoffmangel gebildeten Stoffwechselprodukte sind, welche im Hochgebirge noch lange Zeit nach Beendigung einer Arbeit erhöhten Stoffumsatz auslösen, erscheint

*) Da der Ballon sich mit der Luft ohne jeden Widerstand bewegt, hat man selbst bei heftigstem Sturme die Empfindung absoluter Windstille.

es wahrscheinlich, daß auch der Sauerstoffmangel im pneumatischen Kabinett, wenn er nur erheblich genug war und nicht zu kurze Zeit gedauert hat, noch hinterher Erhöhung des Stoffwechsels bedingen könnte. Wir haben bis jetzt nur zwei Versuche zur Prüfung dieser Frage angestellt, an Caspari und an Loewy. — Unmittelbar nach Beendigung der Kabinettversuche vom 25. Mai 1905, wobei der Druck bis auf 418.8 mm, etwas mehr als Montblanc-Höhe entsprechend, erniedrigt war, fuhr man nach dem Laboratorium, wo etwa eine halbe Stunde nach dem Verlassen der Kammer die Versuche begannen. Sie ergaben folgende Werte:

Tabelle 4.
Nachwirkung des Aufenthalts in verdünnter Luft.

Name	Atemvol. pr. Minute beob. cem	In der Expirationsluft		Resp.- Quot.	Pro Minute		Alveolarspannung in mm		Atemvol. pro 1 mm Kohlens- Spannung cem
		Kohlen- säure %	Sauer- stoffdef. %		Sauer- stoff- verbrauch cem	Kohlen- säureaus- scheidung cem	des Sauer- stoffs	d. Kohlen- säure	
Caspari:	4848	3.79	5.46	0.689	244.9	168.6	84.86	47.47	102.1
	5723	3.58	4.71	0.754	249.7	188.2	100.60	38.66	148.0
Loewy:	4760	3.78	4.84	0.775	215.9	167.3			
	5252	4.12	4.65	0.880	228.8	201.3			

Der Sauerstoffverbrauch ist bei Caspari noch um einige Kubikzentimeter höher als vorher im pneumatischen Kabinett und übertrifft seinen unter gewöhnlichen Verhältnissen sehr konstanten Verbrauch von im Mittel 224 cem um 10 %. Auch bei Loewy ist der Verbrauch höher als im Mittel seiner Brienzer Versuche (Anhangstabelle XIV); er hatte aber im Sommer 1903 vor den Untersuchungen in Sylt gleichhohen Sauerstoffverbrauch (217—239 cem). Bei ihm ist also ebenso wenig nach dem Aufenthalt in verdünnter Luft wie während desselben eine Steigerung des Sauerstoffverbrauches bemerkbar.

Beachtenswert ist eine bei beiden Versuchspersonen gleichmäßig auftretende Unregelmäßigkeit der Atemmechanik, die im ersten Versuche etwa dem normalen Durchschnitt entspricht, im zweiten bei beiden gesteigert ist. Diese Anomalie führt im ersten Versuche zu einer Aufstauung, im zweiten zu einer um so reichlicheren Abgabe von Kohlensäure. — Jedenfalls zeigen die Versuche, daß mit der Rückkehr zu normalem Luftdruck die in verdünnter Luft gesetzten Störungen keineswegs sofort ganz ausgeglichen sind.

Wirkung des Seeklimas. Wir haben durch die Summe der vorstehend besprochenen Erfahrungen die Überzeugung gewonnen, daß der Sauerstoffmangel unter den im Hochgebirge wirksamen Momenten am stärksten den Stoffwechsel beeinflusst. Wir konnten aber auch einen gewissen Einfluß klimatischer Faktoren dartun. Der Einfluß dieser letzteren Momente tritt rein zutage in den Versuchen, welche Loewy und Müller¹⁶⁾ im Herbste 1903 an drei Personen in Sylt ausführten. Hier an der See wirken Sonne und Wind ähnlich wie im Hochgebirge, und wenn auch die Sonnenwirkung nicht so stark ist, so kommt dafür der Salzgehalt der

Luft, vor allem aber das Seebad als mächtiger Hautreiz zur Wirkung. Gegenüber diesen klimatischen Reizen war nun die Empfänglichkeit der einzelnen Personen ebenso verschieden, wie gegenüber den Einwirkungen des Hochgebirges.

Während bei Frau Müller jede Steigerung des respiratorischen Stoffwechsels an der See ausblieb, trat sie bei Loewy sehr lebhaft in die Erscheinung, um dann ziemlich rasch im Laufe von vier bis fünf Tagen abzuklingen. Bei Müller war die Steigerung weniger erheblich, hielt aber mit unveränderter Stärke während des ganzen Aufenthaltes an. Mit Seebädern wurde bei allen drei Versuchspersonen erst am fünften Tage des Aufenthaltes in Sylt begonnen und der Gaswechsel $\frac{1}{2}$ —4 Stunden nach dem Bade untersucht. Hier war zwar bei allen eine Steigerung des Gaswechsels wie der Lungenventilation nachweisbar, aber die Wirkung war wiederum bei Frau Müller geringer als bei den beiden Männern.

Bemerkenswert ist, daß die Erhöhung der Lungenventilation durch das Seeklima mit der des Sauerstoffverbrauchs durchaus nicht parallel ging, sie ist bei Frau Müller am stärksten: 18%, beträgt bei Loewy 13% und bei Müller nur 2%. Auch die Wirkung auf den Appetit und das subjektive Gefühl der Anregung hielten keineswegs mit der Wirkung auf die Oxydation gleichen Schritt; sie waren bei Frau Müller nicht geringer als bei den anderen.

Nachwirkung des Höhenaufenthaltes. Wenden wir uns nunmehr wieder dem Verhalten der Atmung im Hochgebirge zu, so geben die betrachteten Einwirkungen auf den Stoffwechsel auch den Schlüssel zum Verständnis einer Erscheinung, die gewissermaßen die Kehrseite der bisher beobachteten ist.

Wenn eine Summe von im Hochgebirge wirkenden Reizen teils physikalischer, teils chemischer Art die beschriebenen Stoffwechselsteigerungen zustande bringt, kann es nicht überraschen, daß bei plötzlichem Nachlassen solcher längere Zeit einwirkender Reize der Stoffwechsel vorübergehend unter die Norm sinkt. Derartige Erscheinungen haben wir, wie schon hervorgehoben, bei Loewy, Müller, Kolmer nach ihrer Rückkehr vom Rothorn beobachtet.

Sie treten rein hervor, wenn wir die dem Rothornaufenthalt vorangehende erste Brienzer Periode mit der ihm nachfolgenden zweiten vergleichen:

Bei Kolmer haben wir in der ersten Periode einen Sauerstoffverbrauch von	254	ccm
in der zweiten	238	„
bei Müller in der ersten	243	„
„ „ „ „ zweiten	228	„
„ Loewy „ „ ersten	208	„
„ „ „ „ zweiten	197	„

Die Wirkung ist zu regelmäßig bei allen dreien ausgesprochen, als daß man sie auf einen Zufall beziehen könnte.

Andererseits darf man das bei drei Personen ganz gleichmäßig beobachtete Verhalten doch noch nicht für allgemein gültig erklären. Wir erinnern nur daran, daß bei Jaquet die auf dem Chasseral eingeleitete Steigerung des Stoffwechsels nachher in Basel noch wochenlang fortbestand, ja sogar noch zunahm. In unserem Falle ist besonders bemerkenswert, daß die Erniedrigung des Stoffwechsels nach der Rückkehr von der Höhe viel ausgesprochenener ist, als die Steigerung oben, welche bei Müller ganz fehlte.

Dies Verhalten des Gaswechsels erinnert an die vielfach gemachte Beobachtung, daß Leute, welche plötzlich aus einem Höhenkurorte in die Ebene zurück-

kehren, sich auffallend matt, schlafbedürftig und energielos fühlen. Um diese Wirkungen zu vermeiden, wird bekanntlich nach Höhenkuren allgemein ein Zwischenaufenthalt in mäßiger Höhe empfohlen.

Entsprechend dem Gesagten fühlten sich die vom Rothorn Zurückgekehrten während der sechs noch in Brienz verlebten Tage matt und wenig arbeitslustig. Sie schoben diese Wirkung zunächst auf die sehr viel höhere Temperatur, doch ist zu bemerken, daß die Schläfheit anhielt, als nach zwei Tagen ein Gewitter Regen mit starker Abkühlung brachte.

Die anderen drei, welche am 29. August nach sechstägigem Aufenthalt vom Rothorn zurückkehrten, empfanden nichts von diesen erschlaffenden Wirkungen. Das dürfte sich wohl ungezwungen daraus erklären, daß schon am Abend der Rückkehr die Reise über den Gotthard angetreten wurde, so daß die Mannigfaltigkeit der Reiseeindrücke und die durch die neue Phase des Versuchs bedingte psychische Anspannung als starkes Gegengewicht wirkten.

Merkwürdiger ist, daß wir alle nach dem viel intensiveren Höhenwechsel bei der Rückkehr vom Monte Rosa nichts von Erschlaffung bemerkten. Experimentshalber gingen Loewy, Müller und Kolmer so schnell als möglich in die Ebene herab, während Caspari und Zuntz Zwischenstationen auf Col d'Olen (2900 m) und in Gressoney (1600 m) machten. — Noch stärker ließen Durig und Zuntz den Höhenwechsel auf sich wirken, indem sie an einem Tage von der Margherita-Hütte (4560 m) bis Alagna (1100 m) abstiegen und gleich am folgenden Morgen nach Novara in der lombardischen Tiefebene weiterfuhren. Auch sie empfanden keinerlei Störung.

Hängt es vielleicht mit der Tatsache, daß in Monte Rosa-Höhe bereits eine Reihe von krankmachenden Wirkungen auftritt, zusammen, daß die Rückkehr von dort nicht jene Erschlaffung auslöst, welche beim Abstieg von den wohltuenden und erfrischenden mäßigen Höhen bemerkt wird?

2. Der Gaswechsel bei Arbeit.

Wir wenden uns jetzt zur Betrachtung des Gaswechsels bei Arbeit. Die Art, wie der Gaswechsel beim Marschieren gemessen wird, ist in Kapitel V ausführlich beschrieben. Es wurde schon erwähnt, daß uns die Briener Rothornbahn eine ausnahmsweise günstige Gelegenheit bot, in zwei verschiedenen Meereshöhen nahe bei Brienz und nahe unter dem Gipfel des Rothorn auf genau gleich beschaffenem Wege und bei genau gleichgroßer Steigung zu marschieren. Die nahe unter dem Gipfel von uns benutzte Versuchsstrecke zeigt die Titelvignette dieses Kapitels. Auf die vorzügliche Brauchbarkeit der Rothornbahn für derartige Versuche sind wir durch Veröffentlichungen von Herrn Dr. Bürgi aufmerksam gemacht worden. Wir werden bald Gelegenheit nehmen, unsere Ergebnisse mit denen Bürgis zu vergleichen.

Einen Überblick über unsere Resultate geben die Anhangstabellen XVII bis XXII. Die ersten 13 Stäbe dieser Tabellen bedürfen keiner weiteren Erläuterung. In Stab 14 und 15 ist der Arbeitsverbrauch durch Abzug des aus Tabelle X—XV, Stab 7 und 8 entnommenen Gaswechsels in der Ruhe berechnet. Dieser von uns morgens nüchtern bestimmte Ruhegaswechsel wird durch die Verdauungstätigkeit gesteigert. Aus Versuchen von Magnus-Levy u. a. kennen wir die

Größe dieser Steigerung in ihrer Abhängigkeit von Art und Menge der Nahrung und der seit ihrer Aufnahme verflossenen Zeit. In den nach Nahrungsaufnahme ausgeführten Marschversuchen mußte daher ein entsprechend höherer Abzug vom Gesamtverbrauch erfolgen. In diesen Fällen ist die Größe des Abzuges unter den Tabellen in Fußnoten angegeben.

Das Produkt aus dem pro Minute zurückgelegten Weg (Stab 16) und dem bewegten Gewicht (das ist das Körpergewicht zuzüglich dem der Kleidung, der Gasuhr und sonstiger Apparate) (Stab 17) dividiert in den Arbeitsverbrauch pro Minute führt zu den in Stab 19 und 20 enthaltenen Werten des Arbeitsverbrauchs pro Kilogramm und Meter Weg. Dasselbe Produkt multipliziert mit dem echten Bruch, welcher die bei Zurücklegung von 1 m Weg erstiegene Höhe in Metern angibt, drückt die pro Minute geleistete Steigarbeit in Meterkilogramm aus (Stab 18). Stab 21 enthält den respiratorischen Quotienten für den Arbeitsgaswechsel. Wir finden ihn durch Division des auf die Arbeit entfallenden Anteils des Sauerstoffverbrauchs in den der Kohlensäureausscheidung. Er dient zur Berechnung der zur Erzeugung der Arbeit aufgewendeten chemischen Energie nach den Kapitel III, S. 95 dargelegten Grundsätzen. — Stab 22 gibt diesen Energieaufwand pro Kilogramm und Meter Weg in w. e. an.

Dieser Wert bedarf nun noch, wie alle anderen aus den Gasuhrablesungen berechneten Zahlen der Tabelle, einer Korrektur wegen des Fehlers der Gasuhr, der durch Aichung vor Antritt und Beendigung der Expedition festgestellt wurde. Es ergab sich, daß die Ablesungen im Mittel um 2.7% des Wertes zu hoch ausgefallen sind. Entsprechend sind die Mittelzahlen des Energieverbrauchs in Stab 22 berichtigt worden. — Im folgenden Text benutzen wir ausschließlich korrigierte Zahlen. — Wie vorher auseinandergesetzt, waren die in den verschiedenen Gebirgsgegenden zurückgelegten Wege von sehr verschiedener Steilheit, und es war zum Vergleich nötig, den Energieverbrauch pro Meterkilogramm Steigarbeit zu ermitteln. Zu diesem Zweck wurde von dem korrigierten Mittelwerte des Energieverbrauchs der Verbrauch für die horizontale Bewegung abgezogen. Der Rest entspricht der Steigarbeit und diese ist bei den Versuchen am Rothorn, wo die Steigung genau 25% des Weges beträgt, pro Meter Weg und Kilogramm bewegten Gewichtes = $\frac{1}{4}$ mkg. Als Beispiel der Berechnungsweise betrachten wir die erste Versuchsreihe in Brienz an Waldenburg. Diese ergibt (Stab 22) im Mittel 2.672 w.e. pro Kilogramm Körpergewicht und Meter Weg. Nach Abzug von 2.7% für den Gasuhrfehler bleiben 2.600. Die oben in der Tabelle stehenden, in Berlin ausgeführten Horizontalversuche ergeben nach Anbringung derselben Korrektur 0.636 w.e. Es fallen also auf die Steigarbeit von $\frac{1}{4}$ mkg 2.600—0.636 = 1.964 w.e. und auf 1 mkg das 4fache = 7.856 w.e. Das Prinzip dieser Rechnung ist auf Seite 111 genauer erörtert.

Horizontalmarsch. Zunächst interessieren uns die individuellen Unterschiede im Stoffverbrauch für gleiche Leistungen unter sonst gleichen Be-

Einwirkung des Gebirgsklimas.



Messung der Atmung, Registrierung des Pulses und der Atembewegungen.

dingungen. Da wären als erste die horizontalen Märsche in Berlin in Betracht zu ziehen, deren Ergebnisse wir wie folgt zusammenstellen können:

Tabelle 5.

N a m e	Weg pro Minute	Energieverbrauch für 1 kg Körperge- wicht u. 1 m Weg w. e.
Waldenburg	60.2	0.636
Kolmer	43.2	0.845
Caspari	76.8	0.643
Müller	81.2	0.613
A. Loewy*)	62.0	0.668
Zuntz*)	51.2	0.678

Die individuellen Unterschiede für den Verbrauch beim Gehen sind, wie man sieht, recht erheblich, eine Tatsache, die schon aus früheren Versuchen bekannt war. Unter acht Menschen, deren Verbrauch für horizontale Bewegung Zuntz zusammengestellt hat, zeigten zwei Studierende der Medizin, welche vor kurzem ihren Militärdienst absolviert hatten, den kleinsten Verbrauch. Bei ihnen betrug derselbe 0.511 und 0.497 w. e., während der höchste Wert bei Zuntz mit 0.678 gefunden wurde. Dieser Verbrauch von Zuntz wird merkwürdigerweise noch erheblich übertroffen durch den des jugendlichen, an körperliche Anstrengungen gewöhnten Kolmer, dessen hebender, wenig graziöser Gang uns allerdings gleich bei Anstellung der Versuche auffiel. Hierauf kommen wir bei Besprechung des Bergaufgehens noch zurück. Übrigens wurde er bei den Versuchen zu unnützer Muskelanspannung auch dadurch veranlaßt, daß infolge zu langsamer Bewegung des Tretwerks sein Gang ein unbequem langsamer war. Wir wissen aber schon seit längerer Zeit, daß die Geschwindigkeit des Gehens einen erheblichen Einfluß auf den Verbrauch hat, und zwar in dem Sinne, daß, wenn man von einem behaglichen Spaziergangstempo von 60—70 m in der Minute ausgehend, die Geschwindigkeit beschleunigt, der Verbrauch mit zunehmender Geschwindigkeit wächst. Andererseits nimmt er beim Absinken der Geschwindigkeit unter das noch bequeme Maß von ca. 50 m wiederum zu. So fanden Frentzel und Reach⁶⁾ bei einer Abnahme der Geschwindigkeit von 65.45 auf 35.25 m pro Minute eine Steigerung des Verbrauchs um 7.8%.

In bezug auf das Wachsen mit zunehmender Geschwindigkeit seien folgende Zahlen von Leo Zuntz²⁴⁾ angeführt:

Bei 60 m-Geschwindigkeit	0.552 w. e. pro kg und 1 m Weg
„ 100 „ „	0.647 „ „ „ „ 1 „ „
„ 143 „ „	1.075 „ „ „ „ 1 „ „

Hier mögen auch noch die interessanten Befunde Platz finden, welche Caspari an Herrn Mann, dem Sieger im Wettgange Dresden-Berlin, erhoben hat. Derselbe legte die 202 km lange Strecke einschließlich der Ruhepausen in 26 Stunden 58 Minuten zurück, d. h. mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 125 m pro Minute und ist sicher einer der besten Gänger der Welt. Herr Mann verbrauchte pro Kilogramm und Meter Weg bei 139.4 m Minuten-

*) Entnommen aus älteren Versuchen. Pflügers Archiv 68, Seite 208.

geschwindigkeit 0.979 w. e., d. h. nur 91% der Energiemenge, welche Leo Zuntz für gleiche Geschwindigkeit aufwenden mußte. Er konnte aber, ohne in Laufen zu verfallen, noch erheblich schneller gehen, dann brauchte er:

bei 172 m Minutengeschwindigkeit 1.154 w. e.
 „ 183 „ „ 1.184 „

Also auch hier bei vollkommenstem Training für schnelles Gehen bestätigt sich die Erfahrung, daß der Verbrauch für die Weegeinheit mit zunehmender Geschwindigkeit wächst. Eine mechanische Analyse der beim Gange in Betracht kommenden Einzelbewegungen läßt dies Wachsen als naturnotwendig erkennen.

Unter unseren Versuchen zeigen die Berliner Horizontalmärsche bei Waldenburg und Müller Unterschiede der Geschwindigkeit, in denen sich die Richtigkeit des Vorhergesagten bestätigt. Die ersten drei Versuche an Waldenburg ergaben bei einer mittleren Geschwindigkeit von 44.93 m einen Verbrauch von 0.706, die letzten zwei bei 52.78 m von 0.700, die mittleren vier bei 74.95 m von 0.553 w. e. Hier ist also die höchste der innegehaltenen Geschwindigkeiten die günstigste. Daß noch zwischen der Geschwindigkeit von 52.78 und 74.95 m eine Minderung des Verbrauchs stattfindet, erklärt sich aus der erheblichen Beinlänge von Waldenburg, der sich auch bei den Bergbesteigungen in Brienz als schneller und wenig ermüdender Gänger erwies. Bei Müller können wir ebenfalls die Horizontalversuche in zwei Gruppen verschiedener Geschwindigkeit teilen. Die beiden letzten Versuche ergeben: bei 73.69 m Geschwindigkeit einen Verbrauch von 0.584 w. e., die drei ersten bei 85.0 m einen solchen von 0.633 w. e. Er hat also beim rascheren Gang die Geschwindigkeitsgrenze des ökonomischsten Gehens bereits überschritten.

Marsch bergauf. Beim Vergleich der in Berlin und auf der Expedition ausgeführten Bergaufmärsche kommt zunächst der Einfluß der Steilheit in Betracht. Wir wissen aus früheren Versuchen, daß bei mäßigen Steigungen der Verbrauch für die Arbeitseinheit geringer ist als auf steileren Wegen. Die Grenze, von welcher ab mit zunehmender Steilheit der Verbrauch für das Meterkilogramm Steigarbeit zu wachsen beginnt, ist bei verschiedenen Individuen ziemlich verschieden. Eine Anzahl Erfahrungen hierüber wurde bereits vor Jahren von Zuntz²⁰⁾ und seinen Mitarbeitern an Pferden gesammelt. Bei kräftigen Tieren lag die Grenze der Zunahme bei etwa 15% Steigung, bei schwächeren und in bezug auf ihre Gehwerkzeuge nicht ganz normalen schon bei einer geringeren Steigung.

Bei den Vorstudien zur Expedition von 1896¹⁵⁾ wurden drei Grade der Steigung untersucht und folgende Mittelwerte des Verbrauchs für 1 mkg Steigarbeit in w. e. gefunden:

Tabelle 6.

Name	Steigung		
	23%	30.5%	36.6%
A. Loewy . . .	6.97	6.73	8.00
J. Loewy . . .	6.53	7.22	7.29
L. Zuntz . . .	6.46	6.40	7.32
Mittel	6.65	6.78	7.54

Trotz kleiner Unregelmäßigkeiten, die bei der geringen Zahl der Versuche unvermeidlich sind, lassen die Zahlen und namentlich die Mittelwerte das Gesetz deutlich erkennen; während bei J. Loewy schon zwischen 23 und 30% Steigung der Mehrverbrauch sehr erheblich ist, tritt er bei den zwei anderen erst zwischen 30

und 36^o/₁₀₀ deutlich zutage. Die Steigerung des Verbrauchs für die Arbeitseinheit kann auch auf sehr steiler Bahn ausbleiben, wenn die sonstigen mechanischen Verhältnisse besonders günstig sind. Das zeigen die Versuche von Schumburg und Zuntz²¹⁾ auf einer Treppe mit 62.1^o/₁₀₀ Steigung. Hier war der Verbrauch pro Meterkilogramm:

bei Schumburg auf der Treppe	= 8.37 w.e.
auf der Tretbahn bei 31 ^o / ₁₀₀ Steigung	= 8.33 „
bei Zuntz auf der Treppe	= 8.18 „
auf der Tretbahn bei 31 ^o / ₁₀₀ Steigung	= 8.52 „

Der Verbrauch, welcher auf der unbequem steilen Bahn bei beiden sehr hoch ist, ändert sich also auf der doppelt so steilen, aber bequemen Treppe bei Schumburg nicht merklich, bei Zuntz ist er sogar niedriger.

Unsere eigenen Versuche zeigen nun beim Vergleich der geringeren Steigungen auf dem Tretwerk in Berlin mit den stärkeren in Brienz (Tabelle 7) deutlich, daß schon zwischen 12.7 und 25^o/₁₀₀ Steigung bei vier von fünf Personen der Verbrauch pro Meterkilogramm anwächst.

Tabelle 7.

Einfluß der Steigung auf den Energieverbrauch pro Meterkilogramm Steigarbeit in w.e.

Name	Berlin Steigung		Brienz Steigung	Berlin Steigung	Änderung des Verbrauchs in ^o / ₁₀₀ des Anfangswertes bei Zunahme der Steigung von 12.68 auf 25 ^o / ₁₀₀
	12.68 ^o / ₁₀₀	18.24 ^o / ₁₀₀	25 ^o / ₁₀₀	26.23 ^o / ₁₀₀	
Waldenburg	7.223		7.856		+8.8 ^o / ₁₀₀
Kolmer		5.033	5.478		+8.8 ^o / ₁₀₀ *)
Caspari	[7.057]		6.932		[-1.8 ^o / ₁₀₀]
Müller	6.064		7.345	7.991	+21.1 ^o / ₁₀₀
Loewy	5.402		7.160		+32.5 ^o / ₁₀₀
Zuntz	5.488		6.156		+12.2 ^o / ₁₀₀

Die einzige Ausnahme bietet Caspari, welcher bei 25^o/₁₀₀ Steigung einen um 1.8^o/₁₀₀ geringeren Verbrauch aufweist. Dies Resultat ist aber, wie ein Blick auf Anhangstabelle XIX lehrt, durch den ganz aus der Reihe fallenden und daher wahrscheinlich fehlerhaften ersten Berliner Versuch bedingt. Wenn wir diesen ausschalten, ergibt das Mittel der fünf übrigen Versuche einen korrigierten Energieverbrauch von 1.465 w.e. pro Kilo und Meter Weg. Hieraus berechnet sich der Verbrauch für 1 mkg zu 6.483 w.e. gegen 6.932 mkg bei 25^o/₁₀₀ Steigung am Rothorn. Wir haben dann also auch hier eine Zunahme des Verbrauches um 6.9^o/₁₀₀ auf dem steileren Weg.

Bei Betrachtung der Tabelle fällt noch auf, daß Kolmer, Loewy und Zuntz namentlich bei der geringeren Steigung den kleinsten Verbrauch pro Meterkilogramm zeigen, während dieselben Personen beim Horizontalmarsch den stärksten Verbrauch aufweisen! Das ist kein Zufall. Offenbar ändert sich die Gangart vom Horizontal- zum Bergaufgehen. Beim letzteren muß das vorschwingende Bein bei jedem Schritt um so mehr gehoben werden, je steiler der Weg ist. Menschen, die gewohnt sind, auf Bergpfaden zu gehen, führen diese

*) 18.24 auf 25^o/₁₀₀.

Hebung des Beines auch auf horizontalem Wege aus und verschwenden dadurch Energie. Dies war ersichtlich bei Kolmer der Fall, daher sein abnorm hoher Verbrauch beim Horizontalgehen, daher aber auch der geringere Mehrverbrauch beim Bergaufgehen. Es ist ja klar, daß jeder, der beim Bergaufgehen seine Bewegungen vollkommen zweckmäßig ausführt, aber beim horizontalen Schritt unnütz viel Energie aufwendet, durch Abzug des letzteren Verbrauchs vom ersteren eine zu niedrige Zahl für das Meterkilogramm Steigarbeit liefern muß. Dieser Fehler läßt besonders bei geringen Steigungen, wo der für das horizontale Gehen abzuziehende Posten stark ins Gewicht fällt, einen zu niedrigen Wert für das Meterkilogramm Steigarbeit berechnen, so bei Kolmer, Loewy, Zuntz.

Bei Müller, der von uns sechs den horizontalen Gang am rationellsten ausführte, machte sich um so mehr der Zuwachs an Arbeit beim steileren Anstieg geltend. Interessant ist, daß keiner von uns im Durchschnitt seiner Horizontalmärsche einen so geringen Verbrauch hat wie die von Zuntz und Schumburg beobachteten militärisch trainierten jungen Leute. Nur Waldenburg erreichte, jedoch erst in den letzten Horizontalmärschen, einen so niedrigen Verbrauch.

Einfluß des Training und mäßiger Höhen. Die zweite Frage, die an der Hand unseres Materials zu studieren ist, betrifft den ebenfalls früher schon erörterten Einfluß der Übung. Auch in dieser Hinsicht verhalten sich unsere verschiedenen Versuchsobjekte verschieden. Der einzige von uns, der bereits zu Beginn der Versuche eine erhebliche Übung im Bergsteigen durch seine Touren im Berner Oberlande erworben hatte, war Kolmer. Bei ihm finden wir den Verbrauch für 1 mkg

in den ersten Tagen des Brienzer Aufenthaltes	5.508	w. e.
„ „ letzten „ „ „ „	5.448	„

Der Unterschied ist so gering, daß man keine Schlüsse daraus ziehen kann, allerdings hatte man auch hier den Eindruck, daß die spezielle Art des Gehens durch die Übung noch etwas vervollkommenet worden war.

Sehr evident aber zeigt sich die überlegene Übung Kolmers im Bergaufgehen beim Vergleich mit allen anderen Mitgliedern der Expedition in seinem von vornherein geringeren Energieverbrauch. Wir erwähnten schon, daß der berechnete Verbrauch für 1 mkg Steigarbeit auch darum so niedrig ausfiel, weil Kolmer den horizontalen Schritt mit übermäßigem Kraftaufwand ausführte. Wir erhalten daher ein richtigeres Bild der individuellen Unterschiede im Kraftaufwande beim Bergaufgehen, wenn wir von der Berechnung auf 1 mkg absehen und die Mittelwerte des Stabes 22 der Anhangstabellen ohne weiteres miteinander vergleichen. Wir wollen dabei zugleich den durch Übung erzielten Fortschritt der einzelnen Versuchspersonen dadurch erkennbar machen, daß wir die vor und nach den großen Übungsmärschen ausgeführten Versuche miteinander in Parallele stellen. Die auf dem Rothorn Gipfel ausgeführten Märsche sind natürlich besonders zu betrachten, weil bei ihnen ein weiteres Moment, die Wirkung der Höhe, zur Geltung kommt.

Die Höhenwirkung zeigt sich bei den drei Personen, welche schon vor Beginn der großen Übungsmärsche auf das Rothorn übersiedelten, in einer geringen,

aber unzweideutigen Steigerung des Energieverbrauchs für die Arbeitseinheit. Die Steigerung (im Mittel 3.8%) muß als eine Höhenwirkung aufgefaßt werden, weil die äußeren Arbeitsbedingungen, die Beschaffenheit des Weges oben und unten absolut identisch waren und die fortschreitende Übung eigentlich eine Abnahme des Verbrauchs hätte bewirken müssen. Auch der Umstand, daß die Märsche unten zum Teil bei sehr großer Hitze, oben bei angenehmer Temperatur stattfanden, wäre an sich geeignet, den Verbrauch oben zu verringern. Um so mehr sind wir berechtigt, eine durch die Höhe bedingte Steigerung des Verbrauchs anzunehmen.

Tabelle 8.

Energieverbrauch beim Bergaufgehen pro 1 kg und 1 m Weg in w. e.

Name	in Brienz		auf dem Rothorn		Abnahme des Verbrauchs beim Training in % des Anfangswertes	
	vor den großen Märschen	nach den großen Märschen	vor den großen Märschen	nach den großen Märschen	in Brienz	auf dem Rothorn
Kolmer	2.222	2.207	2.258	2.222	0.7	1.6
Müller	2.623	2.319	2.722	2.205	11.6	19.0
Loewy	2.447	2.469	2.589	2.221	0	14.2

Dieser Effekt ist aber nach den Trainiermärschen vollständig geschwunden, jetzt sind die oben gefundenen Werte für den Arbeitsverbrauch sogar niedriger als vorher und nachher in Brienz.

Eine ähnlich geringe Steigerung durch die Höhe des Rothorn, wie wir sie hier finden, hat Bürgi⁴⁾, welcher an derselben Stelle experimentierte, beobachtet. Um seine Marschversuche mit den unserigen vergleichen zu können, bedarf es einer Umrechnung derselben. Er hat nämlich den Ruhewert vom Arbeitsverbrauch nicht abgezogen. Seine eigenen Versuche bleiben trotzdem unter sich vergleichbar, weil er stets dieselbe Geschwindigkeit innehielt. Um aber seine Zahlen mit den unserigen, die bei abweichender Geschwindigkeit gewonnen wurden, zu vergleichen, müssen wir von seiner Kohlensäureausscheidung pro Minute den Ruheverbrauch abziehen und den Rest auf 1 kg und 1 m Weg berechnen. Wir benutzen aus den S. 234 dargelegten Gründen den niedrigeren von uns bei der Untersuchung Bürgis in Berlin gefundenen Ruhewert von 2.79 ccm Kohlensäure pro Kilogramm und Meter Weg entsprechend 6.442 g für 98 kg Körpergewicht in 12 Marschminuten. So berechnen wir aus Bürgis Mittelwerten folgende Größen der Kohlensäureausscheidung pro Kilogramm und Meter Weg:

1898 unten untrainiert	0.555 ccm Kohlensäure
1898 oben „	0.639 „ „
1898 unten trainiert	0.480 „ „
1898 oben „	0.481 „ „
1899 unten trainiert	0.557 „ „
1899 oben „	0.564 „ „

Es tritt also hier, wie bei uns, ein bedeutender Minderverbrauch als Effekt des Training zutage, und was besonders interessant ist, der Effekt der Höhe verschwindet nahezu unter dem Einfluß des Training, während er bei fehlender Übung recht erheblich ist.

Der Energieverbrauch Bürgis läßt sich nicht auf Wärmeeinheiten berechnen, weil er nur die ausgeatmete Kohlensäure ermittelt hat. Daß aber bei ihm der Verbrauch von derselben Größenordnung ist wie bei uns, ergibt sich aus dem Vergleich der vorstehenden Zahlen mit den in Stab 20 unserer Anhangstabellen aufgeführten, die wir hier wiedergeben wollen:

Tabelle 9.

Name	Brienz	Rothorn
Waldenburg . . .	0.474	0.446
Kolmer	0.386	0.407
Caspari	0.450	0.450
Müller	0.449	0.479
Loewy	0.429	0.446
Zuntz	0.389	0.457
Mittel	0.429	0.447

0.438 ccm Kohlensäure pro kg u. m Weg.

Im Mittel sind unsere Werte um 9.6% niedriger als die, welche Bürgi im besttrainierten Zustande erzielte. Das erklärt sich leicht aus dem Zwang, welcher Bürgi dadurch auferlegt war, daß er mit seinem einen Teil des Apparates tragenden Begleiter gleichen Schritt halten mußte und sich deshalb an ein nicht ganz bequemes Gehen zwischen den Bahnschwellen band, während jeder von uns die Gangart inne hielt, welche ihm gerade behagte.

Das Verhalten der drei Personen, welche erst nach vollendetem Training durch die großen Märsche auf das Rothorn übersiedelten, zeigt sich aus der folgenden Zusammenstellung:

Tabelle 10.

**Energieverbrauch beim Bergaufgehen pro 1 kg
und 1 m Weg in w. e.**

Name	Brienz	Rothorn
Waldenburg . . .	2.600	2.458
Caspari	2.376	2.463
Zuntz	2.217	2.417

Caspari und Zuntz zeigen oben wieder einen höheren Stoffumsatz. Es ist aber hier nicht zulässig, die Steigerung als Höhenwirkung zu deuten. Caspari hatte inzwischen eine Fußverletzung erlitten, welche zwar ausgeheilt war, aber doch noch eine gewisse Steifigkeit bedingte. Auf diese ist in Analogie mit vielen ähnlichen Erfahrungen die Erhöhung des Verbrauches zu schieben. Die zwei Versuche an Zuntz aber wurden in furchtbarer Hitze und Sonnenbrand (Temperatur 37° C.) ausgeführt. Die Steigung um 9.5% gegenüber den Versuchen in Brienz dürfte sich hieraus erklären. Drückende Hitze ist wohl auch die Ursache dafür, daß die letzten am 17. August in Brienz ausgeführten Marschversuche an Waldenburg höhere Werte aufwiesen als die vorhergehenden. Die Rothorn-Versuche an Waldenburg zeigen im geringeren Verbrauch gegenüber Brienz den Effekt des Training, wie er bei den drei erst Besprochenen gefunden war. Daneben demonstriert der letzte an ihm auf dem Rothorn ausgeführte Versuch (26. VIII.) eine besondere Ursache der Steigerung des Verbrauches: An diesem Tage herrschte außerordentlich böiges Wetter und zeitweise so heftiger Schneesturm, daß die Versuche unterbrochen werden mußten. Es ergab sich in bezug auf die allein be-

stimmte Kohlensäureausscheidung der höchste überhaupt beobachtete Wert, was unzweifelhaft aus der Erschwerung des Gehens durch den Wind zu erklären ist.

Einfluß großer Höhen. Wenden wir uns nun zu den in Höhen von 2900 m und darüber ausgeführten Marschversuchen, so ist bei der Mehrzahl derselben die Beurteilung dadurch erschwert, daß die Steigung des Weges eine wechselnde und auch die Beschaffenheit desselben an sich geeignet war, den Verbrauch in schwer taxierbarer Weise zu erhöhen. Wir wollen deshalb zunächst die Befunde betrachten, bei welchen dieses Moment wegfällt. Das sind von eigenen Versuchen die bei den Expeditionen 1896 und 1903 auf Col d'Olen ausgeführten Horizontalmärsche. Sie ergaben im Vergleich zu entsprechenden Beobachtungen im Flachlande (Berlin oder Wien) folgende Mittelwerte:

Tabelle 11.
Energieverbrauch in w. e. pro 1 kg und 1 m Weg.

Name	Flachland	2900 m Höhe	Zunahme in der Höhe %
A. Loewy . . .	0.668	0.674	1.0
J. Loewy . . .	0.544	0.816	50.0
Leo Zuntz . . .	0.574	0.604	5.2
N. Zuntz . . .	0.678	0.663	-2.2
A. Durig . . .	0.527	0.584	10.8
Mittel	0.598	0.668	11.7

Wir haben also bei allen Versuchspersonen, mit Ausnahme von N. Zuntz, eine Steigerung des Verbrauches in der Höhe. Der kleine Minderverbrauch bei N. Zuntz fällt deshalb nicht in die Wagschale, weil er in seinen Berliner Versuchen ungewöhnlich hohen Verbrauch hatte, wahrscheinlich durch etwas zu langsames Gehen (48—56 m pro Minute) bedingt, während er auf Col d'Olen die ihm angenehme Geschwindigkeit von 80 m innehielt. Bei den übrigen Versuchspersonen sind die Geschwindigkeiten an beiden Orten annähernd dieselben. Der enorm hohe Verbrauch bei J. Loewy in der Höhe ist durch drei leidlich übereinstimmende Versuche gestützt.

Erheblicher als in 2900 m Höhe erwies sich der Mehrverbrauch beim Horizontalgang unter absolut normalen mechanischen Bedingungen in der Margherita-Hütte in 4560 m Höhe. Hier kommen folgende Zahlen in Betracht:

Tabelle 12.
Energieverbrauch in w. e. pro 1 kg und 1 m Weg.

Name	Flachland	4560 m Höhe	Zunahme des Verbrauches in 4560 m Höhe %	Zunahme in 2900 m Höhe*)
Durig	0.527	0.668	26.8	10.8
Zuntz	0.678	0.774	14.2	-2.2

*) Siehe vorige Tabelle 11.

Die in 4560 m Höhe gefundene erhebliche Steigerung des Verbrauchs beim Horizontalgang erscheint um so bedeutungsvoller, als die Versuche am 16. und 17. Tage des Aufenthalts nach vielfachen Übungsmärschen ausgeführt wurden. In dieser sehr großen Höhe vermag also auch längeres Training nicht den Verbrauch auf normale Größe zurückzuführen.

Aus Bürgis⁴⁾ Arbeit sind hier noch einige Bergaufmärsche zu verwerthen, bei welchen die Wegbeschaffenheit oben und unten gleich war. Es handelt sich um Messungen auf dem Gornergrat, die unter Benutzung der Trace der Bergbahn ausgeführt wurden. Die Steigung ist zwar hier nicht, wie am Briener Rothorn, oben und unten absolut gleich, aber die Differenzen, einmal 0.3%, einmal 2.01%, sind gering genug, um den dadurch bedingten Unterschied nach unseren Durchschnittswerten der Kohlensäureausscheidung für 1 mkg Steigarbeit korrigieren zu können. (Wir rechnen für 1 mkg 2.4 mg Kohlensäure. Es beträgt dann die Korrektur auf etwa 30 g ausgeatmeter Kohlensäure im ersten Fall 0.2 g, im letzteren 1.34 g.) Die korrigierten Zahlen Bürgis besagen, daß er in 3000 m Höhe in untrainiertem Zustande zur Leistung derselben Steigarbeit im Mittel 3.16 g Kohlensäure mehr ausschied als in 650 m Höhe, das sind 9.7% des Gesamtverbrauchs von im Mittel 32.7 g. Trainiert betrug seine Mehrausscheidung in der Höhe nur noch 1.39 g, d. i. 4.9% des durch das Training auf 28.1 g verminderten Verbrauchs unten.

Im Gegensatz zu der andauernden Steigerung des Arbeitsverbrauchs in 4560 m Höhe ist es bemerkenswert, wie kurze Zeit in den vorstehenden Versuchen Bürgis zu der erheblichen Verminderung des Stoffverbrauches bei der Arbeit in 3000 m Höhe nötig war. Die Verbesserung der Leistung um 14% war erzielt, nachdem der Experimentator drei Nächte in der Höhe von 3000 m zugebracht und die Tage zu ausgedehnten Gletscherwanderungen und zur Besteigung des Walliser Breithorns (4171 m) benutzt hatte. Dieser schnelle meßbare Erfolg des Höhentrainings, diese schnelle Abnahme des für eine bestimmte Steigarbeit erforderlichen Stoffaufwandes nach wenigen Tagen der Übung bildet einen zahlenmäßigen Beleg für die alte Erfahrung, daß auch der rüstige Mensch einiger Tage der Übung im Gebirge bedarf, ehe er zu großen Leistungen fähig ist. Es ist wohl im wesentlichen die durch die Übungsmärsche wieder zu erwerbende Geschicklichkeit in der speziellen Art des Gehens, welche das Gebirge erfordert, die den geringeren Stoffverbrauch bewirkt. Das ist es aber nicht allein. Wir sehen ja, daß der ganz gleich beschaffene Weg in der größeren Höhe stärkeren Stoffverbrauch bedingt und daß auch dieser Mehrverbrauch unter dem Einfluß des Trainings zurückgeht. Hier kann es wohl nur eine Anpassung der Atmung und der Kreislaufsorgane an die neuen Verhältnisse sein, welche die anfangs störenden Wirkungen des Sauerstoffmangels und speziell wohl der ungenügenden Sauerstoffversorgung einzelner tätiger Muskeln mehr und mehr ausgleicht. Daß Sauerstoffmangel in arbeitenden Muskeln den Verbrauch steigert, wissen wir schon durch ältere Versuche Loewys¹²⁾. Diese haben auch schon die wahrscheinliche Ursache dieser Steigerung in unzweckmäßigem Zusammenarbeiten der durch den Sauerstoffmangel in ihrer Leistung geschwächten Muskeln aufgedeckt.

Einfluß des Terrains auf den Stoffverbrauch. Nachdem nunmehr die Tatsache festgestellt ist, daß die gleiche Arbeit in größeren Höhen einen größeren Verbrauch von Sauerstoff und Brennmaterial bedingt, können wir uns zur Betrachtung jener Versuche wenden, in welchen auch die Beschaffenheit



Unsere Marschstrecken am Monte Rosa in 4450 m Höhe.

Phot. Vittorio Sella, Biella.

des Weges dazu beiträgt, den Kraftaufwand zu steigern, und wo infolgedessen die Unterschiede zwischen dem Verbrauch im Gebirge und im Flachlande noch erheblicher werden. Auf der Expedition von 1895²¹⁾ benutzten wir einen zwar bequemen, aber doch steilen und nicht ganz gleichmäßigen Moränenpfad unterhalb der Bétémps-Hütte in 2900 m Höhe und einen allerdings recht guten und festen Gletscherweg auf dem Monte Rosa-Gletscher in 3675 m Höhe. Folgendes sind die Mittelwerte des Verbrauchs:

Tabelle 13.

Energieverbrauch pro Meterkilogramm Steigarbeit in w.e.

Name	Berlin Tretbahn	Bétémps- Hütte	Mehrverbrauch auf der Bétémps-Hütte gegenüber Berlin in %	Monte Rosa- Gletscher	Mehrverbrauch auf d. Gletscher gegenüb. Berlin in %
Schumburg . . .	8.297	10.058	21.2	12.205	47.1
Zuntz	8.537	11.162	30.7		

Im Jahre 1896¹⁵⁾ wurden die Anstiege auf dem ziemlich steinigen, von Alagna zur Paßhöhe des Col d'Olen führenden Saumpfade bei 23—33% Steigung ausgeführt; an der Gnifetti-Hütte wurde auf dem Indregletscher, der eine feste, nicht schlüpfrige Schneedecke trug, eine Strecke mit ca. 35% Steigung begangen.

Die Resultate enthält folgende, der vorigen analog angeordnete Übersichtstabelle:

Tabelle 14.

Energieverbrauch pro Meterkilogramm Steigarbeit in w.e.

Name	Berlin, Tretbahn 30.5% Steigung	Col d'Olen 23—33% Steigung	Mehrverbrauch auf Col d'Olen gegenüber Berlin %	Gnifetti- Hütte 35% Steigung	Mehrverbrauch an der Gnifetti- Hütte gegenüber Berlin %
A. Loewy	6.73	8.05	19.6	9.21	36.9
J. Loewy	7.22	8.23	14.0	8.99	24.5
L. Zuntz	6.40	8.78	37.2	8.36	30.6

Ein Vergleich des bei vorstehenden Steigversuchen auftretenden Mehrverbrauches auf Col d'Olen mit dem beim horizontalen Gehen ebendasselbst beobachteten zeigt die Bedeutung der Weghindernisse. Bemerkenswert ist, daß L. Zuntz allein an der Gnifetti-Hütte einen geringeren Mehrverbrauch hat als auf Col d'Olen. Es ist dies wieder ein Beleg für die Bedeutung des Training. L. Zuntz war nämlich vor Ausführung der Marschversuche an der Gnifetti-Hütte zum Monte Rosa-Gipfel aufgestiegen und hatte sich dadurch für das Gehen in dieser großen Höhe und auf Schnee und Eis trainiert.

Aus dem Jahre 1901 sind hier die in Tabelle XVII und XX zusammengestellten Marschversuche von Waldenburg und Müller auf Col d'Olen zu betrachten. Wir geben die Mittelwerte in Tabelle 15.

Tabelle 15.

**Energieverbrauch pro Meterkilogramm Steigarbeit:
Mittelwerte der Perioden in w. e.**

Name	Brienz	Col d'Olen
	25°/o Steigung	45°/o Steigung
Waldenburg . . .	7.856	8.676
Müller	7.432	6.231

Die Versuche an Waldenburg fügen sich anstandslos in den Rahmen unserer sonstigen Erfahrungen ein. Im Hinblick auf die größere Steilheit des Weges und die schlechtere Beschaffenheit desselben ist freilich der Mehrverbrauch auf Col d'Olen gegenüber Brienz (10.4%) ein auffallend geringer. Ganz paradox aber erscheint es, daß Müller im Mittel von vier Versuchen auf Col d'Olen erheblich ökonomischer steigt als in Brienz. Wir können keine Erklärung hierfür finden.

In der Höhe von 4500 m wurde eine größere Anzahl Gletschermärsche in den Jahren 1901 und 1903 ausgeführt; den Schauplatz derselben zeigt das Bild S. 258.

Die ersteren, von denen leider fast die Hälfte durch Verunglücken der Analysenproben verloren ging, sind auf Anhangstabelle XVIII, XIX und XXII zusammengestellt, die letzteren finden sich in Tabelle XXIV und XXV der Publikation von Durig und Zuntz;⁵⁾ dort sind auch in Tabelle XXVI und XXVII eine Anzahl im Flachlande ausgeführter Marschversuche auf ansteigendem, schneebedecktem Wege mitgeteilt.

Die folgende Zusammenstellung gewährt einen Überblick:

Tabelle 16.

Energieverbrauch pro Meterkilogramm Steigarbeit in w. e.

Name	in Brienz 25°/o Steigung	in Berlin bzw. Wien im Schnee	auf Gletscher in 4500 m Höhe	Zunahme in %	Bemerkungen
Kolmer 1901 . .	5.48		13.21 ¹⁾	141.1	Bei ¹⁾ , ²⁾ , ³⁾ wurde der Berliner Horizontalwert, bei ⁴⁾ u. ⁵⁾ der höhere am Monte Rosa gefundene abgezogen
Caspari 1901 . .	6.60		11.60 ²⁾	75.8	
Zuntz 1901 . . .	6.16		10.34 ³⁾	67.9	
Zuntz 1903 . . .		12.68 ⁶⁾	14.65 ⁴⁾	11.6	
Durig 1903 . . .		8.20 ⁷⁾	9.76 ⁵⁾	19.0	

¹⁾ Steigung 22.0%. ²⁾ Steigung 22.9%. ³⁾ Steigung 28.8%. ⁴⁾ Steigung 8.83%.
⁵⁾ Steigung 6.93%. ⁶⁾ 3.42% Steigung. ⁷⁾ 10.32% Steigung, schnelles Tempo 79.8 bis 87.1 m pro Minute.

Die auf dem Monte Rosa-Gletscher ausgeführten Versuche ergeben einen erheblich höheren Verbrauch als alle anderen Arbeitsversuche. Dabei ist bereits von dem Gesamtverbrauch der hohe auf dem Monte Rosa gefundene Ruhewert abgezogen, und in den Versuchen von 1903 ist auch der höhere in der Margherita-Hütte ermittelte Verbrauch für die Horizontalbewegung in Abzug gekommen, während in den Versuchen von 1901 nur die Berliner Werte für Horizontalbewegung der betreffenden Personen abgerechnet wurden. Daß bei der gefundenen Zunahme des Verbrauches die Einwirkung der Höhe an sich wesentlich beteiligt ist, das beweisen die in der Hütte ausgeführten Horizontalversuche (S. 256, Tabelle 12), bei denen andere,

den Verbrauch steigernde Momente mit Sicherheit ausgeschlossen sind. Die auf den Gletschern gewonnenen Zahlen haben aber für uns das besondere Interesse, daß sie uns zum ersten Male ein exaktes Maß des Verbrauches eines Gletscherwanderers liefern unter den Bedingungen, wie sie auf Touren, welche keine besonderen Schwierigkeiten bieten, zu herrschen pflegen. Die von uns begangenen Wege boten mäßige Steigungen von 7—28%. Dabei war der Schnee bald fest und körnig, bald, so auf den späteren von Durig und Zuntz gegen Mittag ausgeführten Märschen, ziemlich weich, so daß ein Einsinken bis über die Knöchel stattfand (vgl. das Bild S. 240). Die 1901 gewonnenen Werte ergeben zwischen 10 und 13 w. e. für das Meterkilogramm Steigarbeit. Interessant ist, daß gerade der vorzüglich trainierte Kolmer den höchsten Verbrauch hatte; er ging einen durch Schneesverwehungen unregelmäßigeren Weg als die beiden anderen. Man sieht hier, wie enorm die Terrainverhältnisse bei gleicher Steigung den Verbrauch verändern. Die Beschaffenheit des Schnees ist auch die Ursache, daß Zuntz 1903 fast um die Hälfte mehr Energie für 1 mkg aufwenden mußte als 1901. Besonders interessant ist der Vergleich des Verbrauches von Durig mit dem von Zuntz bei Zurücklegung desselben Weges. Ersterer, in jugendlicher Kraftfülle und als Tiroler von früh auf an Höhenwanderungen gewöhnt, braucht im Durchschnitt auf demselben Wege $\frac{1}{3}$ weniger, so daß die geringere Kraft und Übung bei Zuntz einen Mehrverbrauch von 50% bedingt.

Die mitgeteilten Zahlen dürften des Interesses nicht entbehren, insofern sie den ziffermäßigen Beweis liefern, wie wenig man den Kraftaufwand beim Gehen auf Schnee und Eis nach der erstiegenen Höhe bemessen kann. Dabei ist zu bedenken, daß wir uns für die Marschversuche immer noch die bequemsten Wegstrecken aussuchten, schon um die erstiegene Höhe leichter messen zu können.

Das Bergabgehen. Zur Beurteilung des Stoffverbrauches des Bergsteigers gehört auch die genauere Erforschung des Gaswechsels beim Bergabgehen.

Bekanntlich glauben viele, daß letzteres eine größere Anstrengung als das Aufwärtsklettern bedingt. Diese Annahme stützt sich auf die subjektiven Empfindungen in den Muskeln, Sehnen und Gelenken bei sehr langen und steilen Abstiegen. Daß aber der Stoffverbrauch beim Bergabgehen kein entsprechend großer ist, lehrt die Tatsache, daß man durchschnittlich denselben Weg bergab in $\frac{1}{2}$ bis $\frac{1}{3}$ der Zeit wie bergan zurücklegt und dabei niemals jene Empfindungen von Erschöpfung und Atemnot hat, wie sie durch zu schnelles Bergaufgehen entstehen. Die Schweißsekretion, welche ja für andere Arbeitsleistungen ein ungefähres Maß der Wärmebildung bei den Umsetzungen im Körper ist, wird hier, wie wir in Kapitel XV auseinandersetzen werden, aus anderen Gründen gesteigert. Daher erschien eine direkte Messung des Verbrauches beim Bergabsteigen angezeigt, um so mehr als darüber bisher nur sehr spärliche Erfahrungen vorliegen. Katzenstein⁹⁾ hat bei mäßig steilem Bergabsteigen einen Minderverbrauch gegenüber der horizontalen Bewegung konstatiert. Eingehend ist das Bergabgehen von Zuntz und Hagemann²⁰⁾ beim Pferde studiert worden. Hierbei ergab sich ebenfalls eine Stoffersparnis bei geringem Gefälle, zugleich aber konnte festgestellt werden,

daß diese Ersparnis mit zunehmender Steilheit des Weges geringer wird, und daß, wenn die Neigung 10⁰/₀ übersteigt, das Bergabgehen einen größeren Verbrauch bedingt als die horizontale Bewegung.

Unsere Erfahrungen (siehe Anhang, Tab. XXIII) erstrecken sich auf dieselbe Wegstrecke in Brienz, welche wir auch zum Bergaufsteigen benutzt hatten. Sie ermöglichen also einen direkten Vergleich des Bergabgehens auf dem um 25⁰/₀ geneigten Wege mit dem Aufstieg auf demselben Wege und mit dem von uns ermittelten Verbrauch beim horizontalen Gehen.

Tabelle 17.

Vergleich der Marschversuche bergab, horizontal, bergauf.

Name	Energieverbrauch pro Kilo u. Meter Weg	Energieverbrauch pro Kilo u. Meter Weg	
	bergab 25 ⁰ / ₀ w. e.	horizontal w. e.	bergauf 25 ⁰ / ₀ w. e.
Waldenburg . .	0.579	0.636	2.600
Kolmer	0.564	0.845	2.215
Caspari	0.612	0.643	2.294
Müller	0.606	0.613	2.471
Loewy	0.617	0.668	2.458
Zuntz	0.537	0.678	2.217
Mittel	0.586	0.680	2.376

Bei Betrachtung der vorstehenden Zusammenstellung fällt zunächst auf, daß bei 25⁰/₀ Neigung des Weges der Verbrauch pro Meter Weg bergab durchgehends geringer ist als beim horizontalen Gang; im Mittel beträgt die Ersparnis 13.8⁰/₀. Wie oben erwähnt, hört beim Pferde der Vorteil des Bergabgehens schon bei 10⁰/₀ Neigung auf, und mit zunehmender Steilheit wird dann der Verbrauch, welchen die Arbeit des Bremsens bedingt, immer größer. Es harmoniert dies durchaus mit dem, was uns der Augenschein lehrt. Auf einem Wege von 25⁰/₀ Neigung geht der Mensch durchaus behaglich hinab, das Pferd entschieden ängstlich und mit starker Anspannung seiner Muskeln.

In interessanter Weise tritt auch bei Vergleich unserer sechs Versuchspersonen das individuelle Moment im Stoffverbrauch beim Bergabsteigen zutage. Zwischen Zuntz, der den geringsten, und Loewy, der den größten Stoffverbrauch beim Bergabgehen hat, beträgt der Unterschied des Verbrauchs 15⁰/₀; beim Bergaufgehen, wo Kolmer den geringsten, Waldenburg den größten Verbrauch hat, ist der Unterschied fast genau ebenso groß (17.4⁰/₀), beim horizontalen Gang noch größer (37.8⁰/₀). Die besonderen, beim horizontalen Gang für den Verbrauch entscheidenden Momente wurden S. 250 erörtert.

Es ist für die Beurteilung der Marschleistung in der Ebene und im Gebirge endlich von Interesse festzustellen, welche Wegstrecken der Mensch, bei gleichem Kraftaufwand, einerseits horizontal, andererseits bergauf resp. bergab mit je 25⁰/₀ Neigung marschierend zurücklegen kann. Beträgt die ohne Überanstrengung bergauf zurückzulegende Wegstrecke 100, so wäre dieselbe:

bei Waldenburg horizontal	= 410,	bergab	= 447,
„ Kolmer	„ = 281,	„	= 394,
„ Caspari	„ = 370,	„	= 388,
„ Müller	„ = 428,	„	= 542,
„ Loewy	„ = 367,	„	= 396,
„ Zuntz	„ = 326,	„	= 413.

Faktisch geht man aber, wie dies auch bei uns hervortrat, horizontal und bergab nicht so schnell, daß der Kraftaufwand dem beim Bergaufgehen gleichkommt. In Übereinstimmung hiermit ist der Kraftaufwand in der Zeiteinheit bei den ersteren Gangarten geringer, wie folgende Mittelwerte dartun:

Tabelle 18.

Arbeitsverbrauch pro Kilo und Minute in w. e.

Name	bergauf 25%	horizontal	bergab 25%
Waldenburg . .	69.1	38.3	39.7
Kolmer	94.8	37.8	36.5
Caspari	91.8	49.3	52.6
Müller	73.6	49.8	39.8
Loewy	82.1	41.4	33.2
Zuntz	63.9	34.7	40.8

Die Unterschiede im Minutenverbrauch bergauf entsprechen im großen und ganzen der Entwicklung der Muskulatur der Versuchspersonen, die bei Kolmer am besten, bei Zuntz am wenigsten geübt und ausgebildet war.

Es ist nun auch klar, warum beim Bergabgehen in der Regel das Ermüdungsgefühl so viel geringer ist als beim Hinaufsteigen. Im ersteren Falle ist es nicht wirkliche Ermüdung der Muskeln, welche die Grenze der Leistungsfähigkeit bestimmt, sondern es wirken die Schmerzen in Sehnen und Gelenken, welche durch die Stöße beim Abwärtsgehen und durch die übermäßige Anspannung einiger weniger Sehnen und Gelenkbänder allmählich zustande kommen.

Stoffverbrauch beim Schwimmen. Die Tage des Aufenthaltes in Brienz haben wir benutzt, um den bisher noch nie studierten Kraftverbrauch des Menschen beim Schwimmen zu messen. Die Versuche wurden an Kolmer, einem sehr guten und ausdauernden Schwimmer, ausgeführt. Die Anordnung ist aus den beiden umstehenden Abbildungen ersichtlich. Der Schwimmer trug das bei allen Respirationsversuchen benutzte Mundstück, an welches sich eine kurze gegabelte Röhre mit den Ventilen, welche Ein- und Ausatemluft scheiden, anschloß. Das Einatemrohr setzte sich in eine Art Schornstein fort, welcher an einem dem Kopf aufgeschnallten leichten Helm angebracht war und etwa 25 cm hoch emporragte, so daß kein Wasser hineingeraten konnte. An das Ausatemventil schloß sich ein etwa 10 m langer, weiter Gummischlauch, der die Verbindung mit der im Boote aufgestellten Gasuhr vermittelte. Das Boot wurde so gerudert, daß die Entfernung

zwischen ihm und dem Schwimmer annähernd dieselbe blieb. Bei dieser Anordnung waren weder die Schwimmbewegungen noch die Atmung des Schwimmenden behindert.

Die Zahlen der Tabelle 19, S. 266 lassen erkennen, daß der Stoffumsatz beim Schwimmen noch um 18.5% größer ist als bei raschem Bergaufgehen mit einer Geschwindigkeit von 42.6 m pro Minute, wobei in der Stunde 640 m Höhendifferenz, also mehr als das Doppelte des Normalmaßes, überwunden wurden. Es gehört also kräftiges Schwimmen zu den energischsten Körperübungen.



Messung des Stoffverbrauchs beim Schwimmen.

R. du Bois-Reymond^{2a)} hat nachgewiesen, daß die Überwindung des Widerstandes des Wassers an sich keine sehr große Arbeit erfordert; er maß die Spannung eines Taues, mit dessen Hilfe ein im Wasser passiv schwimmender Mensch mit der flotten Schwimmen entsprechenden Geschwindigkeit von 48 m pro Minute vorwärts gezogen wurde. Die Zugkraft schwankte zwischen 7 und 9 kg, so daß die zur Fortbewegung aufgewendete Zugarbeit 380 bis 400 mkg pro Minute betrug. Diese Arbeit würde durch einen Aufwand von 2.8 W.E. gedeckt werden. Es wurden aber von Kolmer im Mittel 9.52 W.E. verbraucht, d. h. 3.4 mal mehr. Das Schwimmen ist also eine sehr unökonomische Art der Fortbewegung für den Menschen. Du Bois-Reymond weist darauf hin, daß das abwechselnde Anziehen und Ausstoßen der Beine eine sehr große Arbeitsleistung darstellt, von welcher nur ein kleiner Bruchteil der Fortbewegung zugute kommt.

Seinen eigenen Charakter erhält das Schwimmen durch die starke Wärmeabgabe des Körpers an das umgebende Wasser. Diese Wärmeabgabe ist, wenn das

Wasser, wie in unseren Fällen, zwischen 15 und 20° C. temperiert ist, so bedeutend, daß der Körper trotz der fast aufs neunfache gesteigerten Wärmeproduktion am Schlusse der Übung meist kühler ist als bei Beginn derselben. Das ist bei keiner anderen Leibesübung der Fall. Selbst beim Schlittschuhlaufen kommt es, falls nicht starker Wind bei sehr leichter Kleidung die Abkühlung besonders groß macht, zur Wärmeanstauung im Körper, und die Schweißdrüsen treten in Tätigkeit, um das Übermaß von Wärme abzuführen. Das Bedürfnis der Wärmeabgabe führt dabei zur Erweiterung der Hautgefäße, zu einer mächtigen Blutdurchströmung der Haut, die natürlich eine entsprechende Mehrarbeit des Herzmuskels ver-



Messung der Atmung in Ruhe nach dem Schwimmen.

langt. — Dieser Teil der Beanspruchung des Herzens fällt also beim Schwimmer aus. Andererseits zeigen sich Besonderheiten der Atmung. Dieselbe ist in noch höherem Maße verstärkt, als es der gesteigerte Bedarf erfordert. Die Lungenventilation ist zehnmal so groß wie in der Ruhe (50 l gegenüber 5—6 l), sie ist um 20.7 % größer als beim Bergaufgehen, während der Stoffverbrauch nur um 18.5 % größer ist. Sonst hält bei wachsender Arbeit die Atmung des Menschen meist nicht ganz Schritt mit dem Bedarf, beim Schwimmen wächst sie stärker als dieser, und daher ist die Ausnutzung des Sauerstoffs der Einatemluft kleiner als beim Bergaufgehen. Offenbar ist es der Kältereiz auf die Haut, welcher die Atembewegungen so mächtig anregt; wissen wir doch, daß jede Berührung unserer Haut

Tabelle 19.
Schwimmversuche von Kolmer. 1901.

Datum	Zeit	Ver- suchs- dauer Min.	Atemvolumen pro Minute		Analyse der Expirationsluft			Gesamter Gas- wechsel pro Minute Sauer- stoff ccm	Arbeits-Gas- wechsel pro Minute*) Sauer- stoff ccm	Energie- aufwand pro Minute W. E.	Bemerkungen			
			be- obachtet in l	re- duziert 0°, 760 mm in l	Sauer- stoff Vol. %	Kohlen- säure Vol. %	Sauer- stoff- defizit in %					Respira- torischer Quotient		
7. VIII.	6 ^h p.	1' 10"	45.69	39.19	15.65	4.37	5.23	0.836	2049.5	1712.5	1751.5	1465.6	[8.49]	Kräftiges Schwimmen in ruhigem Wasser. Wasser- temperatur 14.5°. Zeit- bestimmung ungenau
7. VIII.	6 ^h p.	59"	50.85	43.65	15.65	4.07	5.31	0.766	2317.8	1776.5	2019.8	1529.6	9.59	Kräftiges Schwimmen in ruhigem Wasser. Tadel- loser Versuch
9. VIII.	7 ³⁰ p.	1' 33"	50.26	42.92	15.79	4.09	5.13	0.797	2201.6	1755.3	1903.6	1508.4	9.12	Dasselbe. Wassertemper- : Oberfläche 21.2°. 40 cm tief 17°
9. VIII.	7 ⁴⁰ p.	1' 13"	50.96	43.41	15.53	4.82	5.27	0.915	2285.9	2092.3	1987.9	1845.4	9.86	Dasselbe. Dauer des Schwimmens im ganzen etwa 30 Minuten
Mittel der 3 letzten Versuche			50.69	43.33	4.33	5.24	0.826	1970.0	1627.8	9.52				
8. VIII.	12 ^h	1' 30"	28.30	23.01	17.61	3.73	2.93	1.27	674.2	858.3	425.9	652.5	2.05	Ruheversuch, am Boot hängend. Nach kurz. Schwimmen. Wasser- temperatur 17.3°. Kein Kälte- gefühl. Versuchsbeginn nach 5 Min. Aufenthalt im Wasser
Brienz 5.—11. VIII.	Früh- morgens		6.61	5.65	16.30	3.84	4.51	0.852	254.0	216.4			1.23	
Brienz 9.—10. VIII.			42.01	33.12	15.14	4.75	5.75	0.82	1910.9	1569.8	1662.6	1364.0	8.01	

Mittelwerte bei Betruhe nüchtern.**Mittelwerte beim Bergaufgehen.**

*) Die Abzüge vom gesamten Gaswechsel sind, der noch nicht beendeten Verdauung wegen, höher als der Nüchternwert bei Betruhe.

mit kaltem Wasser uns unwillkürlich zu vertiefter Atmung zwingt. Ohnmächtige bringen wir häufig dadurch wieder zum Atmen, daß wir ihre Haut mit kaltem Wasser bespritzen.

Die verstärkte Atmung hat aber ihrerseits eine Entlastung des Herzens zur Folge: Jede vertiefte Einatmung saugt, wie im Kapitel III auseinandergesetzt, mehr Blut aus den Venen in das Herz, die folgende kräftige Ausatmung hilft dann, es in die Arterien hineinzupressen. So kommen zwei Momente, der geringe Blutbedarf der Haut und die mächtige Verstärkung der Atmung zusammen, um die Beanspruchung des Herzens durch die große beim Schwimmen geleistete Arbeit zu mindern. Während beim Bergsteigen meist die Leistungsfähigkeit des Herzens der Arbeit eine Grenze setzt, wird diese Grenze beim Schwimmen häufiger durch die Atemmuskulatur, oft auch durch Ermüdung der direkt tätigen Muskeln bestimmt. So groß übrigens die Atemarbeit beim Schwimmen ist, so wird sie doch in eigentümlicher Weise unterstützt, indem die kräftigen Bewegungen der Arme die Ein- und Ausatmung fördern. Dementsprechend erfolgen auch die einzelnen Atemzüge gleichzeitig mit den Phasen der Schwimmstöße. Andererseits bedingt die auf der vorderen Brust- und Bauchwand lastende Wassersäule, deren mittlere Höhe du Bois-Reymond auf 12.5 cm geschätzt hat, eine mechanische Erschwerung der Einatmung und eine entsprechende Erleichterung der Ausatmung, ein Vorgang, welcher der bei anderen forcierten Arbeiten drohenden Überdehnung der Lunge, der Bildung eines sogenannten Emphysems, entgegenwirkt.

Nicht ohne Interesse ist ferner die mehrere Minuten nach Beendigung des Schwimmens beim Aufenthalt im Wasser andauernde enorme Verstärkung der Lungenventilation, wie sie der Versuch vom 8. VIII. aufweist. Da der Stoffwechsel nicht entsprechend gesteigert ist, werden erhebliche Mengen des Kohlensäurevorrats des Körpers ausgeschieden und der respiratorische Quotient erreicht den selten hohen Wert 1.27. Auch diese Anomalie ist wohl wesentlich Wirkung des kalten Wassers. — Es wird auf diese Weise bei einem längeren kalten Bade eine erhebliche Verarmung des Blutes an Kohlensäure, eine „Akapnie“ (Mosso) erzielt. Dieser Zustand ist aber nicht mit irgendwelchen unangenehmen Empfindungen verbunden, vielmehr mit einem Gefühl großen Behagens. Die Erfahrungen nach kalten Bädern machen es daher wenig wahrscheinlich, daß „Akapnie“ an den Beschwerden der Bergkrankheit wesentlich beteiligt sei, wie dies Mosso annimmt (siehe Kapitel XI).

Schlußsätze. Zum Schlusse dieses Kapitels möchten wir als Ergebnis der zahlreichen und mannigfach variierten, von uns und anderen Forschern ausgeführten Untersuchungen über den Gaswechsel den Satz aufstellen, daß die Verbrennungsprozesse in der Höhe gesteigert sind und zwar ebensowohl beim ruhenden Menschen wie bei Arbeitsleistungen. Das Maß dieser Steigerung und die Höhe, in welcher sie einsetzt, ist individuell sehr verschieden. Sie kann bei einzelnen Individuen, besonders wenn diese mit Zwischenstationen die größte Höhe erreichten, noch in 4500 m über dem Meeresspiegel fehlen, während sie bei anderen schon in 1600 m Höhe vorhanden ist.

Für die Größe der Muskelarbeit des Bergsteigers spielen, neben Weglänge und Steigung, die Terrainverhältnisse eine geradezu beherrschende Rolle.

Unter gleichen äußeren Bedingungen ist der Aufwand für Überwindung gleicher Niveauunterschiede beim trainierten Menschen außerordentlich viel geringer als bei dem für die speziellen Anforderungen nicht geübten. Auch die steigernde Wirkung der Höhenluft wird durch Training in erheblichem Umfange kompensiert.

Als Ursache der Steigerung des Stoffverbrauchs in der Höhe wirkt wohl in erster Linie der Sauerstoffmangel, teils direkt durch Minderung der Leistungsfähigkeit der Muskeln, teils indirekt durch abnorme Stoffwechselprodukte, zu deren Bildung er Anlaß gibt (vgl. Kapitel XVIII). Hinzu kommt, namentlich für den Zustand der Körperruhe, die Wirkung der physikalischen Reize des Hochgebirges. — Nach der Rückkehr von mittleren Bergeshöhen ins Flachland sind die Verbrennungsprozesse oft längere Zeit unter die Norm herabgesetzt. Der Körper spart also.

Literatur.

¹⁾ J. Aggazzotti: Il ricambio respiratorio delle Cavie nell'Aria rarefatta. Acad. dei Lincei. Roma 1904.

²⁾ Aron: „Zur Ursache der Erkrankung in verdünnter Luft“. Festschrift für Lazarus. Berlin 1899.

³⁾ Atwater und Benedict: Experiments on the Metabolism of matter and energy in the human body. U. States Dep. of Agriculture Bulletin 109. Washington 1902.

^{3a)} R. du Bois-Reymond: „Zur Physiologie des Schwimmens“. Naturwissenschaftl. Rundschau XIX., 1904, Nr. 25.

⁴⁾ Emil Bürgi: „Respiratorischer Gaswechsel auf Bergen bei Ruhe und Arbeit“. Arch. für (Anat. u.) Physiol. 1900, S. 508.

⁵⁾ Durig und Zuntz: „Beiträge zur Physiologie des Menschen im Hochgebirge“. Internationales Institut für Hochgebirgsforschungen, Monte Rosa 1903, und Engelmanns Archiv für Physiologie 1904, Suppl. S. 417.

⁶⁾ Frenzel und Reach: „Untersuchungen zur Frage nach der Quelle der Muskelkraft“. Pflügers Archiv 83, S. 477.

⁷⁾ Jaquet und Stähelin: „Stoffwechselfersuch im Hochgebirge“. Archiv für experim. Pathologie und Pharmakologie 46, S. 274. 1901.

⁸⁾ Johansson: „Über die Tagesschwankungen des Stoffwechsels usw.“ Skandinavisches Archiv für Physiologie VIII, 1898, S. 115.

⁹⁾ Katzenstein: „Einwirkung der Muskeltätigkeit auf den Stoffverbrauch“. Pflügers Archiv 49, S. 330.

¹⁰⁾ Kronecker: „Die Bergkrankheit“. Berlin und Wien 1903.

¹¹⁾ A. Magnus-Levy: „Über die Größe des respirat. Gaswechsels unter dem Einfluß der Nahrungsaufnahme“. Pflügers Archiv 55, S. 1.

¹²⁾ A. Loewy: „Die Wirkung ermüdender Muskelarbeit auf den respiratorischen Stoffwechsel“. Pflügers Archiv 49, S. 405.

¹³⁾ Derselbe: „Einfluß des Schlafes auf den respiratorischen Stoffumsatz“. Berliner klinische Wochenschrift“ 1891, Nr. 18.

¹⁴⁾ Derselbe: „Untersuchungen über Respiration und Zirkulation bei Änderung des Druckes usw.“. Berlin 1895.

¹⁵⁾ A. Loewy mit J. Loewy und Leo Zuntz: „Einfluß der verdünnten Luft und des Höhenklimas auf den Menschen“. Pflügers Archiv 66, S. 477.

¹⁶⁾ A. Loewy und F. Müller: „Einwirkung des Seeklimas“. Pflügers Archiv, 105.

- ¹⁷⁾ Marcet: Proceedings of the Royal Society, London, vol. 28, p. 498.
- ¹⁸⁾ Mermod: Bulletin de la Soc. vaudoise des Sciences nat. 1877.
- ¹⁹⁾ A. Mosso: „Der Mensch auf den Hochalpen“. Leipzig 1899.
- ²⁰⁾ v. Schrötter und Zuntz: „Ergebnisse zweier Ballonfahrten zu physiolog. Zwecken“. Pflügers Archiv 92, S. 479.
- ²¹⁾ Schumburg und Zuntz: „Zur Kenntniss der Einwirkungen des Hochgebirges auf den menschlichen Organismus“. Pflügers Archiv 63, S. 461.
- ²²⁾ Speck: „Physiologie des menschlichen Atmens“. Leipzig 1892.
- ²³⁾ Veraguth: „Le climat de la haute Engadine“. Thèse de Paris 1887.
- ²⁴⁾ Leo Zuntz: „Untersuchungen über den Gaswechsel des Radfahrers“. Berlin, Hirschwald, 1899.
- ²⁵⁾ Zuntz: „Über den Stoffverbrauch des Hundes bei Muskelarbeit“. Pflügers Archiv 68, S. 191.
- ²⁶⁾ Zuntz und Hagemann: „Der Stoffwechsel des Pferdes bei Ruhe und Arbeit“. Berlin 1898.
- ²⁷⁾ Zuntz und Schumburg: „Studien zu einer Physiologie des Marsches“. Berlin, Hirschwald, 1901.
- ²⁸⁾ Zuntz: Einfluß der Geschwindigkeit usw. auf den Stoffverbrauch bei Muskelarbeit. Pflügers Archiv 95, S. 192.
-

Kapitel IX.

Der Einfluß des Hochgebirges und des Bergsteigens auf den Eiweißumsatz.

Die Kenntnis des Eiweißumsatzes ist von hoher Bedeutung für die Beurteilung des Ernährungszustandes. Dies wurde schon im Kapitel III ausgeführt. Dort haben wir auch gesehen, in welcher Weise uns der Stoffwechselversuch, besonders die Untersuchung des Stickstoffumsatzes, einen Einblick in den Eiweißhaushalt des Organismus ermöglicht. Hier muß jedoch noch auf einige Gesetze des Eiweißstoffwechsels etwas näher eingegangen werden.

Der Organismus des jugendlichen Individuums behält von dem ihm gebotenen Nahrungseiweiß einen Teil zurück, den er zum Aufbau neuen Zellmaterials seines wachsenden Körpers benutzt. Anders verhält sich der Organismus des Erwachsenen. Es ist als eine der Grundtatsachen der Ernährungsphysiologie festzuhalten, daß beim Erwachsenen nur in seltenen Fällen ein Ansatz von neuer Eiweißsubstanz stattfindet, und auch dieser bewegt sich in mäßigen Grenzen. Eine Ausnahme macht ganz naturgemäß der Rekonvaleszent nach schweren, zehrenden Erkrankungen, welcher einen erheblichen Bestand seines Körpereiwisses im Verlaufe der Krankheit verloren hat und nun meist noch energischer, als der Körper des jugendlichen Individuums, sein Organ-eiweiß zu vermehren trachtet.

Die Tatsache, daß im allgemeinen ein Eiweißansatz beim Erwachsenen nicht stattfindet, ist durch unzählige praktische und experimentelle Nachweise dargetan. Praktisch sind in dieser Beziehung die häufigen Versuche der Viehzüchter von Bedeutung, welche bestrebt waren, den Fleischgehalt ihres Schlachtviehes zu vermehren. Im Experiment sehen wir beim normalen Stoffwechselversuch am Erwachsenen stets die Tendenz des Organismus, einen Gleichgewichtszustand zu erreichen, den wir als Stickstoffgleichgewicht bezeichnen. Da der Harn, abgesehen von den im Schweiß und Kot vorhandenen Mengen, allen Stickstoff des im Organismus zerfallenen Eiweiß enthält, prägt sich das Stickstoffgleichgewicht darin aus, daß der Stickstoffgehalt des Kotes, des Harnes und Schweißes gleich dem Stickstoff der Nahrung ist. Wenn wir also von dem in der Nahrung enthaltenen Stickstoff denjenigen der Ausscheidungen abziehen, so kommen wir zu einer Bilanz, welche gleich Null ist, d. h. weder einen wesentlichen Verlust an Stickstoff, noch einen wesentlichen Ansatz von stickstoffhaltigem Material erkennen läßt. Natürlich folgt die Ausscheidung in Kot und Harn nicht mit derartiger Exaktheit der Aufnahme, daß die Bilanz sich für jeden einzelnen Tag genau auf dem Nullwerte hält. Der Zustand des Stickstoffgleichgewichts spricht sich vielmehr darin aus, daß der Bilanzwert der einzelnen Tage in geringen Grenzen um den Nullpunkt schwankt.

Legen wir zu einer bestimmten Nahrung, mit welcher der Organismus sich ins Gleichgewicht gesetzt hat, eine weitere Menge Eiweiß zu, so steigt, entsprechend

dieser Zulage, auch die Zersetzung des Eiweißes, und die Stickstoffausscheidung im Harn wächst innerhalb weniger Tage derart, daß nunmehr das Stickstoffgleichgewicht



Lyskamm und Vicentpyramide.

Phot. Vittorio Sella, Biella.

bei dieser höheren Eiweißzufuhr erreicht wird. Bleiben dabei die Anforderungen an den Organismus dieselben wie vorher, so wird, durch die Mehrzersetzung des Eiweißes, Kohlehydrat und Fett in gewissem Maße gespart werden und im Orga-

nismus zum Ansatz gelangen können. Umgekehrt strebt der Organismus einem niedrigeren Stickstoffgleichgewicht zu, wenn wir ihm einen Teil seines Nahrungseiweißes entziehen. Nach wenigen Tagen wird dann in den Exkreten nur noch ebensoviel Stickstoff ausgeschieden, wie in der Nahrung vorhanden ist. Für die Eiweißmenge, welche auf diese Weise dem Umsatz entzogen wird, müssen Kohlehydrate und Fette, eventuell aus den Reservefonds des Organismus, zum Ersatze eintreten.

Nach oben hin ist dieser Vorgang des Stickstoffgleichgewichts unbegrenzt. Soweit überhaupt der Organismus imstande ist, Eiweiß aufzunehmen und zu verdauen, hält der Umsatz mit der Aufnahme gleichen Schritt. Nach unten hin gibt es dagegen eine geringste Menge Eiweiß, für welche das Stickstoffgleichgewicht gerade noch aufrecht erhalten werden kann. Über diese geringste Eiweißzufuhr, welche den Bedarf zu decken vermag, das Eiweißminimum, ist S. 104ff. gehandelt worden. Das Eiweißminimum ist in jedem Einzelfalle und für jedes Einzelindividuum von zahlreichen Umständen abhängig. Es ergibt sich also als Facit dieser Betrachtungen, daß jeder Organismus das Quantum an Organsubstanz, das er nach Abschluß des Wachstums besitzt, mit großer Zähigkeit festhält, einem Ansatz durch vermehrten Umsatz, einem Verlust durch Sparung begegnet.

Vom Standpunkte der Zweckmäßigkeit ist dieses Verhalten wohl zu erklären. Das Eiweiß ist der wichtigste Bestandteil der tierischen Zelle, aus ihm bauen sich alle Organe auf, und es ist daher leicht verständlich, daß ein Verlust an Eiweiß zu Schädigungen des Organismus führen, ein weitgehender ihm verhängnisvoll werden kann. Andererseits richtet sich aber der Energiebedarf und damit der gesamte Stoffverbrauch des Körpers unter sonst gleichen Bedingungen nach seinem Eiweißbestande, und Pflüger hat daher mit vollem Recht das Eiweiß „die mit Bedarf begabte Substanz“ genannt. Würde also der Eiweißbestand des Körpers ins Ungemessene wachsen, so würde auch sein Bedarf in entsprechender Weise steigen. Eine Muskelfülle, wie sie der Farnesische Herkules aufweist, kann nicht mehr als normal bezeichnet werden. Die Ernährung eines solchen Menschen müßte Schwierigkeiten begegnen.

Eiweißansatz durch Muskelarbeit. Dennoch aber ist es eine Erfahrung, die jeder an sich und anderen machen kann, daß auch beim erwachsenen Individuum durch Muskeltätigkeit eine Zunahme der Muskelmasse stattfindet. In der Tat wissen wir heute, daß dieses Wachstum der Muskulatur bei erhöhter Anforderung an ihre Arbeitskraft effektiv einen wirklichen Eiweißansatz darstellt. Hier wird also das Gesetz von der Konstanz des Eiweißhaushalts beim Erwachsenen durchbrochen, und auch er kann seinen Eiweißvorrat mehren durch ausgiebige Übung seiner Muskulatur. Allerdings muß sogleich bemerkt werden, daß dieser Eiweißansatz durch Muskelübung ein begrenzter ist. Nach kürzerer oder längerer Zeit tritt wiederum Stickstoffgleichgewicht ein, aber nun bei einem erhöhten Eiweißgehalt des Organismus.

Daß wirklich auch für den Erwachsenen die Möglichkeit besteht, seinen Vorrat an diesem wichtigsten Bestandteil des Körpers zu erhöhen, ist erst in den letzten Jahren nachgewiesen worden. Doch sind die Resultate so eindeutige und harmo-

nieren vor allem so vorzüglich mit unseren praktischen Erfahrungen, daß an der Tatsache wohl kaum mehr gezweifelt wird. Im Selbstversuch gelang es zuerst Bornstein,²⁾ bei Erhöhung der Eiweißzufuhr, unterstützt durch Muskeltätigkeit, eine Vermehrung seines Eiweißbestandes zu erzielen. Eiweißansatz durch Muskelarbeit konstatierten Zuntz und Schumburg³⁾ bei ihren marschierenden Soldaten, wobei sie auch die Zunahme der Beinmuskulatur direkt messen konnten. Schließlich haben Atwater und Benedict¹⁾ auf das Exakteste nachgewiesen, daß bei Muskelarbeit, trotz des erheblich gesteigerten Stoffverbrauchs, weniger Eiweiß zersetzt wurde als in Körperruhe, und es somit zu einer Anreicherung an Eiweiß kam. Der Mehrverbrauch bei der Arbeit wurde durch gesteigerte Fettzersetzung bestritten, so daß der Körper gleichzeitig erhebliche Mengen Fett verlor. Diese Tatsache harmonisiert ausgezeichnet mit unseren praktischen Erfahrungen. Caspari³⁾ glückte an einer gemästeten Hündin der Nachweis, daß auch ohne vermehrte Eiweißzufuhr allein der Übergang von träger Ruhe zu ausreichender Muskeltätigkeit einen steigenden Eiweißansatz bei dauernder Abnahme des Körpergewichts bewirkt. In diesem Versuche war noch am letzten (zehnten) Versuchstage eine stetig steigende Stickstoffspargung nachweisbar und noch keine Annäherung an das Stickstoffgleichgewicht zu bemerken.

Weiteres Material zur Frage des Eiweißansatzes durch Muskelarbeit liefern unsere eigenen Versuche, deren Ergebnisse in Tabelle III bis VIII des Anhangs niedergelegt sind. Hervorzuheben ist, daß unsere Versuchsanordnung in Berlin sowohl, wie später im Gebirge, sich in einem wesentlichen Punkte gegenüber der üblichen Methodik auszeichnete. Wir stellten für die Stickstoffausscheidung neben Harn und Kot auch den Schweiß in Rechnung (vgl. S. 109). Wie wichtig dies ist, geht neben anderem z. B. aus der Unsicherheit hervor, die in die gleich zu besprechenden Versuche Jaquets durch Nichtberücksichtigung des Schweißstickstoffs hineingetragen wurde.

Wie in Kapitel IV erwähnt, zerfiel unser Vorversuch in Berlin durchweg in zwei Abschnitte, indem bei Loewy, Müller, Kolmer und Waldenburg eine Periode angestrenzter Marscharbeit verglichen wurde mit einer Ruheperiode. Zuntz und Caspari waren genötigt, während der Marschierzeit der übrigen die notwendige Laboratoriumsarbeit zu verrichten.

Loewy zeigte nun einen außerordentlich deutlich ausgesprochenen Ansatz von Eiweiß während der Marschperiode. Allerdings war auch die Stickstoffzufuhr recht erheblich gesteigert und der Gesamtbrennwert der Nahrung genau der Arbeitsleistung entsprechend erhöht. Es muß besonders hervorgehoben werden, daß ähnlich wie bei dem erwähnten Versuche von Caspari an der Hündin, auch am letzten Versuchstage, dem sechsten Tag der Marschperiode, die Tendenz zum Eiweißansatz noch im Steigen ist. Nach der üblichen Weise berechnet, muß der Ansatz an Muskelsubstanz innerhalb dieser sechs Tage etwa 400 g betragen haben, während das Körpergewicht noch etwas abnahm. Wir haben also hier wiederum Fettverlust bei erheblichem Eiweißansatz, ein Faktum, das um so auffälliger ist, wenn man bedenkt, daß Loewy damals bereits im 38. Lebensjahre stand. Allerdings befand er sich in Rekonvaleszenz nach längerer Verdauungsstörung, was vielleicht der Ansatz begünstigte.

Müller vermehrte in der Arbeitsperiode seine Eiweißzufuhr nicht, seine Gesamtnahrungszufuhr in bescheidenem Maße, nur um die Hälfte des gesteigerten Bedarfs. Dennoch zeigt auch er in eklatanter Weise die Tendenz zum Eiweißansatz, wenn auch nicht so ausgeprägt wie Loewy. Am letzten (sechsten) Marschtag beginnt der Eiweißansatz bei Müller abzunehmen, und es ist wahrscheinlich, daß bei weiterer Fortführung der Versuchsreihe in wenigen Tagen der Zustand des Stickstoffgleichgewichts eingetreten wäre.

Gleichfalls unzweifelhaft positiv zeigt sich die Wirkung der Marscharbeit bei Waldenburg, bei ihm um so deutlicher, als in der Vorperiode der Organismus des jugendlichen Mannes seinen Eiweißbestand nicht behaupten konnte. Dabei war die Stickstoffeinnahme und die Gesamtnahrungszufuhr schon in der Ruheperiode eine sehr hohe. In den Arbeitstagen wurde die Stickstoffzufuhr kaum, die Gesamtnahrung etwa der Arbeit entsprechend vermehrt. Trotzdem geht die negative Bilanz mit Beginn der Marschperiode in eine positive über, und zwar derart, daß noch am letzten Tage des Versuchs die Tendenz zum Eiweißansatz deutlich vorhanden ist. Bei Müller sowohl wie bei Waldenburg bleibt übrigens das Körpergewicht annähernd unverändert.

Ganz im Gegensatz zu diesen dreien erleidet Kolmer während der gesamten Arbeitsperiode einen dauernden Verlust an Eiweißsubstanz, ein Zeichen dafür, daß seine Ernährung eine unzureichende gewesen ist. Bewirkt wird dies, wie in Kapitel VII ausgeführt, in erster Linie durch die schlechte Resorption der Nahrung. Wir haben es mit den Folgen des Appetitmangels und des geringen Wohlbefindens Kolmers in dieser Zeit zu tun, so daß wir mit Sicherheit behaupten können, daß diese Versuchsreihe ein normales Verhalten nicht widerspiegelt.

Jedenfalls ergibt sich aus den angeführten Versuchen mit Sicherheit, daß Muskularbeit beim Erwachsenen, selbst bis ins reifere Mannesalter hinauf, Stickstoffretention, d. h. doch wohl Eiweißansatz, bewirkt.

Einfluß mäßiger Höhen auf den Eiweißumsatz. Sehr gering ist unser Wissen darüber, wie ein Gebirgsaufenthalt den Eiweißumsatz beeinflußt. Hier liegen nur zwei Untersuchungen vor. Die eine derselben stammt von Veraguth,⁷⁾ welcher seine Harnstoffausscheidung in Zürich und St. Moritz bei annähernd gleicher Ernährung untersuchte und in St. Moritz in zwei Versuchsreihen, von denen die eine aus dem Jahre 1884, die andere aus dem Jahre 1886 stammt, ein erhebliches Sinken der Harnstoffausscheidung konstatierte. Leider sind seine Versuche aber nicht exakt genug, um als voll beweiskräftig zu gelten.

Dagegen wurde der andere Stoffwechselversuch mit aller Sorgfalt und Genauigkeit durchgeführt. Es handelt sich um den schon wiederholt erwähnten Selbstversuch von A. Jaquet,⁵⁾ welcher seinen Eiweißumsatz in Basel (253 m) mit demjenigen auf dem Chasseral, einem der höchsten Gipfel der Jurakette (1600 m) verglich. Seine Resultate entsprachen denen Veraguths. Auch Jaquet fand in der Höhe von 1600 m eine deutliche Herabsetzung seines Stickstoffumsatzes, also einen Eiweißansatz. Allerdings ist zu bemerken, daß die Stickstoffzufuhr 23.99 g betrug, also eine exorbitant hohe war. Dementsprechend finden wir in den ersten

4 Tagen des Vorversuchs in Basel ein allmähliches Wachsen der Stickstoffausscheidung im Harn, während vom fünften Tage ab die Stickstoffausscheidung eine gleichmäßige wird, im Mittel 19.24 g. Dabei bleibt bei 20.66 g resorbierten Stickstoffs durchschnittlich ein Ansatz von 1.42 g in den letzten Tagen der Baseler Periode. Da aber Jaquet den Stickstoff im Schweiß nicht bestimmte und bei der hohen Temperatur jener Tage die Schweißsekretion eine sehr reichliche war, so wird man mit Jaquet selbst für wahrscheinlich halten, daß diese 1.42 g Stickstoff im Schweiß enthalten gewesen sind, in den letzten Tagen der Baseler Periode also faktisch Stickstoffgleichgewicht bestand. Mit dem Aufstieg auf den Chasseral findet eine sehr deutliche Vermehrung der Stickstoffausscheidung im Harn statt, welche erst am dritten Tage des Aufenthalts wieder verschwindet. Jaquet bezieht diese Vermehrung auf die mit dem Aufstiege verbundene körperliche Anstrengung. Wir werden auf diese Deutung noch später zurückkommen. Dem primären Eiweißverlust, folgt jedoch vom dritten Tage an ein stets wachsender Eiweißansatz, und Jaquet bemerkt ausdrücklich, daß bei der kühlen Temperatur die Schweißsekretion auf dem Chasseral eine äußerst geringe war, so daß hier durch dieselbe ein wesentlicher Irrtum nicht bedingt sein kann. Der Eiweißansatz ist ein außerordentlich hoher, denn er entspricht in den 12 Tagen des Aufenthalts auf dem Berge ca. 600 g Muskelfleisch. Nach Basel zurückgekehrt, trat bei gleicher Ernährung sehr schnell eine Vermehrung der Stickstoffausscheidung ein, so daß bald das Gleichgewicht erreicht wurde. Jaquet macht darauf aufmerksam, daß die in der Höhe stattfindende Neubildung von Blutzellen einen Teil des zurückgehaltenen Eiweißes erfordere. Doch kommt er zu dem Resultate, daß die Eiweißretention viel zu groß sei, um sie durch Blutbildung allein zu erklären, daß vielmehr daneben eine mehr oder minder intensive Neubildung anderer Gewebelemente stattgefunden haben müsse.

Wenn wir nunmehr unsere eigenen Gebirgsversuche betrachten, so bietet schon die erste Periode in Brienz sehr auffällige und für uns völlig unerwartete Resultate. Die einzelnen Teilnehmer der Expedition verhielten sich folgendermaßen:

Wir hatten gesehen, daß Waldenburg in der Vorperiode in Berlin mit einer Zufuhr von 19 g Stickstoff und 49 W.E. pro Kilo Körpergewicht sich nicht ins Stickstoffgleichgewicht setzte. In Brienz betrug seine Stickstoffeinnahme wesentlich weniger, nämlich 17.5 g, während die Energiezufuhr in der Nahrung nur um etwa 8% gegenüber Berlin gesteigert war, sie betrug 53 W.E. pro Kilo Körpergewicht. Trotzdem zeigt sich vom ersten Tage ab bei dem Brienzer Aufenthalt ein Sparen von stickstoffhaltiger Substanz. Der Ansatz erreicht am dritten Tage sein Maximum, um dann langsam zu sinken, doch beträgt er noch am letzten (sechsten) Tage dieser Periode 1.71 g, ist also vom Stickstoffgleichgewicht noch weit entfernt. Der Gesamteiweißansatz dieser Periode würde bei Waldenburg etwa 310 g Muskelfleisch entsprechen.

·Kolmers Nahrung war im Gegensatze zu derjenigen Waldenburgs in Brienz erheblich eiweiß- und energiereicher als in der Berliner Ruheperiode — 18.47 g Stickstoff gegenüber 12.21 g, 49 W.E. pro Kilo Körpergewicht gegen 40. Dennoch zeigt er nur einen sehr geringen Eiweißansatz, aber wir müssen, um zu einer richtigen Deutung der Werte Kolmers zu gelangen, einige Betrachtungen anstellen.

Da finden wir zunächst, daß die Stickstoffausscheidung im Harn am ersten Tage des Versuches in Brienz eine außerordentlich hohe ist. Sie beträgt 18.72 g, während sie im Durchschnitt der übrigen Tage nur 16.41 g ausmacht. Nun ist es eine leicht verständliche Tatsache, daß der erste Tag eines Stoffwechselversuches mit bestimmter Ernährung noch unter der Einwirkung der Nahrungsaufnahme der vorhergehenden Tage steht, und es ergibt sich also aus dem hohen Eiweißumsatze Kolmers am 5. August, daß seine Ernährung in der vorhergehenden Zeit eine beträchtlich eiweißreichere war als in der Versuchsperiode. Wir müssen daher, wenn wir die Wirkung des Brienser Aufenthaltes klar ersehen wollen, diesen Tag aus der Betrachtung streichen. Auch der Eiweißverlust am 7. August ist durch Nebenumstände herbeigeführt. An diesem Tage wurde nämlich der erste mißglückte Schwimmversuch unternommen. Hierbei war Kolmer genötigt, sich längere Zeit bei hohem Wellengang unter erheblicher Kraftanstrengung im Wasser zu behaupten, und es trat nach dem Versuche großes Müdigkeitsgefühl, verbunden mit starkem Frösteln ein. Derartige Zustände führen aber zu einer Vermehrung des Stoffzerfalls, welcher sich auch in der Stickstoffbilanz deutlich bemerkbar zu machen pflegt. Doch zeigte sich am nächsten Tage eine starke Eiweißspargung. Da nun jeder Verlust die Tendenz zur Spargung setzt, so wollen wir trotz der angeführten Bedenken den 7. August mit in Rechnung stellen. Selbst dann aber ergibt sich auch für Kolmer ein Eiweißansatz in der ersten Brienser Periode, welcher allerdings keineswegs groß ist. Daß er sich in engen Grenzen hält, ist dadurch zu erklären, daß Kolmer während des letzten Semesters sich in Bern, also etwa in gleicher Höhenlage, aufgehalten hatte. Die beiden letzten Tage zeigen negative Bilanz. Diese wird vielleicht bewirkt durch die ersten Marschversuche, welche bei starker Hitze ausgeführt wurden. Marsch bei Hitze vermag, wie Zuntz und Schumburg⁹⁾ nachgewiesen haben, den Eiweißzerfall wesentlich zu steigern.

Bei Caspari wiederum tritt der Eiweißansatz sehr deutlich hervor. Die Stickstoffzufuhr betrug 16.9 g, der Brennwert der resorbierten Nahrung 46 W. E. pro Kilo Körpergewicht. Eiweiß- und Gesamtnahrung waren also nicht unerheblich geringer als bei Waldenburg und Kolmer. Dennoch zeigt Caspari dasselbe Verhalten wie Waldenburg; im ganzen spart er während der 6 Tage 5.22 g Stickstoff = 157 g Muskelfleisch, und es ist besonders bemerkenswert, daß diese Spargung gegen Ende des Versuches noch im Wachsen begriffen zu sein scheint. Dabei erfolgt aber eine kontinuierliche Abnahme des Körpergewichts, so daß Caspari am Ende der ersten Periode ca. 500 g an Gewicht eingebüßt hat, welche nach den Auseinandersetzungen in Kapitel III im wesentlichen auf Fett zu beziehen sind.

Geringer noch als bei Caspari sind Eiweiß- und Nahrungszufuhr bei Müller (16 g Stickstoff und 39 W. E. pro Kilogramm Körpergewicht). Aber auch er zeigt einen zweifellosen Ansatz von Eiweißsubstanz, der bis zum letzten Tage dieser Periode anhält bei gleichzeitiger Abnahme des Körpergewichts.

Ähnlich wie Kolmer zeigt Loewy am ersten Versuchstage eine erheblich höhere Stickstoffausscheidung im Harn als an allen folgenden Tagen. Dennoch ist auch bei ihm der Eiweißansatz sehr ausgesprochen, ohne daß von überschüssiger Ernährung die Rede sein kann.

Bei Zuntz fällt der Harn der beiden ersten Tage aus, doch findet sich an den folgenden, dem 7. und 8. August, ein deutlicher Ansatz, was bei dem höheren Alter von Zuntz besonders bemerkenswert ist. Am 9. und 10. finden wir ganz wie bei Kolmer einen Eiweißverlust, welcher durch die ersten Marschversuche in großer Hitze seine Erklärung findet. Es wird dadurch der Eiweißansatz vom 7. und 8. fast völlig ausgeglichen.

Am reinsten tritt die Wirkung des Brienzer Aufenthalts am 7. August hervor, denn an diesem Tage waren alle bereits ganz eingelebt und die unruhige Zeit der Laboratoriumseinrichtung war verflossen. Auch hielten wir uns an diesem Tage zum ersten Male längere Zeit im Freien auf, waren also den klimatischen Einwirkungen in erheblichem Maße ausgesetzt. Dabei war der Aufenthalt im Freien nicht mit Anstrengungen verknüpft, man ruderte eine Zeitlang mit mäßiger Geschwindigkeit und erging sich in ruhigem Spaziergang. Es tritt nun der Eiweißansatz gerade an diesem Tage in auffälliger Weise hervor. Vier Personen kommen hier für die Vergleichung in Betracht. Kolmer und Loewy scheiden nämlich aus, weil für Kolmer, wie oben erwähnt, durch den Schwimmversuch abnorme Bedingungen gesetzt waren; Loewys Harn vom 7. August ist leider verloren gegangen. Es stellt sich nun heraus, daß bei den vier Personen: Waldenburg, Caspari, Müller und Zuntz der 7. August einen besonders starken Eiweißansatz zeigt und zwar bei dreien derselben: Waldenburg, Caspari und Zuntz, den größten der ganzen Periode. Bei Waldenburg wurden 3.12 g Stickstoff angesetzt, gegen einen durchschnittlichen Ansatz von 1.78 g während dieser Periode, bei Caspari 2.23 g gegen einen Durchschnittsansatz von 0.87 g, bei Müller 1.73 g gegen 0.93 g und bei Zuntz 1.39 gegen einen durchschnittlichen Ansatz von nur 0.04 g Stickstoff.

Es ergibt sich also die überraschende Tatsache, daß schon der Aufenthalt in 500 m Höhe eine deutliche Einwirkung auf den Eiweißumsatz hat und zwar derart, daß in individuell schwankenden Grenzen eine deutliche Tendenz zum Eiweißansatz hervortritt. Dies ist deswegen so merkwürdig, weil man bisher nicht annahm, daß schon so geringe Höhen eine deutlich eingreifende Wirkung hervorbringen.

Allerdings haben wir in Kapitel VI eine Tatsache kennen gelernt, welche zeigt, daß ganz niedrige Höhen bereits einen Einfluß auf den Organismus ausüben. Wir hatten dort in der Zusammenstellung auf S. 176 gesehen, daß in Erhebungen von 4—500 m die Blutbildung schon merklich angeregt wird. Mit dieser Tatsache steht auch vorliegender Befund in schönster Harmonie. Wir stehen hier einer Tatsache gegenüber, welche uns einen zahlenmäßigen Beleg für die regenerierende Wirkung der Sommerfrische in den Bergen darbietet, denn es ist doch wohl anzunehmen, daß auch das Mittelgebirge in gleichen Höhenlagen ähnliche Wirkungen hervorbringt. Ob auch dem Seeklima ein solcher Einfluß auf den Organismus, den wir doch zweifellos als einen außerordentlich günstigen anzusehen haben, zukommt, ist bisher noch nicht untersucht worden.

Am 12. August fuhren Kolmer, Müller und Loewy auf das Brienzer Rothorn hinauf. Dort oben verbrachten sie dann vom 12. bis 14. August drei Tage der

Ruhe. Es ergibt sich nun für Kolmer und Müller das sehr merkwürdige Resultat, daß ihre Eiweißbilanz sich unter der Einwirkung des Höhenwechsels um ca. 1700 m vollkommen ändert. Bei Kolmer sowohl wie bei Müller besteht in den ersten Tagen eine deutliche Steigerung der Stickstoffausscheidung. Sie übertrifft die Einnahme, die Bilanz wird negativ. Dieser Befund stimmt in beachtenswerter Weise überein mit demjenigen Jaquets nach der Ankunft auf dem Chasseral. Jaquet macht für die erhöhte Eiweißzersetzung die Anstrengung des Aufstiegs verantwortlich. Da in unserem Falle die Bahn benutzt wurde, um den Gipfel des Rothorns zu erreichen, so kann für uns dieses Moment nicht zur Erklärung herangezogen werden. Es scheint, als sollte man nunmehr im Anschluß an unsere Erfahrung aus den Jaquetschen Ergebnissen eine andere Folgerung ziehen und seinen primären Eiweißzerfall einer spezifischen Reizwirkung der größeren Höhen zuschreiben. Es ist diese Erklärung eigentlich auch plausibler als die Annahme, daß die Arbeit des Aufstiegs auf die Höhe von ca. 1600 m einen mehrtägigen Eiweißverlust zur Folge haben sollte. Daß später bei Jaquet, ohne daß ein neues Reizmoment in Gestalt rationeller Muskeltätigkeit hinzukommt, ein wachsender Eiweißansatz stattfindet, spricht nicht gegen diese Deutung. Es ist eine physiologische Erfahrung, daß ein Moment, das zunächst eine schädigende Wirkung auf den Organismus ausübt, gerade dadurch denselben zu einer Kompensation, oft zu erheblicher Überkompensation, reizt. Auch bei ungewohnter Muskelarbeit kommen ähnliche Erscheinungen zur Beobachtung, wie besonders aus dem Versuche Casparis an der gemästeten Hündin hervorgeht. Dort ging dem gesteigerten Stickstoffansatz ein vermehrter Zerfall voraus. Übrigens zeigt auch Kolmer ein ähnliches Verhalten wie Jaquet, denn am dritten Tage des Aufenthalts findet sich bei ihm bereits eine stark positive Bilanz, ohne daß bis dahin das Moment der Muskelarbeit hinzugekommen wäre. Bei Müller allerdings dauert der Eiweißverlust am letzten Tage der Ruheperiode, am 14. August, noch an.

Anders wie Kolmer und Müller verhält sich Loewy. Bei ihm fehlt die Steigerung des Stickstoffzerfalls. Es setzt sich der in Brienz beobachtete Eiweißansatz oben ohne Unterbrechung fort, und zwar in etwas verstärktem Maße. Dabei ist zu bemerken, daß Stickstoff- und Kalorienzufuhr geringer waren als in der Brienser Periode.

In der Periode II b vom 15. bis 18. August tritt nun zu der reinen Einwirkung der Höhe von 2200 m die Marscharbeit und hier zeigt sich sofort bei allen drei Personen eine erhebliche Eiweißsparung. Dieselbe ist so stark, evident und eindeutig, daß von einem Zufall keine Rede sein kann. Am stärksten tritt der Eiweißansatz bei Kolmer hervor, dem jugendlichsten Mitglied dieser Gruppe. Er erreicht hier in den vier Tagen 7 g Stickstoff, entsprechend etwa 210 g Muskelfleisch und steht damit etwa in gleicher Größenordnung wie der Jaquets bei dem Aufenthalt auf dem Chasseral, wo er in zwölf Tagen etwa 600 g Muskelfleisch betrug. Dabei war in dieser Periode der „kleinen Märsche“ die Zufuhr bei Kolmer nur um 0.6 g Stickstoff pro Tag, der Brennwert der Nahrung, dem Mehrbedarf knapp entsprechend um ca. 500 W. E. gesteigert.

Auch bei Loewy ist die Steigerung der Ansatz Tendenz bei Kombination von Muskelarbeit und Höhenklima deutlich, denn in der Ruheperiode zeigte Loewy schon

eine Annäherung zum Stickstoffgleichgewicht. Mit dem ersten Tage der Marschperiode geht der Eiweißansatz etwa um das Doppelte in die Höhe, um dann derartig anzusteigen, daß der letzte Tag dieses Versuchsabschnitts den stärksten Ansatz mit 1.06 g Stickstoff bringt.

Analog folgt bei Müller auf die negative Bilanz vom 12. bis 14. eine deutlich positive vom 15. bis 17 August. Doch ist bei ihm die Wirkung wesentlich schwächer; es stellt sich schließlich Stickstoffgleichgewicht ein. Das abweichende Verhalten Müllers erklärt sich aus einer interessanten Tatsache, die in Kapitel XV näher beleuchtet werden wird. Müllers Körpertemperatur stieg nämlich während der Märsche höher an als die seiner beiden Gefährten. Es ist bekannt, daß mit erhöhter Körpertemperatur ein vermehrter Eiweißzerfall einhergeht, der nach den Beobachtungen von Linser und Schmid^{5a)} allerdings erst über 38° C. beginnt. Müllers Körpertemperatur lag aber in der Tat während der Märsche zwischen 38 und 39°. In der folgenden Periode der „großen Märsche“ macht sich dies Moment naturgemäß in erhöhtem Maße geltend.

Es sind also bei dem Aufenthalt in der Höhe von 2200 m und der Kombination dieses Höhengaufenthalts mit mittlerer Muskelarbeit quantitative Unterschiede in der Reaktion des einzelnen deutlich ersichtlich. Diese erhalten sich auch, als nunmehr starke Muskelleistungen vom 19. bis 23. August eintreten. Hier schwankt die Stickstoffbilanz bei Loewy und Müller um das Gleichgewicht. Ersterer hält sich fast konstant auf seinem Eiweißbestande, ja, er hat vielleicht noch eine geringe Tendenz zum Ansatz aufzuweisen. Der Organismus von Müller dagegen scheint bereits an der Grenze des Gleichgewichts angelangt zu sein, besonders wenn man bedenkt, daß der Umsatz vom 19. August zweifellos noch unter der Einwirkung der „Periode der kleinen Märsche“ gestanden hat.

Bei dem jugendfrischen, muskulösen Kolmer dagegen dauert auch während der großen Märsche der Eiweißansatz unentwegt fort und beträgt in den fünf Tagen noch 4.3 g Stickstoff = ca. 129 g Muskelsubstanz. Ob bei diesem günstigeren Verhalten Kolmers der Umstand entscheidend ist, daß er allein während des ganzen Sommers in größeren und kleineren Hochtouren seinen Organismus an Höhengaufenthalt und muskuläre Kraftleistungen gewöhnt hatte, die Marschleistung ihn also nicht anstrengte, oder ob die Gesamtkonstitution dieses jungen Mannes, der zweifellos der Leistungsfähigste unter uns war, das ausschlaggebende Moment ist, mag dahingestellt bleiben. Jedenfalls war er auch derjenige, der seine Körpertemperatur bei den Märschen am konstantesten bewahrte.

Interessant ist noch, daß bei Loewy und Müller in dieser Zeit das Körpergewicht unverändert bleibt, während Kolmer trotz seines Eiweißansatzes an Gewicht verliert, so daß wir hier wohl wiederum die Kombination von Eiweißansatz und Fettverlust annehmen müssen, welche so evident in dem einen Versuch von Atwater und Benedikt und in demjenigen von Caspari hervortritt und ja auch durch die praktische Erfahrung mannigfaltig bestätigt wird.

Kehren wir nunmehr nach Brienz zurück, so finden wir bei der zweiten Gruppe, Zuntz, Caspari, Waldenburg, die Einwirkung der Muskelarbeit ohne Änderung der Höhenlage. Zunächst folgte auch hier die Periode „der kleinen Märsche“. Wir

hatten gesehen, daß in der Brienzer Ruheperiode Waldenburg und Caspari eine deutliche, Zuntz eine geringere Tendenz zur Eiweißsparung zeigen. Die Eiweißsparung dauert nun bei Waldenburg und Caspari weiter an und wird durch das Eintreten des neuen Sparungsreizes unterhalten. Selbst in der Periode „der großen Märsche“ bleibt sie bei Waldenburg unvermindert, ja, die beiden letzten Tage des Brienzer Aufenthalts, der 21. und 22. August, bieten bei ihm ganz besonders hohe Werte, 2.18 bzw. 2.73 g Stickstoff. Bei Caspari ist in der gleichen Zeit das Resultat nicht so eindeutig, da, wie in Kapitel IV erwähnt, Unregelmäßigkeiten infolge einer Fußverletzung und der dadurch notwendigen Schonung eintraten. Doch ist die Gesamtbilanz bei Caspari in dieser Periode positiv.

Die Eiweißansatz Tendenz der in Brienz zurückgebliebenen Personen gruppiert sich nach ihrem Alter. Der jugendliche Waldenburg zeigt die größte Sparung, welche während seines gesamten Brienzer Aufenthalts, vom 5. bis 22. August, ca. 950 g Muskelfleisch beträgt. Dabei verliert er an Körpergewicht 420 g, so daß ein erheblicher Fettverlust während des Eiweißansatzes bestanden haben muß. In geringerem Maße zeigt sich dasselbe bei Caspari, er setzt etwa 512 g Fleisch an bei 180 g Gewichtsverlust. Am wenigsten tritt die Tendenz zum Ansatz bei Zuntz hervor, der mit 54 Jahren das älteste Mitglied unserer Expedition war. In der Periode der „kleinen Märsche“ kann er das Stickstoffgleichgewicht nicht behaupten. Doch haben wir für dieses Verhalten eine hinreichende Erklärung. Am 16. August war er nämlich durch Rückenschmerzen und wund gelaufene Füße geplagt, und am 17. zu ruhigem Verhalten gezwungen. Wir wissen aber aus den Versuchen von Zuntz und Schumburg, wie sehr auch geringfügige derartige Momente den Verbrauch steigern. Ferner war die Nahrungszulage für die Marschleistung nicht völlig ausreichend. Daß diese Gesichtspunkte den Verlust während der kleinen Märsche zutreffend erklären, ergibt sich daraus, daß in der Periode der „großen Märsche“, wo weit erheblichere Anforderungen an den Organismus gestellt wurden, das Gleichgewicht wiederum erreicht wird.

Es folgt nunmehr der III. Versuchsabschnitt, in welchem beide Gruppen ihren Aufenthaltsort vertauschen, Zuntz, Caspari und Waldenburg fahren zum Gipfel des Rothorn, Loewy, Kolmer und Müller kehren nach Brienz zurück. In der Periode der großen Märsche war die Talgruppe wiederholentlich bis zum Gipfel aufgestiegen, so daß nunmehr angenommen werden konnte, daß diese drei für die Höhe des Rothorns bereits einigermaßen trainiert waren. Es war ja auch gerade die Absicht gewesen, die Wirkung dieses Trainings kennen zu lernen, und diese blieb nicht aus. Bei keinem dieser zweiten Gruppe stellte sich primärer Eiweißzerfall ein, wie ihn Kolmer, Müller und auch Jaquet gezeigt haben. Bei Waldenburg und Caspari besteht weiterhin ein nicht unbeträchtlicher Ansatz, Zuntz verharrt im Gleichgewicht. Es sei bemerkt, daß sich analoge Differenzen zwischen beiden Gruppen auch bei anderen körperlichen Funktionen aussprechen, speziell im Verhalten des Pulses und der Körpertemperatur (Kapitel XII und XV).

Nachwirkung des Aufenthaltes in mittleren Höhen. An der Höhen-
gruppe können wir gleichzeitig bei der Rückkehr zu Tal die Nachwirkung des

Aufenthalts in einer Höhe von 2200 m feststellen. Das Resultat ist eindeutig und praktisch von hoher Wichtigkeit. Hier zeigen wieder alle drei einen Eiweißansatz, wenn auch in individuell verschiedenem Maße. Am deutlichsten prägt er sich bei Kolmer aus. Er ist viel beträchtlicher als in der letzten Rothornperiode, obgleich die eiweißsparende Wirkung der Muskularbeit in Wegfall kommt. Aber er ist bemerkenswerterweise auch erheblich höher als in der ersten Brienzer Periode, also unter sonst gleichen Umständen. Die inzwischen erfolgte Anreicherung des Körpers an Eiweiß war an sich geeignet die Tendenz zum Ansatz zu mindern. Loewy, der sich in der letzten Periode auf dem Rothorn im Gleichgewicht befunden hatte, zeigt ebenfalls einen deutlichen, wenn auch wesentlich niedrigeren Ansatz als Kolmer, und selbst bei Müller, der in den letzten Tagen auf dem Rothorn sein Stickstoffgleichgewicht nur noch knapp behauptete, tritt als Nachwirkung eine Eiweißsparung hervor. Bemerkenswert ist, daß Jaquet nach der Rückkehr vom nur 1600 m hohen Chasseral nach Basel eine solche Tendenz nicht feststellen konnte.

Einfluß großer Höhen: 2900—4560 m. Es folgte die Reise ins Monte Rosa-Gebiet und der Aufstieg zu größeren Höhen. Müller und Waldenburg schlugen ihr Standquartier auf dem Col d'Olen in etwa 2900 m Höhe auf. Hier zeigte Müller in den ersten Tagen einen nicht unerheblichen Eiweißverlust, viel stärker, als in den ersten Tagen seines Rothornaufenthalts. Das spricht in dem Sinne, daß Akklimatisation für eine bestimmte Höhe die Einwirkung des Aufenthalts in größeren Höhen nicht aufhebt, eine Tatsache, welche auch praktisch häufig beobachtet worden ist und in dem Kapitel über die Bergkrankheit des weiteren berührt werden wird. In den letzten drei Tagen des Aufenthalts auf dem Col d'Olen setzt sich Müller ins Stickstoffgleichgewicht, doch ist am Schlusse dieses Versuchsabschnittes der primäre Verlust noch nicht wieder ausgeglichen. Dabei muß bemerkt werden, daß Appetit und Nahrungsaufnahme bei Müller ungestört waren.

Waldenburg dagegen fährt unentwegt fort, Eiweißsubstanz an seinem Körper anzusetzen. War in den beiden letzten Tagen des Aufenthalts auf dem Rothorn die positive Bilanz auf 0.52 bzw. 0.99 g Stickstoff heruntergegangen, so schnellte sie auf dem Col d'Olen wiederum zu der stattlichen Höhe von 1.81 g empor. Es tritt zwar dann ein allmählicher Abfall ein, doch beträgt der Gesamtansatz in dieser fünftägigen Periode bei Waldenburg immerhin noch über 100 g Muskelfleisch. Gleichzeitig verliert er etwa 500 g an Körpergewicht, so daß wir auch hier wiederum Eiweißansatz und Fettverlust kombiniert vor uns sehen.

Für Müller war also wohl auf dem Col d'Olen die obere Grenze der Höhenregion überschritten, in welcher es zu der charakteristischen Vermehrung des Organeißes kommt. Waldenburg befindet sich in 2900 m Höhe noch innerhalb dieser Grenze.

Die andern vier Teilnehmer der Expedition stiegen zum Gipfel des Monte Rosa empor und wurden, wie erzählt, Opfer der Bergkrankheit. Bei der herabgesetzten Nahrungsaufnahme und dem enorm gesteigerten Verbrauch des Organismus kann es nicht wundernehmen, daß alle Teilnehmer einen erheblichen Verlust an Eiweiß und Körpergewicht darbieten.



Monte Rosa-Gruppe von Süden, unterhalb Col d'Olen gesehen.

Phot. Vittorio Sella, Biella.

Lyskamm

Vincent-
pyramide

+ Punkt,
auf dem die
Margherita-
Hütte liegt
Punta
Guifetti

Zumstein-
spitze

Nordend

Am geringsten ist derselbe bei Zuntz, der auch hier, gegenüber den schädlichen Einwirkungen des Klimas, mit besonderer Hartnäckigkeit seinen Eiweißbestand behauptet, und dem es als einzigem Mitglied dieser Gruppe gelang, am Schlusse des siebentägigen Aufenthaltes in 4600 m Höhe sich wieder ins Stickstoffgleichgewicht zu setzen. Doch war sein Eiweißverlust immerhin recht beträchtlich, was mit der wiederholt nachgewiesenen Tatsache harmoniert, daß Atemnot und Sauerstoffmangel den Eiweißzerfall vermehren. Der Stickstoffverlust von Zuntz betrug während seines Aufenthaltes auf dem Monte Rosa 8.67 g, entsprechend einem Fleischverlust von etwa 260 g. An Körpergewicht verlor er, die Tage des Aufstieges mitgerechnet, 1.59 kg. Daraus folgt, daß neben Eiweiß auch sicher noch Fett und Glykogen in Verlust gingen.

Bei allen anderen ist der Eiweißverlust wesentlich größer. Bei Loewy beträgt er vom Aufbruche von der Gnifetti-Hütte an 18.98 g Stickstoff, gleich einem Fleischverlust von ca. 570 g. Sein Gewichtsverlust gegenüber der letzten Talwägung ist 1.015 kg. Der Fettzerfall ist also bei ihm geringer als bei Zuntz.

Bei Kolmer beträgt der Stickstoffverlust während des Aufstieges von Gressoney bis zur Gnifetti-Hütte 0.93 g = ca. 28 g Fleisch. Der Verlust auf dem Gipfel des Monte Rosa macht weitere 23.48 g, also etwa 704 g Fleisch aus. Im ganzen kosteten somit Aufstieg und Aufenthalt auf dem Monte Rosa über 732 g Muskelfleisch, wobei noch zu bedenken ist, daß der Harn während des Aufstieges von der Gnifetti-Hütte bis zur Capanna Regina Margherita nicht gesammelt wurde, der Verlust also im ganzen noch größer gewesen sein muß. Die gesamte Gewichtsabnahme seit der letzten Wägung in Gressoney betrug 1.9 kg. Bei Kolmer traten die Erscheinungen der Bergkrankheit am stürmischsten auf, aber sie besserten sich vom dritten Tage des Aufenthaltes auf der Gipfelhütte an. Analog steigt der Eiweißumsatz bis zum dritten Tage an und sinkt dann deutlich ab, obgleich in den letzten Tagen eine weit erheblichere Muskularbeit bei dauernd ungenügender Ernährung statthatte.

Am hartnäckigsten war Caspari von der Bergkrankheit befallen; dementsprechend ist auch bei ihm Eiweiß- und Gewichtsverlust am stärksten. Der Stickstoffverlust betrug allein in den 6 Tagen des Aufenthaltes auf dem Gipfel 33.76 g, gleich einem Fleischverlust von über 1 kg. An Körpergewicht büßte Caspari in der Zeit vom Aufbruche von Gressoney bis zum Abstiege von der Capanna Regina Margherita 3.755 kg ein, wovon allein auf die 6 Tage des Gipfelaufenthaltes 2.56 kg entfallen. Auch bei ihm macht sich eine allmähliche Besserung des Befindens bemerkbar und dementsprechend sinkt der Eiweißverlust vom 4. September ab stetig. Er beträgt am 4. IX. 9.08 g Stickstoff, am 8. IX. nur noch 2.97 g. Am 9. IX., dem letzten Tage des Aufenthaltes auf dem Monte Rosa-Gipfel, schnellt er wiederum zur Anfangshöhe empor, so daß die negative Bilanz dieses Tages 8.90 g Stickstoff entspricht. Dabei hatte sich der Appetit am 9. gegenüber dem 4. IX. wesentlich gehoben, so daß die Stickstoffaufnahme in der Nahrung am 9. immerhin 5.25 g ausmachte, gegenüber 3.91 g am 4. IX.

Einen solchen Eiweißverlust, wie ihn Caspari am 4. und 9. IX. aufweist, kennen wir sonst nur bei Hungerversuchen. Doch ist mit den Eiweißverlusten, wie

sie in ähnlicher Größe etwa die Hungerer Cetti, Breithaupt und Succi aufwiesen, nur der erste Tag des Monte Rosa-Aufenthaltes zu vergleichen. Für den kolossalen Eiweißverlust am 9. IX. wissen wir aus der menschlichen Physiologie kein Analogon. Stets sehen wir beim Hungernden ein allmähliches Absinken des Eiweißverbrauches, niemals ein erneutes sprunghaftes Ansteigen. Und trotzdem war die Nahrungsaufnahme Casparis an diesem Tage zwar durchaus ungenügend, immerhin aber nicht gleich Null. Er resorbierte etwa 24 g Eiweiß, 58 g Fett und über 1400 Wärmeeinheiten. Nur bei Tieren, bei denen man den Hungerzustand bis zum Tode durchführte, ist in den letzten Tagen, welche dem Ende vorausgingen, ein ähnliches sprunghaftes Ansteigen des Eiweißzerfalles beobachtet worden, und man hat dasselbe daher als „prämortale Stickstoffsteigerung“ bezeichnet.

Wenn wir annehmen, daß der Zustand Casparis mit der prämortalen Stickstoffsteigerung in der Tat in Parallele zu setzen ist, so ergeben sich für die Erklärung der prämortalen Stickstoffsteigerung vielleicht nicht ganz uninteressante Gesichtspunkte. Man hatte früher angenommen, dieselbe sei dadurch bedingt, daß im Moment ihres Eintrittes das Fett des Organismus vollkommen verbraucht wäre, so daß nunmehr das bis dahin sorgfältig gesparte Eiweißmaterial als Kraftquelle herangezogen werden müsse und in Masse im Umsatz erscheine. Fr. N. Schulz⁶⁾ hat festgestellt, daß diese Deutung nicht richtig sein kann, da bei seinen Versuchstieren nachweislich noch nicht alles Fett aufgebraucht war. Bei Caspari kann sicherlich ein völliger Fettverzehr zur Erklärung des kolossalen Eiweißzerfalles nicht herangezogen werden. Allerdings betrug sein Gewichtsverlust seit dem Beginn des Versuches überhaupt 4.765 kg, während er von vornherein ein mageres Individuum war. Caspari⁴⁾ selbst hat aber später einen Stoffwechselversuch an einem Hauptmann H. angestellt, der sich lediglich von Früchten nährte. Dieser Stoffwechselversuch erstreckte sich in ununterbrochener Reihenfolge über 76 Tage. Der Hauptmann H. war schon zu Beginn des Versuches weit magerer, als es Caspari je war. Sein Körpergewicht betrug nur 50.27 kg, während dasjenige Casparis bei annähernd gleicher Körpergröße 65 kg ausmachte. Herr H. aber nahm im Laufe des Versuches noch 13 kg ab und zeigte eine dauernde Einschränkung seines Eiweißzerfalles, niemals aber ein so plötzliches Anwachsen des Eiweißumsatzes, wie wir es an diesem Tage bei Caspari sahen.

Auch der zweite Erklärungsversuch des prämortalen Eiweißzerfalles hat außerordentlich wenig Wahrscheinlichkeit. Ihm zufolge sind die Gewebe so schwer geschädigt, daß sie die Fähigkeit, Fett zu zersetzen, verloren haben. Caspari nahm an dem betreffenden Tage 67 g Fett auf. In dem Kote während des gesamten Monte Rosa-Aufenthaltes fanden sich 46 g Fett, so daß unbedingt an diesem Tage Fett resorbiert sein muß. Es ist aber nicht anzunehmen, daß, wenn die Darmzellen die Fähigkeit behalten, das Fett zu zerlegen, die Gewebszellen durchweg die Fähigkeit verloren haben sollten, dasselbe zu verbrennen. Unzweifelhaft wurde auch noch Fett verbrannt. Denn die Körperleistungen erforderten wenigstens 2000 Wärmeeinheiten, das umgesetzte Eiweiß lieferte aber nur 343.

Dagegen gewinnt die dritte Theorie der prämortalen Stickstoffsteigerung durch den Vorgang, wie wir ihn bei Caspari beobachteten, eine wesentliche

Stütze. Diese Theorie besagt, daß die prämortale Steigerung des Eiweißzerfalls durch eine Art Selbstvergiftung (Autointoxikation) bewirkt werde. Es ist äußerst wahrscheinlich, daß es sich bei Caspari um einen solchen Intoxikationszustand gehandelt hat, welcher durch die mangelhaft verbrannten und in den Geweben aufgespeicherten Abbauprodukte von Eiweißsubstanzen hervorgerufen wurde. Auf das Auftreten derartiger Substanzen unter der Einwirkung des Hochgebirgsklimas werden wir ja des öfteren durch unsere Erfahrungen hingewiesen.

Anomalien des Eiweißabbaus in der Höhe. Daß der Abbau des Eiweißes bei uns allen auf dem Monte Rosa gestört war, geht sehr klar aus der Betrachtung der „kalorischen Quotienten des Harns“ während der Monte Rosa-Periode hervor. Unter „kalorischem Quotienten des Harns“ versteht man die Wärmemenge, welche der Harn pro Gramm Stickstoff enthält, also den Quotienten $\frac{W.E.}{N}$.

Der kalorische Quotient ist zunächst abhängig von der Ernährung derart, daß er bei den Fleischfressern am niedrigsten ist, daß er beim Menschen um so höher wird, je kohlehydratreicher die Kost gewählt ist, um schließlich bei Rohkost-Vegetariern recht hohe Werte zu zeigen. Die höchsten Werte finden sich bei den Pflanzenfressern. Hierüber möge folgende kleine Tabelle einen Überblick geben:

Kalor. Quotient	Tierart bzw. Nahrung	Autor
6.69 7.45	} Hund	Rubner
8.45 8.65	Mensch: fettarme Kost fettreiche Kost	} Rubner
8.58—10.54	„ „	Tangl
8.25	gemischte Kost	Loewy
8.77	„ „	Caspari
8.81	„ „	Zuntz
11.30—13.20	kohlehydratreiche Kost	Tangl
13.73 9.98	vegetar. Diät, Herr K. „ „ Frau K.	} Caspari u. Gläßner
13.28 10.50 13.47 18.90 23.66	} vegetar. Diät, Hauptm. H.	Caspari
31.7 33.2	} Rind	Kellner

Das Verhalten unserer kalorischen Quotienten geht aus der auf S. 286 folgenden Zusammenstellung hervor.

Auffällig ist in dieser Zusammenstellung, daß bei Müller und Loewy die Werte für die ersten Tage in Brienz besonders hoch liegen. Deutlich ist ferner die

Steigerung der kalorischen Quotienten des Harns bei fast allen in der Periode der großen Märsche. Nur Müller macht hier eine Ausnahme.

Gruppe I				Gruppe II			
Ort u. Beschäftigung	Kolmer	Müller	Loewy	Ort u. Beschäftigung	Waldenburg	Caspari	Zuntz
Brienz. Lab.-Arbeit	7.606	9.852	9.116	Brienz. Lab.-Arbeit	7.762	8.980	8.710
Brienz. Marschversuche	7.568	8.517	7.902	Brienz. Marschversuche	8.633	—	—
Rothorn, kl. Märsche	7.748	8.015	8.021	Brienz. kl. Märsche	8.636	9.135	—
Rothorn, gr. Märsche	8.040	8.088	8.638	Brienz. gr. Märsche	9.168	10.835	9.044
Brienz. Lab.-Arbeit	7.794	7.747	8.469	Rothorn	8.578	8.483	8.579
Mittel	7.751	8.244	8.429	Mittel	8.555	9.358	8.778

Die Werte auf dem Monte Rosa liegen nun bei allen vier Mitgliedern der Gipfelgruppe erheblich über dem Durchschnitt, während auf dem Col d'Olen weder bei Müller noch bei Waldenburg eine Steigerung zu bemerken ist.

So finden wir bei Zuntz:

Kalor. Quotient	in Brienz und auf dem Rothorn im Mittel aller Perioden	8.778
" "	am 2. IX. während des Aufstiegs zum Monte Rosa .	9.382
" "	am 6. und 7. IX.	10.009
" "	am 8. und 9. IX.	9.039

Ähnlich bei Loewy:

Kalor. Quotient	in Brienz und auf dem Rothorn im Mittel	8.429
" "	vom 1.—3. IX. während des Aufstiegs	9.937
" "	vom 4.—9. IX.	9.429

Bei Kolmer:

Kalor. Quotient	in Brienz und auf dem Rothorn im Mittel aller Perioden	7.751
" "	auf dem Monte Rosa vom 4.—7. IX.	8.963
" "	vom 8.—9. IX.	9.559

Bei Caspari:

Kalor. Quotient	in Brienz und auf dem Rothorn im Mittel aller Perioden	9.358
" "	auf dem Monte Rosa vom 6.—7. IX.	9.952
" "	am 8. IX.	11.124

Demgegenüber bei Müller und Waldenburg:

Kalor. Quotient	bei Müller vom 2.—4. IX.	8.668
" "	vom 5.—6. IX.	7.189
" "	bei Waldenburg vom 2.—4. IX.	7.809
" "	vom 5.—6. IX.	7.932

Es fragt sich nun, wodurch die Steigerung des kalorischen Quotienten im Harn bedingt ist. Eine Steigerung des Verhältnisses von Brennwert zu Stickstoff im Harn kann dadurch herbeigeführt werden, daß Substanzen in dem letzteren erscheinen, welche bei hohem Brennwert stickstoffarm resp. stickstofffrei sind. Eine solche Substanz wäre z. B. der Zucker. Es ist aber bei den hohen kalorischen Quotienten, welche Rubner, Tangl, Caspari bei ihren Versuchen fanden, von letzteren beiden vergebens auf Zucker gefahndet worden. Rubner fand allerdings einmal sehr geringe Mengen Zucker, durch welche aber die Höhe des kalorischen

Quotienten keineswegs erklärt werden konnte. Nur für den hohen kalorischen Quotienten, welchen Kellner beim Rinde feststellte, ist die Ursache festgestellt — es handelt sich dort um Ausscheidung von Hippursäure im Harn, einer Substanz, welche bei höherem Brennwert ärmer an Stickstoff ist als der Harnstoff, der bei den Säugetieren das hauptsächlichste Endprodukt des Eiweißumsatzes darstellt. In unserem Falle aber muß die Steigerung des kalorischen Quotienten auf eine andere Ursache zurückgeführt werden, als bei den kohlehydratreich ernährten oder vegetarisch lebenden Menschen. In der Tat ist es nun Loewy gelungen, den Grund dieser Steigerung in höchst interessanter Weise aufzuklären. Das Wachsen des kalorischen Quotienten beruht darauf, daß im Harn Abbauprodukte des Eiweiß erscheinen, welche eine niedrigere Oxydationsstufe darstellen, als die normalen Endprodukte der Eiweißzerlegung. Es handelt sich um sog. Aminosäuren. Diese entstehen im Organismus als Zwischenstufe der Eiweißkörper und des Harnstoffs und werden unter normalen Zuständen noch weiter zu Harnstoff zerlegt. Das Auftreten der Aminosäuren beweist, daß die Verbrennungsprozesse in den Geweben infolge des Sauerstoffmangels bei anstrengender Muskeltätigkeit oder beim Aufenthalt in großer Höhe herabgesetzt sind, so daß das komplizierte Molekül des Eiweißes nicht bis zu den normalen Endprodukten abgebaut wird. Es ist dies ein Vorgang, welcher in Parallele gestellt werden kann mit dem experimentell erzeugten Auftreten organischer Säuren (Milchsäure) im Harn von Tieren, welche bei sehr beschränkter Sauerstoffzufuhr gehalten wurden.

Neben diesem wichtigen und interessanten Resultat ist nun noch eine weitere Tatsache äußerst bemerkenswert: Am 8. September ist der kalorische Quotient im Harn Caspari der höchste, bei dieser Expedition überhaupt beobachtete, nämlich 11.124. Der Stickstoffverlust des Körpers beträgt nur 2.97 g. Am folgenden Tage, dem 9. September, finden wir dann das kolossale Anwachsen des Verlustes, welches wir oben mit der prämortalen Stickstoffsteigerung in Parallele gesetzt haben. Mit diesem Ansteigen sinkt nun der kalorische Quotient des Harns auf ein so niedriges Niveau, wie es beim Menschen bisher niemals beobachtet worden ist. Es liegt selbst unterhalb der Werte, welche für den Hund angegeben wurden. Der kalorische Quotient bei Caspari am 9. September beträgt 5.849.*) Da das Verhältnis der Wärmeeinheiten zum Stickstoff beim reinen Harnstoff 5.45 ist, so verhält sich der Harn dieses Tages fast wie eine reine Harnstofflösung.

Es wäre weiter zu diskutieren, ob ein Zustand, wie derjenige, in dem sich Caspari am 9. September befand, ernste Gefahren mit sich führt. Wenn wir auch nicht imstande sind, eine sichere Auskunft darüber zu geben, so ist doch wahrscheinlich, daß diese Frage zu bejahen ist. Einen derartigen Eiweißzerfall kann der Organismus auf die Dauer keinesfalls ertragen. Und da nach dem ganzen Verlaufe der Monte Rosa-Periode bei Caspari die Sparvorrichtungen des Körpers zu versagen begannen, ist wohl kaum zu bezweifeln, daß ein längerer Aufenthalt auf dem Gipfel des Monte Rosa bedrohlich geworden wäre. Dagegen wies das subjektive Befinden keineswegs auf das Gefährliche der Situation hin. An demselben

*) Diese Zahl ist durch zwei vorzüglich stimmende Analysen sichergestellt.

Tage, an dem der große Eiweißverlust bestand, unternahm vielmehr Caspari in Gemeinschaft mit Zuntz und dem Führer Bieler eine Klettertour in den benachbarten Felsen. Hierbei fiel allerdings der große Schwächezustand Casparis auf, dem es z. B. absolut nicht gelingen wollte, an einem Felsblock, welcher in Kopfhöhe vor ihm lag, in Stütz zu gehen. Es ist ja das erste Mal, daß die Stoffwechselfvorgänge in solchen Höhen einer genauen Untersuchung unterworfen worden sind. Es scheint durchaus nicht ausgeschlossen, daß die schweren Erkrankungen, welche bei längerem Aufenthalt in großen Höhen manche Personen befallen und z. B. in den Andes mehrfach zu Todesfällen geführt haben, von derartigen Zuständen des Eiweißverlustes eingeleitet wurden, wie wir ihn hier gefunden haben.

Aber die Erkrankung, so tief sie in das Gefüge des Organismus eingreift, wird doch wohl sofort rückgängig, sobald die gefährliche Höhe verlassen wird. Geschieht dies rechtzeitig, dann ist vielleicht der Eiweißverlust, welchen alle Teilnehmer der Monte Rosa-Gruppe und speziell Caspari erlitten haben, nicht als schädliches, vielmehr sogar als ein günstiges Moment aufzufassen. Wir haben oben bereits erwähnt, daß der Organismus sich bestrebt, einen Verlust seines wertvollsten Materials nicht nur auszugleichen, sondern mit einer Überkompensation auf die Entziehung zu reagieren. Leider war es unmöglich, an die Monte Rosa-Periode noch eine Nachperiode in geringeren Höhen anzuschließen. Dennoch läßt das Verhalten Casparis kaum einen Zweifel, daß derselbe in kürzester Zeit die Verluste an Eiweiß und Körpergewicht ersetzt hat. Noch wochenlang war sein Appetit geradezu unstillbar und jedesmal, wenn er von einem reichhaltigen Diner aufstand, freute er sich bereits auf das nächste. Ein ganz analoges Verhalten finden wir ja nach langdauernden, schweren, fieberhaften Erkrankungen, und besonders für Typhusrekonvaleszenten ist nachgewiesen, daß sie ganz erstaunliche Mengen stickstoffhaltigen Materials in ihrem Körper aufspeichern, weit über den Verlust hinaus, den sie in den Wochen der Krankheit erlitten haben.

Fassen wir noch einmal die Ergebnisse zusammen, die wir bei der Untersuchung des Eiweißumsatzes gefunden haben:

Schon ein Aufenthalt in 500 m Höhe führt zu einem deutlichen Eiweißansatz, welcher durch Muskeltätigkeit noch weiter gesteigert wird. In größeren Höhen (1600 m Jaquet, 2200 m Kolmer u. Müller) geht häufig bei Nichttrainierten dem Eiweißansatz ein deutlicher Verlust an Eiweißmaterial voraus. Bei den der Höhe schon einigermaßen Angepaßten findet sich dagegen sofort ein Stickstoffansatz (Caspari, Waldenburg) oder es bleibt Stickstoffgleichgewicht bestehen, ohne daß ein vorhergehender Zerfall statt hat (Zuntz). Der Eiweißansatz in mittleren Berghöhen tritt besonders hervor, wenn derselbe mit Muskeltätigkeit unter Vermeidung eines Übermaßes verknüpft ist. Da ein Aufenthalt in subalpinen und alpinen Höhen wohl meist mit mässigen Marschübungen einhergeht, wird man bei gesunden Menschen in jugendlichem oder mittlerem Lebensalter wohl mit Sicherheit in solchen Höhen auf einen Ansatz von Eiweißsubstanz rechnen dürfen. Während anstrengender Muskeltätigkeit dauerte bei dem jungen, kräftigen Kolmer auf dem Rothorn der Eiweißansatz an. Ebenso bei dem

gleichaltrigen Waldenburg im Tal. Überhaupt zieht das Jünglingsalter in dieser Beziehung am meisten Nutzen aus dem Gebirgsaufenthalt.

Die günstige Wirkung auf den Eiweißansatz geht bis zu einer Höhengrenze hinauf, welche individuell verschieden ist. Auf dem Col d'Olen ist diese Grenze für Müller überschritten, für Waldenburg noch nicht.

Der Monte Rosa-Gipfel liegt für alle vier Mitglieder der Gipfelgruppe oberhalb dieser Grenze. Doch ist darum nicht ausgeschlossen, daß nicht besonders resistente Individuen auch noch in dieser Höhe einen Eiweißansatz zeigen.*)

Was die Nachwirkung des Höheng Aufenthaltes auf den Eiweißumsatz betrifft, so ließ sich eine solche bei Jaquet nicht nachweisen. Dagegen ist bei Loewy, Müller und Kolmer nach dem Aufenthalt in 2200 m eine weitere Tendenz zum Eiweißansatz vorhanden. Ob nach dem Verlust in größeren Höhen eine Überkompensation eintritt, ist bisher unbekannt, aber nicht unwahrscheinlich.

Wir sehen also, daß das Gebirge einen ganz charakteristischen Einfluß auf den Bestand des Organismus an dem wichtigsten organischen Material ausübt, und daß der Erwachsene sich im Gebirge bis zu gewissen Höhen hinauf, welche individuell verschieden sind, ähnlich verhält, wie unter gewöhnlichen Bedingungen ein wachsender Organismus. Das Wort von der verjüngenden Wirkung des Gebirgsaufenthaltes hat hier seinen zahlenmäßigen Ausdruck gefunden.

*) Bei der Korrektur erhalten wir briefliche Mitteilung von Herrn Dr. v. Wendt (Helsingfors), der im Sommer 1904 Stoffwechselversuche auf dem Monte Rosa an sich selbst anstellte. Er fand in der Tat nicht nur auf Col d'Olen, sondern auch auf der Margherita-Hütte einen äußerst eklatanten Eiweißansatz.

Literatur.

1) Atwater und Benedict: „Experiments on the metabolism of matter and energy in the human body“. Washington 1899.

2) Bornstein: „Eiweißmast und Muskelarbeit“. Pflügers Archiv. Bd. 83. 1901.

3) Caspari: „Über Eiweißumsatz und -Ansatz bei der Muskelarbeit“. Ebenda.

4) Derselbe: „Physiologische Studien über Vegetarismus“. Verhandlungen der Berliner Physiologischen Gesellschaft 26. III. 1904.

5) A. Jaquet und R. Stähelin: „Stoffwechselversuch im Hochgebirge“. Archiv für experimentelle Pathologie und Pharmakologie. Bd. 46. 1901.

6a) Linser und Schmidt: Deutsches Arch. f. klin. Med. 79. 1904. S. 541.

6) Fr. N. Schulz: „Beiträge zur Kenntnis des Stoffwechsels bei unzureichender Ernährung“. Pflügers Archiv. Bd. 76. 1899.

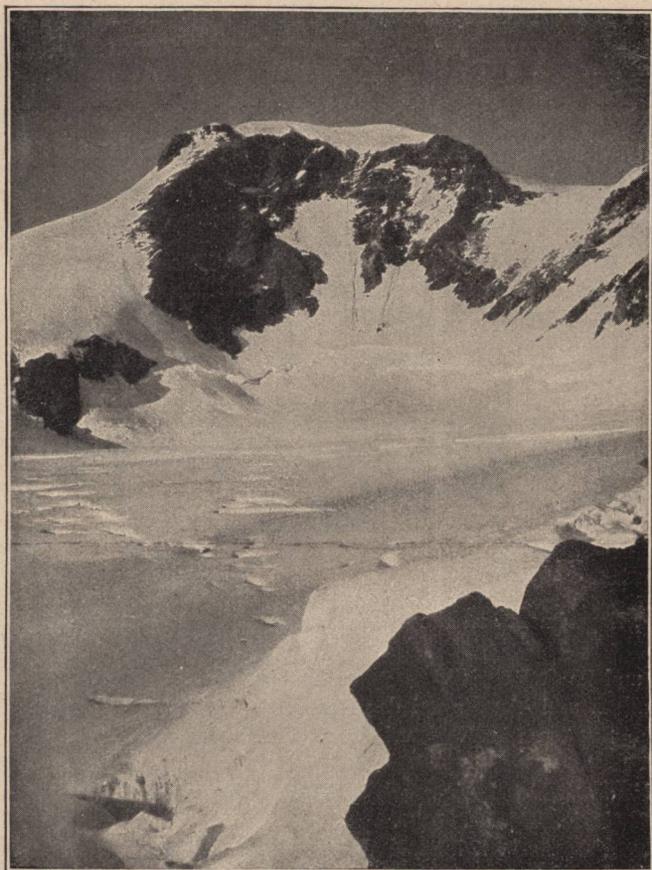
7) Veraguth: „Le climat de la Haute-Engadine et son action physiologique“. Thèse de Paris 1887.

8) Zuntz und Schumburg: „Physiologie des Marsches“. Berlin, Hirschwald, 1901.

Kapitel X.

Die Blutgase unter der Einwirkung der Höhenluft.

Wer von einem etwas allgemeineren, naturphilosophischen Gesichtspunkte die in Kapitel VI besprochenen Veränderungen des Blutes im Höhenklima betrachtet, wird vielleicht sagen, daß sie uns nicht überraschen können, da sie ja



Parrotspitze von der Gnifetti-Hütte aus gesehen.

nur einen Einzelfall des großen, überall sich geltend machenden Gesetzes Darwins von der zweckmäßigen Anpassung unserer Funktionen an die äußeren Lebensbedingungen darstellen.

Wie solche Anpassungserscheinungen gerade auf physiologischem Gebiete sich vollziehen, wie sehr ihr Zustandekommen die Grundbedingung für den Fortbestand des Lebens unter wechselnden äußeren Verhältnissen ist, hat Pflüger⁹⁾ in einer gedankenreichen Abhandlung: „Die teleologische Mechanik in der lebendigen Natur“ auseinandergesetzt. — In welcher Beziehung die Zunahme an Blutfarbstoff im Höhenklima eine zweckmäßige Anpassung darstellt, soll im folgenden des näheren entwickelt werden.

Zu diesem Behufe wird es erforderlich sein, die

Rolle der Blutkörperchen als Sauerstoffträger und im Anschluß daran das Verhalten der Gase im Blute überhaupt etwas eingehender zu erörtern. — Diese

Erörterung erscheint uns um so notwendiger, als wir auch in Fachkreisen zuweilen noch einer mißverständlichen Auffassung der hier obwaltenden Verhältnisse

begegnen.

Die Gesetze der Aufnahme von Gasen in Flüssigkeiten. Als Grundlage aller Betrachtung über die Blutgase müssen wir die physikalischen Beziehungen zwischen Gasen und Flüssigkeiten betrachten. — Henry hat gelehrt, daß jede Flüssigkeit in Berührung mit jedem beliebigen Gase eine gewisse Masse desselben aufnimmt (absorbiert). Die aufgenommene Menge hängt ab von der Natur des Gases und der Flüssigkeit und ist, wenn diese gegeben sind, der Dichte des in Frage stehenden Gases proportional. — Die Dichte eines Gases messen wir durch den Druck, den es auf die Wandungen des Gefäßes, in dem es sich befindet, ausübt, resp. durch die Höhe, bis zu welcher es die Quecksilbersäule des Barometers emporhebt.

Wollen wir in dieser Weise die Dichte des Sauerstoffes in der Atmosphäre ermitteln, so haben wir uns zu erinnern, daß letztere ein Gemisch mehrerer Gase darstellt. In diesem macht der Sauerstoff ca. 21% aus. Wenn daher der Luftdruck, wie am Meeresniveau, 760 mm Quecksilber beträgt, so ist der Druck des Sauerstoffes in dieser Atmosphäre $\frac{21}{100}$ davon, das sind 160 mm Quecksilberdruck.

In Wirklichkeit ist der Sauerstoffdruck aber noch etwas niedriger, da die Luft stets Wasserdampf enthält, der sich am Zustandekommen des Gesamtdruckes beteiligt. Die Menge des Wasserdampfes läßt sich mit Hilfe des in Kapitel II beschriebenen Psychrometers genau feststellen und daraus sein Druck berechnen. Wenn er in unserem Beispiel 10 mm betrüge, so würde der Sauerstoffdruck nun $\frac{21}{100}$ von 750 mm betragen, d. h. 157 mm Quecksilber. Dieser so bestimmte Anteil eines Gases am Gesamtdruck eines Gasgemisches wird als Partiardruck bezeichnet. — Ihm proportional erfolgt die Aufnahme des Gases in eine Flüssigkeit.

Die absolute Menge des von einer Flüssigkeit aufgenommenen Gases läßt sich berechnen, wenn man außer dem Partiardruck den sog. Absorptionskoeffizienten kennt. Dieser sagt uns, wieviel Kubikzentimeter auf 0° reduzierten Gases 1 ccm Flüssigkeit bei 760 mm Druck aufnimmt. Er muß für jedes einzelne Gas und jede Flüssigkeit durch besondere Versuche festgestellt werden.

Der Absorptionskoeffizient ist ferner von der Temperatur abhängig, mit deren Wachsen er abzunehmen pflegt. — Für die wichtigsten Gase und Flüssigkeiten hat Robert Bunsen³⁾ die Absorptionskoeffizienten bestimmt; spätere Untersucher haben seine Angaben vervollständigt und in manchen Einzelheiten berichtigt.

Wir glauben, die in Betracht kommenden Vorgänge werden durch die von Clausius⁴⁾ auf Grund seiner mechanischen Wärmetheorie entwickelten Anschauungen dem Verständnis nähergebracht. Wir möchten sie deshalb etwas eingehender an der Hand der Clausiusschen Anschauungen erörtern. — Nach Clausius ist der Aggregatzustand der Materie bedingt durch die Intensität der Bewegung der Massenteilchen — Moleküle — im Verhältnis zur Stärke der Anziehung, welche sie aufeinander ausüben. Was wir Wärme nennen, ist nichts anderes als der Bewegungszustand der Moleküle, jede Zufuhr von Wärme steigert die Bewegung. Der absolute Nullpunkt der Temperatur, der von den Physikern auf -273° C. geschätzt wird, ist der Zustand vollkommener Bewegungslosigkeit der Moleküle. — Durch fortschreitende Wärmezufuhr läßt sich jeder Körper aus dem festen Zustande in den flüssigen und weiter in den gasförmigen umwandeln. Letzterer ist derjenige

Zustand der Materie, in welchem die Geschwindigkeit der Bewegung der einzelnen Moleküle so groß ist, daß ihre gegenseitige Anziehung die Bewegung nicht mehr merklich hemmt.

Infolgedessen erfüllen die Gase jeden ihnen gebotenen Raum gleichmäßig und üben auf alle Wände desselben einen gleichen Druck aus. Diesen Druck können wir uns bedingt denken durch die Stöße, welche die einzelnen Moleküle gegen die Wände ausüben.

Wenn Gasmoleküle bei ihren Bewegungen auf die Oberfläche einer Flüssigkeit anprallen, so müssen sie vermöge der ihnen innewohnenden großen Geschwindigkeit die Flüssigkeitsmoleküle auseinanderdrängen und so zwischen sie eintreten. Sie werden ihre Bewegung innerhalb der Flüssigkeit fortsetzen, aber entsprechend der engeren Aneinanderlagerung der Flüssigkeitsmoleküle entsprechend langsamer vorwärtskommen.

Wie langsam das Fortschreiten der in die Oberfläche einer Flüssigkeitsmasse eingedrungenen Gasteilchen vor sich geht, mögen einige von Hüfner⁶⁾ berechnete Zahlenangaben erläutern. Danach wären 336 Tage erforderlich, damit 1 ccm Sauerstoff beim Druck einer Atmosphäre in eine Wassersäule von 1 qcm Querschnitt eintritt. Dabei sind die am weitesten vorgedrungenen Sauerstoffteilchen nur bis zu 5.44 m Tiefe gelangt. Für das Eindringen von 8 ccm Sauerstoff werden schon 60 Jahre erforderlich sein, und die von den am weitesten eingedrungenen Molekülen erreichte Tiefe würde 380 m ausmachen.

Außerordentlich beschleunigen läßt sich der Vorgang der Absorption von Gasen in Flüssigkeiten dadurch, daß man Flüssigkeit und Gas heftig miteinander schüttelt. Hierdurch kommen immer neue Flüssigkeitsteilchen mit dem Gase in Berührung, so daß wenige Minuten ausreichen, um die Gasmenge in die Flüssigkeit eintreten zu lassen, die unter den gegebenen Bedingungen überhaupt aufnehmbar ist. Es tritt dann ein scheinbar stabiler Zustand ein, der aber nur so zu verstehen ist, daß in der Zeiteinheit genau gleichviel Gasteilchen ein- und austreten.

Die Zahl der eintretenden Teilchen muß der die Oberfläche der Flüssigkeit treffenden Anzahl entsprechen, letztere aber ist proportional der Dichte des in Frage kommenden Gases, d. h. dem zuvor definierten Partiardruck desselben. Der Gehalt der Flüssigkeit an Gas hängt aber neben diesem Moment noch von der Dauer des Aufenthaltes der eingetretenen Moleküle in der Flüssigkeit ab. Diese Aufenthaltsdauer muß ihrerseits um so größer sein, je stärker die Anziehung zwischen Flüssigkeits- und Gasteilchen ist. Als Maß dieser Anziehung kann der schon genannte Absorptionskoeffizient dienen. Die Absorptionskoeffizienten sind für die verschiedenen Gase beim Wasser, das uns zunächst interessiert, sehr verschieden. So werden bei Körpertemperatur von 1 ccm Wasser aufgenommen:

an Stickstoff: 0.0125 ccm; an Sauerstoff: 0.024 ccm; an Kohlensäure: 0.56 ccm.

In salzhaltigem Wasser oder in Wasser, welches wie das Blut größere Mengen eiweißartiger Stoffe enthält, sind die Absorptionskoeffizienten niedriger als in reinem Wasser, d. h. es wird unter sonst gleichen Bedingungen weniger Gas absorbiert.

Anders gestalten sich die Verhältnisse, wenn in der Flüssigkeit Stoffe gelöst sind, die eine chemische Verwandtschaft zu den eintretenden Gasen haben. Dann gibt es zwei Möglichkeiten. Entweder ist die Verwandtschaft so stark, daß die einmal hergestellte Verbindung zwischen dem gelösten Körper und dem Gas bei der bestehenden Temperatur nur durch chemische Einwirkung wieder getrennt werden kann. Es wird dann soviel Gas chemisch gebunden, daß die im Wasser

gelöste Substanz vollkommen damit gesättigt wird. Außerdem absorbiert noch die Flüssigkeit soviel Gas, wie dem Absorptionskoeffizienten und dem Partiardruck des Gases entspricht. Mit anderen Worten: Die aufgenommene Gasmenge besteht aus einem vom Druck unabhängigen (chemisch gebundenen) und einem mit dem Druck wechselnden (physikalisch absorbierten) Anteil.

Es gibt nun aber einen zweiten Fall, und dieser ist beim Blute verwirklicht. Die gelösten Substanzen haben zwar auch eine chemische Verwandtschaft zum Gase, aber sie ist so gering, daß die entstandene Verbindung sich von selbst wieder zersetzt. Man bezeichnet einen derartigen Vorgang als Dissoziation und ihr unterworfenen Verbindungen als dissoziabile. — Solche Verbindungen können nur bestehen bleiben, wenn dauernd ebensoviel Gasmoleküle zugeführt, wie durch die Dissoziation abgespalten werden.

Die Größe der Abspaltung aber wächst mit der Intensität der Bewegung in den Molekülen, d. h. mit der Temperatur. Je höher also die Temperatur, um so schneller zerfällt die Verbindung, um so mehr Gasmoleküle müssen in der Flüssigkeit zum Ersatz bereit sein, wenn der Zerfall ausgeglichen werden soll. — Die Menge der Gasmoleküle in der Flüssigkeit hängt nun, wie früher erwähnt, von der Menge der die Oberfläche der Flüssigkeit treffenden Moleküle des fraglichen Gases ab, d. h. von dem Partiardruck des letzteren. Dieser muß daher, wenn die dissoziabile Verbindung bestehen soll, mit der Temperatur wachsen.

Eine derartige dissoziabile Verbindung geht der Sauerstoff mit dem Hämoglobin der roten Blutzellen, die Kohlensäure mit verschiedenen Bestandteilen des Blutes ein.

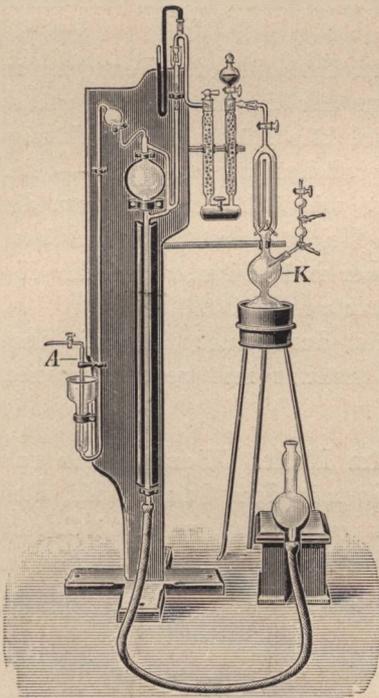
Aufnahme und Bindung des Sauerstoffes im Blute. Wenden wir uns zunächst zu der Verbindung des Hämoglobins mit dem Sauerstoff, dem sog. Oxyhämoglobin. Dasselbe ist, wie Donders gezeigt hat, unter 0° C. eine stabile chemische Verbindung. Dieser stabile Zustand hat natürlich für das Leben keine Bedeutung, da selbst der Kaltblüter im Winterschlaf nicht bis zur Gefrier-temperatur abgekühlt ist. Oberhalb 0° wird die Verbindung eine dissoziabile.

Im stabilen Zustande bindet 1 Mol. Hämoglobin (= 14133 g) 1 Mol. Sauerstoff (= 32 g). Das macht pro Gramm Hämoglobin 2.26 mg Sauerstoff = 1.34 ccm Sauerstoff gemessen bei 0° und 760 mm.*) — Erwärmt man eine solche stabile Oxyhämoglobinlösung über 0° C., so beginnt sie sich zu zersetzen, und wenn man den frei gewordenen Sauerstoff aus der Lösung entfernt, so schreitet die Dissoziation bis zur vollständigen Zersetzung des Oxyhämoglobins fort. Die Entfernung des Sauerstoffes aus der Flüssigkeit geschieht dadurch, daß man die Flüssigkeit in einen Raum bringt, den man dauernd frei von Sauerstoff erhält. Das kann entweder dadurch geschehen, daß man ein beliebiges fremdes Gas hindurchleitet oder daß man den Raum mit Hilfe einer kräftigen Luftpumpe gasfrei hält. Letzteres Verfahren wenden wir an, um den im Blut enthaltenen Sauerstoff

*) Gegen diese Auffassung sind in jüngster Zeit Bedenken erhoben worden (Bohr). Für unsere weiteren Ausführungen sind sie, selbst wenn sie sich als berechtigt erweisen sollten, ohne Belang.

quantitativ zu bestimmen. Man bringt das zu analysierende Blut in einen großen Glaskolben, den man vorher mittels einer Quecksilberpumpe luftleer gemacht hat. Nebenstehende Abbildung zeigt die Anordnung des Apparates. Sobald das Blut in den luftleeren Ballon *K* eintritt, entweichen unter heftigem Schäumen die Gase aus ihm (neben Sauerstoff reichlich Kohlensäure und wenig Stickstoff). Man treibt sie in das links in der Abbildung sichtbare Gassammelrohr *A* und bestimmt ihre Menge und Natur nach bekannten chemischen Methoden. — Man überzeugt sich bei diesem Auspumpen des Blutes leicht, daß die Gase um so schneller entweichen, je höher die Temperatur des Blutkolbens gehalten wird.

Bringt man eine Oxyhämoglobinlösung mit einem Sauerstoff enthaltenden



Blutgaspumpe.

Gasraume in Berührung, so wird der Effekt der Dissoziation beschränkt, um so mehr, je höher der Sauerstoffgehalt des Raumes, d. h. je höher der Partiardruck des Sauerstoffes ist. Für den durch Dissoziation abgespaltenen tritt neuer Sauerstoff an das Hämoglobin heran. Je reicher der Raum an Sauerstoff ist, d. h. je höher dessen Partiardruck, desto schneller wird jedes sauerstofffreie Hämoglobinmolekül wieder zu Oxyhämoglobin regeneriert, desto näher kommt also die Lösung dem Sauerstoffgehalt der stabilen Verbindung, natürlich ohne ihn je vollkommen erreichen zu können.

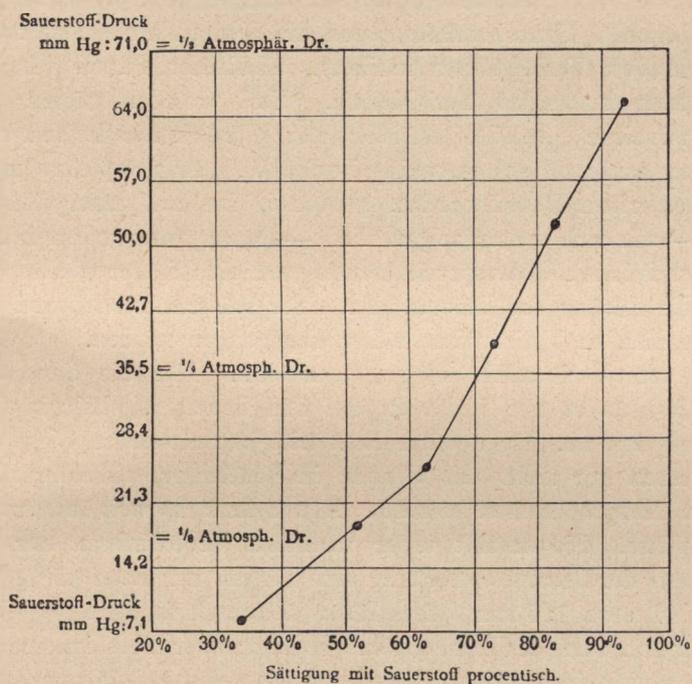
Die Beziehungen zwischen dem Sauerstoffgehalt des Bluthämoglobins und dem Sauerstoffdruck in einem mit ihm in Berührung stehenden Luftraum sind vielfältig untersucht worden. Von diesen Untersuchungen interessieren uns nur die bei der Temperatur des menschlichen Körpers ausgeführten. Sie haben ergeben, daß in Berührung mit einer reinen Sauerstoffatmosphäre der Blutfarbstoff über 99% des in der stabilen Verbindung enthaltenen Sauerstoffes aufnimmt. In Be-

rührung mit atmosphärischer Luft von 760 mm Druck, in welcher der Partiardruck des Sauerstoffes nur noch 150 mm*) beträgt, ist diese Menge nur noch 88%, d. h. 1.18 ccm Sauerstoff auf 1 g Hämoglobin. Das ist also die höchste Sauerstoffmenge, welche das Hämoglobin aus unserer Atmosphäre faktisch aufnehmen kann. — Wir wollen deshalb diese Zahl als Ausgangspunkt nehmen und mit ihr die Sauerstoffmengen vergleichen, welche das Hämoglobin bei niedrigerem Partiardruck zu binden vermag. Der Bequemlichkeit halber werden wir diese Zahlen in Prozenten der bei 150 mm Druck gebundenen Menge

*) Von dem Totaldrucke = 760 mm sind als Spannung des Wasserdampfes bei 37° C. 47 mm abzuziehen. Von dem restierenden Druck = 713 mm kommen 21% = 150 mm auf den Sauerstoff.

ausdrücken. Das Nähere ergibt das beistehende Diagramm, dessen Horizontale die eben definierte procentische Sättigung des Hämoglobins, dessen Senkrechte den zugehörigen Sauerstoffdruck angibt.

Aus dem Diagramm geht hervor, daß zunächst der Sauerstoffgehalt des Hämoglobins sehr langsam abnimmt. Bei einem Sauerstoffdruck von 71 mm Quecksilber, d. h. bei dem halben Druck unserer Atmosphäre werden noch über 92% derjenigen Menge aufgenommen, die bei vollem Atmosphärendruck aufnehmbar sind. Mit sinkendem Sauerstoffdruck wird dann die Sauerstoffabgabe des Hämoglobins immer umfänglicher. Bei 35,5 mm Sauerstoffdruck = $\frac{1}{4}$ Atmosphärendruck



Graphische Darstellung der Beziehung von Sauerstoffdruck zu Sauerstoffsättigung im Blute.

beträgt die Menge nicht mehr ganz 70% und bei $\frac{1}{8}$ Atmosphärendruck nur noch etwas mehr als 50%. —

Der Hämoglobingehalt des menschlichen Blutes wechselt zwar in recht weiten Grenzen, doch können wir als Mittel für Gesunde 14 g Hämoglobin auf 100 ccm Blut annehmen. Diese werden, dem eben Gesagten zufolge, $14 \times 1.18 = 16.5$ ccm Sauerstoff aufnehmen können. Zu dieser Menge käme nun noch die entsprechend dem Absorptionskoeffizienten im Blute gelöste. Dieselbe ist um etwa $\frac{1}{10}$ geringer als die vom gleichen Volum Wasser aufgenommene (Bohr) und beträgt etwa 0.4 ccm.

Bei $\frac{1}{2}$ Atmosphärendruck würden danach 100 ccm Blut noch $0.92 \times 16.5 + \frac{1}{2} 0.4$ ccm = 15.4 ccm, bei $\frac{1}{4}$ Atmosphärendruck noch 11.6 ccm enthalten.

Beim ersten Betrachten dieser Zahlen könnte es scheinen, daß die Bindung

des Sauerstoffes bei $\frac{1}{4}$, ja auch noch bei $\frac{1}{8}$ Atmosphäre eine so reichliche sei, daß ein Mangel an Sauerstoff nicht entstehen könne. Denn selbst bei $\frac{1}{8}$ Atmosphäre = 95 mm Barometerdruck ist immer noch die Hälfte des normalen Sauerstoffgehaltes am Hämoglobin vorhanden. Wir wissen nun durch mannigfache Versuche, daß während eines Blutumlaufes in den Geweben unseres Körpers nicht die Hälfte der in den Schlagadern vorhandenen Sauerstoffmenge verbraucht wird, sondern weniger.

Im Mittel enthalten 100 ccm des aus den Geweben abströmenden venösen Blutes 10.4 ccm Sauerstoff. Es werden also, da das zu den Geweben strömende arterielle Blut, wie vorstehend berechnet, 16.9 ccm enthält, 6.5 ccm während eines Kreislaufes verbraucht. Sonach müßte, wenn die Schlagadern selbst nur die Hälfte der unter normalen Verhältnissen in ihnen enthaltenen Sauerstoffmenge führten, immer noch etwas unbenutzt übrigbleiben. Und trotzdem treten schon beim Aufenthalt zwischen $\frac{1}{2}$ und $\frac{1}{3}$ Atmosphärendruck das Leben bedrohende Erscheinungen auf und schon weit oberhalb $\frac{1}{2}$ Atmosphäre machen sich bei vielen Menschen Beschwerden geltend, die auf mangelhafte Sauerstoffzufuhr — wie sich später zeigen wird — bezogen werden müssen.

Diesen scheinbaren Widerspruch konnte man sich früher nicht erklären. Wir kennen heute die Lösung des Rätsels. An einer späteren Stelle wird auf die hier in Betracht kommenden Verhältnisse näher eingegangen werden.

Hier sei zum Verständnis folgendes erwähnt. Für die Sauerstoffaufnahme in unser Blut kommt es nur indirekt auf den Sauerstoffgehalt in der uns umgebenden Atmosphäre an. Denn unser Blut tritt ja auf seinem Wege vom rechten zum linken Herzen gar nicht mit dieser in Berührung, vielmehr mit der Luft, die sich in den Lungenbläschen befindet. Diese Luft ist weit ärmer an Sauerstoff als die Atmosphäre. Sie enthält unter normalen Verhältnissen nur gegen 15% Sauerstoff, so daß der Sauerstoffdruck in den Lungen nur noch 15% von 713 mm beträgt, das sind etwa 105 mm Quecksilber. Dadurch ist eine Verminderung der Sauerstoffaufnahme seitens des Hämoglobins bedingt; aber diese ist eine so minimale, daß sie praktisch nicht ins Gewicht fällt. Bindet ja selbst bei 71 mm Sauerstoffdruck das Hämoglobin immer noch, wie erwähnt, über 92% der bei normalem Atmosphärendruck aufnehmbaren Sauerstoffmenge. Beim Aufenthalt in verdünnter Luft sinkt die Menge und damit der Druck des Sauerstoffs in der Lunge schnell auf niedrige Werte herab. Dabei finden sich jedoch erhebliche individuelle Unterschiede, so daß bei gleicher Luftverdünnung der Sauerstoffdruck in den Lungen bei dem einen viel niedriger liegen kann als bei einem anderen.

Das bedeutet aber, daß bei gleichem atmosphärischen Druck die Sauerstoffmenge, die das Hämoglobin an sich ketten kann, eine ganz verschiedene sein muß. Bei dem einen kann vielmehr Sauerstoff aufgenommen werden als bei einem zweiten! — Je mehr Sauerstoff aber ins Blut gelangt, um so größer ist der Widerstand gegen die Folgen der Luftverdünnung, um so mehr wird der Eintritt der als Bergkrankheit bekannten Beschwerden hinausgeschoben. — Wir haben also hiermit einen der Faktoren, die die individuell verschiedene Widerstandskraft gegen die Wirkungen der dünnen Luft erklären.

Über die Ursachen der individuellen Differenzen des Sauerstoffdrucks in den Lungen wird im Kapitel Atmungsmechanik eingehender berichtet werden.

Auch wir sechs, die wir uns für unsere Untersuchungen verbündet hatten, zeigen schon erhebliche Unterschiede des in den Lungen vorhandenen Sauerstoffdruckes bei gleicher Höhe, d. h. also in gleichem äußeren Luftdrucke.

Die nachstehende kleine Tabelle gibt die in Betracht kommenden Werte und zeigt zugleich, wie groß die Unterschiede des Sauerstoffdruckes in den Lungen und in der umgebenden Luft sind.

Sauerstoffdruck in der Lunge in verschiedener Höhe.

Ort	Höhe m	Barometer- druck mm Quecks.	Sauerstoff- druck der Luft mm Quecks.	Sauerstoffdruck in d. Lungenbläschen mm Quecks. bei:					
				Waldenburg	Kolmer	Caspari	Müller	Loewy	Zuntz
Berlin	54	758	157	105.7	101.0		105.0	103.4	104.0
Brienz	500	715	148	84.5	94.0	80.7	88.5	86.7	91.8
Brienzer Rothorn .	2130	585	121	68.5	66.6	64.3	62.0	66.7	71.9
Col d'Olen	2900	525	110	57.1			60.7	68.1	68.7
Monte Rosa-Spitze	4560	425	89		46.0	49.0	61.0	37.7	57.0

Während der Sauerstoffdruck der Luft auf dem Brienzer Rothorn in 2130 m Höhe 121 mm beträgt, liegt er in den Lungen nur noch zwischen 62 mm als niedrigstem Wert bei Müller und 72 mm als höchstem bei Zuntz. Auf Col d'Olen ist der Druck des Luftsauerstoffes 110 mm Quecksilber, der in der Lunge 57 bis 69 mm, und auf der Monte Rosa-Spitze schwankt letzterer zwischen 37.7 mm als Minimum (bei Loewy) und 61 mm als Maximum (bei Müller), während der Sauerstoffdruck der Atmosphäre noch 89 mm ausmacht.

Selbst auf der Monte Rosa-Spitze, auf der der Luftdruck längst noch nicht $\frac{1}{2}$ Atmosphäre beträgt, vielmehr annähernd noch $\frac{3}{5}$, hätte der Blutfarbstoff, wenn man einfach den herrschenden Luftdruck in Betracht zieht, noch ca. 92% derjenigen Sauerstoffmenge aufnehmen müssen, welche er bei vollem Atmosphärendruck aufnehmen konnte. Das zeigt ein Blick auf das vorstehende Diagramm. In Wahrheit dagegen war die Möglichkeit der Sauerstoffaufnahme wesentlich geringer; denn entsprechend dem in der Lunge herrschenden Sauerstoffdruck konnte Loewy z. B. mit 37.7 mm Sauerstoffdruck nur 72%, Kolmer mit 46 mm etwa 78% des normalen Sauerstoffquantums im Blute binden. — Müller allerdings vermochte (bei 61 mm Sauerstoffspannung in den Lungen) sein Blut noch zu 90% zu sättigen. —

Nachdem früher schon Untersuchungen über den Sauerstoffgehalt des Blutes bei Hunden, die sich in verdünnter Luft befanden, ausgeführt waren (Paul Bert,¹⁾ Fränkel und Geppert^{4a)}), aber zu differenten Ergebnissen geführt hatten, sind in den letzten Jahren Versuche an Hunden und Kaninchen über die Sauerstoffmenge im Blute beim Aufenthalte im Hochgebirge selbst ausgeführt worden. Sie stammen von Mosso und seinem Schüler Marro⁸⁾ und ergeben, daß beim Aufenthalt auf der Monte Rosa-Spitze die Abnahme des Blutsauerstoffes nachweisbar ist und den nach unserer Curve zu erwartenden Werten entspricht. Mossos Versuche zeigen aber weiter, daß die verminderte Aufnahme maskiert werden kann. — Bei

etwas längerem Aufenthalte fand Mosso sie nämlich gleich der im Tieflande. Das erklärt sich aus den im Kapitel VI besprochenen Regulationsvorgängen. Allmählich nimmt die Hämoglobinmenge beim Höhengaufenthalt zu, und damit muß die vom Blut aufnehmbare Sauerstoffmenge wachsen. Die von einem Kubikzentimeter Blut gebundene Sauerstoffmenge kann schließlich gleich der im Tieflande werden, während sie, auf gleiche Blutfarbstoffmengen bezogen, oben natürlich geringer bleibt als unten.

Nach den oben angeführten Zahlen und Auseinandersetzungen hätte man erwarten sollen, daß wir alle auf der Monte Rosa-Spitze noch frei von Beschwerden des Sauerstoffmangels gewesen wären. Denn bei keinem von uns führte das arterielle Blut so wenig Sauerstoff, daß er dem Verbrauch seitens der Gewebe nicht mehr genügt hätte, vielmehr mußte sogar das aus den Geweben in die Venen übertretende Blut noch Sauerstoff enthalten. Tatsächlich hatten wir aber alle mehr oder weniger ausgesprochene Krankheitserscheinungen, die, wie später ausführlich begründet werden soll, auf Sauerstoffmangel bezogen werden müssen. Dieser scheinbare Widerspruch erklärt sich, wenn man bedenkt, daß der mittlere Sauerstoffgehalt des Venenblutes aus einer Mischung von sauerstoffreicheren und sauerstoffärmeren Anteilen resultiert, die den verschiedenen Organen des Körpers entstammen. Es kann also sehr wohl in einzelnen Organen schon Sauerstoffmangel bestehen, wenn das Venenblut in seiner mittleren Zusammensetzung noch erhebliche Sauerstoffmengen enthält. Sicher nachgewiesen ist, daß das aus tätigen Muskeln ausströmende Blut erheblich sauerstoffärmer als der Durchschnitt ist, und daß bei einigermaßen angestrenzter Muskeltätigkeit sogar das gesamte Venenblut in seinem Sauerstoffgehalt erheblich reduziert wird. (Alexander Schmidt, Zuntz-Hagemann.)

Die vorstehend entwickelten Anschauungen stützen sich auf Untersuchungen von Paul Bert¹⁾, mehreren Schülern Pflügers, Loewy und Zuntz⁷⁾ und Chr. Bohr²⁾. Ihnen scheinen die Ergebnisse zahlreicher Versuchsreihen von Hüfner^{6a)} zu widerstreiten. Hüfner fand eine viel geringere Dissoziation des Oxyhämoglobins, so daß in seinen Versuchen selbst bei einem Sauerstoffdruck von nur 25 mm entsprechend 119 mm Barometerdruck das Hämoglobin noch zu 91% gesättigt war, und selbst noch bei 10 mm Sauerstoffdruck 80% Sauerstoff gebunden hielt.

Hieraus schloß Hüfner, daß auch auf den höchsten Berggipfeln der Erde und in den höchsten bis jetzt mit dem Luftballon erreichten Höhen es nicht die ungenügende Sauerstoffbindung ans Hämoglobin sein könne, welche das Leben bedrohe. — So kam Hüfner zu der Annahme, daß bei starken Luftverdünnungen der Sauerstoffmangel daher rühre, daß der Sauerstoff nicht schnell genug durch die Lungenwandung in das Blut übertreten könne. — Zum Verständnis der Vorgänge beim Übertritt von Gasen aus der Lunge ins Blut sei daran erinnert, daß der Luftraum der Lungenbläschen von den Blutkapillaren durch die Wand eben dieser Kapillaren und eine sie deckende zarte Zellschicht getrennt ist. Diese Scheidewand hat im ganzen eine Dicke von etwa 0.004 mm und wird durch ein wasserdurchtränktes Gewebe gebildet. Hüfner hat nun die Geschwindigkeit des Durchtritts von Gasen durch derartige wässerige Schichten untersucht. Er fand in Bestätigung älterer Befunde, daß sie dem Partiardruck des fraglichen Gases proportional geht. Bei aus reinem Wasser bestehender Scheidewand würde nach seinen Bestimmungen eine Partiardruckdifferenz von wenigen Millimetern ausreichen, um den erforderlichen Sauerstoff ins Blut zu schaffen. Hüfner nahm aber an, daß die Lungenkapillarwand, da sie ja neben Wasser noch feste Bestandteile enthält, dem Gasdurchtritt einen größeren Widerstand, den er auf das Zehnfache schätzt, biete. Wäre diese Annahme richtig, so würde in der Tat schon auf der Monte Rosa-Höhe der Sauerstoffdruck in der Lunge unzureichend werden,

dem Blute eine ausreichende Sauerstoffmenge zuzuführen. — Loewy und Zuntz konnten aber durch direkte Versuche an Froschlungen zeigen, daß das Lungengewebe dem Gasdurchtritt sogar einen noch geringeren Widerstand entgegengesetzt als reines Wasser.

Die Gasdiffusion durch die Lunge kommt also zur Erklärung der unzureichenden Sauerstoffversorgung des Blutes im Hochgebirge kaum in Betracht. — Andererseits ist heute auch genügend klargelegt, weshalb Hüfner die Dissoziation des Oxyhämoglobins soviel geringer als die obengenannten übrigen Autoren fand. Hüfner benutzte nämlich aus dem Blute rein dargestellten kristallisierten Blutfarbstoff. Die Reindarstellung führt aber zu einer Änderung seiner Eigenschaften, speziell seines Verhaltens zum Sauerstoff. Schon der Austritt des Oxyhämoglobins aus den Blutzellen führt zu einer Zunahme der Festigkeit seiner Sauerstoffbindung.

Das Verhalten der Kohlensäure und der Alkaleszenz des Blutes im Höhenklima. Eine gleich wichtige Rolle wie der Blutsauerstoff spielt die im Blute enthaltene Kohlensäure. Auch sie ist in ihm nicht nur physikalisch gelöst, vielmehr ebenso wie der Sauerstoff zugleich in lockerer, leicht trennbarer, also dissoziabler Verbindung enthalten. Während aber der Sauerstoff allein vom Hämoglobin gebunden wird, haftet die Kohlensäure an mehreren Blutbestandteilen: an dem Natron des Blutes in Form von kohlensaurem Natron, an Eiweißalkaliverbindungen der Blutflüssigkeit, an Eiweißstoffen der Blutzellen, und auch das Hämoglobin vermag Kohlensäure zu binden. Ihre Menge — ermittelt mit Hilfe der vorher beschriebenen Pumpe — beträgt im Blute der Schlagadern ca. 30 ccm in 100 ccm Blut, in den Blutadern ca. 35 ccm. Sie verhält sich umgekehrt wie der Sauerstoff, der in den Venen in geringerer Menge enthalten ist als in den Arterien. Beim Durchgange durch die Lunge verliert das Blut einen Teil seiner Kohlensäure; diese tritt durch die Wand der Blutkapillaren der Lunge hindurch in die Lungenbläschen und wird mit der Expirationsluft nach außen entleert. Dabei zeigt sich, daß der Umfang der Atmung, und besonders die Tiefe der Atemzüge von großer Bedeutung für die Menge der aus dem Blute abdunstenden Kohlensäure ist; je umfänglicher die Atmung, um so mehr Kohlensäure wird vom Blute abgegeben, um so mehr verarmt dasselbe an Kohlensäure. — Nun ist aber die Blutkohlensäure bei Körperruhe der wesentlichste Reiz für die der Atmung vorstehenden Nervenzellen und reguliert so durch Beeinflussung der Atmung selbst ihre Fortschaffung aus dem Körper. Durch viele, schnell hintereinander ausgeführte tiefe Atemzüge kann das Blut soviel Kohlensäure verlieren, daß die noch vorhandene nicht mehr ausreicht, die nervösen Zentralorgane der Atmung — die sog. Atemzentren — zur Tätigkeit anzuregen. Dann steht die Atmung für mehr oder weniger lange Zeit still (Apnoë). Es ist das eine Beobachtung, die jeder leicht an sich selbst machen kann.

Während für die Menge des Blutsauerstoffes sich eine gesetzmäßige Abhängigkeit vom Luftdruck ergeben hat, nämlich eine Abnahme mit sinkendem Luftdruck, kann ein solcher Zusammenhang für die Kohlensäure des im Körper kreisenden Blutes nicht bestehen.

Wir haben vorstehend eingehend erörtert, daß für die Absorption eines Gases in einer Flüssigkeit nur der Partiardruck des betreffenden Gases bestimmend ist. Nun aber hängt der Partiardruck der Kohlensäure in der Lungenluft allein von der ihr aus dem Blute zugeführten Kohlensäuremenge ab, da der Kohlensäuregehalt der eingeatmeten Luft (0.03 %) so gering ist, daß er keine Rolle spielen kann. — Es wird

daher der Kohlensäuredruck in den Lungenbläschen um so geringer sein, je größer die Luftmenge ist, auf welche die in den Lungen abgegebene Kohlensäure sich verteilt. Diese Luftmenge aber ist bedingt durch die Intensität der Atmung. Je mehr Luft ein- und ausgeatmet wird, um so niedriger muß die Kohlensäurespannung in den Lungenbläschen sein und, mit ihr sich ausgleichend, der Kohlensäuregehalt des Blutes.

Eine direkte Beziehung zwischen Barometerdruck und Kohlensäuredruck in den Lungen besteht also nicht. Findet man im Hochgebirge den Kohlensäuredruck in den Lungen erniedrigt, so geschieht dies, weil und soweit andere Momente die Atmung verstärken.

Solange die Bildung der Kohlensäure in den Geweben konstant bleibt, steigt und fällt, dem Kohlensäuredruck in den Lungen entsprechend, nach dem, was wir früher über dissoziabile Verbindungen gesagt haben, auch die Menge der Kohlensäure im Blute. Sie ist jedoch außerdem noch abhängig von der Menge der im Blute befindlichen, die Kohlensäure bindenden Substanzen, wie die Sauerstoffmenge von der Hämoglobinmenge abhängig ist.

Die Menge dieser Substanzen läßt sich einigermaßen durch Ermittlung des Säurebindungsvermögens des Blutes feststellen.

Dieses Säurebindungsvermögen prüft man mit Hilfe von sog. Farbstoffindikatoren. Benutzt man für solche Untersuchungen den ältesten und bekanntesten Indikator, das Lackmus, das durch Stoffe, die sauren Charakter haben, rot, durch Stoffe, die den Charakter von Laugen (Alkalien, Basen) haben, blau gefärbt wird, so findet man, daß Blut das Lackmus bläut. Blut hat also den Charakter einer Base. Den Grad der Basizität oder der Alkaleszenz, wie man sagt, kann man nach dem Vorgange von Zuntz und Loewy prüfen, wenn man feststellt, wieviel Säure einem bestimmten Quantum Blut hinzugefügt werden muß, um die alkalische Reaktion gerade aufzuheben, d. h. um blaues Lackmuspapier gerade schwach zu röten.

Für 100 ccm normalen Blutes ist zur Aufhebung der alkalischen Reaktion eine Säuremenge notwendig, die 350—450 mg Ätznatron entspricht. Das ist also der Alkaleszenzgrad des normalen Blutes.

Nun hat Galeotti⁵⁾ gelegentlich der letzten Expedition Mossos auf den Monte Rosa am Blut von Hunden, Kaninchen, Affen und Menschen Bestimmungen des Alkaleszenzgrades zunächst in Turin, dann in der Margherita-Hütte, in 4560 m Höhe, ausgeführt und gefunden, daß die Blutalkaleszenz oben um 36—47 % geringer war als unten.

Dieser Befund ist sehr wichtig. Er beweist, daß irgendwelche sauren Substanzen im Blute kreisten, die einen Teil des vorhandenen Alkalis mit Beschlag belegt, neutralisiert hatten.

Treten solche sauren Substanzen im Blut auf, so ist das immer ein Zeichen krankhafter Vorgänge, die sich im Körper abspielen. Diese Stoffe entstehen nicht im Blute selbst, werden vielmehr unter pathologischen Bedingungen in den Organen des Körpers erzeugt und treten aus ihnen ins Blut über. Hier verbinden sie sich mit einem Teil des vorhandenen Alkalis unter Verdrängung der Kohlensäure, die zuvor an diesem Alkali haftete. Die Kohlensäure wird frei, geht in die Lungen über und wird mit der Atmung aus dem Körper ausgeschieden.

Das Blut muß also an Kohlensäure verarmen.

Durch eine große Zahl von Untersuchungen ist dargetan worden, daß das Auftreten saurer Substanzen im Blute imstande ist, fast die gesamte Kohlensäure aus dem Blute auszutreiben und das Blut unfähig zu machen, Kohlensäure aufzunehmen. Bringt man Kaninchen dünne Säurelösungen in den Magen, oder spritzt sie Hunden in die Blutgefäße ein, so enthält danach das arterielle Blut anstatt seiner 30 % Kohlensäure unter Umständen nur noch 3—5 %. Dieser geringe Kohlensäuregehalt ist stets das Symptom einer schweren Erkrankung, die mit einer Reihe typischer Krankheitserscheinungen einhergeht und als Säurevergiftung bezeichnet wird. — Aber nicht nur Säuren selbst, sondern auch viele andere Gifte führen zu den Erscheinungen der Säurevergiftung. So Phosphor, Arsen, verschiedene Metalle, wie Eisen, Antimon u. a.

Ebenso wie bei der Einwirkung dieser Gifte bildet unser Körper bei einigen sog. Stoffwechselkrankheiten saure Stoffe, und es entwickelt sich dann das Bild der Säurevergiftung mit ihren bedrohlichen Erscheinungen.

Daß sehr hochgradiger Sauerstoffmangel eine krankhafte Säurebildung hervorruft, ist in Versuchen an Tieren schon vor längerer Zeit gezeigt worden. Es gelang sogar, die Säuren, die durch die Nieren aus dem Blut ausgeschieden wurden, im Harn direkt nachzuweisen. Es ergab sich, daß es sich um eine organische Säure, und zwar Milchsäure, handelte. Die Entdeckung Galeottis zeigt, daß es gar keines übermäßig hohen Sauerstoffmangels bedarf, um eine mäßige Säurevergiftung entstehen zu lassen.

Ihr Zustandekommen erklärt sich folgendermaßen. Beginnt der den Körperzellen zur Verfügung stehende Sauerstoff nicht mehr zur normalen Durchführung der Verbrennungsprozesse im Körper auszureichen, so kann das in Zerfall geratende Material nicht vollkommen verbrannt werden. Wie in einem schlecht ziehenden Ofen das Brennmaterial nicht bis zu seinen Endprodukten verbrannt wird, vielmehr abnorme, komplizierter zusammengesetzte, brenzliche Stoffe entstehen, so ist es auch in unserem Körper. Es bilden sich bei Sauerstoffmangel Substanzen, die nicht vollkommen verbrannt sind, Zwischenprodukte, die bei normaler Verbrennung weiter zerstört werden, hier aber bestehen bleiben und vor ihrer Ausscheidung aus dem Körper im Blute kreisen.

Wir sind schon auf eine Reihe chemischer Befunde eingegangen, die einen direkten Hinweis auf Störungen des Stoffumsatzes in über 4000 m Höhe geben und die die Schlüsse, welche wir aus der verminderten Blutalkaleszenz auf den Stoffwechsel gezogen haben, in schöner Weise zu stützen geeignet sind.

Die Alkaleszenzverminderung des Blutes, die Galeotti auf der Spitze des Monte Rosa gefunden hat, muß, wie erwähnt, mit einer Abnahme des Kohlensäuregehaltes des Blutes einhergehen. Mosso und sein Schüler Marro⁸⁾ haben an Hunden diese Tatsache direkt festgestellt. Sie bestimmten die Blutkohlensäuremenge zuerst in Turin, sodann auf der Monte Rosa-Spitze und fanden in der Tat eine, wenn auch nicht sehr erhebliche Herabsetzung in der Höhe.

Es ist nicht sicher zu sagen, wie weit ihr Ergebnis auf der Sauerstoff-

armut der Höhenluft beruht, und wie weit es auf eine auf dem Monte Rosa gesteigerte Atmung, die, wie Kapitel XI zeigen wird, meist zur Beobachtung kommt, zu beziehen ist. Denn daß verstärkte Atmung allein schon imstande ist, die Kohlensäure aus dem Blute auszutreiben, ist ja bereits erörtert worden.

Wir sehen also, daß im Hochgebirge aus zwei Gründen die Kohlensäure des Blutes vermindert sein kann, einerseits infolge der verstärkten Atmung, die bei fast allen an den Aufenthalt im Hochgebirge nicht gewöhnten Personen sich ausbildet, andererseits als Symptom der Säurebildung, die sich allmählich einstellt.

Das Verhalten der Kohlensäure des Blutes im Hochgebirge hat in den letzten Jahren zu lebhaften Diskussionen Anlaß gegeben. Mosso^{8a)} hat angenommen und durch Versuche zu begründen gesucht, daß die Höhe an sich Einfluß auf den Kohlensäuregehalt des Blutes habe. Er sollte sich mit zunehmender Höhe vermindern. Mosso hat die Beschwerden, die im Höhenklima einsetzen, mit dem Mangel an Kohlensäure im Blute in Zusammenhang gebracht und durch ihn zu erklären versucht. Er bezeichnet den Zustand abnorm geringen Kohlensäuregehaltes des Blutes als Akapnie (von *κάπνος*, der Rauch = Verbrennungsprodukt, also eigentlich Rauchlosigkeit) und sieht in ihr die Ursache der Bergkrankheit.

Die Mossosche Lehre hat in alpinistischen Kreisen viel Verbreitung gefunden. Es sind jedoch erhebliche Bedenken gegen ihre Richtigkeit und gegen die Stützen, die Mosso ihr zu verleihen gesucht hat, geäußert worden, und auch wir müssen uns diesen Bedenken anschließen.

Richtig ist nur die Tatsache, daß im Hochgebirge häufig eine Kohlensäureverminderung im Blute vorhanden ist. Aber einerseits besteht, wie schon hervorgehoben wurde, keine direkte Beziehung zwischen der Höhe und dem Kohlensäuregehalt des Blutes, andererseits ist ein ursächlicher Zusammenhang zwischen dem Mangel an Kohlensäure und den Symptomen der Bergkrankheit von Mosso nicht erwiesen. Wir werden im Kapitel XI vielmehr an Beispielen zeigen können, daß er nicht vorhanden ist.

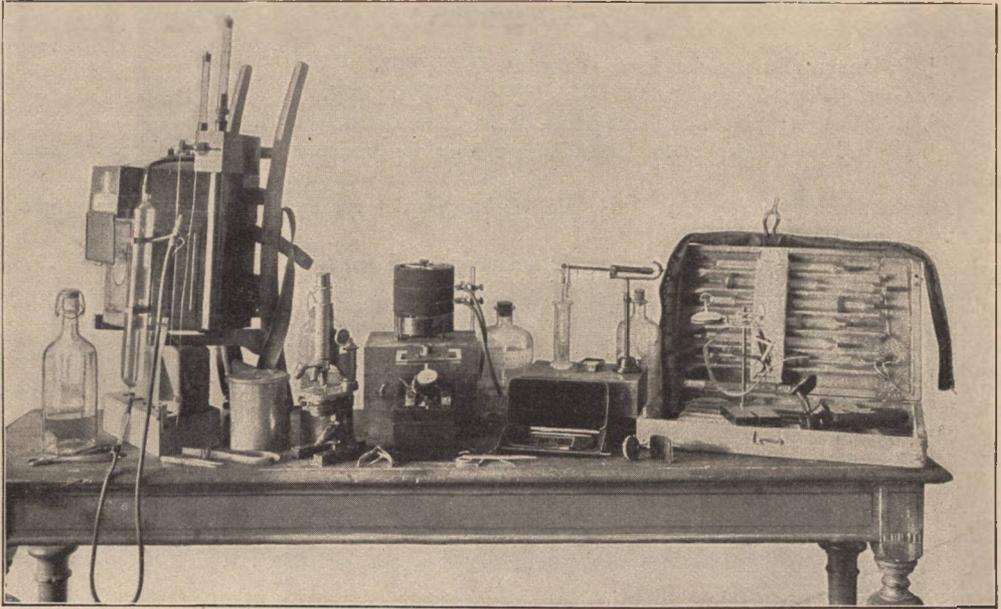
Da wir in den späteren Kapiteln noch häufig auf die Akapnie zu sprechen kommen, mag dieser Hinweis zunächst genügen. —

Wenn wir auf das zurückblicken, was uns die Untersuchungen des Blutes im Höhenklima gelehrt haben, so müssen wir gestehen, daß die gewonnenen Ergebnisse weit über den engen Rahmen dessen hinausreichen, was derartige Untersuchungen erwarten lassen können. Wir haben zunächst an einem Beispiel, so klar und durchsichtig, wie man es unter den komplizierten Verhältnissen des lebendigen Organismus sehr selten findet, feststellen können, auf welche Weise sich unser Körper zu helfen weiß, um ihn bedrohenden Schädigungen mit Erfolg zu begegnen. Wir sahen weiter, wie das Blut gewissermaßen einen Spiegel für krankhafte Veränderungen, die an den Lebensvorgängen der Körperzellen ablaufen, darstellt. Sein Verhalten weist uns auf weitere Forschungen über die Natur dieser Änderungen hin und gibt uns eine bestimmte Richtschnur für unser Vorgehen.

So sind die Untersuchungen des Blutes im Höhenklima der Ausgangspunkt für bedeutsame Erweiterungen unserer allgemeinen physiologischen Auffassungen geworden.

Literatur.

- 1) P. Bert: „La pression barométrique.“ Paris 1878.
 - 2) Chr. Bohr: Zentralblatt für Physiologie. XVII. 1904.
 - 3) R. Bunsen: „Gasometrische Methoden.“ Braunschweig 1877.
 - 4) Clausius: „Gesammelte Abhandlungen über die mechanische Wärmetheorie.“ Braunschweig 1867.
 - 4a) Fränkel u. Geppert: „Über die Wirkungen der verdünnten Luft auf den Organismus“. Berlin, Hirschwald.
 - 5) Galeotti: „Laboratoire scient. international du Mont Rosa. Travaux de l'année 1903.“ Turin 1904. S. 1.
 - 6) Hüfner: Archiv f. Anatomie u. Physiologie. Physiol. Abteilung 1897.
 - 6a) Hüfner: ebenda 1891.
 - 7) Loewy u. Zuntz: Archiv f. Anatomie u. Physiologie. Physiol. Abteilung 1904.
 - 8) A. Mosso u. G. Marro: Arch. ital. de biologie XLI. S. 357.
 - 8a) A. Mosso: Der Mensch auf den Hochalpen. Leipzig 1899.
 - 9) E. Pflüger: Pflügers Arch. f. d. gesamte Physiol. Bd. XV. S. 57.
-



Unser Instrumentarium.

Kapitel XI.

Die Atmungsmechanik im Hochgebirge.

Der Zweck, der durch die Atmung verwirklicht werden soll: die Abgabe der im Körper gebildeten Kohlensäure und die Aufnahme von Sauerstoff aus der Atmosphäre, wird durch besondere mechanische Vorgänge erreicht. Diese bestehen in Bewegungen, durch welche die Lungen einerseits erweitert, andererseits wieder verengert werden, und die man in ihrer Gesamtheit als Atmungsmechanik bezeichnet.

Bei den Einatmungsbewegungen wird unser Brustraum durch Muskelkraft erweitert, indem das sich kontrahierende Zwerchfell nach unten tritt und gleichzeitig die vordere Wand des Brustkorbes gehoben wird, bei den Ausatmungsbewegungen kehren Zwerchfell und Brustkorb wieder in ihre Ruhelage zurück. Die Lungen sind elastische Säcke, welche dem Brustkorb luftdicht eingefügt sind, so daß ihre Oberfläche dessen Innenwand überall anliegt. Sie folgen daher allen Volumveränderungen des Brustraums, erweitern sich bei der Einatmung, verkleinern sich bei der Ausatmung und wirken dabei wie ein Blasebalg: Bei der Erweiterung tritt Luft von außen in sie ein, bei der Verkleinerung wird ein Teil der sie füllenden Luft, die inzwischen einen Teil ihres Sauerstoffs an das Blut abgegeben und sich mit Kohlensäure beladen hat, aus ihnen ausgetrieben.

Das ist das allgemeine Schema, nach dem der Atmungsvorgang verläuft. Verfolgt man ihn im einzelnen etwas genauer, so hat man folgende Faktoren in Be-

tracht zu ziehen: die Frequenz der Atemzüge, die Tiefe des einzelnen Atemzuges und die aus beiden resultierende, pro Minute geatmete Luftmenge, die sog. Atemgröße oder Ventilationsgröße. Alle diese Faktoren unterliegen nicht nur erheblichen individuellen Schwankungen, sondern wechseln auch bei der gleichen Person durch äußere Einflüsse oder innere Vorgänge in den weitesten Grenzen. Darum muß man gerade beim Studium der Atmung, um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, mit Sorgfalt darauf achten, daß alle störenden Einflüsse fernbleiben, daß insbesondere zur Feststellung der Atmung bei Körperruhe alle äußeren Eindrücke abgehalten werden und volle körperliche und auch geistige Ruhe herrscht.

Was zunächst die Atemfrequenz des ruhenden, erwachsenen Menschen betrifft, so liegt sie meist zwischen 12—20 pro Minute, bei wenigen unter 10 oder über 20. Die Atemtiefe ist bei einzelnen Personen zu 300 ccm, bei anderen zu 400 bis zu 800 ccm gefunden worden. Die tiefen Atemzüge gehen im allgemeinen mit geringer Atmungsfrequenz, die flachen mit hoher Frequenz einher, so daß das in der Minute geatmete Luftvolum, die Atemgröße, doch nur mäßige Differenzen aufweist. Sie beträgt ca. 4—6 l pro Minute. — Man bestimmt Atemfrequenz und Atemtiefe mittels der S. 164 ff. beschriebenen Gasuhr.

Beobachtet man einen ruhig atmenden Menschen genau, so kann man oft schon ohne weiteres erkennen, daß die einzelnen Atemzüge nicht ganz gleichmäßig aufeinanderfolgen, und daß sie nicht gleich tief sind. Letzteres lehrt die verschieden starke Ausdehnung, die Brust und Bauch bei der Einatmung erfahren. Beim wachenden Menschen sind diese Schwankungen nur wenig ausgeprägt, deutlicher beim schlafenden. Hier folgt häufig nach normalen ruhigen Atemzügen eine sich immer mehr vertiefende, oft schnarchende Atmung, die dann entweder plötzlich abbricht, um von flachen Atemzügen abgelöst zu werden, oder allmählich, wie sie entstand, auch wieder schwindet. Es ergibt sich also, daß die Form der Atmung, der Atmungstypus, ein wechselnder ist. Um ihn objektiv festzustellen, bedient man sich des in den Naturwissenschaften, speziell auch in der Physiologie, viel benutzten graphischen Verfahrens. Man läßt die Atemzüge sich selbst aufzeichnen und besitzt dann ein getreues und dauerndes Bild derselben.

Bei der graphischen Methode wird der aufzuzeichnende Bewegungsvorgang auf einen leichten Hebel übertragen, an dessen Spitze ein berußter Papierstreifen mit gleichmäßiger Geschwindigkeit vorbeigeführt wird. Der Papierstreifen wird gewöhnlich auf eine Trommel aufgespannt (vgl. Fig. 2, S. 306). Das die Trommel treibende Werk ist in dem die Unterlage der Trommel bildenden Gehäuse angebracht.

Für die Aufzeichnung der Atmungsbewegungen wendet man gewöhnlich die sog. „indirekte Übertragung“ an. Man benutzt dabei zwei metallene Kapseln, die mit einer Kautschukmembran verschlossen sind. Die eine Kapsel wird mit ihrer Membran auf der Brust oder dem Bauch durch unnachgiebige Schnüre befestigt. Sie steht mittels eines Gummischlauches mit der zweiten in Verbindung, deren nach oben gewendete Kautschukmembran den Schreibhebel trägt.

Dehnt sich nun die Brust oder der Bauch aus, so wird ein Druck auf die Membran der ersten Kapsel und damit auf die in ihr befindliche Luft ausgeübt, der Druck setzt sich durch den Kautschukschlauch hindurch auf die Luft in der zweiten Kapsel fort und wölbt hier die Membran nach außen vor. Dadurch wird der Hebel gehoben und verzeichnet auf der Trommel eine nach oben gerichtete Linie. Sinkt Brust oder Bauch wieder ein, so schreibt der Hebel eine absinkende Linie.

Anstatt der auf der Brust zu befestigenden Kapsel haben wir uns eines langen Gummischlauches bedient, der, auf Leder montiert, einen Atmungsgürtel darstellt, wie ihn die Figur 2 wiedergibt. Die Atmung wirkt auf ihn genau in gleicher Weise wie auf eine Kapsel. Einzelne Autoren bedienen sich einer Einrichtung, bei der im Gegensatz zu der unsrigen der Hebel bei der Ausatmung gehoben wird, bei der Einatmung herabsinkt (vgl. Fig. 3, S. 330).

Wir werden sehen, daß die Form der Atmung im Höhenklima nicht unbeeinflußt bleibt, daß ihre Änderungen vielmehr sehr interessante und wertvolle Einblicke in das Verhalten des Zentralnervensystems gestatten.

Wenn unsere Atmung ununterbrochen abläuft, so müssen ursächliche Momente vorhanden sein, durch die die Atmungsmuskeln dauernd zur Tätigkeit angeregt werden.

Solcher „Atmungsreize“ gibt es eine große Zahl. Sie wirken nicht direkt auf die Atmungsmuskeln, vielmehr auf das Zentralnervensystem und hier wieder auf eine bestimmte Stelle, von der aus der ganze Atmungsvorgang beherrscht

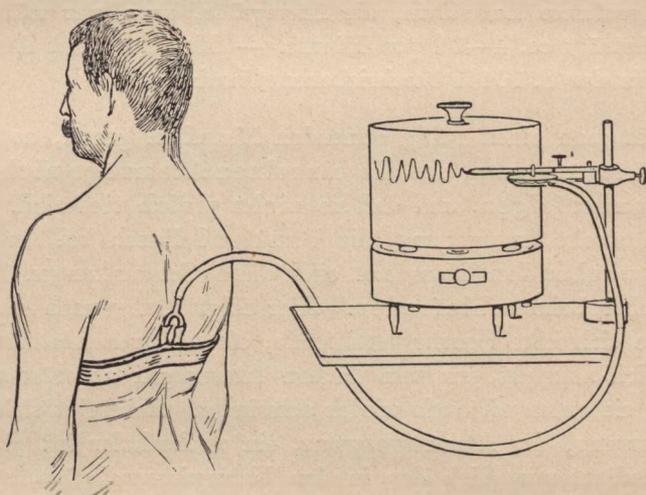


Fig. 2. Unser Apparat zur Registrierung der Atembewegungen.

und geregelt wird, auf das sog. Atmungszentrum. Es liegt im verlängerten Mark, dem Bindeglied zwischen Rückenmark und Hirn. Von hier gehen Nervenfasern zu untergeordneten Zentren im Rückenmark und von ihnen nervöse Bahnen zu den einzelnen Atmungsmuskeln. Werden diese Zentren vom Hauptzentrum abgetrennt oder zerstört, so gehen die Atembewegungen der nicht direkt von ihnen beherrschten Muskeln weiter. Eine Zerstörung des Atemzentrums im verlängerten Mark führt dagegen unmittelbar zum Atemstillstand und zum Tode.

Die Anregung des Atemzentrums ist eine doppelte. Einerseits erfolgt sie auf nervösen Bahnen von anderen Teilen des Körpers her, andererseits in ihm selbst durch das seine Nervenzellen umspülende Blut. Die erste Art der Erregung nennt man reflektorisch, die letztere automatisch. Die automatische Anregung des Atemzentrums ist die wesentlichste. Auch wenn alle seine Verbindungen mit dem übrigen Zentralnervensystem gelöst sind und das Zentrum damit außer allem Kontakt mit Nerven steht, welche von anderen Teilen des Körpers

her Reize zu ihm führen könnten, geht die Atmung, wenn auch in der Form verändert, weiter.

Bei Körperruhe ist es ausschließlich das Verhalten der Gase des durch das Atemzentrum strömenden Blutes, das unsere Atmung anregt und in ihrem Umfange regelt. Insbesondere ist der Gehalt an Kohlensäure für den Ablauf der Atmung maßgebend; wächst er, so wird sie verstärkt, nimmt er ab, so wird sie eingeschränkt. Der Sauerstoff wirkt als solcher nicht unmittelbar. Nur wenn das Blut daran in gewissem Maße verarmt, tritt gleichfalls eine Verstärkung der Atmung ein. Der Sauerstoffmangel wirkt also, wie man sich ausdrückt, reizend auf das Atemzentrum.

In Wirklichkeit ist aber, wie erwähnt, nicht der Mangel an Sauerstoff das erregende Moment, vielmehr werden bei beginnendem Sauerstoffmangel infolge des sich abnorm gestaltenden Stoffwechsels Substanzen gebildet, welche die Fähigkeit haben, das Atemzentrum zu verstärkter Tätigkeit zu reizen (Pflüger). — Wir werden im folgenden sehen, wie gerade im Hochgebirge die Atmung durch dieses Moment eine energische Steigerung erfährt.

Eingehende Untersuchungen von Zuntz und Geppert haben gezeigt, daß, sobald wir unsere Muskeln arbeiten lassen, die Blutgase nicht mehr die einzigen automatischen Atemreize bleiben. Es bilden sich bei der Muskelarbeit neue Reizstoffe. Bei dem intensiven Stoffverbrauch, der durch die Muskeltätigkeit hervorgerufen wird, entstehen noch nicht genauer gekannte Substanzen, die jedoch gleich wie die Kohlensäure saurer Natur zu sein scheinen. Diese Stoffe wirken mächtig auf die Atmung und können sie so energisch steigern, daß das Blut sogar an Kohlensäure ärmer wird als bei Körperruhe. Diese Atmungssteigerung bei Muskeltätigkeit hat eine doppelte Bedeutung. Durch sie wird nicht nur die Sauerstoffzufuhr zum Blute, sondern auch die des Blutes zu den tätigen und sauerstoffbedürftigen Geweben vermehrt. Denn die Steigerung der Atmung führt zugleich auch eine Beschleunigung des Blutkreislaufes herbei.

Wie können wir uns nun eine Vorstellung von dem Verhalten der Blutgase und damit von dem Umfange der Reize bilden, die das Atemzentrum infolge der Beschaffenheit des Blutes treffen?

Müßten wir dazu die Blutgase selbst analysieren, so würden wir von einer Untersuchung dieser Frage am Menschen Abstand nehmen müssen. Aber auf Grund der Erfahrungen, die wir in dem die Blutgase behandelnden Kapitel X besprochen haben, können wir auf indirektem Wege zu dem erwünschten Ziele gelangen.

Wir haben dort gesehen, daß die Spannung der Gase des Blutes sich in den Lungenbläschen ausgleicht mit der Spannung der in letzteren enthaltenen Gase. Das Blut, das aus der Lunge ins linke Herz und von ihm durch die Arterien zu den einzelnen Organen strömt, hat also eine Gasspannung, die der in den Lungenbläschen, oder wie man sie auch nennt, in den Lungenalveolen, gleich ist. — Man erhält also den nötigen Aufschluß über die Atemreize, wenn man die sog. alveolaren Gasspannungen ermittelt.

Die alveolare Sauerstoff- und Kohlensäurespannung wird aus der Sauerstoff- und Kohlensäurespannung der Expirationsluft berechnet. — Man könnte meinen, daß beide gleich sein müßten. Sie wären es, wenn alle eingeatmete Luft an der Atmung teilnähme, d. h. also

Sauerstoff abgäbe und Kohlensäure aufnahme. Dieser Prozeß geht aber nur in den Lungenbläschen selbst vor sich. Um zu diesen zu gelangen, muß die eingeatmete Luft durch die Mund- oder Nasenhöhle, durch Rachen, Kehlkopf und Luftröhre hindurchpassieren. Die letzten Anteile der Einatemungsluft bleiben nun in diesen Luftzuführungswegen zurück, sie gelangen nicht bis zur Lunge und nehmen demgemäß nicht an der Atmung teil. Sie behalten also nahezu ihre der atmosphärischen Luft entsprechende Zusammensetzung. Loewy hat den Raum, den dieser Anteil einnimmt, als „schädlichen Luftraum“ bezeichnet und ihn experimentell zu ca. 140 ccm ermittelt.

Bei der Ausatmung mischt sich die Lungenluft mit diesen 140 ccm, sie verdünnt sich gewissermaßen, wird an Sauerstoff reicher und an Kohlensäure ärmer. Kennt man die Tiefe eines Atemzuges und seinen Gehalt an Sauerstoff und Kohlensäure, so läßt sich sehr einfach auch Sauerstoff- und Kohlensäuregehalt der Lungenalveolarluft und daraus ihre Spannung berechnen. *)

Je größer der Atemzug, um so mehr tritt natürlich der schädliche Raum mit seinen 140 ccm gegen den in die Lunge selbst gelangten Anteil zurück, um so mehr muß die Lungenluft sich der Ausatemungsluft in ihrer Zusammensetzung annähern.

A. Mosso hat die Bedeutung des schädlichen Luftraums geleugnet. Er glaubt, daß die Lungenluft durch die Luft im Kehlkopf und Rachen hindurchtrete, ohne sich mit ihr zu mischen. Wäre das der Fall, so müßten die verschiedenen Anteile eines Atemzuges, die zuerst und die zuletzt ausgeatmeten, gleiche Zusammensetzung zeigen. Das ist nun, wie Loewy beweisen konnte, nicht der Fall. Die ersten Anteile sind zwar immer schon reich an Kohlensäure, aber sie enthalten doch weniger davon als die letzten. Das konnte auch Mosso bestätigen. Er fing zunächst den bei ruhiger Atmung entleerten Anteil eines Atemzuges bei einem seiner Begleiter, Dr. Aggazzotti, gesondert auf und ließ alsdann den Rest der Atemluft durch eine kräftige Ausatmung herauspressen. Letzterer Anteil war stets reicher an Kohlensäure. Damit ist eigentlich die Bedeutung des schädlichen Raumes auch durch Mosso erwiesen. Mosso beabsichtigte nun aber durch diesen Versuch die Zusammensetzung der Lungenluft direkt zu ermitteln, indem er annahm, daß der letzte Anteil des Atemzuges genau die Zusammensetzung der Luft in der Lunge, der er ja entstammt, anzeige. Hier macht sich indes das Bedenken geltend, daß der Gasaustausch während der Zeit, die die Ausatmung erfordert, weitergeht, also die Luft sauerstoffärmer und kohlenstoffreicher wird. Der zuletzt ausgeatmete Anteil ist daher anders zusammengesetzt als die Alveolenluft bei normaler ruhiger Atmung. Für diese gibt die oben ausgeführte rechnerische Ermittlung zutreffendere Werte.

Wenn auch die wesentliche Regulierung unserer Atmung eine automatische ist, so kann der Respirationsverlauf doch in erheblichem Maße reflektorisch beeinflußt werden durch Reize, die dem Atemzentrum von den verschiedensten Stellen unseres Körpers durch Nervenbahnen zugeleitet werden. Gerade in dieser Richtung ist das Höhenklima besonders wirksam, weil in ihm Reize enthalten sind, die in energischerem Maße als im Tiefland die Atmung reflektorisch anregen.

Als das für diese Reflexe bedeutungsvollste Organ ist die äußere Bedeckung unseres Körpers zu nennen. Schon bei leichter Berührung der Haut, mehr noch bei stärkerem Druck und bei Reizungen, die zu Schmerzempfindung führen, ändert sich die Atmung sehr erheblich. Sie wird ferner beeinflußt durch Hitze- oder Kältereiz.

Die Hautreize wirken aber nicht ausschließlich anregend. Man kann unter ihrer Einwirkung auch sekundenlange Hemmung der Atmung beobachten. Solche Hemmungswirkungen gehen in noch viel eklatanterer Weise von der durch den

*) Die Rechnung ist ausführlich mitgeteilt bei Loewy, Pflügers Arch. Bd. 58, S. 416.

fünften und zehnten Hirnnerven („Trigeminus“ und „Vagus“) versorgten Schleimhaut der Nase und der Luftwege aus. Alles was diese Schleimhäute reizt, hebt die Einatmung auf und führt zu einer Ausatmung, der eine mehr oder weniger lange Atempause bei Exspirationsstellung des Brustkorbes folgt. Ist der Reiz sehr heftig, so kann die Ausatmung mit explosionsartiger Kraft erfolgen in einer Form, die wir als Niesen oder Husten bezeichnen. Diese Funktion ist eine ausgesprochen zweckmäßige, denn die Unterbrechung der Einatmung gewährt den tieferen Atemwegen, speziell den Lungen, einen Schutz vor dem Eindringen reizender Stoffe und giftiger Gase. —

In ähnlichem Sinne kann man einen anderen Reflex auffassen, dessen Vermittler wiederum die genannten Nerven, Trigeminus und Vagus, sind, und dessen Effekt sich an der ringförmig die Luftröhrenzweige umgebenden Muskulatur äußert. Er ist besonders von J. Lazarus^{6a)} und von Einthoven^{3a)} studiert worden. Diese der Willkür entzogenen Muskeln stellen gewissermaßen eine zweite Etappe für den Schutz der Lungen gegen schädliche Angriffe von außen dar. Auf Reizungen der Nasenschleimhaut oder auch der Luftröhrenschleimhaut ziehen sie sich zusammen, bewirken dadurch eine Verengerung der Luftwege und erschweren den Luftzutritt zu den Lungenbläschen. Hierdurch kleben die Staubteilchen an der die Wand überziehenden Schleimschicht leichter fest, um mit dem Schleim nach außen entleert zu werden.

Es gibt nicht wenige Personen, bei denen die Schleimhäute der Luftwege übermäßig empfindlich sind. Bei ihnen geraten die Luftröhrenmuskeln schon in einen Zustand kräftiger Zusammenziehung, wenn die Einatemluft nur geringe, im übrigen unschädliche Beimengungen enthält. Die Folge ist erschwerter Luftzutritt zur Lunge und damit Atemnot, die sich bis zu heftigen asthmatischen Anfällen steigern kann.

Bei diesen Personen vermag nun das Höhenklima günstig zu wirken durch seine in Kapitel II hervorgehobene Staub- und Keimfreiheit. Atemnot und asthmatische Beschwerden lassen nach und schwinden, da eben das Höhenklima wenig oder nichts von dem enthält, was die Ringmuskeln der Bronchien zur Zusammenziehung reizen könnte. Aber auch der Gesunde empfindet den wohlthätigen Einfluß der Reinheit der Höhenluft: das leichte, freie Atmen in den Bergen ist als der subjektiv wahrnehmbare Ausdruck dieser Wirkung zu betrachten.

Hat das Höhenklima so einen, man könnte sagen, indirekten Einfluß auf die Atmung, so sind ihm in der niederen Temperatur, der starken Luftbewegung und der ihm eigentümlichen intensiven Bestrahlung, Momente gegeben, die von Haut und Auge aus direkt energisch die Atmung erregen können.

Denn auch unsere höheren Sinnesorgane — Ohr und Auge — sind Stätten, von denen aus Atemfrequenz und Tiefe geändert werden. Lauter Schall und grelles Licht führen reflektorische Erregungen zum Atemzentrum, die dessen Tätigkeit beeinflussen.

Der vorstehende kurze Überblick erschien uns geboten, um das Verständnis der eigentümlichen Wirkungen, die das Höhenklima auf die Atmung ausübt, zu erleichtern.

Frequenz und Tiefe der Atmung im Hochgebirge. Am einfachsten zu beobachten sind die Veränderungen der Atmungsfrequenz. Sie ist der labilste Faktor der Atmungstätigkeit, und kann schon durch Anwendung eines Mundstückes oder auch einer Maske verändert werden.

Es hat sich nun gezeigt, daß der Übergang in eine größere Höhe die Atmungsfrequenz ändert, und zwar im Sinne einer Zunahme. Bei längerem Aufenthalt kehrt die Frequenz allmählich wieder zu den im Tieflande beobachteten Werten zurück.

So fand Mermod¹¹⁾ in Straßburg (142 m Höhe), in Erlangen (343 m), in Lausanne (614 m) und in St. Croix (1100 m), wo er sich stets mehrere Monate aufhielt, schließlich keine Differenzen mehr. H. Weber sah bei 30 Personen, die 2 bis 20 Wochen im Hochlande verweilten, einen Anstieg der Atemfrequenz in 82% der Fälle, in 6% eine Abnahme.

Sehr gut wird die Zunahme der Atmungsfrequenz beim Übergang in die Höhe und ihr Wiederabsinken bei längerem Aufenthalt durch Beobachtungen illustriert, die 1896 gemacht wurden. Es betrug die Atemfrequenz pro Minute bei:

	A. Loewy	J. Loewy	Leo Zuntz
In Berlin (31 m Höhe)	13—14	9—10	10
In der Capanna Gnifetti (3620 m):			
am 17. August	16	12	—
„ 19. „	15	—	17
„ 20. „	14	—	14

Die Atmung wurde frühmorgens gleich nach dem Erwachen bei vollkommener Ruhe im Bett gezählt.

Etwas ungleichartiger stellt sich die Wirkung der Höhe, wenn man die Frequenz bei Anstellung von Atmungsversuchen zählt. Die Mehrzahl der untersuchten Individuen — und ihre Zahl ist im Laufe der Jahre eine verhältnismäßig beträchtliche geworden — zeigt zwar auch eine Steigerung, aber daneben findet sich doch nicht selten eine Konstanz oder sogar eine Abnahme.

Die Veränderungen der Atemfrequenz halten sich immer in engen Grenzen, die Zunahmen betragen 2—5, die Abnahmen 1—3 Atemzüge pro Minute.

Wir wollen davon absehen, hier das gesamte Beobachtungsmaterial mitzuteilen; es findet sich in Versuchen, die Marcet auf der Insel Teneriffa im Jahre 1878 angestellt hat, wobei die Höhendifferenzen zwischen dem Meeresniveau und 3580 m schwankten, ferner in Versuchen von Veraguth, der bis 1800 m (St. Moritz) aufstieg, in Versuchen von Mosso, der auf der Spitze des Monte Rosa zählte (4560), von Schumburg-Zuntz, die am Nordabhang des Monte Rosa von Zermatt aus bis ca. 4000 m hinaufkamen, und von A. und J. Loewy und Leo Zuntz, die südlich am Monte Rosa bis 3620 m (Gnifetti-Hütte) emporstiegen.

In Mossos Versuchen sowohl wie auf unserer damaligen Expedition handelt es sich um Beobachtungen an einer größeren Zahl von Personen, und in beiden treten individuelle Unterschiede der Höhenwirkung besonders gut zutage.

Die Mossoschen Ergebnisse finden sich auf der folgenden Tabelle 1 zusammengestellt. Zu ihnen ist zu bemerken, daß die ersten fünf auf ihr verzeichneten Personen vom Aostatal langsam in die Höhe stiegen. Sie schlugen an verschiedenen Zwischenstationen ihr Lager auf und kamen so jede Woche nur 1000 m höher. Die beiden letzten stiegen von Turin direkt zum Gipfel. Sie allein zeigen

auf dem Monte Rosa eine Abnahme der Atemzahl. Bei den ersteren tritt mit Ausnahme eines ein Ansteigen der Atemfrequenz ein. — Mosso, Bizzozzero und Sarteur hatten schon Hochtouren gemacht, die übrigen nicht.

Tabelle 1.
Mossos Versuche.

Versuchsperson	Ort	Atmungs- frequenz pro Min.	Atmungs- tiefe ccm
U. Mosso . .	Gressoney (1627 m)	12	578*)
	Margherita-Hütte (4560 m) . .	13	660
B. Bizzozzero	Gressoney	11	808
	Margherita-Hütte	15	611
Camozzi . .	Gressoney	8	587
	Margherita-Hütte	9	883
Sarteur . .	Gressoney	10	562
	Margherita-Hütte	10	582
Solferino . .	Gressoney	10	641
	Margherita-Hütte	14	390
Chamois . .	Turin	18.5	428
	Margherita-Hütte	15.5	585
Oberhoffer .	Turin	20	445
	Margherita-Hütte	19	483

Ähnliche Verschiedenheiten weisen nun, wie gesagt, unsere eigenen Versuche auf.

Tabelle 2.
Eigene Versuche.

Ort	Waldenburg		Kolmer		Caspari		Müller		Loewy		Zuntz	
	Fre- quenz pro Min.	Tiefe ccm										
Berlin . . .	10	566	17.2	382	14.5	401	13.0	447	11.5	438		
Brienz . . .	7.5	646	14.7	432	13.2	363	9.9	502	11.6	394	7.3	648
Rothorn . .	7.6	690	16.0	412	15.5	365	13.0	420	13.6	246	7.0	782
Col d'Olen	8.2	723					9.7	585				
Monte Rosa	6.0	885	18.0	462	12.1	699	8.2	1079	15.7	399	6.0	1495

Eine regelmäßige Steigerung der Frequenz von Brienz zum Monte Rosa-Gipfel findet sich nur bei Kolmer und Loewy, im Gegensatz dazu ein Absinken bei Zuntz. Bei Waldenburg macht sich ein Sinken der Frequenz auf der Monte Rosa-Spitze geltend, ebenso bei Müller und Caspari, die auf dem Rothorn eine deutliche Steigerung gegenüber Brienz erkennen lassen. Also auch in

*) In Mossos Buch steht Seite 467 die falsche Zahl 758.

unseren Versuchen überwiegt die erregende Wirkung des Höhenklimas auf die Atemfrequenz. Woher die gefundenen individuellen Unterschiede stammen, ist nicht sicher zu sagen. Von Waldenburg abgesehen, hatten wir alle bereits häufig Hochtouren unternommen, die uns gegen 4000 m führten, das Training auf unserer Expedition selbst war für alle das gleiche gewesen. Altersunterschiede können auch nicht gut in Frage kommen, da gerade das älteste und jüngste Mitglied, Zuntz und Waldenburg, sich gleich und von den anderen abweichend verhalten.

Es besagt nicht viel und ist eigentlich nur eine Umschreibung der Tatsachen und ein Eingeständnis unserer Unkenntnis, wenn wir zu dem Schluß kommen, daß mit Bezug auf die Atemfrequenz die Erregbarkeit verschiedener Naturen gegen die Klimareize der Höhe eine verschiedene ist.

Auch die Atemtiefe ändert sich mit der Höhe und wiederum bei den einzelnen Personen in ganz verschiedener Weise. Aber es ist interessant, daß ein deutlicher Gegensatz zwischen Atemfrequenz und Tiefe besteht. Sowohl in Mossos wie in unseren Versuchen ist bei denen, die eine Verminderung der Frequenz zeigen, meist die Tiefe vermehrt, und wo die Frequenz gesteigert ist, die Atemtiefe oft verringert. Bei Mossos Versuchspersonen macht nur der Soldat Camozzi eine Ausnahme, bei uns Waldenburg auf Col d'Olen und Kolmer und Loewy auf dem Monte Rosa-Gipfel.

Die Atemgröße bei Körperruhe. Atemfrequenz und Atemtiefe bedingen nun im Verein miteinander denjenigen Faktor, dem die wesentlichste Bedeutung im Atmungsmechanismus zukommt, nämlich die Ventilationsgröße pro Minute. Sie ist darum so wesentlich, weil von ihr die Sauerstoffversorgung des Körpers in erster Linie abhängt. Im Gegensatz zur Atemfrequenz und -tiefe erweist sich das pro Minute geatmete Luftvolum im Höhenklima in eindeutiger Weise gegenüber dem Tieflande geändert: Es ist fast stets gesteigert. — Allerdings zeigt sich auch hier, daß die Höhenlage, in welcher die Steigerung des Atemvolums einsetzt, eine individuell verschiedene ist, und daß auch der Umfang der Steigerung bei gleicher Höhe von Person zu Person wechselt.

Eine scheinbare Ausnahme machen nur die Untersuchungen von Jaquet und Stähelin. In diesen war das Atemvolum nicht gesteigert. Aber sie stiegen nur zu 1600 m Höhe auf. Es ist anzunehmen, daß beim Anstieg zu bedeutenderen Höhen eine Atemsteigerung wohl auch an ihnen hervorgetreten wäre.

Daß eine Höhe von 1600 m bereits anregende Wirkung hervorzurufen vermag, ergibt sich aus Versuchen von Zuntz und Schumburg. Ihr Atemvolum pro Minute betrug in Berlin: bei Zuntz 4.99 l, bei Schumburg 5.56 l, in Zermatt dagegen bei ersterem 5.45 l, bei letzterem 6.36 l. — Ähnliches zeigen die Ergebnisse Veraguths. In Zürich (459 m) atmete dieser in 5 Minuten 26.3 l, in St. Moritz (1800 m) bald nach dem Aufstieg 34.4 l, nach vierzehntägigem Aufenthalt 28.8 l; in Parpan (1505 m), wohin er sich von St. Moritz begab, 27.7 l, und nach der Rückkehr nach Zürich, wie im Beginne, 26.6 l. Ja, schon in 1100 m Höhe kann die steigernde Wirkung angedeutet sein, so in Versuchen von Mermod. Alle übrigen Untersuchungen erstrecken sich bis zu Höhen über 2000 m; hier werden die Wirkungen augenfälliger.

Wir wollen in zwei Tabellen eine Übersicht aller in Betracht kommenden Werte geben. Die folgende Tabelle 3 enthält die auf unserer Expedition gewonnenen Zahlen, die Anhangstabelle XXVI alle übrigen in der Literatur vorliegenden.

Tabelle 3.
Verhalten der Lungenventilation im Höhenklima.

	Waldenburg			Kölner			Caspari			Müller			Loewy			Zuntz		
	Atemgröße un-reduziert	Prozent Zunahme des Atemvolums	reduziert	Atemgröße un-reduziert	Prozent Zunahme des Atemvolums	reduziert	Atemgröße un-reduziert	Prozent Zunahme des Atemvolums	reduziert	Atemgröße un-reduziert	Prozent Zunahme des Atemvolums	reduziert	Atemgröße un-reduziert	Prozent Zunahme des Atemvolums	reduziert	Atemgröße un-reduziert	Prozent Zunahme des Atemvolums	reduziert
Berlin:																		
Barom.: 738 mm	5662.5	5148.0		6570.7	6008.9		5812.5	5182.5		5801	5343		5041.3	4466.9		4877	4460	
Höhe: 54 m										1903								
Brienz:										5923	5189							
Barom.: 715 mm	4847.8	4035.9		6352.9	6038.3		4808.7	4132.3		4970.4	4275.6		4573.3	3945.1		4724.5	4117.5	
Höhe: 500 m																		
Brienz Rothorn:																		
Barom.: 590 mm	5243.6	3766.3	8.17	6584.9	4714.9	3.65	5659.5	4075.9	17.70	5465.5	3916.2	9.96	5256.0	3761.2	14.94	5473.7	3926.1	15.86
Höhe: 2150 m																		
Col d'Olen:																		
Barom.: 525 mm	5961.2	3922.4	22.98							5675.3	3715.3	14.19						
Höhe: 2900 m																		
Monte Rosa:																		
Barom.: 425 mm	5308.3	2846.8	9.51	8323.2	4462.6	32.58	8466.5	4563.5	76.08	8919.9	4815.0	63.36	6269.8	3386.7	37.09	8431.2	4608.6	78.47
Höhe: 4560 m																		

Es handelt sich um ein ganz stattliches Material, da in beiden Tabellen zusammen über die Wirkung auf 19 Personen berichtet wird. Mit den schon genannten, Mermod, Veraguth und Jaquet, würden also im ganzen 22 Personen bis jetzt im Höhenklima untersucht sein.

Betrachten wir zunächst Anhangstabelle XXVI mit ihren 15 Personen.

Von allen hat allein der Soldat Solferino auf der Gnifetti-Spitze ein geringeres Atemvolum als in Gressoney. Alle übrigen 14 Personen atmen energischer in der Höhe als in der Tiefe. Ja, mit wenigen Ausnahmen zeigt sich in denjenigen Versuchsreihen, in denen in mehreren verschiedenen Höhen das Atemvolum bestimmt wurde, daß ein mit der Höhe stetig zunehmendes Anwachsen stattfindet.

Eine Ausnahme in dieser Beziehung macht Marcets Führer, Cupelin, der in 2161 m Höhe unbedeutend weniger atmet als im Meeresniveau, eine scheinbare auch J. Loewy, der auf Col d'Olen in 2800 m erheblich weniger als in Berlin atmet. Aber letzterer war bei den Berliner Versuchen noch nicht vollkommen mit dem Atmen an der Gasuhr vertraut, auch fanden diese Versuche im pneumatischen Kabinett statt, an dessen Enge man sich erst gewöhnen muß.

Die Ergebnisse unserer letzten Expedition, die auf Tabelle 3 vereinigt sind, sind dadurch etwas eigentümlich, daß bei der Mehrzahl der Teilnehmer das Atemvolum in Berlin abnorm hoch liegt. In Brienz (500 m Höhe) ist es erheblich niedriger, um nun mit dem Aufsteigen in die Höhe bei allen progredient zuzunehmen. Nur der eine Waldenburgsche Wert auf dem Monte Rosa bildet eine Ausnahme.

Unter den untersuchten 19 Personen sind alle Altersklassen vom 20. bis gegen das 60. Lebensjahr vertreten, kräftige Bergsoldaten und mit einem Übermaße körperlicher Kraft nicht gerade begabte Großstädter, Personen, die das Hochgebirge kennen, und solche, die es noch nie zuvor besucht hatten. Mustert man die Zahlen daraufhin, ob die eben genannten Momente einen Einfluß auf das Ergebnis haben, so drängt sich der Gedanke auf, daß ein häufiger Besuch des Hochgebirges ebenso wie ein längerer Aufenthalt in ihm eine Gewöhnung herbeiführt, derart, daß die Atmung weniger erregt wird. Dafür spricht die relativ geringe Steigerung, welche Mossos Bergsoldaten aufweisen, dafür auch das Ergebnis von Marcets Bergführer, Cupelin.

Stellt man die an Zuntz auf drei Expeditionen innerhalb acht Jahren, oder die an A. Loewy auf zweien mit einem Zwischenraum von fünf Jahren gewonnenen Zahlen zusammen, so findet man auch hier im Verhalten des Atemvolums Unterschiede zwischen den früheren und späteren Expeditionen angedeutet. Bei beiden, die zwischen diesen Expeditionen allerdings wiederholt das Hochgebirge besucht hatten, ist eine Art Gewöhnung zustande gekommen. Bei Loewy beträgt die Atemsteigerung auf der Monte Rosa-Spitze weniger als gelegentlich der vorhergehenden Expedition auf der 3600 m hoch gelegenen Gnifetti-Hütte und selbst als auf dem 2900 m hohen Col d'Olen. Bei Zuntz liegt das Atemvolum beim ersten Aufenthalt auf der Gnifetti-Spitze im Mittel um 800 ccm höher als beim zweiten (8431 ccm gegen 7613 ccm). Freilich kommt für Zuntz in Betracht, daß er sich 1903 vor Ersteigung der Spitze 6 Tage in Col d'Olen aufgehalten hatte.

A. Allgemeines Resultat können wir demnach den Satz aufstellen, daß das Höhenklima imstande ist, unsere Atmung anzuregen. Das geschieht bei der Mehrzahl der Individuen, soweit sie nicht Bergbewohner sind, wohl schon bei 1500 m Höhe, wird oberhalb 2500 m erheblich und tritt besonders hervor, wo die Beschwerden des Sauerstoffmangels einsetzen. — Gewöhnung an das Hochgebirge rückt die Grenze, bei der die Atmungssteigerung einsetzt, hinauf.

Jaquet hat auf Grund eines weniger umfassenden Beobachtungsmateriales die Anschauung ausgesprochen, daß bis zu einem Barometerdruck von 550 mm, entsprechend etwa 2500 m Höhe, die Atemmechanik keine Veränderungen aufweist, welche als typische Wirkung des Höhenklimas hingestellt werden könnten; dieser Auffassung können wir uns auf Grund des vorstehend zusammengestellten Zahlenmateriales nicht anschließen. Die klimatischen Reize des Höhenklimas setzen, wie es scheint, besonders bei denen, die an sie nicht gewöhnt sind, doch schon weit früher ein.

Die Atemgröße bei Körperarbeit. Wir haben bis jetzt allein von dem Luftvolumen gesprochen, das bei Körperruhe in der Minute geatmet wird. Wir wollen nun sehen, ob auch das Atemvolumen, welches von einer bestimmten Arbeitsleistung erfordert wird, sich mit der Höhe ändert.

Das Material zur Beantwortung dieser Frage geben uns die auf den Tabellen Nr. XVII—XXII des Anhangs vereinigten Zahlen an die Hand. — Ein Blick auf diese Werte zeigt zunächst, welcher kolossale Effekt die Muskelarbeit auf die Leistung der Atemmuskeln hat. An Stelle der 4—6 l Luft, die bei Körperruhe geatmet werden, sehen wir hier Volumina von über 30 l in Berlin und Brienz und über 40 l auf dem Monte Rosa. Da aber die Arbeitsleistungen nie einander gleich sind, lassen sich diese Werte nicht unmittelbar vergleichen. Dazu ist es notwendig, zu berechnen, wie groß die Luftmenge ist, die für je 1 mkg Steigarbeit gebraucht wird.

Zu diesem Zweck ziehen wir von den in Stab 6 der Anhangstabellen aufgeführten Atemvolumina bei Steigarbeit die Atemvolumina bei Körperruhe ab. Es bleibt die Luftmenge übrig, die der gesamten Marscharbeit zukommt. Diese setzt sich noch aus zwei Komponenten zusammen, der Vorwärtsbewegung des Körpers und seiner Hebung. Die der Vorwärtsbewegung zukommenden Luftmengen kennen wir auf Grund der Marschversuche auf horizontaler Bahn. Diese geben uns an, wieviel Luft für jeden Meter Weg geatmet wird, wir können demnach berechnen, wieviel Luft die in Stab 16 verzeichnete Vorwärtsbewegung während des Bergaufsteigens erfordert. Nach Abzug dieser bleibt dasjenige Luftvolumen übrig, das dem Emporsteigen entspricht. Wird dies durch die in Stab 18 aufgeführten Werte für die pro Minute geleistete Steigarbeit dividiert, so erhält man schließlich die Luftmenge für jedes um ein Meter gehobene Kilogramm.

So ist die folgende kleine Tabelle 4 berechnet.

Aus Tabelle 4 geht deutlich hervor, wie bei uns allen das 1 mkg Steigarbeit zukommende Atemvolumen mit der Höhe anwächst.

Bevor wir jedoch auf die Wirkung des Höhengaufenthaltes näher eingehen, wollen wir kurz die in Berlin selbst erhaltenen Werte miteinander vergleichen. Dabei zeigt sich nun, daß die Luftmengen, die pro Meterkilogramm Steigarbeit verwendet werden, individuell nicht unbeträchtlich schwanken. Loewy hat den niedrigsten Luftwechsel mit nur 15 ccm für jedes Meterkilogramm Arbeit, Caspari, Kolmer und Zuntz haben gegen 20 ccm und Müller und Waldenburg 25—26 ccm. Maximum und Minimum differieren also um ca. 66%. — Wenn man bedenkt, daß die Minutenarbeit im Mittel etwa 500 mkg ausmacht, so fallen diese Differenzen schon ins Gewicht; sie bedeuten, daß der eine größere Luftmenge Atmende für seine

Atmung mehr Energie aufwenden muß als der mit einer geringeren Luftmenge sich Begnügende. Allerdings wird dieser Nachteil des weniger ökonomischen Atmens dadurch wettgemacht, daß dabei die Sauerstoffzufuhr zur Lunge und durch die mit der Atmungsverstärkung einhergehende Beschleunigung der Blutzirkulation noch besonders die Sauerstoffversorgung der Gewebe sich günstiger gestalten und somit das Maximum der möglichen Arbeit erhöht wird.

Tabelle 4.
Atemvolumen für das Meterkilogramm Steigarbeit.

Ort	Höhe in m	ccm Atemluft erforderlich für jedes mkg Steigarbeit bei						Bemerkungen
		Walden- burg	Kolmer	Caspari	Müller	Loewy	Zuntz	
Berlin I . . .	} 54 {	26	19	19	25	15	—	Steigung 12.68°—18.24°
„ II . . .		—	—	—	25	—	20	
Brienz I . . .	} 500 {	27	28	27	34	33	22	bei Ankunft aus Berlin bei Rückkehr v. Rothorn
„ III . . .		—	22	—	25	35	—	
BrienzerRothorn	2150	29	28	34	38	43	48	
Col d'Olen . .	2900	41	—	—	36	—	—	
Punta Gnifetti .	4560	—	89	95	—	—	80	Steigung 22—29°

Wenn wir nun nach Feststellung dieser individuellen Eigentümlichkeiten, die sich schon in Berlin geltend machten, die Einwirkung der Höhe betrachten, so erkennen wir, daß — anders als in der Ruhe — bei Körperarbeit schon in Brienz eine deutliche Steigerung der Atemvolumina zutage tritt. Allerdings nicht ausnahmslos: Waldenburg, dessen Atemvolumen auch bei Körperruhe durch die Höhe nur wenig beeinflußt wurde, hat bis zum Rothorn hinauf kaum eine Steigerung. Aber bei allen übrigen ist sie vorhanden und zum Teil so erheblich, daß bei Loewy die Luftmenge pro Meterkilogramm Steigarbeit in Brienz schon über 100 % ansteigt. Mit Ausnahme von Kolmer steigt sie bei allen weiter auf dem Brienzer Rothorn, um auf dem Monte Rosa-Gipfel exzessive Werte zu erreichen. Sie übertrifft hier die Berliner Lungenventilationsgröße um das $4\frac{1}{2}$ - bis 5fache. — Dieses Ergebnis steht im Einklang mit unseren Untersuchungen aus dem Jahre 1896 und 1903.³⁾⁷⁾¹⁷⁾ Auch dort fanden wir, daß die Atemtätigkeit bei Muskelarbeit stärker erregt wird als im Tieflande.

Noch auf eine auffallende Beobachtung möchten wir hinweisen, die bei zweien von uns — bei Kolmer und Müller — gemacht werden konnte.

Bei beiden war, als sie, von Berlin kommend, in Brienz ihre Steigversuche ausführten, die Atmung deutlich erhöht. Als sie jedoch vom Brienzer Rothorn zurückkehrten und ihre weiteren Versuche in Brienz anstellten, war ihre Atemtätigkeit dabei ganz (Müller) oder nahezu (Kolmer) auf die Berliner Werte zurückgegangen. Das spricht dafür, daß beide sich an die Klimareize in Brienz unterdes gewöhnt hatten. Bei Loewy war ein solcher Rückgang nicht zu erkennen. — Besonders bemerkenswert ist, daß bei Kolmer und Müller der Stoffumsatz, die Körpertemperatur und die Pulsfrequenz (vgl. Kapitel VIII, XII u. XV) dasselbe eigentümliche Verhalten in der zweiten Brienzer Periode zeigen:

sie liegen niedriger als in der ersten Brienzer Periode und nähern sich den Berliner Werten!

Die Anpassung der Atemgröße an die Luftverdünnung. Um die Steigerung der Atmungstätigkeit festzustellen, haben wir die durch die Gasuhr an den verschiedenen Stationen geatmeten und von ihr angezeigten Luftmengen direkt miteinander verglichen. Nun enthalten aber in den verschiedenen Höhen gleiche Luftvolumina eine ganz verschiedene Luftmasse, die Menge der Gasmoleküle in einem Volum Luft nimmt ja mit der Höhe entsprechend der Luftverdünnung ab.

Um sich Kenntnis von der Luftmasse, d. h. der Zahl der eingeatmeten Gasmoleküle zu verschaffen, und um diese in der Höhe und im Tieflande vergleichen zu können, muß die Atemgröße, wie schon früher auseinandergesetzt, auf den sog. Normalzustand, d. h. auf gleichen Druck von 760 mm Quecksilber, auf 0° und auf Trockenheit reduziert werden.

Ein Blick auf die Anhangstabellen Nr. X—XXIII und die vorstehende Tabelle 3 lehrt, daß in der überwiegenden Zahl der Versuche die reduzierten Luftmengen in der Höhe geringer sind als im Tieflande. Unter der großen Zahl der untersuchten Personen finden wir nur an A. Loewy auf dessen erster Expedition eine Steigerung der reduzierten Atemgröße bei Körperruhe, sowohl auf Col d'Olen wie auf der Gnifetti-Hütte (3.58 l in Berlin zu 3.77 l und 3.71 l), ebenso bei Leo Zuntz in der Gnifetti-Hütte und auf der Monte Rosa-Spitze (4.36 l : 4.57 l : 5.70 l). — Auf letzterer liegt auch bei Mossos Bergsoldaten Camozzi das reduzierte Atemvolum höher als in Turin (3.83 l : 4.50 l), ebenso bei N. Zuntz gelegentlich dessen erster Monte Rosa-Besteigung (Anhangstabelle XV) (4.46 l : 4.6 l).

Die meist beobachteten Verminderungen der geatmeten Luftmasse bei Körperruhe in den verschiedenen Höhenstationen sind individuell wieder ganz verschieden. Bei der Mehrzahl der untersuchten Personen sind sie nur gering, bei wenigen ist die Versorgung mit Atemluft in der Höhe eine wesentlich verschlechterte. Letzteres ist besonders bei der Mehrzahl von Mossos Bergsoldaten der Fall. Und trotzdem vertrugen diese die Höhenluft besser als diejenigen, welche — wir verweisen nur auf die Mehrzahl der Teilnehmer unserer eigenen Expedition — infolge Steigerung ihrer Atmung fast dieselbe Luftmasse, oder auf der Monte Rosa-Spitze sogar eine noch höhere als in Brienz, ihren Lungen zuführten.

Das weist darauf hin, daß bei den die Höhe gewöhnten Soldaten andere Regulationseinrichtungen bestehen müssen, welche die Steigerung der Atmung überflüssig machen.

A. Mosso hat als erster im Jahre 1884 auf die Bedeutung der Tatsache hingewiesen, daß die reduzierte Luftmenge, die man im Hochgebirge einatmet, geringer ist, als die im Tieflande. Er hatte sie ermittelt gelegentlich einer Expedition auf den Theodulpaß (Matterjoch, 3333 m Höhe), die er von Turin aus unternommen hatte. Die geatmeten Luftmengen, welche — auf 1 m Druck und 0° reduziert — für eine halbe Stunde in Turin gegen 120 l betragen, waren auf dem Theodul auf etwa 95 l herabgesetzt. Mosso schloß, daß, wenn wir imstande sind, mit einer um soviel geringeren Luftmenge auszukommen, wir im Tieflande eigentlich über Bedarf atmen. Mosso nannte das „Luxusatmung“ und die Lehre von dieser Luxusatmung hat in der Physiologie der Atmung eine Rolle gespielt.

Aus dem von uns zusammengefaßten Zahlenmaterial geht nun hervor, daß dieser Luxus-

atmung eine allgemeine Gültigkeit nicht zukommt. Immerhin ist die Tatsache von Interesse, daß bei der Mehrzahl der Menschen eine Einrichtung besteht, die sie befähigt, auch für verschlechterte Bedingungen der Sauerstoffzufuhr gerüstet zu sein und trotz dieser ihren normalen Stoffumsatz zu behaupten. Die Tatsache, daß die Luftzufuhr im Tieflande reichlicher ist als für Körperruhe erforderlich, reiht sich vielen für andere Körperfunktionen bekannten an, die nicht den Zeiten des gewöhnlichen Bedarfs, sondern den Zeiten der Not angepaßt sind.

Im Vorstehenden ist wiederholt von dem Worte Gewöhnung Gebrauch gemacht worden, einfach um der Tatsache Ausdruck zu geben, daß der Übergang in neue Bedingungen, die in unserem Falle durch Höhengedächtnis und Training gegeben sind, Wirkungen auf die Lungenventilation hervorruft, welche trotz Fortdauer der neuen Bedingungen allmählich rückgängig werden. — Wir wollen versuchen, den sehr vagen Begriff mit einem bestimmteren Inhalt zu erfüllen.

Die Zunahme der Lungenventilation im Höhenklima ist ein sehr zweckmäßiger Regulationsvorgang; sie steigert unsere Widerstandskraft gegen den verminderten Sauerstoffgehalt der eingeatmeten Luft. Geht sie bei längerem Aufenthalte wieder zurück, so muß man schließen, daß sie nicht mehr notwendig ist, daß andere Regulationsmechanismen eingesetzt haben, die sie überflüssig machen. Solche liegen in den schon besprochenen Veränderungen des Blutes und wohl auch in einer zweckmäßigeren Regulation des Blutlaufes. Diese Anschauung wird dadurch gestützt, daß mit und trotz Rückgang der Lungenventilation das Befinden bei Körperruhe — wo es gestört war — sich bessert und die Leistungsfähigkeit sich hebt. So erklärt sich auch, daß Bergführer und Bergsoldaten in großen Höhen kräftig bleiben und nicht unter den Beschwerden des Sauerstoffmangels leiden, trotzdem ihre Atmung nicht oder jedenfalls weniger gesteigert ist als die der gelegentlichen Besucher des Hochgebirges.

Wir sind in der Lage, über die Atmung einiger in Ertragung hochgradiger Luftverdünnung besonders bewährter Menschen genaueres beibringen zu können.

Auf dem Monte Rosa-Gipfel untersuchten wir 1901 den mit Prof. Sella heraufgekommenen Bergführer Bianchetti, welcher ohne besondere Beschwerden mit Vittorio Sella den Elbrus (5650 m) bestiegen hatte. Seine Atemmechanik war auf dem Monte Rosa von der unsrigen kaum verschieden, er atmete 8 l pro Minute bei 14 Atemzügen. Im Verhältnis zu seinem mäßigen Sauerstoffverbrauch (249 ccm pro Minute) war seine Lungenventilation jedenfalls eine erhöhte. — Die höchste je von Menschen erreichte Höhe (10 800 m) ertrugen Berson und Süring bei ihrer Ballonfahrt am 31. Juli 1901, freilich unter Zuhilfenahme von Sauerstoffatmung. Auch diese beiden „Höhenmenschen“ durften wir wiederholt in bezug auf ihre Atmung untersuchen. Süring zeigt unter normalen Verhältnissen in Berlin eine der Ertragung großer Luftverdünnung vorzüglich angepaßte Atemmechanik. Er macht nur 5—6 Atemzüge pro Minute. Die Atemtiefe betrug im Mittel 1146 cm und erreichte bei einzelnen Atemzügen 1900 cm. Etwas anders Berson, dessen Atemmechanik sich der durchschnittlichen mehr nähert. Er macht ruhig sitzend 8—9, nach längerer Ruhe lesend nur 6 Atemzüge pro Minute bei 4.22 l Minutenvolumen. Die Atemtiefe übersteigt nicht 800 cm. — Auffallend ist, daß er auf der Höhe der Inspiration eine deutliche Pause macht, also länger als gewöhnlich seine Lunge

maximal gefüllt hält. Bei einem Versuche im pneumatischen Kabinett ertrug Berson trotz seiner scheinbar weniger günstigen Atemmechanik stärkere Luftverdünnung als Süring, ebenso war es Süring, der bei der genannten Hochfahrt zuerst das Bewußtsein verlor. —

Wir dürfen auch diese Tatsachen als Beweis dafür ansehen, daß zwar tiefes Atmen für die Ertragung großer Höhen wesentlich ist, daß aber andere Momente, speziell wohl die Güte der Blutversorgung der lebenswichtigsten Zentren, noch ausschlaggebender sind.

Die merkwürdige Tatsache, die wir an Kolmer und Müller fanden, daß nach Aufenthalt in größeren Höhen und nach längerem Training die vorher bemerkte Wirkung geringerer Höhe auf die Atemgröße nunmehr verschwunden war, wird uns so verständlich. Anderweitige Anpassungen an die Luft größerer Höhen konnten sich allmählich ausbilden, die Leistungsfähigkeit derart wachsen, daß für geringere Höhe das Bedürfnis einer Atmungssteigerung nicht mehr bestand.

Natürlich kann eine genügende Ausbildung zweckmäßiger Regulationsvorgänge nur innerhalb gewisser Grenzen stattfinden. Über eine gewisse Höhe hinaus werden sie versagen. H. v. Schrötter hat die Zone innerhalb welcher die Luftverdünnung so groß ist, daß eine zureichende Sauerstoffaufnahme ins Blut auf keine Weise möglich wird, als die der absoluten Anoxyhämie bezeichnet, die erstere als die relativer Anoxyhämie: hierbei kann der Organismus durch Ausgleichsvorgänge den Sauerstoffgehalt des Blutes genügend hochhalten.

So können wir verstehen, warum in sehr erheblichen Höhen ein Rückgang des gesteigerten Atemvolums nicht beobachtet wird. Hier ist die Grenze erreicht, wo die Atmungssteigerung auch in der Ruhe notwendig bleibt, um dem Blute genügend Sauerstoff zuzuführen und den Blutstrom ausreichend zu beschleunigen. Ein gutes Beispiel hierfür bieten die Erfahrungen an Durig und Zuntz (1903). Trotz dreiwöchigen Aufenthaltes auf der Monte Rosa-Spitze blieb das Atemvolum hoch, ja, es stieg sogar bei Zuntz von 6.8 auf 7.9 l, bei Durig von 7.5 auf 8.0 l. Beide fühlten sich subjektiv wohl, ihr Hirn erhielt also genügend Sauerstoff. Die durch Sauerstoffmangel erzeugten, die Atmung steigernden Reize entstammten anderen Organsystemen, deren ungenügende Sauerstoffversorgung den Gesamtorganismus nicht merklich schädigte.

Ein Konstantbleiben des Atemvolumens beim Aufstieg ist aber nicht immer ein günstiges Zeichen. Das sahen wir an Waldenburg, der in 4560 m Höhe keine Steigerung zeigte und dabei schwer unter der Bergkrankheit litt. Solche Fälle beruhen wohl auf Ermüdung oder Erschöpfung des Atemapparates. Einerseits kann vorangegangene Überanstrengung die Leistungsfähigkeit der Muskeln, andererseits mangelhafte Sauerstoffzufuhr die Erregbarkeit des Atemzentrums derart herabsetzen, daß die vorhandenen Atemreize keine steigernde Wirkung mehr ausüben. In diesen Fällen ist das Fehlen einer Atmungszunahme natürlich ungünstig zu beurteilen.

Die Beeinflussung des Atmungszentrums im Hochgebirge. Der Vergleichung der reduzierten Atemvolumina in der Höhe und im Tieflande lag der teleologische Gedanke zugrunde, ob und wieweit die in der Höhe geatmeten Luft-

volumina dem in der Tiefe geatmeten Luftquantum entsprechen, d. h. ob die Atmungssteigerung die Verdünnung kompensiere.

Im übrigen bietet die Betrachtung der reduzierten Atemvolumina kein weiteres Interesse, während die der direkt ermittelten uns tiefergehende Schlüsse gestattet und uns auf die Ursachen der Atmungssteigerung im Höhenklima führt. — Um ein größeres Luftvolumen in die Lungen aufzunehmen, müssen diese stärker erweitert werden, die Atembewegungen müssen also umfanglicher vor sich gehen. — Nach den einleitend gegebenen Auseinandersetzungen ist es dazu notwendig, daß das Atemzentrum stärker erregt wird. Dann regt es auch, wenn es sich sonst normal verhält, die Atemmuskeln zu stärkerer Tätigkeit an.

Finden wir also im Höhenklima eine verstärkte Atmung, so können wir schließen, daß das Zentrum in stärkerem Maße als im Tieflande Erregungen erhält. Es liegt zwar noch eine zweite Möglichkeit vor, nämlich die, daß es reizbarer geworden ist als zuvor. Aber von einer gesteigerten Reizbarkeit wissen wir nichts, und es liegt auch kein Moment vor, das auf sie hindeutet. Dagegen ist die Summe der Reize, die auf das Atemzentrum wirken, im Höhenklima erhöht.

Wir haben früher die Atemreize in zwei Kategorien gebracht. Die einen treffen unseren Körper an irgendeiner Stelle und gelangen von dieser aus auf dem Wege der Nerven zum Atemzentrum. Wir nannten die so zustande kommenden Erregungen der Atmung „reflektorische“. Demgegenüber werden die Reize der zweiten Art, die „automatischen“, durch das Blut zum Atemzentrum geführt und greifen es direkt an.

Beiderlei Reizarten erfahren im Höhenklima eine Änderung.

Wenn wir uns der Eigentümlichkeiten des Höhenklimas erinnern, des intensiven Lichtes, der starken Insolation, niederen Lufttemperatur, energischeren Luftbewegung und der besonderen elektrischen Verhältnisse, so wird es uns nicht wundern, daß die Atmung durch stärkere Reizung des Hautorgans und der Sinnesnerven eine Anregung erfahren kann. Vielfache Laboratoriumsversuche, in denen vergleichend im Dunkeln und bei Belichtung (Moleschott, Speck), ferner in kalter Luft oder in kühlem Wasser (Speck, Loewy, Rubner u. a.), endlich auch in Zugluft (Rubner) die Atmung untersucht wurde, haben die steigernde Wirkung der Hautreize und der optischen Reize ergeben. Im Hochgebirge haben Durig und Zuntz in speziellen Versuchen den Einfluß intensiver Belichtung, des Windes, der Kälte und der elektrischen Verhältnisse untersucht. Die Wirkung dieser Klimafaktoren allein reichte aber nicht aus, um die des Höhengaufenthaltes zu erklären.

Es liegt ferner eine Versuchsreihe vor, in der die Wirkung des Seeklimas auf den Gaswechsel untersucht wurde. Die Versuche sind von Loewy und Müller ausgeführt. (Ort der Versuche war Westerland auf Sylt.) Das Seeklima ist dem Höhenklima ähnlich in der starken Luftbewegung und in der erheblichen Insolation. Natürlich fehlt ihm die charakteristische Eigentümlichkeit der Höhenluft, die Luftverdünnung. Loewy und Müller konnten nun an jeder der drei Personen, an denen sie ihre Versuche anstellten, konstatieren, daß das Atemvolumen pro Minute bei absoluter Körperruhe — sie führten ihre Versuche frühmorgens

an den ruhig im Bette liegenden Personen aus — auf Sylt deutlich gegenüber dem in Berlin unter den gleichen Versuchsbedingungen gefundenen erhöht war. Die folgende kleine Tabelle gibt eine Zusammenstellung der gefundenen Werte:

Tabelle 5.

Name	Atemvolum pro Min. in ccm		Zunahme in ccm
	Berlin	Westerland	
Frau Müller . . .	3844.4	4544.4	700.0
Loewy	4466.9	5058.1	591.2
Müller	5189.3	5315.1	126.8

Bei M. ist die Zunahme eine relativ geringe, bei Frau M. und bei L. eine beträchtlichere. Dabei sei ausdrücklich erwähnt, daß diese Mittelwerte sich aus einer größeren Zahl wenig voneinander abweichender Einzelwerte zusammensetzen und insbesondere, daß ein Absinken der Werte vom Beginn bis zum Ende des zwölf-tägigen Aufenthaltes nicht zu bemerken war.

Beim Seeklima kann es sich nur um reflektorisch wirkende Reize handeln, die den steigernden Effekt zuwege bringen, und so werden wir solchen reflektorischen Erregungen wohl auch für das Höhenklima eine Rolle zuweisen müssen.

Daß sie jedoch in denjenigen Höhen, in denen die Symptome der Bergkrankheit offenbar werden, nicht die vorwiegend wirksamen sind, ist sicher. — Ist die Bergkrankheit auf Sauerstoffmangel zurückzuführen, wie wir das ausführlich in einem späteren Kapitel begründen werden, so wird auch das Atemzentrum, das gegen Sauerstoffmangel empfindlicher ist als viele andere Zentren des Nervensystems, von ihm betroffen, und antwortet darauf mit verstärkter Atmung. Es handelt sich hier also um Änderungen der automatischen Erregung des Zentrums.

Die Erscheinungen der Bergkrankheit bedeuten aber einen bereits vorgeschrittenen Grad von Sauerstoffmangel, dessen Beginn in geringere Höhen gesetzt werden muß. Weit mehr als für den Zustand körperlicher Ruhe gilt dies für Muskeltätigkeit im Hochgebirge, bei der schon in mittleren Höhen Sauerstoffmangel in den arbeitenden Muskeln eintreten kann. Geschieht das doch selbst schon im Tieflande bei übermäßiger Arbeit.

Verhalten der Gasspannungen in den Lungenalveolen. Wie bereits erörtert wurde, geben die alveolaren Gasspannungen uns einen Maßstab für die Sauerstoffversorgung. Mit ihnen sind nach Ansicht der meisten Autoren die Spannungen der Gase des arteriellen Blutes in Übereinstimmung. Jeder Gasspannung entspricht für jedes Blut eine ganz bestimmte Gasmenge — Sauerstoff wie Kohlensäure.

Wir wollen deshalb den Gang der Sauerstoff- und der Kohlensäurespannung in den Lungen beim Aufsteigen ins Hochgebirge verfolgen und uns auf Grund dieser Werte Rechenschaft zu geben suchen, wie sich die Größe und Natur der Blutatemreize ändert. — Wir haben aus den in den Anhangstabellen X—XV enthaltenen Werten die Anhangstabelle XXVII A zusammengestellt. Die Abteilung B enthält Werte, die teils auf früheren, teils auf der späteren Expedition gewonnen sind.

Betrachten wir zunächst die Werte für den Sauerstoffdruck. Sie zeigen bei allen einen progredienten, aber individuell ganz verschiedenen Abfall, so daß sie im Gegensatz zu Berlin, wo sie bei uns allen fast auf gleichem Niveau liegen, schon in Brienz deutlich voneinander abweichen. Dasselbe ist auf Col d'Olen der Fall und ist besonders auf dem Monte Rosa-Gipfel ausgeprägt. Am günstigsten ist auf dem Gipfel Müller gestellt, dessen alveolare Sauerstoffspannung immer noch 61 mm beträgt, am ungünstigsten Loewy mit nur 37.7 mm.

Die Ursache dieser Differenzen wird uns klar, wenn wir zugleich mit diesen Werten die Atemmechanik, speziell das Atemvolum pro Minute und die Atemtiefe vergleichen, wie sie in Tabelle 3 verzeichnet sind. Dann erkennen wir, daß die alveolaren Sauerstoffspannungen um so höher liegen, je größer das Atemvolumen und speziell die Atemtiefe sind, je mehr also die Klimareize auf die Atmung eingewirkt haben.

Was die Art der Atmung hier leistet, wie sehr sie die Sauerstoffspannung in den Lungen beeinflußt, ergibt sich deutlich daraus, daß bei Waldenburg, J. Loewy und Leo Zuntz z. B. auf dem Col d'Olen in nur 2900 m Höhe die Sauerstoffspannung in den Lungen nur 57—58 mm beträgt, also niedriger ist als bei Müller in 4560 m Höhe und gerade dem bei N. Zuntz auf zwei Expeditionen auf dem Monte Rosa-Gipfel gefundenen Werte entspricht. — Die Sauerstoffmenge, mit der das Blut sich sättigen kann, ist demnach bei N. Zuntz und Müller in 4560 m Höhe noch so groß wie bei den drei anderen in 2900 m.

Die Bedeutung dieser Zahlen erhellt noch mehr, wenn wir mit Hilfe der in Kapitel X, S. 295 enthaltenen Kurve feststellen, wie sich denn bei diesen Spannungen die Sauerstoffaufnahme ins Blut verhält, und damit die Sauerstoffversorgung des Körpers und im speziellen auch die des Atemzentrums.

Es zeigt sich dann, daß bei Loewy und Kolmer eine erhebliche Verminderung des Sauerstoffgehaltes des arteriellen Blutes auf dem Monte Rosa-Gipfel vorhanden ist. Sie können in ihr Blut nur noch $\frac{3}{4}$ derjenigen Sauerstoffmenge aufnehmen, die es in Berlin binden kann. Die übrigen vermögen ihr Blut in Monte Rosa-Höhe allerdings noch reichlicher mit Sauerstoff zu sättigen, am besten Müller mit $\frac{9}{10}$ der in Berlin aufgenommenen Menge. Jedenfalls wird bei uns allen oberhalb einer Höhe von 3000 m die Sauerstoffzufuhr ins Blut merklich geringer.

Der Seite 318 erwähnte Elbrusbesteiger Bianchetti hatte auf dem Monte Rosa eine Alveolarspannung von 53.6 cm, war also in der Hinsicht nicht besser daran, als einige von uns, die bergkrank waren. Seine große Höhentoleranz ist demnach nicht allein durch seine Atemmechanik erklärbar.

Man könnte nun meinen, daß eine Verminderung der Sauerstoffaufnahme ins Blut um $\frac{1}{4}$ der normalen Menge, wie sie Loewy und Kolmer zeigen, oder um noch geringere Mengen, bis zu $\frac{1}{10}$ herab, wie sie bei den übrigen Mitgliedern unserer Expedition, ebenso bei Durig und Zuntz auf ihrer Expedition vom Jahre 1903 und bei Leo Zuntz vom Jahre 1896 anzunehmen sind, nicht viel besagen kann, da doch die Gewebe von dem arteriellen Sauerstoff so wenig verbrauchen, daß das ihnen entströmende venöse Blut noch reichlich Sauerstoff, im Mittel etwa $\frac{2}{3}$ des im arteriellen vorhandenen, enthält. Bei Loewy und Kolmer würde nun aber auf der Monte Rosa-Spitze das venöse Blut im Mittel nur noch wenig mehr als die Hälfte des Sauerstoffs, den es im Tieflande führt, führen, und wir dürfen nicht vergessen, daß dieses Mittel sich aus Blutanteilen zusammensetzt, die Organen entstammen, welche einen ganz verschiedenen Verbrauch an

Sauerstoff haben. Ist der Verbrauch hoch, wie das in tätigen Organen der Fall ist, so strömt das venöse Blut sehr arm an Sauerstoff ab, ist er gering, so ist es beim Ausfluß noch reich an Sauerstoff. So können leicht einzelne Organe schon Mangel an Sauerstoff leiden, während das venöse Mischblut, das zum rechten Herzen und von ihm aus in die Lungen strömt, noch Sauerstoff enthält.

Es wird uns daher auch nicht wundernehmen, daß trotz der scheinbar mäßigen Abnahme des Sauerstoffs im arteriellen Blut doch schon deutliche Zeichen von Sauerstoffmangel im Gehirn, — und das bedeuten ja die Allgemeinerscheinungen der Bergkrankheit, unter denen wir litten — vorhanden waren. Die allgemein, auch in Fachkreisen, verbreitete Ansicht von dem großen Sauerstoffüberschuß, der unseren Körpergeweben mit dem Blut zugeführt wird, dürfte doch nicht ganz zutreffend sein. Gewiß erhalten die Organe, die einen geringen Verbrauch haben, mehr Sauerstoff, als sie benötigen, aber die energisch arbeitenden und daher einen regen Stoffumsatz aufweisenden dürften nicht viel über den Bedarf erhalten. Und auch im sog. Ruhezustande unseres Körpers arbeiten ja einzelne Muskeln, wie das Herz und die Atmungsmuskeln, einzelne drüsige Organe, wie Leber und Nieren, ununterbrochen fort.

Vielleicht noch interessanter als bei Körperruhe ist das Verhalten der Sauerstoffspannung in der Lunge bei Arbeit. Hier zeigt sich an einem neuen Beispiel, wie zweckmäßig der Ablauf unserer Funktionen den jeweiligen äußeren Bedingungen sich anpaßt.

Die vorstehenden Kapitel haben gezeigt, wie sehr der Stoffumsatz und damit auch der Sauerstoffverbrauch bei Muskelarbeit ansteigen. Stundenlang kann der Verbrauch das Vierfache des Ruhewerts betragen! Würde nicht dafür gesorgt sein, daß entsprechend dem Mehrbedarf an Sauerstoff auch eine Mehrzufuhr zu den Lungen stattfindet, so würden wir sehr bald an eine Grenze kommen, wo wir infolge Mangels an Sauerstoff nicht mehr in normaler Weise Arbeit zu leisten imstande wären.

Aber mit steigender Muskelarbeit nimmt auch die Luft- und damit die Sauerstoffzufuhr zur Lunge zu. Es wurde bereits Seite 307 hervorgehoben, daß bei der Arbeit der Muskeln Stoffe gebildet werden, die als Reize auf das Atemzentrum wirken und es zu vermehrter Tätigkeit anregen. Je stärker wir arbeiten, eine um so energischere Atmung haben wir. Durch die neuen Atemreize, die nach Untersuchungen von C. Lehmann wohl als organische Säuren anzusehen sind, werden wir von demjenigen Atemreiz, der bei Körperruhe am einflußreichsten ist, von der Kohlensäure des Blutes unabhängig.

Die Wirkung dieser Reize ist nun so fein geregelt, daß der Sauerstoffgehalt der Lungenluft trotz des vermehrten Verbrauchs ebenso groß, meist sogar höher ist als in der Ruhe. Das Blut hat daher die Möglichkeit, sich unter denselben, häufig sogar unter besseren Bedingungen in der Lunge mit Sauerstoff zu sättigen als bei Körperruhe. — Das ist nicht nur bei vollem Atmosphärendruck im Tieflande der Fall, es zeigt sich ebenso auch im Höhenklima und ist in allen bisher untersuchten Höhenlagen, d. h. bis zu 4560 m Höhe, nachzuweisen gewesen.

Als Maß für die Möglichkeit, das Blut mit Sauerstoff zu sättigen, gilt auch hier die Sauerstoffspannung in den Lungenalveolen. Ihre Werte sind auf der Anhangstabelle XXVIII zugleich mit der Atemtiefe zusammengestellt.

Die Tabelle zeigt uns zunächst die enorme Wirkung der Arbeit auf die

Atemtiefe. Während bei Körperruhe mit jedem Atemzuge (vergl. Tabelle 1 dieses Kapitels) gegen $\frac{1}{2}$ l in die Lunge hinein- und bei der Ausatmung wieder herausgeschafft wird, selten nur bis gegen $\frac{3}{4}$ l, fanden wir bei Arbeit Mengen bis zu 3 l.

So gewaltig diese Atemleistungen an sich sind, mehr noch müssen wir ihre feine Anpassung an den Bedarf bewundern. Mit steigender Arbeit steigen die geatmeten Luftmengen, und zwar in solchem Verhältnis, daß die Sauerstoffspannung in den Lungenalveolen stets noch etwas höher liegt als in gleicher Höhe bei Körperruhe. Der Mehrverbrauch bei Muskelarbeit wird also durch Mehrzufuhr überkompensiert. Diese Überkompensation des Bedarfs ist in größeren Höhen erheblicher als im Flachlande. Das lehrt ein Vergleich der Tabellen XVII—XXII des Anhangs. Nur in Berlin liegt die Sauerstoffspannung in den Lungen bei Ruhe und bei Arbeit auf annähernd gleichem Niveau.

Die folgende kleine Tabelle 6 enthält einen anschaulichen knappen Auszug aus den umfangreichen Haupttabellen. Wir haben in ihr die Minimal- und Maximalwerte zusammengestellt, so daß zugleich ein Überblick über die Breite, in der die Sauerstoffspannungen in der Lunge bei Ruhe wie Arbeit schwanken, erkennbar sind.

Tabelle 6.

Vergleich der Sauerstoffspannungen in den Lungen bei Ruhe und Arbeit mit zunehmender Höhe.

Ort	Sauerstoffspannung in mm Quecksilber	
	bei Ruhe	bei Arbeit
Berlin bzw. Wien	101—109	100—108
Brienz	81—94	90—100
Brienzer Rothorn	62—72	74—81
Col d'Olen	57—69	64—71
Gnifetti-Hütte	54—56	57—64
Monte Rosa-Spitze	38—61	55—63

Eine geringere Bedeutung in physiologischer Hinsicht kommt dem Verhalten der alveolaren Kohlensäurespannung beim Aufenthalt im Hochgebirge zu. Es würde kaum notwendig sein, darüber in ausführliche Auseinandersetzungen einzutreten, wenn sie nicht durch Mosso in den Mittelpunkt der Erklärung der Bergkrankheit gerückt worden wäre.

Die Akapnie. Mosso hat in einer großen Zahl von Publikationen und in vielfältig variierten Versuchen die Annahme zu stützen gesucht, daß der Mangel an Kohlensäure im Blute, die Akapnie, die Ursache der Bergkrankheit sei. Wir haben schon in Kapitel X diese Frage berührt und haben dort zunächst theoretisch erörtert, daß — entgegen Mossos Annahme — die Höhe an sich keinen Einfluß auf den Kohlensäuregehalt des Blutes haben kann.

Was ihn zu ändern vermag, ist allein eine Änderung der Atemmechanik. Eine Einschränkung der Atmungstätigkeit läßt ihn ansteigen, eine Verstärkung der Atmung, besonders eine mit Vertiefung der einzelnen Atemzüge einhergehende, vermindert ihn. Und

wenn im Höhenklima sich meist eine Verminderung der Menge der Blutkohlenensäure und ihrer Spannung findet, so beruht dies eben darauf, daß beim Höhengaufenthalt meist eine Atmungssteigerung zu beobachten ist.

Nur in bedeutenderen Höhen kann noch unter einer anderen Bedingung die Kohlen säuremenge des Blutes sinken. Auch diese haben wir bereits im Kapitel „Blutgase“ in ihrer Bedeutung gewürdigt. In jenen Höhen nämlich, in welchen die Sauerstoffzufuhr bereits unzureichend wird, kommt es infolge des Sauerstoffmangels zu einem krankhaft veränderten Stoffwechsel, bei dem sich saure Produkte bilden. Diese verdrängen die Kohlen säure aus dem Blute zu einem größeren oder geringeren Teile. Auch hier ist also die Kohlen säurearmut des Blutes das Sekundäre, die Folge, nicht die Ursache der Bergkrankheit.

Zudem ist die Menge der Kohlen säure im Blute nicht das Maßgebende, vielmehr deren Spannung, denn diese regelt den Kohlen säuregehalt der die Nervenzellen direkt umspülenden Gewebsflüssigkeit. Bei Gegenwart von sauren Substanzen im Blute wird aber nur die Menge, nicht die Spannung der Kohlen säure herabgesetzt, letztere im Gegenteil eher gesteigert.

Auf Grund dieser Überlegungen kann man eine ursächliche Bedeutung der Akapnie für die Bergkrankheit nicht zugeben und eine Betrachtung der Anhangstabellen X—XXII illustriert zahlenmäßig das Unzutreffende dieser Anschauung.

Zunächst möchten wir jedoch auf einige Versuche hinweisen, aus denen am klarsten hervorgeht, daß die Höhe an sich keine Herabsetzung der Kohlen säuremenge und -spannung im Blute hervorruft. Sie sind von Mossos Bruder Ugolino an einigen Bergsoldaten, die die Expedition im Jahre 1894 mitmachten, angestellt. Diese waren die Höhenluft gewöhnt und ihre Atmung änderte sich beim Aufstieg zur Höhe nicht wesentlich. Bei ihnen bleibt die Kohlen säurespannung der Ausatemluft zwischen Gressoney (1600 m) und dem Monte Rosa-Gipfel (4560 m) gänzlich unverändert.

Tabelle 7.

Kohlensäurespannung in der Expirationsluft.

Ort	Barometerdruck mm	Kohlensäurespannung in der Expirationsluft in mm Quecksilber bei		
		Jachini	Solferino	Sarteur
Gressoney	650	20.82	18.71	21.88
Gressoney	650	20.82	22.23	18.35
Alpe Indra	620	21.44	20.73	20.03
Alpe Indra	620	21.79	13.71	
Capanna Linty . .	510	18.42	18.76	19.81
Capanna Gnifetti .	480	21.26	24.35	17.49
Capanna Margherita .	430	18.63	20.51	19.64
Capanna Margherita .	430	18.29	19.00	19.30

Allerdings wurden Mossos Soldaten auf der Monte Rosa-Spitze nicht bergkrank. Aber dieser Einwand kann hier nicht erhoben werden, wo es vorerst nur darauf ankommt zu zeigen, daß mit der Höhe an sich nicht regelmäßig Verminderung der Kohlen säurespannung eintritt.

Auch wird Mossos Ansicht widerlegt durch Versuche im pneumatischen Kabinett. In der verdünnten Luft des Kabinetts blieb fast bei allen Untersuchten die Kohlen säurespannung in den Lungenbläschen so gut wie ungeändert, selbst bei Verdünnungen, die annähernd der Monte Rosa-Spitze entsprachen. Das ergibt die Zusammenstellung auf der Anhangstabelle XVI und der hier folgenden Tabelle 8. Eine erheblichere Abnahme der Kohlen säurespannung zeigt eigentlich nur N. Zuntz, zugleich mit stärkerem Ansteigen des Atemvolumens. — Die

Tabelle 8 erweist aber weiter, daß auch bei vollem Barometerdruck die Schwankungen der Kohlensäurespannung so erhebliche sein können, daß ihre niedrigsten Werte tiefer liegen als bei einem Luftdruck von 450 mm.

Tabelle 8.

Name	Barometer- druck	Atemtiefe	Atemgröße pro Minute	Kohlensäure- spannung in den Lungen- alveolen
	mm Quecks.	ccm	ccm	mm Quecks.
L. Zuntz	{ 758	695	4862	40.07
	{ 758	625	5000	38.39
"	{ 448	953	5244	39.29
	{ 448	900	4950	36.38
Versuchsperson W. . .	{ 767	322	5483	41.37
	{ 763	307	5225	39.10
	{ 760	328	4915	36.02
"	{ 596	242	5325	48.77
	{ 597	282	5075	44.30
	{ 586	267	5607	39.30
	{ 580	228	4959	48.37
"	{ 441	293	6143	37.77
	{ 438	274	5490	38.95

Besonders sei betont, daß bei den stärksten Verdünnungen W. schon Mangel an Sauerstoff litt, denn es machte sich deutliche Benommenheit und Schlafsucht geltend!

Wenden wir uns nunmehr zurück zu den Versuchen, die sich auf den Aufenthalt im Gebirge beziehen, und betrachten wir zunächst, wie sich die Verhältnisse bei Körperruhe gestalten (Anhangstabellen X—XV).

Es ist richtig, daß in der überwiegenden Zahl der Einzelversuche eine mit der Höhe fortschreitende Abnahme der Kohlensäurespannung in der Lunge zu konstatieren ist. Eine Ausnahme macht nur Waldenburg. Bei Zuntz sinkt sie von 38.5 mm in Brienz bis 32.6 mm auf dem Rothorn und bis 27.2 mm auf dem Monte Rosa-Gipfel; bei Caspari von 46.6 bis 40.3 und 25.4 mm. Aber ein Vergleich mit dem Verhalten der Atmungsvolumina in der Tabelle 2 dieses Kapitels oder in den Anhangstabellen X—XV ergibt weiter, daß mit dem Sinken der Kohlensäurespannung ein Steigen der Atemvolumina parallel geht; je niedriger jene, um so höher diese. Bei Waldenburg ist auch das Verhalten der Atmungsgröße abweichend von den übrigen. Sie zeigt nur auf dem Col d'Olen die Andeutung einer Steigerung. Es ist nicht zweifelhaft, daß die Atmungssteigerung das Primäre, die Abnahme der Kohlensäurespannung das Sekundäre ist.

Zudem bestehen aber gar keine Beziehungen zwischen den Symptomen der Bergkrankheit und der Höhe der Kohlensäurespannung. Waldenburg z. B. war auf dem Monte Rosa erheblich krank und gerade bei ihm zeigt sich gegenüber Berlin gar keine Erniedrigung der Spannung; auch Loewy litt nicht unerheblich und doch ist bei ihm die Kohlensäurespannung kaum niedriger als auf

dem Briener Rothorn. Durig fühlte kaum etwas von Bergkrankheit, und doch sinkt bei ihm die Kohlensäurespannung erheblich ab. Zuntz war auf der ersten Expedition von 1901 deutlich bergkrank, wenn auch weniger als Caspari und Müller, die niedrigere Kohlensäurespannungen hatten als er. Dabei lag damals seine Kohlensäurespannung höher als im Jahre 1903, wo Zuntz sich bei Körperruhe fast ganz normal fühlte!

So schwer es ist, vom Verhalten der Kohlensäure aus die Erscheinungen zu erklären, so leicht eröffnet sich uns das Verständnis, wenn wir nicht die Kohlensäure, sondern den Sauerstoff ins Auge fassen. Je höher die Kohlensäurespannung in den Lungen, um so niedriger das Atemvolum, um so geringer auch die Sauerstoffzufuhr. Daher bedeuten die Erscheinungen der Bergkrankheit bei hoher Kohlensäurespannung und andererseits das Wohlbefinden bei niedriger, daß im ersteren Falle eine geringe Sauerstoffzufuhr, im letzteren dagegen eine reichliche stattgefunden hat. So erst kommen wir zu einer annehmbaren Erklärung der Erscheinungen. — Allerdings darf man nicht in jedem Falle einen Parallelismus zwischen der Höhe der alveolaren Sauerstoffspannung und dem Auftreten der Bergkrankheit erwarten. Denn erstere ist wohl ein wesentlicher, jedoch nicht der allein in Betracht kommende Faktor der Sauerstoffzufuhr zu den Geweben. Von Bedeutung ist auch der Gehalt des Blutes an Hämoglobin und die Schnelligkeit des Blutumlaufes, und beide unterliegen ebenfalls individuellem Wechsel.

Wenn der Kohlensäurereiz beim Aufenthalt im Hochgebirge sich verringert, so müßte die Atmung schwächer werden. Da sie jedoch in ihrer Intensität gesteigert ist, so müssen an die Stelle der Kohlensäure andere Reize getreten sein, und die Reizsumme muß sogar die im Tieflande übertreffen. Ist dem aber so, so ist dadurch die Akapnie, die ja in allen Fällen gesteigerter Atmung besteht, im Tieflande ebenso wie im Hochgebirge gewissermaßen unschädlich gemacht. Denn es kommt ja nicht darauf an, daß das Atemzentrum gerade durch Kohlensäure gereizt wird, wenn ihm nur überhaupt ausreichende Reize zugeführt werden.

Von der Größe der neben der Kohlensäure wirksamen Reize kann man sich eine Vorstellung machen, wenn man nach dem Vorgange von v. Schrötter und Zuntz berechnet, wieviel Luft geatmet wird für jeden Millimeter Kohlensäurespannung in den Lungen. — Nehmen wir z. B. die Ruheversuche an Waldenburg in der Anhangstabelle X. Waldenburg atmete in Brienz pro Minute 4.848 l und hatte dabei eine Kohlensäurespannung in den Lungen von 44.53 mm. Dann kommen auf jeden Millimeter Kohlensäure $\frac{4.848}{44.53} = 108.9$ ccm. Die auf diese Weise berechneten Werte sind in Stab 14 der Anhangstabellen X—XVI zusammengestellt.

Die Tabellen zeigen, daß in individuell verschiedenem Grade die pro Millimeter Kohlensäurespannung geatmete Luftmenge mit der Höhe ansteigt. Bei allen Teilnehmern der Expedition von 1901 liegt sie auf dem Briener Rothorn höher als in Brienz, noch höher auf Col d'Olen, um auf der Monte Rosa-Spitze exzessiv zu werden, wobei allein Waldenburg eine Ausnahme macht. Sie steigt bis auf das Dreifache der Werte in Brienz an. So kommen z. B. bei Caspari auf 1 mm Kohlensäurespannung in Brienz 103 ccm Atemluft, auf dem Rothorn 140 ccm, auf dem Monte Rosa 333.6 ccm.

Dasselbe ist der Fall in den Versuchen an Zuntz (1903). Auch hier beträgt die pro Millimeter Kohlensäurespannung geatmete Luftmenge auf dem Col d'Olen fast das Doppelte als im Tieflande, um auf der Monte Rosa-Spitze bis gegen das Fünffache anzusteigen. Das

gleiche ergaben auch die Versuche im Luftballon, die 1902 v. Schrötter und Zuntz ausführten. Welcher Art die Reize sind, die hier der Kohlensäure zur Seite treten, wird in dem die Wirkung des Sauerstoffmangels behandelnden Kapitel XVIII ausführlich erörtert werden.

Wir haben bis jetzt die Kohlensäurespannungen bei Körperruhe betrachtet. Wir wollen an der Hand der schon benutzten Tabelle XXVIII des Anhangs noch kurz ihr Verhalten bei Muskelarbeit erörtern.

Die Dinge liegen hier prinzipiell genau so wie bei Körperruhe, nur ist zu beachten, daß, wie schon öfter betont, durch die Muskelarbeit selbst ähnlich wie in stark verdünnter Luft besondere Atemreize entstehen, die neben der Kohlensäure wirksam sind. Das sehen wir schon im Tieflande, wo die Kohlensäurespannung bei Arbeit bei uns allen, mit Ausnahme von Waldenburg, gegenüber der bei Körperruhe herabgesetzt ist, dasselbe auch an allen Punkten des Hochgebirges. Dabei ist die alveolare Kohlensäurespannung bei Muskelarbeit gegenüber der bei Körperruhe meist um so mehr erniedrigt, je höher man sich befindet.

Berechnen wir auch hier die Luftmenge, die auf 1 mm Kohlensäurespannung in den Lungen kommt, so finden wir, daß sie weit erheblicher ist als bei Körperruhe und mit zunehmender Höhe immer weiter ansteigt. Das Plus kommt auf die durch die Muskelarbeit und den Sauerstoffmangel entstehenden neuen Reize.

Die alveolare Kohlensäurespannung liegt bei Zuntz während des Bergaufmarschierens in Brienz bei 36.7 mm, auf dem Rothorn bei 28.3 mm, auf dem Monte Rosa bei 20.6 mm. Bei Caspari beträgt sie 39.0 : 32.0 : 21.5. Auf 1 mm Kohlensäurespannung kommen beim Marschieren bei letzterem: 887.8 ccm Atemluft in Brienz, 1129 ccm auf dem Rothorn, über 1900 auf dem Monte Rosa! 1903 stieg bei Zuntz das Atemvolumen pro Millimeter Kohlensäure beim Marschieren auf dem Schneefeld unter dem Monte Rosa-Gipfel sogar auf 2914 ccm.

Die Summe der das Atemzentrum treffenden Reize wächst also mit zunehmender Höhe in steigendem Maße.

Die vorstehenden Untersuchungen über das Verhalten der Sauerstoff- und Kohlensäurespannungen in den Lungenalveolen haben uns in weit exakterer Weise, als das die einfache Betrachtung der pro Minute geatmeten Luftmengen vermochte, einen Einblick gewinnen lassen in die Art und Weise und den Umfang, in dem das Atemzentrum Anregungen von dem es durchströmenden Blut aus erhält.

Wir gingen an diese Untersuchungen zur Prüfung der Frage, wie weit beginnender Sauerstoffmangel die schon vor Ausbruch deutlicher Bergkrankheitssymptome einsetzende Atemsteigerung erklären könne. Wir fanden, daß er in Höhen über 3000 m als Atemreiz wirksam werden kann. Aber zu einem sicheren Ergebnis, ob er unterhalb dieser Höhe sich schon geltend mache, vermögen unsere Versuchsergebnisse uns nicht zu führen. Daß er eine ausreichende Erklärung auch der in mittleren Höhen zur Beobachtung kommenden Effekte zu bieten vermag, soll in Kapitel XVIII dargelegt werden.

Man hat noch einen anderen Grund geltend gemacht, um die Wirkung des Höhenklimas auf die Lungenventilation nicht mit einem geringen Grade von Sauerstoffmangel in Verbindung zu bringen, das ist die Tatsache, daß die Steigerung der Atemgröße im pneumatischen Kabinett,

in dem ja die Wirkung der Luftverdünnung und damit der verminderten Sauerstoffzufuhr rein zur Geltung kommt, meist erst bei viel höherem Grade der Verdünnung einsetzt, als die, bei welchen sie im Hochgebirge zustande kommt. Sehr zahlreiche Versuche mit sauerstoffarmer Luft, die besonders Speck und Loewy ausführten, ergaben dasselbe. Erst bei viel erheblicherer Sauerstoffverarmung stiegen die Atemvolumina zu Werten an, die im Gebirge schon bei mäßiger Luftverdünnung erreicht wurden.

Man kann jedoch gegen den Vergleich der Kabinettversuche und der Atmung sauerstoffarmer Luft mit den Versuchen im Hochgebirge den Einwand erheben, wie das Aron getan hat, daß erstere nur kurze Zeit dauern, bei letzteren dagegen der Aufenthalt in der sauerstoffarmen Atmosphäre Tage und Wochen ununterbrochen anhält. Es ist sehr gut möglich, daß bei einem geringen Grade von Sauerstoffmangel erst ganz allmählich sich die Stoffe im Körper bilden, die den erregenden Effekt auf die Atmung ausüben. Der Mangel an Sauerstoff wirkt ja nicht als solcher auf das Nervensystem, vielmehr durch abnorme Produkte der Lebenstätigkeit der Zellen. Unter solchen Umständen könnten natürlich bei kurzdauernden Versuchen die Effekte nicht zur Beobachtung kommen, während sie im anderen Falle ausgeprägt sind.

Veränderungen der Atmungsform im Hochgebirge. Die scheinbar so einfache Tatsache, daß im Höhenklima das pro Minute geatmete Luftvolumen anwächst, hat uns zur genaueren Untersuchung des Atemzentrums und der in ihm wirksamen Reize geführt. Weitere Einsicht in sein Verhalten gibt uns das Studium der Atmungsform, des Atmungstypus.

Mosso war der erste, der auf Veränderungen der Atmungsform im Hochgebirge hingewiesen hat und dem wir die eingehendsten Untersuchungen über diesen Gegenstand verdanken. — Wie schon in den einleitenden Bemerkungen zu diesem Abschnitt hervorgehoben wurde, kann man durch Benutzung der graphischen Methodik erkennen, daß unsere Atmung sich nicht aus einer gleichmäßigen Folge gleichartiger Atemzüge zusammensetzt. Vielmehr wechselt die Zeit, innerhalb der die einzelnen Atemzüge aufeinanderfolgen, und deren Tiefen in allerdings geringem Maße. Stärker prägt sich der Wechsel im Schlafe aus. Hier kann man feststellen, daß insbesondere die Tiefe der Atemzüge allmählich ab- und wieder zunimmt, so daß zusammengehörige Gruppen entstehen, Perioden, die Mosso, der zuerst auf sie hingewiesen hat, zu der Bezeichnung „periodische Atmung“ veranlaßten. Mosso betont, daß bei dieser periodischen Atmung im Schlafe die Phase der Einatmung kürzer als die der Ausatmung sei, während im wachen Zustande das zeitliche Verhältnis gerade umgekehrt ist. Auch soll das Zwerchfell im Schlafe etwas erschlaffen, so daß es bei der Erweiterung des Brustraumes während der Einatmung in diesen hineingezogen wird. Diese Erscheinung ist also eine ganz normale und wird von Mosso auf eine geringere Erregbarkeit des Atemzentrums im Schlafe bezogen. Mosso spricht direkt von einem Schlafe des Atemzentrums, „sonno del centro respiratorio“.

Beim Aufenthalt im Gebirge nun kommt diese periodische Atmung gleichfalls und in viel charakteristischerer Weise als im Tieflande zur Ausbildung und zwar nicht nur im Schlafe, sondern schon im Wachen.

Mosso konnte sie bereits in Höhen unterhalb 3000 m beobachten, deutlicher in 3600 m Höhe und am intensivsten auf der Monte Rosa-Spitze in 4560 m, wo sie fast bei jedem Menschen vorhanden und so ausgesprochen ist, daß sie schon bei einfacher Betrachtung des Brustkorbes erkannt wird. Nicht bei jeder Person ist die

Form der periodischen Atmung im Höhenklima die gleiche und auch bei derselben Person wechselt sie, besonders während des Schlafes. Sie ist wohl von dessen Tiefe abhängig.

Als erste Erscheinung, die das Bild einleitet, kann man eine kurze Pause nach jeder Ausatmung erkennen. Dann sieht man, wie die Atemzüge ungleich werden; sie werden allmählich flacher, um wieder langsam bis zur ursprünglichen Tiefe anzuwachsen. Weiter werden die normalen Atemzüge von einer Reihe ganz flacher Respirationen unterbrochen, endlich können letztere in einen richtigen längeren Atemstillstand übergehen.

Für alle diese Typen gibt Mosso in seinem Buche: „Der Mensch auf den Hochalpen“, und besonders in einer neueren Schrift,¹⁴⁾ die allein der periodischen Atmung gewidmet ist, zahlreiche Beispiele in Form von Kurven.

Wir wollen vier von ihnen wiedergeben. Die erste zeigt sehr deutlich die Atempausen zwischen jedem Atemzug (Figur 3), die zweite den Übergang tiefer

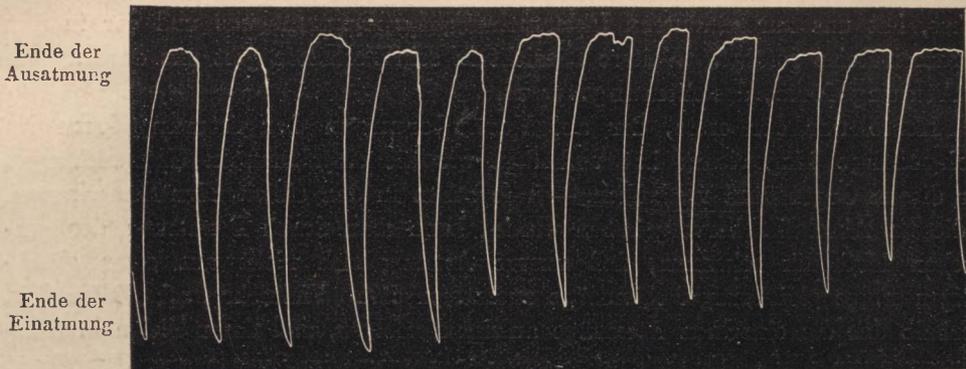


Fig. 3. Atempausen nach jeder Expiration (nach Mosso).

Atmungen in flache (Figur 4) und dieser wieder in tiefe, die dritte den Wechsel von Perioden tiefer mit solchen ganz flacher Atmung (Figur 5). Die vierte zeigt die Atmungstätigkeit des Professors Galeotti, eines Begleiters Mossos, während des Schlafes auf der Monte Rosa-Spitze (Figur 6). Verzeichnet ist hier die Brustkorb- atmung. Linie 1 gibt sie vor Beginn des Schlafes, Linie 2 bei Beginn desselben, Linie 3 während tieferen Schlafes, Linie 4 bildet die Fortsetzung von 3.

Die auf Linie 4 verzeichnete Form der periodischen Atmung ist seit $\frac{3}{4}$ Jahrhunderten bekannt. Sie wurde zuerst von zwei englischen Ärzten: Cheyne und Stokes, beschrieben und trägt deren Namen. Die Cheyne-Stokessche Atmung kommt bei einer Reihe von Krankheiten zur Beobachtung und ist meist von übler Vorbedeutung. Ihr Auftreten im Hochgebirge hat diese Vorbedeutung dagegen nicht.

Im Verlaufe seiner Studien ist Mosso nun dazu gekommen, die bei Schlafenden beobachtete periodische Atmung im Tieflande von der im Gebirge zu trennen. Er gibt an, daß man bei der periodischen Atmung im Höhenklima die im Verhältnis zur Inspiration sehr lange Expiration nicht finde, auch nicht die schon erwähnte Erschlaffung des Zwerchfells, daß dafür aber ein Symptom auftrete, das im Tieflande nicht bestehe, nämlich gleichzeitige Änderungen in der Frequenz des Herzschlages und im Blutdruck. Die Figur 5 gibt auf ihrer unteren Linie das

Verhalten der Herzfähigkeit graphisch wieder. Man kann daran neben dem Wechsel in der Häufigkeit des Herzschlages besonders gut die Schwankungen des Blutdruckes erkennen. Gegen

Ende der Perioden der kleinen Atmungen sieht man die untere Linie, deren Höhe den Blutdruck anzeigt, stark ansteigen, mit dem Beginn der großen Atmungen abfallen. Die genannten Differenzen in der Art der periodischen Atmung sind für Mosso der Grund für eine ganz verschiedene Erklärung.

Die Cheyne-Stokessche Atmung, die unter pathologischen Verhältnissen einsetzt, hat eine große Zahl von Erklärungsversuchen gezeitigt. Alle stimmen in dem Punkte überein, daß eine abnorm geringe Erregbarkeit des Atemzentrums als Grundlage angenommen wird. Für die im Flachlande vorkommende Periodizität im Schlafe greift auch Mosso auf eine Herabsetzung der Reizbarkeit des Atemzentrums gegen die normalen Blutreize zurück. Aber für die periodische Atmung, die im Hochgebirge auftritt, will er diese einfache Annahme nicht gelten lassen, obwohl doch hier in der verminderen Sauerstoffzufuhr ein Moment gegeben ist, das wohl geeignet wäre, das Zentrum in seiner Erregbarkeit zu

schädigen. Mosso meint, daß in Höhen von 3000 m — und hier beobachtete er ja schon die Erscheinung — ein Sauerstoffmangel nicht vorhanden sei. Wäre er die Ursache, so müßte Sauer-

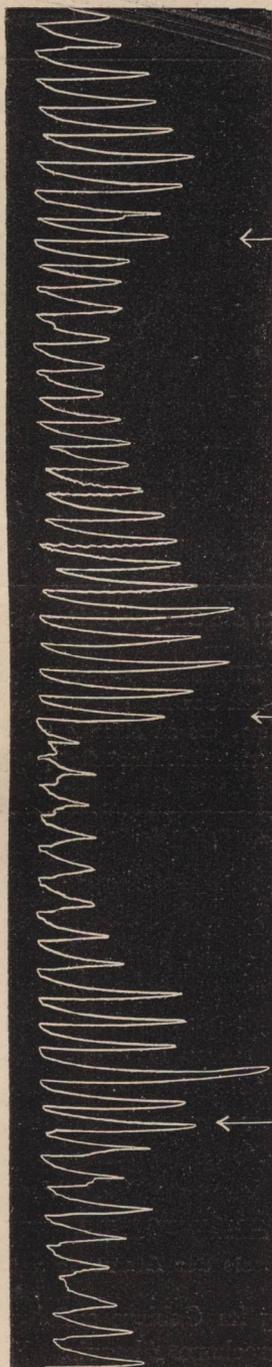


Fig. 4. Wechselnde Atemtiefen (nach Mosso).

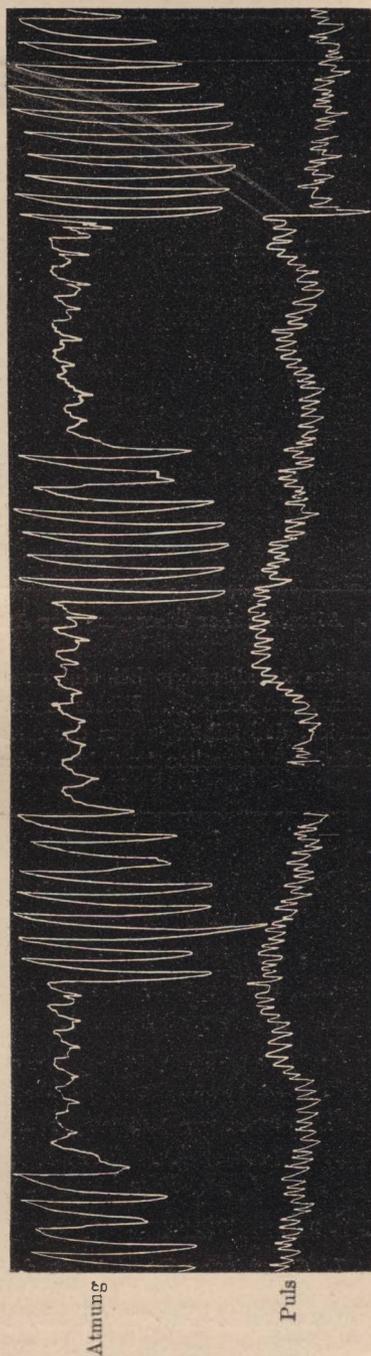


Fig. 5. Abwechselnde Perioden tiefer und flacher Atmung (nach Mosso).

stoffeinatmung günstig wirken und die Cheyne-Stokessche Atmung beseitigen. Das bestreitet Mosso, trotzdem er sich selbst an zweien seiner Begleiter von der Wirksamkeit von Sauerstoffatmungen auf Puls und Atmung auf der Monte Rosa-Spitze überzeugte. Die periodische

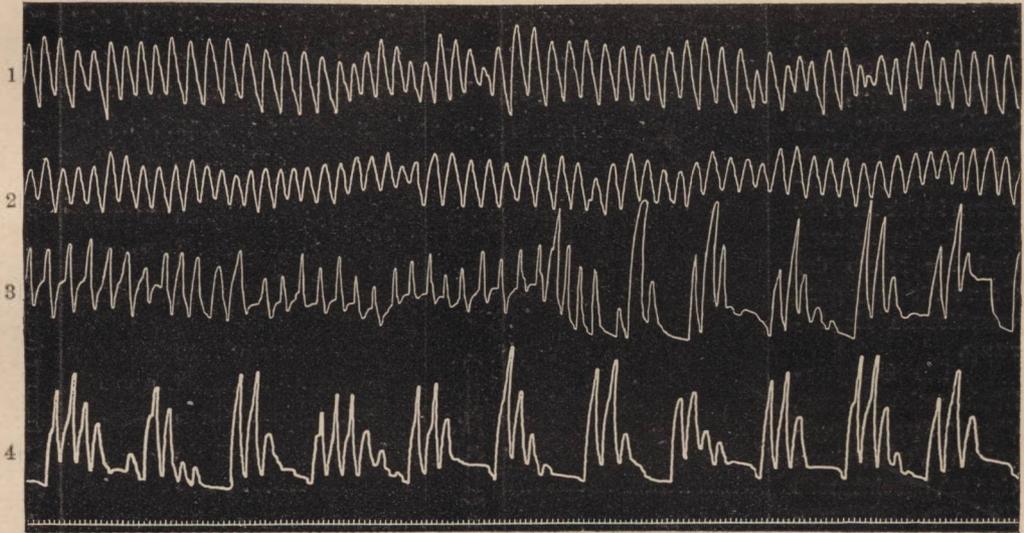


Fig. 6. Allmählicher Übergang der Atmung in die Cheyne-Stokessche Form (nach Mosso).

Atmung wurde allerdings bei einigen anderen Mitgliedern seiner Expedition durch Sauerstoffinhalation nicht beseitigt. Dieses negative Resultat beweist aber darum nichts, weil sehr wohl möglich ist, daß Schädigungen des Atemzentrums, die zu einer Herabsetzung der Erregbarkeit geführt haben, nicht schon durch kurzdauernde Sauerstoffzufuhr rückgängig gemacht werden können.

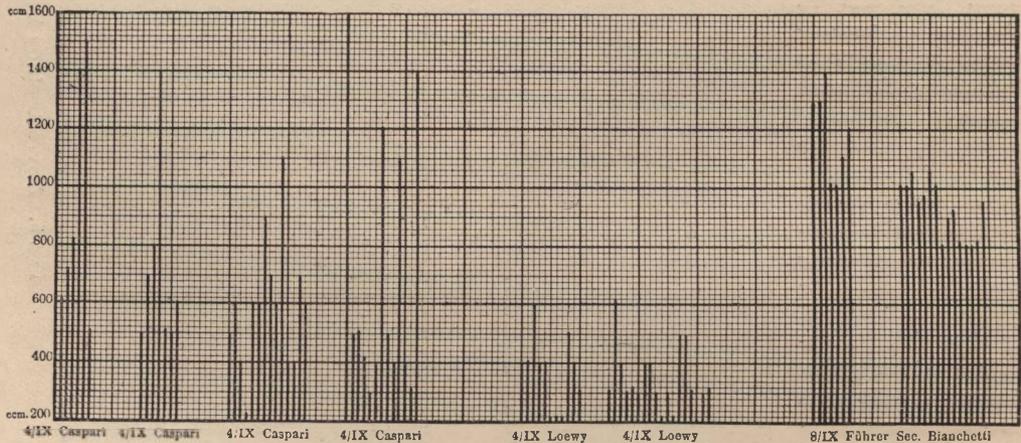


Fig. 7. Graphische Darstellung des Wechsels der Atemtiefe auf dem Monte Rosa.

Mosso führt die periodische Atmung im Gebirge auf den Mangel an Kohlensäure im Blute zurück, die S. 302 besprochene Akapnie. Einen Beweis für die Richtigkeit seiner Meinung sieht Mosso in der Tatsache, daß Einatmung von Kohlensäure die periodische Atmung zum Verschwinden bringt. Diese Tatsache schließt

aber nicht das Vorhandensein einer Schwächung des Atemzentrums aus. Wir haben bereits erörtert, daß die Kohlensäure einen starken Reiz für dasselbe abgibt und es zu energischer Tätigkeit anregt. Läßt man kohlensäurehaltige Luft an Stelle normaler einatmen, so wird die Kohlensäure imstande sein, auch ein geschwächtes Atemzentrum zu normaler Tätigkeit anzuregen. Mossos eigene Versuche beweisen sogar die verminderte Funktionsfähigkeit des Zentrums, denn, wenn er den Kohlensäurereiz so abstufte, daß er in Turin der gleiche war wie auf der Monte Rosa-Spitze, so war die Wirkung auf die Atmung in der Höhe geringer als im Tieflande. Man kann also höchstens sagen, daß im Höhenklima die Summe der das Atemzentrum treffenden Reize im Verhältnis zu seiner herabgesetzten Erregbarkeit zu gering ist, um eine normale Atmungsform hervorzubringen. Das gelingt aber durch Verstärkung dieser Reize, so z. B. durch Kohlensäureeinatmung.

Auch wir selbst sind auf der Monte Rosa-Spitze der Cheyne-Stokesschen Atmung bei uns allen begegnet. An Stelle der Kurven, die wir mit Hilfe unseres Atmungsgürtels aufnahmen, wollen wir einige Beispiele auf dem vorstehenden Diagramm zusammenstellen, das den Vorzug hat, zugleich die quantitativen Verhältnisse genau wiederzugeben. Die einzelnen senkrechten Striche bedeuten die aufeinanderfolgenden Atemzüge, ihre Tiefe zeigen die links stehenden Zahlen (ccm) an. Die Striche sind zwar in gleicher Entfernung voneinander gezeichnet, jedoch folgten sich die einzelnen Atemzüge nicht in gleichen Zeitabständen.

Man sieht wie bei Caspari und Loewy die Atemzüge stark in ihrer Tiefe wechseln, bei Caspari zwischen 300 und 1600 ccm, bei Loewy zwischen 200 und 600 ccm. Demgegenüber sind sie bei dem Bergführer Bianchetti viel gleichmäßiger, so wie man es in der Norm im Tieflande zu sehen gewöhnt ist.

Wir wollen auf Beibringung weiteren Materiales verzichten. Die Erscheinung der Cheyne-Stokesschen Atmung scheint in Höhen wie die Monte Rosa-Spitze etwas Gewöhnliches zu sein. Auch Durig und Zuntz beobachteten sie und bringen einige Zahlenbeispiele dafür.

Die Abnahme der Erregbarkeit des Atemzentrums im Hochgebirge läßt sich noch mittels einer anderen Versuchsanordnung erkennen, die wir gleichfalls Mosso verdanken, nämlich durch Bestimmung der Zeitdauer, während der man willkürlich die Atmung unterbrechen kann.

Hält man plötzlich mit der Atmung inne, so verarmt das Blut sehr schnell an Sauerstoff und sein Kohlensäuregehalt steigt rasch an. Dementsprechend wachsen also die Atemreize rapide und es kommt ein Moment, wo sie stark genug sind, den Willen zu überwinden. Dann setzt die Atmung unwillkürlich wieder ein. Die Dauer der willkürlichen Atmungssuspension ist für verschiedene Personen verschieden, für dieselbe Person annähernd gleich.

Im Hochgebirge nun erwies sie sich in Mossos Versuchen bei den meisten Personen verkürzt. Das ist erklärlich, da ja doch der Sauerstoffvorrat in der Lunge in verdünnter Luft geringer ist als in dichterem und es schneller zu Sauerstoffmangel kommen muß. Mosso verzeichnete dies Verhalten graphisch, und die beiden folgenden Kurven geben einen seiner Versuche wieder. In Abbildung 8 dauert der Atemstillstand, der besonders deutlich an der die Bewegungen der Bauchwand aufschreibenden Linie A ausgeprägt ist, 29 Sekunden, auf Abbildung 9 nur 11 Sekunden. Erstere ist in Turin, letztere auf der Monte Rosa-Spitze aufgenommen. In anderen Versuchen sank die Zeit von 28—47 Sekunden im Tieflande auf 16—20 Sekunden im Hochgebirge. Einige Personen konnten dagegen umgekehrt im Hochgebirge den Atem länger anhalten

als im Tieflande, so Galeotti. Die willkürliche Atmungsunterbrechung dauerte bei ihm in Turin nur 8 Sekunden, auf der Monte Rosa-Spitze 12—14 Sekunden. Wenn das trotz des früher einsetzenden Sauerstoffmangels geschieht, so kann die Erklärung nur darin gesehen werden, daß die Erregbarkeit des Atemzentrums gegenüber den Blutreizen gesunken ist.

Die Vitalkapazität. Im Laufe dieses Kapitels haben wir wiederholt von der Atemtiefe gesprochen, d. h. von der Luftmenge, die mit einem einzelnen Atemzuge geatmet wird. Dabei hatten wir nur die normale, vom Willen nicht beeinflusste Atmung im Auge. Man kann aber mit einem Atemzug weit mehr Luft fördern.

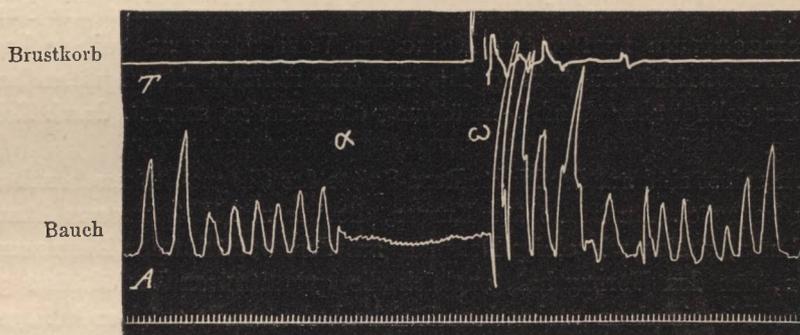


Fig. 8. Dauer der willkürlichen Atmungssuspension (α — ω) in Turin (nach Mosso).

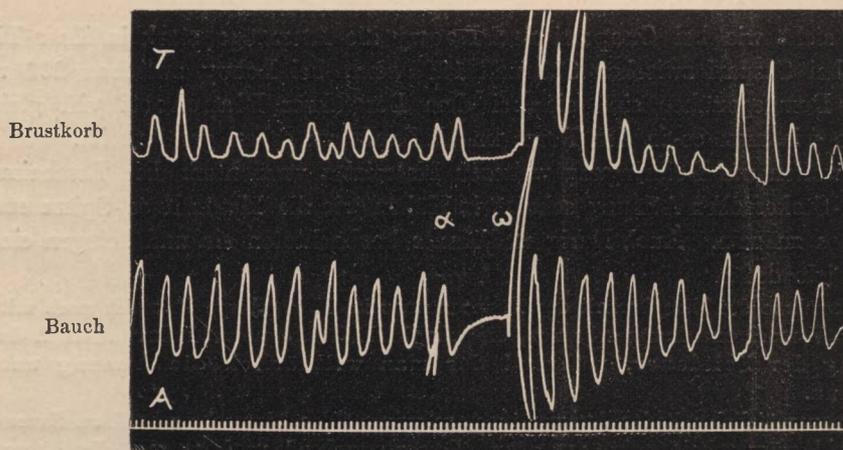


Fig. 9. Dauer der willkürlichen Atmungssuspension (α — ω) auf dem Monte Rosa (nach Mosso).

Nach beendeter ruhiger Einatmung läßt sich durch willkürliche Erweiterung des Brustkastens noch ein ganz erhebliches Luftquantum einziehen, ca. $1-1\frac{1}{4}$ l, und nach ruhiger Ausatmung auch noch $1-1\frac{1}{4}$ l Luft durch willkürliche Verkleinerung des Brustraumes auspressen. Es ergibt sich so eine Luftmenge, die man durch eine der maximalen Einatmung folgende maximale Ausatmung aus der Lunge herausbefördern kann. Auf die Bedeutung dieser Luftmenge hat zuerst der englische Arzt Hutchinson aufmerksam gemacht, und sie mit dem auch heute noch gebräuchlichen Namen Vitalkapazität belegt.

Hutchinson wies darauf hin, daß die Vitalkapazität, die sich ja leicht an der Atemgasuhr bestimmen läßt, eine physiologisch wichtige Größe ist, die mit der Körperlänge des Individuums in Beziehung steht. Einer bestimmten Körperlänge kommt eine bestimmte Vitalkapazität zu. Bei gesunden Männern mittlerer Größe beträgt sie ca. 3500 ccm, bei kleinen kann sie auf 2500 ccm sinken, bei sehr großen kann sie bis gegen 5000 ccm steigen. Ein erhebliches Zurückbleiben hinter diesen Mittelwerten deutet auf abnorme Verhältnisse hin, besonders auf eine Schwäche der Atmungsmuskulatur. Denn der Umfang der Vitalkapazität wird hauptsächlich bestimmt von der Kraft der Atemmuskeln. Dazu kommen aber weiter die Widerstände, die sich der Ausdehnung oder Verkleinerung des Brustkorbes entgegenstellen, und auch deren Abweichung von der Norm kann zu Änderungen der Vitalkapazität führen.

So hat die Vitalkapazität ein praktisch ärztliches Interesse gewonnen und wird vielfach zur Feststellung der Funktionsfähigkeit der Atmungsorgane, z. B. von den Ärzten der Lebensversicherungsgesellschaften benutzt.

Es hat sich nun gezeigt, daß beim Übergange in verdünnte Luft, sowohl beim Aufenthalt im pneumatischen Kabinett wie beim Aufstieg ins Hochgebirge, eine Änderung der Vitalkapazität eintritt (vergl. S. 86). Für die Luftverdünnung im pneumatischen Kabinett hat das zuerst v. Vivenot¹⁹⁾ gefunden. Bei ihm ist die Verminderung relativ bedeutend, sie beträgt ca. 12%. Bei den späteren Untersuchern ist sie viel geringer; bei Schyrmunski¹⁷⁾ 3.4—5.4%, bei J. Lazarus 7.3%, bei v. Liebig 4.6—6.4%, also im Durchschnitt 4—6%.

Demgegenüber ist die Abnahme der Vitalkapazität im Hochgebirge viel bedeutender.

Schumburg und Zuntz stellten wohl als erste im Jahre 1895 Beobachtungen darüber an. Sie fanden, daß die Vitalkapazität schon in Zermatt, gegenüber Berlin, über 10% herabgesetzt war, um am dritten Aufenthaltstage wieder zu den Berliner Werten anzusteigen. Noch stärker, um fast 25%, war sie gleich nach einer Besteigung des Monte Rosa-Sattels vermindert. Aber die Autoren weisen darauf hin, daß im Hochgebirge noch ein zweiter Faktor auf eine Änderung der Vitalkapazität hinwirkt, nämlich die Ermüdung. Wie sehr gerade letztere ins Gewicht fällt, geht aus dem Abfall der Vitalkapazität von 3.2 auf 2.6 l bei Schumburg und von 4.0 auf 3.2 l bei Zuntz nach ermüdendem Steigen hervor.

Gleiche Beobachtungen machten wir 1896. Bei A. Loewy war 48 Stunden nach dem Aufstieg auf den Col d'Olen kein Unterschied gegen Berlin zu finden, bei J. Loewy und Leo Zuntz betrug er 10—15%, verschwand aber am dritten Tage. Die Abnahme war also eine vorübergehende. Bei allen dreien konnte aber wieder eine Herabsetzung durch mehrstündiges Auf- und Abklettern, und zwar wiederum vorübergehend, hervorgerufen werden.

Zahlreiche Daten haben auch wir auf unserer letzten Expedition gesammelt. Sie zeigen dasselbe: vorübergehende Abnahme der Vitalkapazität nach dem Aufstieg zur Höhe, mehr noch nach anstrengenden Märschen und ein allmähliches Wiederanstiegen. Von ihrer Wiedergabe im einzelnen wollen wir absehen, da sie Neues nicht bieten.

Da im Hochgebirge zwei Faktoren, Luftverdünnung und Ermüdung, beim Abfall der Vitalkapazität eine ursächliche Rolle spielen, kann uns die Tatsache,

daß er hier bedeutender als im pneumatischen Kabinett ist, nicht wundernehmen. Das wesentlichere Moment ist dabei jedenfalls die Ermüdung. Es ist verständlich, daß ermüdete und damit weniger leistungsfähige Atmungsmuskeln den Brustkorb weniger ausgiebig erweitern und verengern werden, als nicht ermüdete.

Aus welchem Grunde aber die Luftverdünnung als solche zu einer Abnahme der Vitalkapazität führt, darüber ist in Kapitel III genügend gesprochen worden. Es wurde dort ausgeführt, daß die Ausdehnung der Darmgase in der verdünnten Luft als das wirksame Moment anzusehen ist.

Als Gesamtergebnis dieses Kapitels können wir die Tatsache einer erregenden Wirkung des Höhenklimas auf den Atmungsvorgang betrachten. Für ihre Erklärung bedeutsam ist es, daß sie sich bei Körperarbeit in stärkerem Maße geltend macht und in geringeren Höhenlagen deutlich wird als bei Körperruhe. — Das Zentralorgan der Atmung gerät in Höhen über 3000 m leicht in einen Zustand verminderter Lebensenergie, seine Erregbarkeit nimmt ab, und es treten eigentümliche Atmungsformen auf, wie sie ähnlich im Tiefland nur bei manchen schweren Erkrankungen zur Beobachtung gelangen. — Auch für das Verständnis der individuellen Disposition zur Bergkrankheit erwies sich die Untersuchung der Atemmechanik als wichtig, insofern sie uns über den einen wesentlichen Faktor für die Sauerstoffversorgung der Gewebe, nämlich über den Sauerstoffvorrat in den Lungenbläschen und die Breite seiner individuellen Schwankungen, Aufklärungen brachte.

Literatur.

- 1) A. Aggazzotti: *Laborat. scient. internat. du Mont Rosa*. Turin 1904.
- 2) E. Aron: *Festschrift für F. Lazarus*. Berlin 1899.
- 3) A. Durig und N. Zuntz: *Laborat. scient. internat. du Mont Rosa*. Turin 1904 und *Archiv für Anatomie und Physiologie*. Physiol. Abteilung 1904.
- 3^a) Einthoven: *Wirkung der Bronchialmuskeln*. *Pflügers Archiv*. Bd. 51. S. 367.
- 4) J. Geppert und N. Zuntz: *Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie*. Bd. 42.
- 5) A. Jaquet und J. Stähelin: *Archiv für experiment. Pathol. und Pharmakol.* Bd. 46.
- 6) A. Jaquet: „Über die physiologische Wirkung des Höhenklimas“. Basel 1904.
- 6^a) J. Lazarus: *Reflexe auf die Bronchiallumen*. *Archiv für Physiologie*. 1891.
- 7) A. Loewy, J. Loewy und Leo Zuntz: *Pflügers Archiv f. d. ges. Physiol.* Bd. 66.
- 8) A. Loewy: *Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie*. Bd. 58.
- 9) A. Loewy und F. Müller: *Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie*. Bd. 103.
- 10) Marcet: *Proceedings of the royal soc. of London XXVIII*.
- 11) Mermod: *Bull. de la soc. vaudoise des scienc. natur.* XV.
- 12) A. Mosso: „Der Mensch auf den Hochalpen“. Leipzig 1899.
- 13) Derselbe: *Archiv für Physiologie*. Supplement 1886.
- 14) Derselbe: „La respirazione periodica“. Turin 1905.
- 15) Panum: *Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie*. Bd. 1.
- 16) v. Schrötter und N. Zuntz: *Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie*. Bd. 103.
- 17) Schumburg und Zuntz: *Ebenda*. Bd. 63.
- 17^a) Schyrmunski: *Über den Einfluß der verdünnten Luft usw.* Dissert. Berlin 1877.
- 18) Veraguth: „Le climat de la haute Engadine“. Paris 1887.
- 19) v. Vivenot: „Wirkungen der verdichteten Luft“. Erlangen 1868.

Kapitel XII.

Herztätigkeit und Blutkreislauf.

Die wesentlichste Aufgabe, die das Herz und der durch dessen Tätigkeit unterhaltene Blutkreislauf zu erfüllen haben, ist die Blut- und Sauerstoffversorgung des Körpers. Sie steht nicht nur ihrem Zweck nach in enger Verknüpfung mit der Atmung, sondern wird auch durch diese in erheblichem Maße mechanisch gefördert. Aber einen so klaren Einblick wir in den Ablauf des Atmungsvorganges gewinnen können, so leicht es ist, die Sauerstoffzufuhr zu den Lungen durch geeignete Versuchsanordnungen zu messen, so schwierig ist es, die Herztätigkeit und ihre Wirkung auf die Sauerstoffzufuhr zu den einzelnen Organen genauer zu analysieren. Es ist bis vor kurzem unmöglich gewesen, den unmittelbaren und bedeutungsvollsten Effekt der Herztätigkeit beim Menschen festzustellen, nämlich die bei jedem Herzschlage ausgeworfene Blutmenge. Sie ist bestimmend für die Menge des Ernährungsmaterials und des Sauerstoffs, die den Organen unseres Körpers zugeführt wird.

Man glaubte früher, daß die Frequenz der Herztätigkeit, also die Pulsfrequenz, insofern wenigstens einen Maßstab für die umlaufende Blutmenge abgebe, als mit ihrer Zunahme auch der Blutumlauf zunehme, mit ihrer Abnahme geringer werde. Aber das hat sich in neueren Versuchen¹⁴⁾ als unrichtig erwiesen. Selbst wenn neben der Pulsfrequenz der in den Gefäßen herrschende Blutdruck mit berücksichtigt wird, haben wir noch keinen Maßstab für die vom Herzen geförderte Blutmenge.

Pulsfrequenz und Blutdruck sind aber diejenigen Faktoren, deren Bestimmung

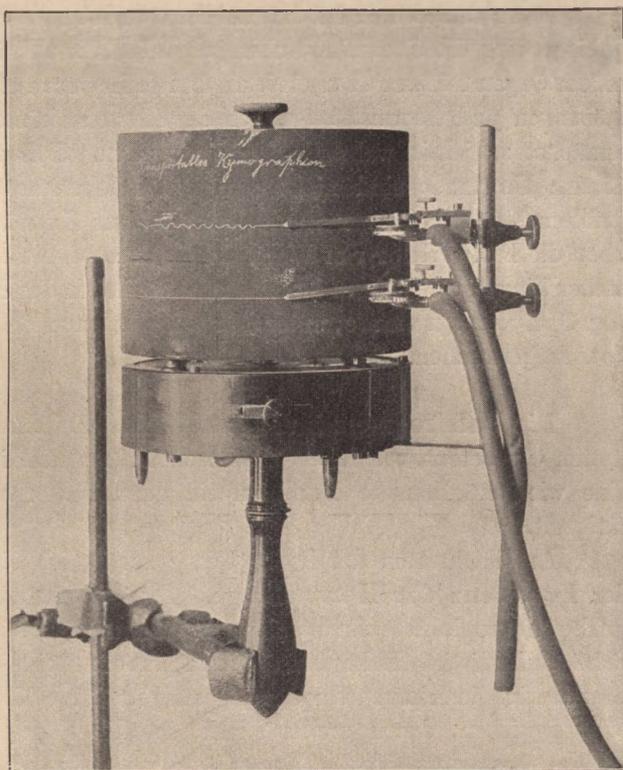


Fig. 1. Sphygmograph für Marschversuche.

in Untersuchungen über die Herzarbeit des Menschen allein Verwendung finden kann. Eine Ergänzung erfahren sie durch die Aufnahme des Pulsbildes. Wie der Ablauf der Atmung, so können auch die Pulswellen graphisch aufgezeichnet und in Kurvenform dargestellt werden. Im Laufe dieses Kapitels werden wir darauf noch ausführlicher zurückzukommen haben.

Die Anschauungen über die Bedeutung der Pulsbilder sind mannigfachem Wechsel ausgesetzt gewesen. Die hohe Schätzung, der sie sich früher erfreuten, ist einer sehr skeptischen Beurteilung gewichen, wenigstens soweit physiologische Verhältnisse in Betracht kommen. Bei Erkrankungen des Herzens und des Gefäßsystems ist es anders. Die Pulskurve zeigt bei einer ganzen Reihe krankhafter Prozesse so charakteristische Abweichungen von der Norm, daß aus ihnen die betreffende Krankheit ohne weiteres erkannt werden kann.

Beim Aufenthalt im Höhenklima und besonders bei Wanderungen im Hochgebirge wird die Grenze zwischen gesundhaftem und krankhaftem Verhalten kaum bei einem Organ leichter überschritten und mehr verwischt als beim Herzen. Ernährungsstörungen und Überanstregungen des Herzens können sich langsam ausbilden, ohne zunächst subjektiv wahrnehmbar zu werden. Das gerade ist das Gefährliche, und diesem Umstande sind nicht wenige bei Wanderungen im Hochgebirge zum Opfer gefallen. Besonders zur Beurteilung solcher Zustände der Herzermüdung sind aber die Pulsbilder von Wert, da sie durch charakteristische Merkmale auf ihr Bestehen hinweisen. Darum haben auch wir neben der Pulszählung Bilder unserer Pulse, sog. Sphygmogramme, unter den verschiedenen Bedingungen, die unsere Expedition bot, aufgenommen.

Die Pulsfrequenz im Höhenklima. Bei der Besprechung der Atemmechanik hatten wir betont, wie leicht sie durch äußere und innere Reize zu beeinflussen sei, eine wie veränderliche Funktion sie darstelle. Das Gleiche gilt von der Herztätigkeit.

Am leichtesten der Beobachtung zugänglich sind die großen Schwankungen in der Frequenz der Herzschläge. Die als normal betrachtete Zahl von 65—70 Schlägen pro Minute findet sich nur, wenn längere Zeit schon vollkommene körperliche und geistige Ruhe besteht und äußere Reize ferngehalten werden. Sie wird, ebenso wie die Atmungsfrequenz, gesteigert durch Erregungen, die auf unsere Sinnesorgane wirken, durch grelles Licht, schrille Töne, durch Reize, die unsere Haut treffen, besonders durch Temperaturreize. Zu diesen äußeren Reizen kommen dann sog. innere, d. h. solche, die bei der Tätigkeit unserer Organe entstehen. Für die Erzeugung solcher ist in erster Linie, wie bei der Atmung so auch hier, die Muskel-tätigkeit zu nennen.

Da das Klima, und zwar jedes Klima, Faktoren enthält, die auf die Sinnesorgane, speziell unser Auge und unsere Haut, wirken, so ist es nur natürlich, daß die Herztätigkeit gesteigert wird, wenn wir uns den Klimareizen direkt aussetzen, und es kann uns nicht wundernehmen, daß das Höhenklima energischer wirkt, als das des Tieflandes. Auffallender ist es schon, daß wir hier Dauerwirkungen nach Art der bei der Atemmechanik besprochenen finden, daß wir also

die Pulsfrequenz, gesteigert sehen, auch ohne daß eine unmittelbare Einwirkung der wirksamen Klimafaktoren stattfindet oder kurz vor der Untersuchung stattgefunden hatte.

Man scheidet den direkten Einfluß des Klimas und der inneren Reize am ehesten aus, wenn man den Puls frühmorgens vor dem Aufstehen zählt; dadurch hat man auch die größte Sicherheit, bei voller körperlicher Ruhe zu untersuchen und nicht durch Nachwirkung vorhergegangener Arbeit getäuscht zu werden.

Legt man diesen Gesichtspunkt zugrunde, so scheidet von den zahllosen Pulszählungen, die beim Aufenthalt in den Bergen vorgenommen wurden, die überwiegende Mehrzahl, insbesondere der älteren Zählungen aus, denn einerseits wurden sie im Anschluß an einen aktiv unternommenen Aufstieg gemacht und standen noch unter dem Einfluß der voraufgegangenen, meist ermüdenden Muskelarbeit, andererseits befanden sich die Untersuchten unter der direkten Wirkung der Sonnenstrahlung oder der Kälte, des Windes, der Blendung. Wir wollen deshalb auf die so gewonnenen Ergebnisse, über die zuerst wohl Saussure¹⁷⁾ bei seinen Montblanc-Besteigungen, Parrot¹⁸⁾ bei seinen Besteigungen der armenischen Gebirge, Zumstein²¹⁾ vom Monte Rosa berichtet, nicht weiter eingehen. Kronecker¹⁰⁾ hat eine große Zahl solcher Beobachtungen aus allen Gebirgen der Erde in seiner, der „Bergkrankheit“ gewidmeten Monographie zusammengestellt, und auf diese möchten wir verweisen.

Übereinstimmend ergab sich, daß die Pulsfrequenz von einer geringeren oder größeren Höhe ab mehr oder weniger gesteigert war.

Kronecker selbst unternahm im Jahre 1894 seine Expedition von Zermatt (1600 m) aufs Zermatter Breithorn (3750 m). Er suchte dabei die Wirkung der Muskelarbeit auf das körperliche Verhalten in der Höhe auszuschließen und ließ alle Beteiligten bis zur unteren Theodul-Hütte reiten, von dort ab auf Sesseln aufs Breithorn tragen, dessen Spitze nicht ganz erreicht wurde. Auch die unter diesen Umständen vorgenommenen Pulszählungen ergaben eine deutliche, individuell aber stark wechselnde Steigerung:

Die Pulszahl pro Minute betrug für:

Knabe J. (10 Jahre)	in Zermatt	84	auf dem Breithorn	120
Frau Professor Sahli (20er Jahre)	„	96	„	106
Frau Professor Kronecker (30er Jahre) „	„	85	„	100
Professor S. (30er Jahre)	„	94	„	106
Professor Kr. (50er Jahre)	„	64	„	80
P. (70er Jahre)	„	70	„	80

Die erste und letzte Person stammten aus Zermatt, die übrigen aus Bern; die Steigerung der Pulszahl findet sich bei allen.

Über weitere Beobachtungen, in denen neben der Ermüdung auch die direkte Klimawirkung vermieden wurde, berichten Heller, Mager und v. Schrötter.⁷⁾ Sie hielten sich drei Tage in der 2210 m hoch am Dachstein gelegenen Simony-Hütte auf. Auch in dieser Höhe nahm die Pulszahl im Maximum um 13 pro Minute zu. Weitere Erfahrungen finden sich bei Mosso.¹⁵⁾ Auf seine Veranlassung wurde die Pulsfrequenz bei den 15 Mitgliedern einer in der Mehrzahl aus Schülern bestehenden Karawane bestimmt, die von Turin

aus auf die Monte Rosa-Spitze gekommen war und dort mehrere Tage blieb. Die Beobachtungen geschahen bei voller Ruhe in der Hütte. Auch hier war eine Zunahme festzustellen, die am ersten Tage 20—40 Pulse für die Minute ausmachte. Am dritten Tage aber war schon ein deutlicher Rückgang zu erkennen, so daß die Pulszahl die in Turin nur noch um 3—8 Schläge übertraf.

Diese letztere Tatsache der Wiederabnahme der gesteigerten Pulsfrequenz bei längerem Aufenthalt in der Höhe scheint etwas ganz Gesetzmäßiges zu sein. Sie fand sich überall, wo darauf geachtet wurde, so, sehr deutlich, auf der Expedition der Gebrüder Loewy mit Leo Zuntz.^{13a)} Die bei A. Loewy von 64 in Berlin auf 78—84 in der Gnifetti-Hütte (3620 m hoch) gestiegene Pulsfrequenz sank am dritten Tage des Hüttenaufenthaltes auf 68 ab. Bei J. Loewy stieg sie von 60 in Berlin auf 86—88, um dann wieder auf 58—60 herabzugehen, bei Leo Zuntz waren die Pulszahlen 60 : 80—84 : 68. — Die auf unserer Expedition im Jahre 1901 gewonnenen Ergebnisse lehren dasselbe in noch deutlicherer Weise. —

Die vorstehend mitgeteilten Untersuchungen sind an Personen angestellt worden, die den Aufenthalt im Hochgebirge nicht gewohnt waren. Wir sahen bei Betrachtung der Atemmechanik, daß dieses Moment eine Rolle spielt. Die Atmung wurde weit mehr erregt bei Personen, die aus dem Tiefland aufstiegen, als bei denen, die dauernd oder selbst nur vorübergehend sich im Hochgebirge aufgehalten hatten. Bei der Herzstätigkeit ist dieser Unterschied nicht von so erheblicher Bedeutung. Ein Urteil erlauben die Ergebnisse an Mossos Bergsoldaten. Ihre Pulsfrequenz lag in Turin sehr niedrig, nur zwischen 47—52 pro Minute; schon in Gressoney (1600 m) begann sie anzusteigen, deutlicher wurde die Wirkung in 2500 und 3000 m Höhe, und war auf der Monte Rosa-Spitze meist sehr ausgeprägt. Bei dem einen Soldaten betrug sie 90 gegen 46 in Turin, bei einem zweiten 84 gegen 48, bei drei anderen 67 : 51, 60 : 47, 58 : 52.

Wir haben uns bisher fast ausnahmslos auf die Wirkung bedeutenderer Höhen bezogen. Daß die Steigerung der Pulsfrequenz jedoch schon an Orten einsetzt, die noch als klimatische Kurorte benutzt und viel besucht werden, lehren die Erfahrungen der Ärzte in den Graubündener Kurorten. Jaccoud,⁸⁾ Veraguth,²⁰⁾ Egger⁵⁾ fanden in St. Moritz und Arosa zum Teil erhebliche Steigerung des Pulses, und in Veraguths Zahlen zeigt sich auch ein allmähliches Wiederabfallen.

Das umfassendste Material, was Verschiedenheit der Höhe und Dauer der Beobachtung betrifft, können wir selbst beibringen. Während der fast sechs Wochen dauernden Expedition wurde an jedem von uns frühmorgens, gleich nach dem Erwachen, und abends, längere Zeit nach Aufsuchung des Lagers, die Pulsfrequenz gezählt. Die äußeren Bedingungen sind also stets die gleichen gewesen. Erwähnenswert ist dabei, daß in den Stunden vor dem Schlafgehen keine anstrengende Muskeltätigkeit geleistet wurde, unter deren Nachwirkung etwa die Herzstätigkeit stehen konnte. Nichtsdestoweniger sind die des Morgens gefundenen Werte maßgebender, da, wie sich zeigen wird, im Hochgebirge auch eine geringe Muskeltätigkeit den Puls für längere Zeit zu steigern vermag.

Unsere Resultate werden am deutlichsten, wenn wir sie nicht in Form von Tabellen, sondern in einer graphischen Aufzeichnung geben. Es genügt hier eine kurze Betrachtung, um einen Überblick über die wesentlichen Ergebnisse zu erlangen. Sie finden sich auf der Tafel zwischen S. 344 und 345.

Auf der Tafel bedeuten die untenstehenden Zahlen das Datum, die an der linken Seite die Pulszahl. — Die etwas fetter gedruckten senkrechten Linien, an deren Fuße das Datum steht, entsprechen der Morgenzählung, die in der Mitte dazwischen liegenden der Abendzählung. Wo eine Zählung fehlt, wurde dies durch Punktierung der Kurve angedeutet.

Die eigentümlichste Tatsache vielleicht ist die, daß schon der Aufenthalt in Brienz bei uns allen den Puls beschleunigte. Die in Berlin gefundenen Zahlen, deren Mittel den Werten in Brienz vorangesetzt ist, sind stets niedriger als in Brienz. Und dabei hat Brienz nur eine Höhe von 500 m! Diese Tatsache läßt sich schwer aus der Luftdruckverminderung erklären, wenn auch die Vermehrung der Blutzellen in gleicher Höhe und die von uns gefundene Steigerung des Eiweißansatzes für diese Möglichkeit sprechen.

Wir möchten besonders darauf hinweisen, daß bei zwei von uns sechs (Müller und Kolmer) die normale Pulszahl am Morgen 40 nur wenig überschreitet, bei den übrigen nahe an sechzig liegt. Hierin kommt die absolute körperliche und geistige Ruhe, deren wir uns befleißigten, zum Ausdruck. Es wäre sicherlich von großem Interesse, wenn eine Anzahl gesunder, kräftiger Menschen ihre normale Pulsfrequenz morgens im Bette bei vollkommener Entspannung der Muskulatur feststellen wollten, um zu ermitteln, ob nicht die jetzt in den Lehrbüchern angegebenen Zahlen zu hoch sind. Auch die oben angeführten Zählungen Mossos sprechen dafür.

Bemerkenswert ist sodann, wie bei uns allen die Pulsfrequenz während des Aufenthaltes in Brienz allmählich wieder absinkt. Besonders beweisend sind hierfür die morgendlichen, weil zuverlässigsten Werte. Am deutlichsten spricht sich der Vorgang bei Müller, Waldenburg und Loewy aus, ist aber auch bei den übrigen nicht zu verkennen. Er deutet auf eine allmähliche Gewöhnung an die klimatischen Reize hin, die bei dem einen früher, bei dem anderen später eintrat.

Der Übergang aufs Rothorn (2150 m) hat ein ganz eigentümliches Verhalten zur Folge. Sowohl bei der Gruppe Loewy-Müller-Kolmer, die es bereits am siebenten Tage aufsuchte, wie auch bei der zweiten, erst am neunzehnten Tage emporfahrenden, tritt zunächst eine Abnahme der Pulsfrequenz ein, die 1—2 Tage anhält, um dann einer Steigerung Platz zu machen, die bei vieren über die Brienz Werte hinausgeht, bei Zuntz und Loewy sie nicht deutlich überschreitet. Der einzige, der den primären Abfall nicht erkennen läßt, ist Waldenburg.

Die Steigerung über die Pulsfrequenz in Brienz hinaus tritt nur bei Müller bereits am zweiten Ruhetage auf dem Rothorn, bei Kolmer, Waldenburg, Caspari dagegen erst am ersten Arbeitstage auf, so daß man daran denken könnte, sie als Nachwirkung der intensiveren körperlichen Betätigung aufzufassen. — Bei dem längeren Aufenthalt auf dem Rothorn kommt ein allmählicher Wiederabfall der Pulszahl zustande.

Das Ansteigen der Pulszahl auf dem Rothorn und der allmähliche Wiederabfall entspricht bekannten Tatsachen, dagegen ist ein primäres Absinken bis jetzt noch nie beobachtet worden. Für zufällig kann man es nicht halten,

dafür tritt er zu gleichmäßig bei fünf von sechs Personen auf. Eine Erklärung dafür zu geben, ist schwer, und wir möchten uns nicht in Vermutungen ergehen. Mit dem Training kann es nicht zusammenhängen, da es bei den Untrainierten und Trainierten auftrat. Hier werden erst weitere Untersuchungen Aufklärung bringen müssen.

Eine wichtige und neue Tatsache ist ferner die, daß bei keinem der drei Teilnehmer der ersten Gruppe nach Rückkehr nach Brienz sich die Pulsfrequenz wieder auf die Werte der ersten Brienzer Periode einstellt, vielmehr deutlich unter sie herabgeht. Dieser Befund tritt ganz dem für den Stoffumsatz und die Atemmechanik ermittelten an die Seite. Wir sahen, daß auch der Stoffzerfall und die Atemgröße in der zweiten Brienzer Periode niedriger lagen als in der ersten. — Die Erklärung dürfte hier die gleiche wie dort sein. Das Herz hatte sich an die Reize des Rothorn-Klimas und die größere körperliche Anstrengung der Märsche gewöhnt. Mit der Rückkehr nach Brienz fällt ein Teil dieser Reize fort, und das Herz wird jetzt weniger energisch angeregt.

Der Übergang zum Monte Rosa endlich brachte bei allen eine meist erhebliche Steigerung. Sie setzt schon auf dem 2900 m hohen Col d'Olen ein, um auf der Monte Rosa-Spitze das Maximum zu erreichen. — Auch für den Monte Rosa ist bemerkenswert, daß allmählich die Pulszahl wieder absinkt, ohne allerdings am Ende des achttägigen Aufenthalts die ursprünglichen Werte wieder erreicht zu haben.

Als Ergebnis haben wir also zunächst eine Anregung der Herztätigkeit durch das Gebirgsklima. Die Wirkung steigert sich mit zunehmender Höhe. Dabei scheinen mittlere Höhen die Herztätigkeit in anderer Art zu beeinflussen als bedeutende. Bei längerem Aufenthalt auf gleicher Höhe tritt ein allmählicher Wiederabfall der Pulsfrequenz ein; nach Rückkehr ins Tiefland scheint sie zunächst geringer zu sein als in gleicher Höhenlage vor dem Aufstieg.

Welches sind nun die Ursachen für diese Änderung der Herztätigkeit? Man muß auch für diese Frage eine Scheidung nach der Höhe vornehmen. In geringen und mittleren Höhen dürften andere Momente vorwiegend in Betracht kommen als in bedeutenden.

Man versuchte zunächst, den Einfluß der Luftverdünnung auf die Herztätigkeit festzustellen, und nahm zu dem Zwecke Pulszählungen im pneumatischen Kabinett bei verschiedenen Graden von Druckherabsetzung vor. Man fand dabei, daß die Luftverdünnung einen wesentlichen Einfluß auf das Verhalten des Pulses hat. Es wurden Pulssteigerungen beobachtet, die den im Gebirge gefundenen annähernd entsprachen. So fand G. v. Liebig¹²⁾ an drei Personen folgende Pulswerte:

Person I	Person II	Person III
724 mm Hg = 61	724 mm Hg = 69	720 mm Hg = 64
647 mm Hg = 65	615 mm Hg = 72	650 mm Hg = 72
500 mm Hg = 66	579 mm Hg = 75	424 mm Hg = 84
429 mm Hg = 67	512 mm Hg = 78	

Annähernd Gleiches beobachteten Paul Bert²⁾ und A. Mosso¹⁵⁾ an sich selbst.

Aus den Zahlen Liebigs ergibt sich, daß schon geringe, Höhen von etwa 1000 m entsprechende, Verdünnungen den Puls zu steigern vermögen. Hier braucht man aber die mit der Verdünnung einhergehende Sauerstoffverarmung der Luft noch nicht als Ursache heranzuziehen, wir müssen vielmehr an mechanische Wirkungen denken, ausgelöst durch die Empordrängung des Zwerchfells und die geänderte Lungenstellung, ferner an psychische infolge von abnormen Empfindungen oder gar Schmerzen in der Paukenhöhle durch die Ausdehnung der dort eingeschlossenen Luft. Solche Empfindungen wirken erfahrungsgemäß auf die Herzfrequenz. Die mechanischen Effekte haben beim Aufenthalt im Gebirge höchstens an den ersten Tagen Bedeutung, da ja, wie in Kapitel III erörtert, schon bald Ausgleichprozesse eintreten. Bei den stärkeren Verdünnungsgraden kommt dann der beginnende Sauerstoffmangel in Betracht.

Das zeigen sehr schöne Versuche, die Paul Bert an sich selbst im pneumatischen Kabinett anstellte. Mit den Symptomen des beginnenden Sauerstoffmangels setzte eine erheblichere Steigerung der Pulsfrequenz ein, die durch Einatmung von Sauerstoff sogleich beseitigt werden konnte.

Danach dürfte an der sehr erheblichen Steigerung, die wir an uns allen auf dem Monte Rosa fanden, der Sauerstoffmangel seinen Anteil haben, und das allmähliche Absinken des Pulses könnte zu der ihm parallel gehenden Besserung unserer Beschwerden in Beziehung gebracht werden. Daß Sauerstoffmangel die Pulsfrequenz steigert, wird uns verständlich, wenn wir auf die in Kapitel XV eingehender zu würdigende Tatsache hinweisen, daß er instande ist, neben allen sonstigen Veränderungen im Organismus die Körpertemperatur zu erhöhen, also eine Art Fieber zu erzeugen. Daß mit gesteigerter Körpertemperatur eine Erhöhung der Pulsfrequenz einhergeht, ist ja allgemein bekannt.

Wir müssen also mehrere Momente als Ursachen der Pulsfrequenzsteigerung gelten lassen, von denen Luftverdünnung und Sauerstoffmangel bis jetzt am besten gekennzeichnet sind. — Man hat die Pulszunahme auch vom teleologischen Standpunkte aus betrachtet und sie für eine zweckmäßige Regulationseinrichtung angesehen. Man nahm dabei an, daß infolge der Beschleunigung des Pulses der Blutumlauf zunehme und so die Blut- und Sauerstoffversorgung der Organe eine bessere werde. Es ist schon hervorgehoben, daß es sich so verhalten kann, daß aber die Pulsbeschleunigung kein sicheres Anzeichen für eine Beschleunigung des Blutstromes ist. Für die verdünnte Luft des pneumatischen Kabinetts hat Loewy übrigens in besonderen Versuchen an Hunden eine Änderung der Blutstromgeschwindigkeit nicht nachzuweisen vermocht.¹³⁾

Bedeutsamer vielleicht als die Pulsveränderungen bei Körperruhe sind die bei Muskelarbeit im Hochgebirge. Es ist eine der auffallendsten und sich immer wieder dem Beobachter aufdrängenden Tatsachen, wie enorm der Puls durch Muskelarbeit im Gebirge beschleunigt wird, und wie selbst ganz geringfügige Bewegungen, etwa der Übergang zum Sitzen oder Aufrechtstehen aus liegender Stellung, den Puls unverhältnismäßig ansteigen lassen. Die hohe Pulszahl, die bei Selbstbeobachtungen gelegentlich kurzer Spaziergänge oder längerer, aber nicht anstrengender Märsche festgestellt wird, gibt nicht selten Grund zu Besorgnissen über

den Zustand und die Leistungsfähigkeit des Herzens. Und doch ist die Pulszahl, selbst wenn sie die höchsten, in fieberhaften Erkrankungen vorkommenden noch übertrifft, an sich von keiner schlechten Vorbedeutung.

Einige Beispiele sollen die Wirkung der Höhe auf die Pulsfrequenz bei Muskularbeit erläutern. — Veraguth fand, daß Ersteigen einer Treppe von 50 Stufen seinen Puls in Zürich um 32.4 Schläge steigerte, in St. Moritz während der ersten 10 Tage dagegen um 47.3 Schläge. Später sank die Beschleunigung auf 33 herab.

Mosso ließ seine Bergsoldaten zwei je 5 Kilo schwere Hanteln alle 4 Sekunden heben bis zur Ermüdung, die nach 120—130 Hebungen eintrat. In Turin stieg dabei die Pulsfrequenz bei dem Soldaten Chamois von 62 auf 68, auf dem Monte Rosa-Gipfel von 96 auf 128, bei dem Soldaten Oberhoffer von 70 auf 86 in Turin, von 82 auf 118 auf dem Monte Rosa. Dabei war die Muskelkraft, für die die Zahl der ausführbaren Hebungen einen Maßstab abgibt, oben nicht herabgesetzt. — Auch Kronecker liefert interessante Beiträge. Auf dem Zermatter Breithorn (3750 m) war nach 20 Schritten auf dem schwach geneigten Schneefeld (die Neigung betrug 4.5%) die Pulsfrequenz bei Herrn S. von 106 auf 144 gestiegen, in Bern unter denselben Bedingungen gleich geblieben. Bei Frau S. stieg sie im ersteren Fall von 106 auf 140, im letzteren von 100 auf 104. Kronecker selbst hatte auf dem Breithorn bei 20 Schritten eine Zunahme von 80 auf 120, in Bern nach 50 Schritten von 84 auf 102 Pulse.

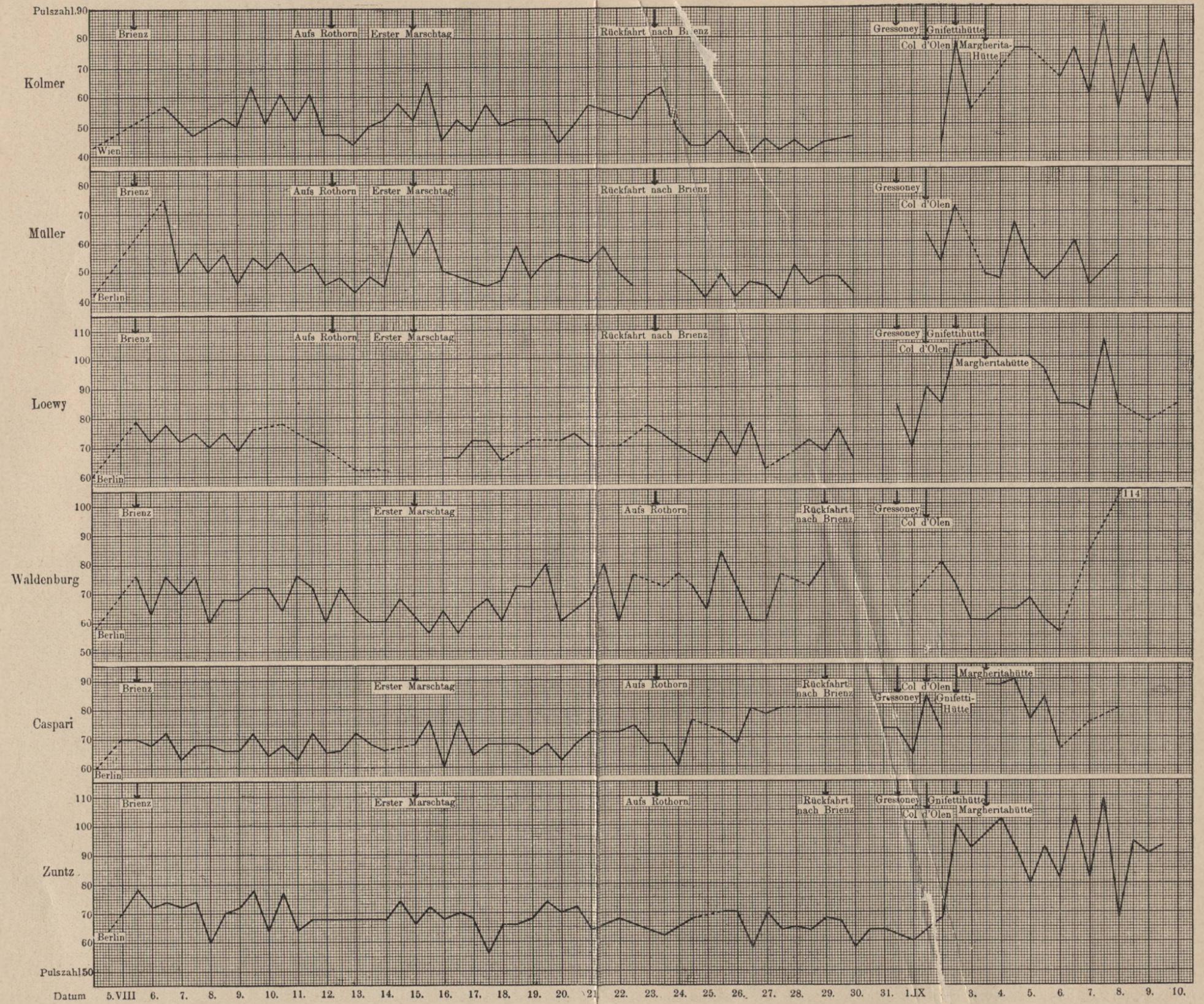
Die vorstehenden Zahlen geben darum einen guten Begriff von der Wirkung der Höhenluft, weil in ihnen die Muskularbeit in der Höhe der im Tieflande annähernd gleich gehalten wurde. Die Differenzen in der Pulszunahme können somit direkt der Höhenwirkung zugeschrieben werden.

Aber auch ohne solche Vergleichswerte werden einige unserer auf der Monte Rosa-Spitze gewonnenen Pulszahlen einen Begriff von der abnormen Erregbarkeit des Pulses geben. — Bei Zuntz betrug die Pulsfrequenz im Liegen 80, beim Sitzen 92, 106, 108. Bei Caspari war die Pulszahl im Liegen 66, im Sitzen 96, im Stehen 109. Bei Loewy 84 im Liegen, 110 im Sitzen. — So stark ließ die geringe mit dem Sitzen bzw. Stehen verbundene Muskularbeit den Puls emporschnellen!

Die starke Zunahme der Pulsfrequenz bei Muskeltätigkeit im Gebirge erklärt sich aus dem Zusammenwirken von Höhenluft und Muskularbeit.

Bei jeder Muskeltätigkeit pfllegt der Puls anzusteigen. Die bei der Muskeltätigkeit sich bildenden Reizstoffe wirken wie auf die Atmung, so auf das Herz. Aber der Grad der Frequenzzunahme wechselt individuell auch bei gleicher Arbeit sehr erheblich. Es gibt eben mehr und weniger erregbare Herzen und auch die Menge der gebildeten Reizstoffe ist wohl individuell verschieden. Auf den Grad der Leistungsfähigkeit läßt sich aus dem Grade der Pulszunahme im allgemeinen kein Rückschluß ziehen. Das zeigen besonders deutlich die umfangreichen Untersuchungen, welche Zuntz und Schumburg²³⁾ über den Einfluß langdauernder Märsche bei wechselnder Belastung auf den Ablauf der Körperfunktionen angestellt haben. Bei einigen ihrer sechs Versuchspersonen ging zwar hohe Pulsfrequenz mit verminderter Leistungsfähigkeit einher, bei anderen jedoch war das nicht der Fall, ja, gerade bei der Person, die die geringste Pulsbeschleunigung zeigte, waren besonders deutliche Erschöpfungssymptome zu konstatieren.

Gewöhnlich steigt der Puls schon in den ersten Sekunden nach Beginn der Arbeit, stellt sich bei gleichbleibender Arbeit bald auf ein Maximum ein und verharrt auf diesem bis zum Schluß, um dann schnell wieder abzufallen.



Zahl der Pulse in der Minute, Morgens und Abends in Bettruhe.

BIBLIOTEKA
UNIW. JAGIELL.
STUDJUM WYCH. PZ. U.J.

Bei anstrengender Arbeit können schon im Tieflande enorme Pulsbeschleunigungen zustande kommen, die durch etwa eintretende Atemnot noch gesteigert werden. Als Typus dessen, was bei Dauerleistungen wohl trainierter Menschen beobachtet wurde, nennen wir die Werte, die Blake und Larrabee^{2a)} an Dauerläufern gelegentlich der olympischen Spiele in Boston feststellten. Der Puls war von 80 auf 164, 162, 160, gestiegen. Nach kurzdauernden maximalen Anstrengungen kann die Pulsfrequenz weit höher steigen. So berichtet Kolb⁹⁾ von einer Pulsfrequenz von 250 pro Minute nach Wettrudern.

Im Gebirge werden nun bei selbst geringen Arbeitsleistungen oft ungewöhnlich hohe Pulszahlen erreicht. A. Loewy, der häufig seine Pulsfrequenz beim Bergaufmarschieren auf den oberbayrisch-tiroler Kunststraßen zählte, hatte in früheren Jahren gewöhnlich 160—176 Pulse; J. Loewy und Leo Zuntz oberhalb Gressoney (1600 m) gleichfalls 150—160 Pulse, ohne daß dabei ein Gefühl der Ermüdung oder gar des Lufthungers bestand. Am Findelnbach fand Kronecker nach nur 100 Schritten aufwärts bei sich 156 Pulse, bei seinem Gehilfen nach 200 Schritten 150 Pulse. Durch einen Aufstieg um 300 m innerhalb 40 Minuten von Bern auf den Gurten wuchs Kroneckers Puls auf 138, sank dann bei Ruhe, um während eines nur eine Minute dauernden Steigens auf den Kulm wieder auf 138 heraufzugehen. — In Kroneckers Versuchen wie in den Beobachtungen an A. Loewy handelt es sich, wie ersichtlich, gar nicht um bedeutende Höhenlagen.

Bemerkenswert ist nun die Tatsache, daß bei über längere Zeit fortgesetzter oder häufig sich wiederholender Arbeit im Gebirge, analog den Erfahrungen im Tieflande, die Pulserhöhung geringer wird. Das hängt aber nicht notwendig mit einer Steigerung der Leistungsfähigkeit zusammen.

Am auffälligsten sind die Pulsdifferenzen, die zwischen dem aus dem Tieflande kommenden, wenn auch gut trainierten Wanderer und seinem berggewohnten Führer zutage treten; auffällig aber auch die geringere Erregbarkeit des Herzens, die im Laufe längerer Gebirgswanderungen bei ein und derselben Person sich allmählich einstellt.

So betrug die Pulsfrequenz bei Caspari und Waldenburg in den ersten Bergaufmärschen bei Brienz 150—175 pro Minute, um später nicht mehr über 120—130 hinauszugehen. Höher lag der Puls selbst nicht bei der Ankunft auf Rothorn Kulm nach fünfständigem Aufmarsche. Bei Kolmer, dem kräftigsten und schon bei Beginn der Expedition vollkommen trainierten, lagen die Pulszahlen anfangs bei 130—140, um später wenig mehr als 100, zum Teil nur 90—100 zu betragen. Loewy erreichte während der ersten Marschtouren bis 144 Pulse, später nur noch 128.

Selbst der Aufstieg zur Monte Rosa-Spitze vermochte unseren Puls nicht wesentlich mehr in die Höhe zu treiben. Trotzdem hier die Luftverdünnung doch schon erheblich ins Gewicht fällt, hatten sofort beim Betreten der Margherita-Hütte Zuntz nur 132, Loewy 132, Caspari 100, Kolmer 128, unsere beiden Führer allerdings noch weniger, nämlich nur 96 Pulse pro Minute.

Vergleichen wir die Pulszahlen auf den verschiedenen Höhen bei Ruhe und bei Arbeit, so finden wir zwar einerseits, daß die Muskelarbeit auch schon in mäßiger

Höhe die Pulsfrequenz mehr steigert als im Flachlande, daß aber diese Wirkung der Höhe durch Training, wie wir es durch unsere Übungsmärsche erworben hatten, selbst für bedeutendere Höhe kompensiert werden kann.

Die Pulszunahme des arbeitenden Menschen muß nun als ein wichtiger regulatorischer Vorgang betrachtet werden, durch den eine reichlichere Blut- und Sauerstoffzufuhr zu den arbeitenden Muskeln gewährleistet wird.

Wir hatten schon in Kapitel X erwähnt, daß die ruhenden Organe von dem ihnen mit dem Blute zuströmenden Sauerstoff ungefähr $\frac{1}{3}$ entnehmen. Würde sich in der Blutzirkulation nichts ändern, so könnte der Sauerstoffbedarf nur auf das Dreifache der Ruhe steigen; dann wäre aller Sauerstoff dem arteriellen Blute entzogen und ein weiterer Bedarf würde keine Deckung finden.

Tatsächlich steigt aber der Bedarf bei einer Arbeit, wie sie Bergaufmarschieren darstellt, auf das 4—6fache der Ruhe, und wie Versuche an Pferden von Zuntz und Hagemann²⁴⁾ gezeigt haben, verliert das Blut dabei durchaus nicht vollkommen seinen Sauerstoff. Beim Pferde entnehmen die Gewebe dem arteriellen Blut bei Körperruhe im Mittel 51.6%, bei Arbeit 68.9% seines Sauerstoffs, so daß das venöse Blut im letzteren Falle noch 31.1% der ursprünglich vorhandenen Menge enthält.

Es muß also eine sehr erhebliche Beschleunigung des Blutumlaufs stattgefunden haben und für diese stellt die Pulszunahme einen der wirksamen Faktoren dar. — Allerdings ist sie nicht der einzige; ihr zur Seite tritt eine Zunahme der Blutmenge, die durch die einzelne Herzkontraktion ausgeworfen wird. Aus Versuchen von A. Loewy und H. v. Schrötter¹⁴⁾ über die Zirkulationsverhältnisse beim Menschen ergibt sich, daß diese Menge bei der gleichen Person nicht unbedeutend schwanken kann, und daß sie bei gesteigertem Sauerstoffbedarf durch Muskeltätigkeit ansteigt. Danach müssen wir annehmen, daß bei der Steigarbeit im Gebirge neben der Zunahme der Pulsfrequenz eine Zunahme der durch jeden Puls den Geweben zuströmenden Blutmenge zustande kommt.

Wie groß der Anteil ist, den letztere neben ersterer an der Strombeschleunigung hat, läßt sich nicht sicher sagen. Sicher ist nur, daß mit zunehmender Gewöhnung an die Arbeit die von jedem Herzschlag geförderte Blutmenge wächst.

Man darf sich danach die Regulation des Blutumlaufs bei Muskelarbeit so erklären, daß bei Ungeübten im wesentlichen die Zahl der Herzschläge, bei Geübten die Leistung des einzelnen Herzschlages zunimmt, um das notwendige größere Blutquantum zu den arbeitenden Muskeln zu führen.

Nach unserer Auffassung liegt in der Zunahme der Pulsfrequenz bei Arbeit ein sehr zweckmäßiger Vorgang, der uns in den Stand setzt, unsere Muskeln kräftig arbeiten zu lassen, und auch die stärkere Zunahme im Höhenklima läßt sich als eine zweckmäßige Einrichtung auffassen. — Wir haben im vorstehenden Kapitel gesehen, wie schnell die Sauerstoffspannung in den Lungenalveolen mit zunehmender Höhe sinkt, wie sehr sich also die Möglichkeit reichlicher Sauerstoffaufnahme für das die Lungen durchströmende Blut verschlechtert. Die Gefahr, die darin liegt, daß das Blut schon arm an Sauerstoff zu den Organen gelangt, läßt sich durch schnellere Strömung kompensieren, denn dadurch steigt ja die

Sauerstoffmenge, welche in einer gegebenen Zeit mit dem Blute den Organen zugeführt wird. -- Die Grenze, bei der die Gewebe nicht mehr die genügende Sauerstoffmenge aus dem Blute aufnehmen können, wird also herausgerückt. — Die Natur wirkt hier gewissermaßen in einer Art weiser Voraussicht: sie beschleunigt den Puls schon, bevor noch die Möglichkeit des Sauerstoffmangels zur Wirklichkeit geworden ist.

Daß die Pulszunahme bei Muskularbeit im Gebirge zweckmäßig sei, ist nun allerdings nicht die allgemeine Annahme. So sieht Jaquet in der Steigerung der Pulsfrequenz bei Arbeit im Gebirge einen schädlichen Einfluß. Daß aber die hohe Pulszahl bei Arbeit an sich nichts Gefährliches bedeutet und kein Zeichen von Überanstrengung darstellt, geht wohl am besten daraus hervor, daß sie sofort mit dem Beginn der Muskeltätigkeit einsetzt. Das konnten wir an uns selbst beobachten, das beweist auch das oben angeführte Beispiel Kroneckers. Sie bleibt dann konstant, bis etwa wirkliche Herzermüdung eintritt, um nun einen neuen Anstieg zu nehmen. Zugleich aber ändert sich damit auch die Form des Pulses und deren Verhalten gibt erst genauere Aufschlüsse über die Leistungsfähigkeit des Herzens.

Änderung der Pulsfrequenz beim Ausruhen nach Bergaufsteigen.

Datum	Person	Aufstieg um Meter	Pulsfrequenz	
			sogleich	nach Ruhezeit von:
16. VIII. 1901	Zuntz	700	124	1 Min. 10 Sek. = 112
		850	136	3 „ 10 „ = 96
				1 „ 30 „ = 120
				3 „ 30 „ = 112
				7 „ 30 „ = 100
19. VIII.	Derselbe	1000	122	
		1300	124	
		1600	140	— „ 45 „ = 132
		500	140	1 „ 15 „ = 124
				— „ 30 „ = 112
22. VIII.	Derselbe	500	140	20 „ — „ = 96
2. IX.	Derselbe			700
13. VIII.	Müller	obere Versuchsstrecke	136	— „ 30 „ = 110
14. VIII.	Caspari	untere Versuchsstrecke	136	2 „ — „ = 92
15. VIII.	Derselbe	400	116	3 „ — „ = 96
		700	124	3 „ — „ = 92
17. VIII.	Derselbe	700	174	2 „ — „ = 156
14. VIII.	Waldenburg	untere Versuchsstrecke	132	2 „ — „ = 100
		400	112	3 „ — „ = 100
15. VIII.	Derselbe	700	112	4 „ — „ = 100
		850	120	4 „ — „ = 112
		wieder in Brienz	120	2 „ — „ = 104
23. VIII.	Loewy	500	128	2 „ — „ = 104
		700	112	20 „ — „ = 100
		1500	120	27 „ — „ = 84

Darauf werden wir sogleich zu sprechen kommen. Zunächst wollen wir noch einige Beispiele dafür bringen, wie schnell die Pulszahl sinkt, wenn die Muskelarbeit beendet ist.

Ein sehr reichhaltiges Material, wie schnell nach geringer Arbeit die Pulssteigerung rückgängig wird, verdanken wir Kronecker. Am Findelenbach, oberhalb Zermatt, in 1770 m Höhe, betrug seine Pulszahl nach 200 Schritten 156, nach einer Minute Ruhe 80, nach 5 Minuten 70; bei seinem Begleiter Bartel nach 100 Schritten 120, nach 200 Schritten 150; nach 2 Minuten Ruhe nur noch 88. — Auf dem Gönner Grat in 3000 m Höhe zeigt Kronecker nach 100 Schritten gegen 160 Pulse, nach 5 Minuten Ruhe nur noch 92, Bartel nach 100 Schritten 138, nach 3 Minuten Ruhe 80. — Das sind nur einige Beispiele aus den von Kronecker mitgeteilten Tabellen.

Im allgemeinen ist der Pulsrückgang in der ersten halben Minute nach Beendigung der Arbeit ein rapider, dann verlangsamt sich die Abnahme, um je nach der Intensität der vorangegangenen Arbeitsleistung in 15, 20, auch erst 30 Minuten zu den Ruhewerten zurückzukehren. Je mehr man an die Arbeit gewöhnt ist, in um so kürzerer Zeit erfolgt er, wie besonders Stähelin¹⁹⁾ gezeigt hat. — Eine stundenlange Frequenzsteigerung nach der Arbeit ist ein schlechtes Zeichen.

Die Form des Pulses. Betastet man den Puls verschiedener Personen oder derselben Person unter verschiedenen Bedingungen, so kann man eine Reihe von Differenzen fühlen, die sich auf die Höhe der Pulswelle, auf die Spannung des Arterienrohres und auf den Ablauf der Pulswelle beziehen. Aber die Unterschiede müssen grob sein, damit man sie fühlen kann; feinere, insbesondere im Ablauf des Pulses, gibt uns unser Gefühl nicht deutlich zu erkennen. Diese können wir uns sichtbar machen durch Aufzeichnung des Pulses, wie dies Vierordt zuerst versucht hat.

Das Prinzip ist das gleiche wie das für die Aufzeichnung der Atmung: man bringt einen leichten Hebel auf die pulsierende Stelle und führt an seinem Ende eine berußte Schreibfläche vorüber, auf der die Bewegungen des Hebels aufgezeichnet werden. Oder man bedient sich anstatt dieser direkten Pulsschreibung der indirekten, wie wir das auf unserer Expedition getan haben. Dabei kommt auf die Arterie eine kleine Metallkapsel, deren aus einer elastischen Gummimembran gebildeter Boden ein Plättchen, eine sog. Pelotte, trägt, die auf die Arterie aufgelegt wird. Von der Kapsel geht ein dickwandiger Gummischlauch zu einer zweiten Kapsel, die den Schreibhebel trägt. An diesem bewegt sich, wie die Figur 1 dieses Kapitels zeigt, ein durch ein Uhrwerk betriebener Zylinder vorbei, der mit berußtem Papier überzogen ist. Man bezeichnet die der Pulsschreibung dienenden Apparate als Sphygmographen (*σφυγμός* = der Puls). Unter den der direkten Schreibung dienenden hat besonders der von Marey angegebene große Verbreitung erlangt.

Was wir Puls nennen, bedeutet eine stoßweise Erweiterung der Arterie. Sie wird von dem durch die Herzkontraktion erzeugten Blutzufuß zur Arterie hervorgerufen und ist nach Form und Umfang einerseits von der Menge und Geschwindigkeit des einströmenden Blutes, andererseits von der Beschaffenheit des Arterienrohres selbst abhängig. — Bringt man den Hebel des Sphygmographen auf die Arterie, so wird er bei jeder Erweiterung gehoben, auf dem berußten Papier wird also eine nach aufwärts gerichtete Linie geschrieben; zieht sich die Arterie, nachdem die Pulswelle durch sie hindurchgegangen ist, wieder zusammen, so sinkt der Hebel herab, und es wird eine Linie nach abwärts geschrieben. —

Betrachtet man die folgenden Kurven, so sieht man, daß sie dementsprechend einen aufsteigenden und einen absteigenden Schenkel besitzen. Man sieht aber weiter, daß beide Schenkel darin voneinander verschieden sind, daß ersterer ununterbrochen vom Fußpunkt zum Gipfel aufsteigt, letzterer dagegen Absätze zeigt, an denen der Pulshebel wieder etwas ansteigt („sekundäre Erhebungen“). Eine dieser, die sog. „dikrote Erhebung“, findet sich in jedem normalen Pulsbilde. Sie stellt eine zweite kleine Pulswelle dar, über deren Entstehung allerdings noch keine volle Einigkeit herrscht. Man darf aber annehmen, daß sie an den sog. halbmondförmigen Klappen, die sich in der Hauptschlagader (Aorta) dicht am Herzen befinden, ihren Ursprung nimmt. Wenn das Herz seinen Inhalt in das Arteriensystem entleert hat und aus dem Zustande der Kontraktion in den der Erschlaffung übergeht, werden diese Klappen geschlossen und das gegen sie an-

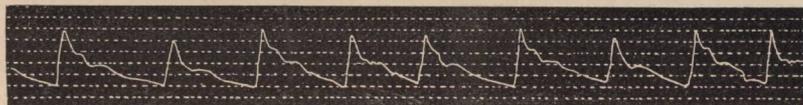


Fig. 2. Normaler Puls.

drängende Blut wird in Form einer neuen Welle nach der Peripherie zurückgeworfen. Diese Welle bezeichnet man deshalb auch als Rückstoßelevation. Ihre Lage auf dem absteigenden Schenkel schwankt, zuweilen liegt sie näher der

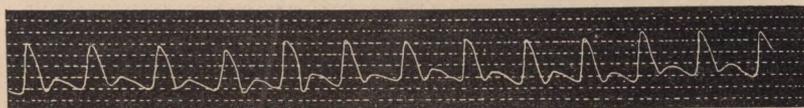


Fig. 3. Ermüdungspuls nach Marsch mit 22 kg Belastung in der Ebene (Zuntz-Schumburg).

Spitze, zuweilen näher dem Fußpunkte, zuweilen hat der absteigende Schenkel schon den Fußpunkt erreicht und die Rückstoßelevation erscheint als kleiner Nachpuls (wie auf Figur 3).

Die weiteren sekundären Erhebungen, die man an vielen Pulsbildern außerdem wahrnehmen kann, betrachtet man als elastische Schwingungen der Arterie. Wie ein mit Flüssigkeit gefüllter Gummischlauch, aus seinem Gleichgewicht gebracht, mittels einer Reihe von Schwingungen in seinen Ruhestand zurückkehrt, so auch die Arterie.

Man glaubte früher, man könne aus der Pulscurve viel und Sicheres über die Art der Herztätigkeit, den Blutdruck, das Verhalten der Gefäße herauslesen. Eine strengere Kritik zeigte jedoch, daß man bei der Deutung der Pulsbilder mit großer Vorsicht verfahren muß. Hat man es hier doch mit zwei unbekanntem Größen zu tun: der Art der Herztätigkeit und dem Zustand der Blutgefäße. Die Höhe der Pulscurve kann — eine immer gleiche Anlegung des Sphygmographen an die Arterie vorausgesetzt — abhängen von einem großen Blutvolum, das das Herz auswirft, aber auch von dehnbaren, nachgiebigen Gefäßwandungen; die Steilheit des aufsteigenden Schenkels des Pulsbildes steht in Zusammenhang wiederum mit der Blutmenge, die in die Gefäße hineingeworfen wird, ferner mit der Kraft, mit welcher das Herz sie austreibt und mit der Weite der peripheren Gefäße, d. h. mit der

Schnelligkeit, mit der das Blut abströmen kann. Die Entfernung zwischen primärem Anstieg der Pulswelle und Beginn der dickroten Erhebung hängt von der Dauer der Herzkontraktion aber auch von der Nachgiebigkeit der Gefäßwandungen ab. — Nur wenn man durch Betasten des Pulses oder durch Blutdruckmessung sich über die Weite und Nachgiebigkeit der Arterien orientiert hat, kann man aus dem Pulsbilde Schlüsse auf das Verhalten des Herzens ziehen.

Die ersten, welche bei Bergbesteigungen Pulsbilder aufnahmen, waren Chauveau und Lortet³⁾ auf dem Montblanc im Jahre 1866, weitere zahlreiche verdanken wir Kronecker vom Zermatter Breithorn und Gornergrat, ferner Mosso von der Monte Rosa-Spitze, sehr interessante auch Conway aus dem Himalaja, zwischen 4000 und 7600 m Höhe.

Die im Hochgebirge gewonnenen Pulsbilder sind nun meist von zwei Faktoren beeinflußt, vom Höhenklima selbst und von der körperlichen Anstrengung. Man hat früher der Luftverdünnung einen Einfluß auf die Pulsform zugeschrieben, aber es hat sich aus Versuchen in der verdünnten Luft des pneumatischen Kabinetts ergeben, daß ein solcher nicht existiert; solange es nicht zu Beschwerden infolge Sauerstoffmangels kommt, ändert sich die Pulskurve in verdünnter Luft nicht. Das zeigen die Kurven von Lazarus und Schirmunski¹¹⁾ und besonders die von G. v. Liebig¹²⁾.

Im Gebirge treten demgegenüber meist Veränderungen der Pulsform ein, aber sofern sie nicht durch Kälte, Wind und Insolation, also durch dem Höhenklima nicht spezifische Einflüsse bedingt werden, sind sie eine Folge der körperlichen Anstrengung, die zu einer Ermüdung des Herzens geführt hat.

Der Gebirgsaufenthalt an sich führt nicht zu einer Änderung des Pulses. — In 2210 m Höhe in der Simony-Hütte auf dem Dachstein konnten Heller, Mager und H. v. Schrötter nach dreitägigem Aufenthalte kaum Änderungen der Pulsform gegenüber dem Tieflande feststellen. Selbst bis zu Höhen von 4560 m kann die Pulsform ganz die gleiche wie im Tieflande sein. Das fand Mosso an drei seiner Bergsoldaten, und auf Conways⁴⁾ Expedition blieb der Puls des Schweizer Führers Zurbriggen bis über 7000 m Höhe hinauf dem im Tieflande fast gleich.

Daß die Abweichungen von der Norm, welche demgegenüber die meisten bis jetzt im Hochlande aufgenommenen Pulsbilder zeigen, wirklich durch die Körperarbeit verursacht sind, ergibt sich zunächst daraus, daß die Änderungen genau denen entsprechen, die man auch im Tieflande nach schwerer körperlicher Arbeit gefunden hat, so besonders Zuntz und Schumburg²³⁾ an ihren mit Gepäck bis zu 31 kg marschierenden Soldaten. Beweisend hierfür sind aber auch die von Conway gesammelten zahlreichen Kurven. Diese lassen zunächst erkennen, daß bei den schwächsten Teilnehmern die für die Ermüdung charakteristische Pulsform am frühesten eintrat, schon bei 4000 m Höhe, bei den kräftigeren, wie Conway selbst, erst später, und daß nach eingeschobenen Rasttagen das Pulsbild wieder normale Form annahm. (Vergl. die Kurven auf S. 354.)

Die Überanstrengung des Herzens im Hochgebirge. Unser Herz muß als ein ganz vorzüglicher Motor betrachtet werden, der sich in sehr weiten Grenzen

schwankenden Anforderungen leicht anzupassen vermag. Wie schon vorher erwähnt, reguliert das Herz seine Tätigkeit neben der Änderung der Zahl seiner Kontraktionen durch Änderungen seines Füllungsgrades. Bei wachsenden Ansprüchen dehnt es sich im erschlafften Zustande stärker aus, nimmt mehr Blut auf und wirft dann ein größeres Quantum bei seiner Zusammenziehung in die Schlagadern.

Geschieht die Mehrbeanspruchung längere Zeit hindurch, ist also das Herz gezwungen, länger abnorm große Blutquanta auszuwerfen, so akkommodiert es sich dieser Leistung durch zweckmäßige anatomische Veränderungen. Seine Wandungen verdicken sich allmählich, um so mehr, je mehr die Arbeit gesteigert ist, die Masse seiner Muskulatur nimmt zu und vermag nun den gesteigerten Ansprüchen gerecht zu werden. Der Herzmuskel verhält sich hier wie jeder andere Muskel, der ja gleichfalls durch gesteigerte Arbeit zum Wachstum angeregt wird.

Diese Vorgänge erfordern jedoch Zeit. Deshalb dürfen die Anforderungen nur allmählich gesteigert werden. Bürden wir einem ungeübten Herzen plötzlich eine übermäßige Arbeit auf, so kann es zu einer abnorm starken Erweiterung der Herzhöhlen, zu einer Überdehnung seiner Wandungen kommen, und wie ein überdehnter Gummisack sich nicht mehr vollständig zusammenzieht, so leidet auch die Kontraktionsfähigkeit des Herzens. Es entleert sich bei seiner Zusammenziehung nicht mehr so vollständig wie normal, es wirft nur geringe Blutmengen und diese mit geringer Kraft und Geschwindigkeit in die Arterien.

Zur Erzeugung einer derartigen, die Leistungsfähigkeit des Herzens schwer erschütternden krankhaften Veränderung bedarf es nicht einmal lange fortgesetzter Überanstrengungen, schon eine einmalige kurze aber exzessive kann diese Wirkung haben. Allerdings erholt sich dann ein gesundes Herz bei Ruhe und Schonung allmählich wieder und gewinnt seine frühere Kraft zurück.

Überdehnung und Überanstrengung des Herzens geben sich nun in verschiedener Weise zu erkennen; erstere bei Feststellung der Herzgrenzen, letztere bei Untersuchung des Pulses. — Früher vermochte man die Größe des Herzens nur durch Beklopfung der Brustwand zu ermitteln, jetzt haben wir eine sicherere Methode in der Durchleuchtung der Brust mit Röntgenstrahlen. Überall da, wo lufthaltige Lunge liegt, dringen die Strahlen ungehindert hindurch, der solide Herzmuskel hält sie dagegen zurück.

Die umstehenden beiden Abbildungen, photographische Röntgenaufnahmen, zeigen, wie leicht beeinflussbar die Größe des Herzens ist. Man sieht auf ihnen oben die seitlich ausstrahlenden Rippen, vom unteren Rande ausgehend den großen, sich aufwärts wölbenden Schatten des Zwerchfells und der Leber. Der innerhalb der dunklen Masse rechts gelegene helle Fleck rührt von dem lufthaltigen Magen her. — Auf den Zwerchfellschatten setzt sich nun der pyramidenförmige Herzschatten auf, der sich nach oben in den der großen Blutgefäße fortsetzt. In Fig. 5 sind Herz und Blutgefäße erheblich weiter als in Fig. 4. Bei Aufnahme von Fig. 5 war zuerst ausgeatmet worden, dann wurde bei geschlossenem Mund und Nase eine energische Einatmungsbewegung gemacht und damit viel Blut in das Herz eingesaugt. Bei Fig. 4 wurde umgekehrt nach erfolgter Einatmung kräftig ausgeatmet und zwar wiederum bei geschlossenen äußeren Luftwegen, wo-

durch das Herz entleert und der Einstrom neuen Blutes erschwert wird. — Bei der in natürlicher Größe erfolgten Originalaufnahme differierten die Durchmesser des Herzschatens im Mittel um **1.35** cm. Nimmt man das Herz als Kugel, so würde das einer Volumdifferenz von ca. 400 ccm entsprechen. Um so viel faßt das Herz im ersten Falle mehr als im letzteren.*) — Ehe es übrigens durch



Fig. 4. Herz und Hauptschlagader eng infolge energischer Ausatmung nach Verschuß von Mund und Nase.

Überanstrengung zu derartigen Dehnungen des Herzens kommt, müssen schon Schädigungen seiner Muskulatur eingetreten sein. Ein gesundes Herz läßt, wie neuere Untersuchungen von Levy-Dorn ^{11a)} an Preisringern gezeigt haben, schon

*) Wir verdanken die Originale dieser Röntgenbilder Herrn Geh. Rat Kraus. Wir möchten ihm auch an dieser Stelle unseren Dank aussprechen.

wenige Minuten nach Beendigung der Arbeit auf dem Röntgenbilde keine deutliche Erweiterung mehr erkennen.

Der Ermüdungspuls. Für die durch Überanstrengung des Herzens erzeugte mangelhafte Funktionsfähigkeit und Schwäche gibt, wie erwähnt, der Puls charak-



Fig. 5. Herz und Hauptschlagader erweitert durch Blutansaugung infolge tiefer Einatmung bei Verschuß von Mund und Nase.

teristische Merkmale. Er zeigt mehrfache Veränderungen, die auf Fig. 3 sowie Fig. 6—8 sehr schön zu erkennen sind. Erstere ist den Versuchen von Zuntz-Schumburg²³⁾ an mit Gepäck in der Ebene marschierenden Soldaten, die letzteren den Untersuchungen Conways⁴⁾ gelegentlich seiner Himalajabesteigungen entnommen.

Zunächst sei auf die in den Ermüdungskurven sehr ausgesprochene Einwirkung des Gebirgsklimas.

sekundäre Erhebung hingewiesen, die erst einsetzt, wenn die erste Welle schon fast vollkommen abgelaufen ist. Es kommt also zu einer Art von doppelschlägigem Puls. Das rührt von einer Herabsetzung des Blutdruckes her, die teils durch die Erschlaffung der Gefäßwände, teils durch die Schwäche der Herzaktion bedingt ist. Dazu gesellt sich eine Abrundung des Kurvengipfels und, als besonderes Kennzeichen der Kraftabnahme des Herzens, eine starke Erniedrigung der Pulskurve infolge der geringen, vom Herzen ausgeworfenen Blutmenge.

Hierzu kommt eine Erscheinung, die bei der Betrachtung der Kurven schwieriger wahrzunehmen ist, aber bei einer genauen Ausmessung klar hervortritt, das

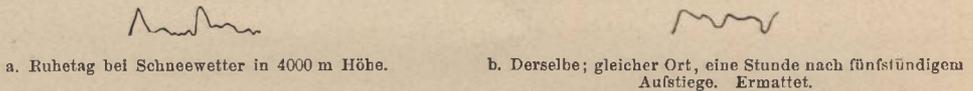


Fig. 6a u. b. Puls von Conways Begleiter E.

ist eine Verlängerung der Strecke von dem Beginn der primären bis zu dem der sekundären Erhebung und eine Verkürzung des Weges von letzterer bis zum Be-

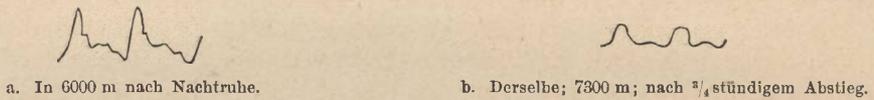


Fig. 7a u. b. Puls von Conway.

ginn der neuen Pulswelle. Das bedeutet aber eine Verlängerung der Zeit, die das Herz zu seiner Zusammenziehung braucht, und eine Verkürzung der Erschlaffungs-

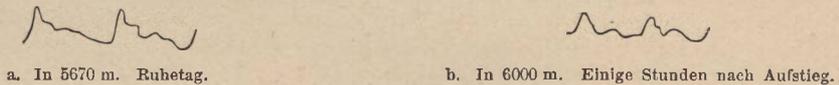


Fig. 8a u. b. Puls von Conway.

periode, also der Zeit, die seiner Erholung von der mit der Zusammenziehung verbundenen Arbeitsleistung dient.

In der Norm verhält sich die Dauer der Kontraktion zu der der Erschlaffung wie 1 : 3, bei Herzermüdung kann sie unter 1 : 1 herabgehen.

Während nun im Tieflande der Ermüdungspuls erst nach sehr bedeutenden Arbeitsleistungen sichtbar wird, kommt er im Hochgebirge relativ leicht zustande. So findet er sich bei Chauveau nach dem Aufstieg auf den Montblanc, bei Mosso nach Besteigung der unschwierigen Vincentpyramide (4100 m), ja in Kronackers Beobachtungen nach kurzen Märschen bergan am Findelenbach (1800 m) und am Gornergrat (3000 m).

Die leicht eintretende Ermüdung des Herzens in bedeutenderen Höhen wird uns verständlich, wenn wir bedenken, daß das Herz beim Bergansteigen nicht nur eine gewaltige Mehrarbeit zu leisten hat, sondern daß es diese Arbeit auch unter ungünstigen Bedingungen ausführen muß. Entsprechend der Mehrleistung ist auch sein Sauerstoffbedarf gesteigert, während doch die Sauerstoffzufuhr mit zu-

nehmender Höhe beschränkt ist. Wie in Kapitel X erörtert wurde, sinkt ja die Sauerstoffmenge, welche das Blut aufzunehmen und zu befördern vermag, mit der Höhe, es gelangt nur teilweise mit Sauerstoff gesättigtes Blut zu den Organen, und so kann schnell die dem Herzen gebotene Sauerstoffmenge unzureichend werden. Die Ernährung des Herzens beginnt zu leiden und damit muß die Arbeitsfähigkeit auch eines ursprünglich leistungsfähigen und kräftigen Herzmuskels sinken. Es wird leicht zu den Zeichen der Ermüdung und Erschöpfung kommen.

Die erhebliche Zunahme der Pulsfrequenz im Gebirge, selbst schon bei geringer Muskeltätigkeit, die mit letzterer einhergehende erhöhte Arbeit des Herzens, sowie dessen leichte Schädigung durch mangelhafte Ernährung müssen uns eine Mahnung sein, mit der Empfehlung eines Höhengaufenthaltes oder gar von Bergbesteigungen bei schwächlichen und insbesondere bei herzkranken Personen sehr vorsichtig zu sein. Auch Blutarmen, bei denen die Ernährung des Herzens daniederliegt, wird man nicht ohne weiteres den Übergang ins Hochgebirge gestatten. Bei letzteren wird sich eine Übergangszeit in mittleren Höhen empfehlen, während der die Blutbildung genügend angeregt werden kann. — Übrigens hat die Natur für gewisse Signale gesorgt, die dem Aufmerksamen das Überschreiten der zulässigen Grenze anzeigen und vor einem Übermaß zu bewahren vermögen. Das sind Herzklopfen, Gefühl von Druck und Beklemmung auf der Brust und Atemnot. Ihr Auftreten, das je nach der Leistungsfähigkeit früher oder später erfolgt, sollte wohl beachtet werden.

Unter den zahlreichen zum Tode führenden Unglücksfällen, die Jahr für Jahr in den Bergen sich ereignen, nehmen diejenigen eine besondere Stellung ein, die infolge Überanstrengung und Lähmung des Herzens zustande kommen. Man braucht nur ein alpines Journal aufzuschlagen, um Beispiele dafür verzeichnet zu finden. Einzelne solcher Unglücksfälle sind von fachmännischer Seite beobachtet und eingehend beschrieben, keiner vielleicht anschaulicher als der, welcher die beiden Brüder Zoja betroffen hat und von Mosso in seinem Alpenbuche ausführlich mitgeteilt ist. Meist ist es aus jugendlichem Kraftgefühl entspringende Überschätzung der eigenen Leistungsfähigkeit, die zu der traurigen Katastrophe führt. Die körperliche Trainingung im Tieflande vermag viel zur Stählung des Körpers, aber das Hochgebirge verlangt eine besondere Form der Anpassung, insbesondere des Herzens und der Kreislaufsorgane, und diese bildet sich erst allmählich beim Aufenthalt in der Höhe aus. Auch der für das Flachland wohl Trainierte sollte deshalb anstrengende Hochgebirgstouren nicht schon in den ersten Tagen des Höhengaufenthaltes ausführen, vielmehr erst seine Organe, insbesondere Atmung und Herz, und deren Leistungen der Höhe anpassen.

Man darf auch nicht vergessen, daß man im Hochgebirge oft nicht die Möglichkeit hat, bei eintretender Schwäche zu ruhen und sich zu erholen, man muß meist seinen Weg fortsetzen. Daher sollte man bei der Wahl der ersten Touren Rücksicht darauf nehmen, daß die schützende Hütte nicht gar zu entfernt und schwer erreichbar ist.

Luftverdünnung und Blutkreislauf. Bei dem Ersteigen großer Höhen sind häufig Symptome beobachtet worden, die die Aufmerksamkeit in besonderer Weise auf sich zogen und deren Zustandekommen zu mannigfachen Deutungsversuchen Anlaß gegeben hat, das sind Blutungen aus der Augenbindehaut, der Nase, den Lippen, auch Lungenblutungen, ferner Erweiterungen der Venen der Haut und der Kapillaren der Schleimhäute, und ein eigentümlich bläuliches Aussehen letzterer, das man als cyanotisch zu bezeichnen pflegt. — Bei der Besprechung

der Bergkrankheit werden wir auf eine Reihe hierhergehöriger Angaben näher eingehen und eine Erklärung dafür versuchen.

Hier interessiert uns allein die Tatsache, daß man diese Erscheinungen mit Veränderungen des Blutkreislaufes in Zusammenhang gebracht hat und aus solchen abzuleiten suchte. Die Luftverdünnung sollte einen eigentümlichen Einfluß auf den Blutkreislauf und die Verteilung des Blutes im Blutgefäßsystem ausüben.

Der erste, der sich ausführlich hierüber aussprach, war der große Berner Physiologe Albrecht v. Haller.⁶⁾ Er nahm an, daß beim Aufenthalt in einem luftverdünnten Raume infolge des verminderten Druckes auf die Körperoberfläche ein größerer Teil des Blutes sich in den Gefäßen der Haut ansammle; es komme in ihnen zu einer Blutüberfüllung (Haller nannte das „Turgor nach außen“) und schließlich zu einem Zerreißen der Kapillargefäße und zu Blutungen. Dieselbe Anschauung vertrat auch Saussure und neuerdings wieder der berühmte englische Hochtourist Whymper.²¹⁾ Nach ihm tritt auch in den sehr nachgiebigen und mit der Außenluft direkt in Berührung stehenden Blutkapillaren der Lungen eine Ausdehnung und Überfüllung mit Blut ein.

Die Unrichtigkeit dieser Anschauung haben wir bereits in Kapitel III S. 85 dargetan. Es widerspricht den physikalischen Gesetzen, daß, wenn der gesamte Körper sich in verdünnter Luft befindet, also alle Organe und speziell alle Abschnitte des Zirkulationssystems ihrer Wirkung unterliegen, Änderungen der Blutverteilung zustandekommen sollten. Wäre das der Fall, dann müßten doch die Erweiterungen der Gefäße der Haut und der freiliegenden Schleimhäute sowie die Blutungen aus ihnen besonders da zur Beobachtung kommen, wo die Luftverdünnung erheblich weiter getrieben wurde und viel plötzlicher geschah als bei Aufstiegen im Gebirge, nämlich bei Luftballonfahrten und beim Aufenthalt im pneumatischen Kabinett. Sind doch in den berühmt gewordenen Ballonaufstiegen von Berson und Süring¹⁾ Höhen bis 10800 m erreicht worden, und konnten doch auch P. Bert und Mosso sich in der pneumatischen Kammer bei einer Luftverdünnung aufhalten, die ca. 11 000 m Höhe entsprach. Und hier wurden nie solche Kreislaufstörungen gefunden.

Ist nun die Hallersche Theorie in dieser krassen Form jetzt auch meist verlassen, so ist doch die Idee, daß Verminderung des Luftdruckes den Kreislauf des Blutes beeinflussen müsse, in etwas modifizierter Art auch heute noch vielfach anzutreffen. Ihr energischster Verfechter ist in jüngster Zeit Kronecker¹⁰⁾ geworden. Er hat sie zum Ausgangspunkte einer Erklärung der Bergkrankheitserscheinungen genommen.

Kronecker meint, daß bei Herabsetzung des Luftdruckes der verminderte Luftwiderstand sich an denjenigen Teilen des Körpers am meisten geltend machen wird, wo die an die Luft grenzenden Bedeckungen am nachgiebigsten sind. Das ist nun bei den Lungen der Fall. Die in ihnen verlaufenden Gefäße sind nur durch eine ganz dünne Wand von der Lungenluft geschieden, und das in den Lungen kreisende Blut soll deshalb nach Kronecker besonders leicht dem Einflusse der Luftdruckschwankungen unterliegen. Bei Herabsetzung des Luftdruckes sollen sich die Lungengefäße stärker füllen, es soll zu einer Zurückhaltung von Blut in ihnen, zu einer Blutstauung in den Lungen kommen. — Wenn wir selbst den Fall setzen, daß es unter vermindertem Luftdruck zu einer stärkeren Füllung der Lungen mit Blut kommt als bei höherem Druck, so braucht darum noch nicht eine Blutstauung zustande zu kommen.

Blutstauungen in den Lungen sind ein schwerwiegendes Symptom krankhafter Störung des Blutumlaufes. Sie sind die Folgen mangelhafter Funktionsfähigkeit des Herzens und bestehen nicht für sich allein, führen vielmehr zu einer Verlangsamung des gesamten Kreislaufes, zu Stauungen im Venensystem. Es kommt zur Erweiterung der Venen, zu cyanotischer Färbung, zu Blutungen, also zu dem Symptomenkomplex, den wir vorstehend geschildert haben. Blutstauungen könnten sonach sein Entstehen gut erklären, wenn sie beständen. Auch ist richtig, daß eine Überfüllung der Blutgefäße der Lunge den Luftraum in den Lungenbläschen vermindert, also die Sauerstoffaufnahme ins Blut erschwert.

Eigentümlicherweise bezieht sich Kronecker zum Nachweis dieser Blutstauung in den Lungen auf Versuche von Waldenburg und auf im Berner Laboratorium ausgeführte von Bartlett, die für seine Anschauung gar nicht beweisend sein können. In ihnen waren die Lungen einseitig mit einem luftverdünnten Raume in Zusammenhang gebracht, indem die Versuchsindividuen in einen Zylinder mit verdünnter Luft hineinatmeten! Dafür, daß allein durch den Aufenthalt unter Luftverdünnung eine Blutstauung in den Lungen eintritt, liegt bis jetzt gar kein Beweis vor. Sie ist nach den oben gegebenen theoretischen Vorstellungen, die unseren heutigen physikalischen Kenntnissen entsprechen, gar nicht zu erwarten und ist auch in Widerspruch mit den Ergebnissen von Loewys¹³⁾ Versuchen, den einzigen, die bis jetzt über die Blutströmung in verdünnter Luft angestellt worden sind. In ihnen war keine Änderung der Blutströmung im großen Kreislaufe zu erkennen, und danach ist also kein pathologisches Verhalten im Lungenkreislauf anzunehmen, das ja, wie oben ausgeführt, zu Änderungen auch im großen Kreislauf führen müßte.

Im Gegensatz zu Kronecker kommt G. von Liebig¹²⁾ zu der Anschauung, daß bei Luftverdünnung die Blutfüllung der Lungen nicht zu-, vielmehr abnehmen müsse, und man kann der Liebigschen Annahme eine Berechtigung nicht absprechen.

v. Liebig geht davon aus, daß der Blutgehalt der Lungen mit ihrem Ausdehnungsgrade wechsle. Eine stärker ausgedehnte Lunge, also eine inspiratorisch erweiterte, enthält mehr Blut, als eine mehr kontrahierte, in Expirationsstellung befindliche. —

Nun wurde in Kapitel III und XI auseinandergesetzt, daß infolge der mit der Luftverdünnung einhergehenden Ausdehnung der Darmgase das Zwerchfell emporgedrängt, das Lungenvolumen verkleinert werde, und wir erklärten daraus die Abnahme der maximalen Luftmenge, die die Lungen atmen können, der sog. Vitalkapazität.

Wir können danach auch mit v. Liebig die geringere Blutfüllung der Lungen bei Luftverdünnung, sei es in der pneumatischen Kammer, sei es im Ballon, sei es im Hochgebirge, gelten lassen, solange die Empordrängung des Zwerchfells besteht. — Allmählich geht diese ja, wie hervorgehoben, wieder zurück. Aber v. Liebig geht weiter. Er leitet von dem aus den Lungen verdrängten Blute eine Art Blutüberfüllung des großen Blutkreislaufes her und erklärt auf diese Art die bei Bergbesteigungen häufiger beobachtete stärkere Füllung der Venen der Haut und der Kapillaren der sichtbaren Schleimhäute. Soweit kann man v. Liebig aber wohl nicht folgen. Dazu ist zunächst die aus den Lungen verdrängte Blutmenge zu gering. Außerdem ist die Erweiterung der Hautgefäße wohl im Gebirge, aber, abgesehen von hochgradiger Verdünnung, nicht im pneumatischen Kabinett beobachtet worden. Hier sieht man im Gegenteil Enge der Gefäße und damit Erblässen der Haut.

Wir müssen somit zu dem Ergebnis kommen, daß die Luftverdünnung auf mechanischem Wege den Kreislauf nicht nachhaltig zu verändern vermag und jedenfalls nicht als Ursache des geschilderten Symptomenkomplexes dienen kann, zu

dessen Erklärung sie herangezogen wurde. Es ist notwendig, ihn auf andere Weise zu deuten und unserem Verständnis näher zu bringen.

Am einfachsten liegt das bei der bläulichen Färbung der Schleimhäute, besonders der Lippenschleimhaut, die wie im Gebirge, so auch im pneumatischen Kabinett zustande kommt. Hier bedarf es gar nicht der Annahme einer Verlangsamung der Blutströmung. Die bläuliche Färbung ist ein Zeichen geringen Sauerstoffgehaltes des Blutes der Kapillaren und Venen. Beim Aufenthalt unter vollem Luftdruck kommt diese allerdings nur bei abnorm langsamer Blutströmung zustande, aber in der verdünnten Luft ist ja schon das arterielle Blut sauerstoffärmer als normal, wie die Erörterungen im Kapitel X ergeben haben, und bei erheblicheren Graden von Luftverdünnung kann auch bei normaler Strömungsgeschwindigkeit das Kapillar- und Venenblut so sauerstoffarm sein, daß Cyanose sich ausbildet. Das kann schon bei Körperruhe der Fall sein und wird besonders leicht während und nach anstrengender Muskelarbeit zur Beobachtung kommen, selbst wenn dabei der Blutumlauf beschleunigt ist.

Was die Erweiterung der Hautgefäße und die Blutungen aus der Nase, den Lippen, event. den Lungen anlangt, so sind sie, wie wir wiederholen, nur ausnahmsweise beobachtet worden und an ihrem Zustandekommen müssen besondere Bedingungen beteiligt sein. Dabei brauchen die Blutungen nicht in direkter Beziehung zur Gefäßerweiterung zu stehen. Große Kälte, Wind, Trockenheit der Luft können an sich zu Sprödigkeit der Schleimhäute, zu Einrissen und damit zu Blutungen führen. — Bei erweiterten Gefäßen werden sie allerdings leichter zustande kommen als bei engen, und auf eine Gefäßerweiterung wirken in der dünnen Luft der Höhe — abgesehen von der direkten Sonnenstrahlung — zwei Momente hin: einsetzender Sauerstoffmangel und Überanstrengung des Herzens.

Daß ersterer an sich eine Erweiterung der Gefäße herbeizuführen vermag, dafür sprechen die Erfahrungen von Dastre und Morat;^{4a)} sie setzten Kaninchen unter eine Glasglocke und verdünnten die Luft in dieser. War die Verdünnung bis auf 410—400 mm Barometerdruck getrieben, so trat eine plötzliche starke Erweiterung der Ohrgefäße ein. Dieser Verdünnungsgrad ist aber der, bei welchem die Kaninchen an Sauerstoffmangel zu leiden beginnen.

Wichtiger ist der zweite Faktor: die Herzerermüdung. Sie führt zu einer Verlangsamung der Zirkulation, damit zu Sauerstoffmangel und damit wieder zu einer Erweiterung der Hautgefäße. So kommt es zu der beobachteten Blutanhäufung in den Venen und Kapillaren. — Hier haben wir den Zustand, den Kronecker als direkte Folge der Luftverdünnung als solcher ansehen wollte.

Es ergibt sich somit, daß Cyanose, Schleimhautblutungen, Gefäßerweiterung beim Aufenthalt in verdünnter Luft zustande kommen können, ohne daß mechanische Einwirkungen die Zirkulation stören. Nur wo das Verhalten des Pulses und des Blutdrucks für Herzerermüdung spricht, werden wir Cyanose, Gefäßerweiterung und eventuelle Blutungen auf eine Schädigung des Kreislaufes beziehen und auch die vorhandenen subjektiven Beschwerden zum Teil mit ihr in Zusammenhang bringen dürfen.

Literatur.

- 1) Berson und Süring: Illustrierte aëronautische Mitteilungen 1901.
- 2) Paul Bert: „La pression barométrique“. Paris 1878.
- 2^a) Blake und Larrabee: Boston medical and surg. journ. 1903, cit. bei Kronecker cf. Nr. 10.
- 3) Chauveau (und Lortet): Revue scientifique 1894.
- 4) Conway: Climbing and exploration in the Karakoram Himalayas. London 1894.
- 4^a) Dastre et Morat: Arch. de physiol. 1884.
- 5) Egger: bei Jaquet und Miescher: Arch. f. experim. Pathol. u. Pharmakologie. Bd. 39.
- 6) A. v. Haller: „Grundriß der Physiologie“. Deutsch von Sömmering. Berlin 1788.
- 7) Heller, Mager, H. v. Schrötter: Zeitschrift für klinische Medizin. Bd. 33 und 34.
- 8) Jaccoud: „La station médicale de St. Moritz“. Paris 1873.
- 9) Kolb: Beiträge zur Physiologie maximaler Muskelarbeit, besonders des modernen Sports. Berlin.
- 10) H. Kronecker: „Die Bergkrankheit“. Berlin und Wien 1903.
- 11) Lazarus und Schyrmunski: Zeitschrift für klinische Medizin. Bd. 7.
- 11^a) Lennhoff und Levy-Dorn: Deutsche medicin. Wochenschrift. 1905. Nr. 22.
- 12) G. v. Liebig: „Der Luftdruck in den pneumatischen Kammern und auf Höhen“. Braunschweig 1898.
- 13) A. Loewy: „Über Respiration und Zirkulation bei Änderung des Druckes etc.“ Berlin 1895.
- 13^a) A. Loewy, J. Loewy und Leo Zuntz: Pflügers Archiv für d. ges. Physiol. Bd. 66.
- 14) A. Loewy und H. v. Schrötter: „Untersuchungen über die Blutzirkulation beim Menschen“. Berlin 1905.
- 15) Mosso: „Der Mensch auf den Hochalpen“. Leipzig 1899.
- 16) Parrot: „Reisen zum Ararat“. Berlin 1834.
- 17) Saussure: „Voyages dans les Alpes“. Genève 1786—1796.
- 18) H. v. Schrötter: „Zur Kenntnis der Bergkrankheit“. Wien und Leipzig 1899.
- 19) Stähelin: „Über den Einfluß der Muskelarbeit auf die Herztätigkeit“. Naumburg 1897.
- 20) Veraguth: „Le climat de la haute Engadine“. Thèse de Paris 1887.
- 21) Whympers: „Travels amongst the great Andes of the Equator“. London 1892.
- 22) Zumstein: „Der Monte Rosa“. Herausgegeben von Ludwig Freiherr von Welden. Wien 1824.
- 23) Zuntz und Schumburg: „Physiologie des Marsches“. Berlin 1901.
- 24) Zuntz und Hagemann: Landwirtschaftliche Jahrbücher. XXVII. Ergänzungsband III.

Kapitel XIII.

Sport.

In den Zeiten des primitiven Lebens der Naturvölker spielt der Sport nur eine geringe Rolle. Das hat darin seinen Grund, daß die Arbeit des täglichen Lebens eine ständige Übung des Körpers und seiner Kräfte in ausreichendem Maße mit sich bringt, welche es unnötig macht, diesen Funktionen besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden. Doch ist zu bemerken, daß selbst bei den Naturvölkern ein gewisser sportlicher Wettbewerb nicht fehlte, sei es im Pfeilschießen, im Reiten und Laufen, sei es selbst in der weniger sympathischen Form der Kopfjagd der Dajaken oder der Skalpsammelwut amerikanischer Indianer der Vorzeit.

Mit dem Erreichen einer höheren Kulturstufe tritt zunächst eine Arbeitsteilung ein, welche bei verschiedenen Klassen eine wechselnde Inanspruchnahme der Muskulatur bedingt und mit weiterem Fortschreiten Teilung bewirkt zwischen körperlich arbeitenden Bevölkerungsschichten und solchen, welche ihren Unterhalt durch Kopfarbeit erwerben oder durch die günstigen Verhältnisse ihres Besitzstandes in der Lage sind, sich ohne gewinnbringende Beschäftigung zu erhalten. So ist in der Entwicklung des Sports zunächst ein deutlich aristokratischer Zug zu erkennen, welcher den Sport und die sportliche Betätigung für die bevorzugten Schichten der Bevölkerung reserviert. Dies tritt besonders in dem Turnierwesen des Mittelalters hervor, und auch heute noch sind eine ganze Reihe von Sportarten nur den bestsituierten Kreisen der Bevölkerung zugänglich.

In der neuesten Zeit ist jedoch der Sport, die Neigung und das Interesse für denselben in die weitesten Schichten des Volkes gedungen, vielleicht unbewußt als Ausfluß der Tatsache, daß die grobe körperliche Arbeit des Menschen mehr und mehr durch Maschinen ersetzt und verdrängt wird, und das verhältnismäßig geringe Gebiet, welches noch rein körperliche Arbeit erfordert, fast durchgängig eine einseitige Ausbildung gewisser Gruppen der Körpermuskulatur hervorruft, welche das Bedürfnis nach kompensierender Entwicklung der anderen Teile des Organismus zur Folge hat. Man denke z. B. an einen Schmied, dessen Oberarmmuskulatur häufig in absolut unproportionierter Weise erstarkt, während die Muskeln des übrigen Körpers weit dahinter zurückbleiben.

Als eine das Ebenmaß der körperlichen Ausbildung begünstigende Körperübung tritt das Bergsteigen immer mehr in den Vordergrund. Es interessiert uns daher zunächst die Frage, ob das Bergsteigen und der Alpinismus ein Sport ist.

Über dieses Thema haben mannigfaltige, zum Teil sehr interessante Diskussionen stattgefunden. Die Entscheidung der Frage ist deswegen sehr schwer, weil die Definition des Begriffes Sport so großen Schwierigkeiten begegnet. Das liegt

an den zahlreichen Erweiterungen und Wandlungen, die der Begriff im Laufe der Zeiten erfahren hat.

Es wird wohl allgemein angenommen, daß das Wort „Sport“ aus dem mittelenglischen „disport“ herzuleiten ist, das seinerseits auf das altfranzösische „desport“ und das italienische „diporto“ zurückgeht.⁴⁾

Allerdings ist von Hueppe-Prag auf die interessante Tatsache hingewiesen worden, daß in der gotischen Ulfilas-Bibel das Wort „spaurds“ (au wie kurzes o gesprochen) vorkommt. Es findet sich dort dreimal (Ev. Johannis VI, 15, XI, 18, I. Korinther IX, 24) in der Bedeutung „Stadium, Rennbahn“.

Es ist vielleicht nicht von der Hand zu weisen, daß hier gewisse Beziehungen zwischen den Wortstämmen bestehen. Da aber das deutsche „Sport“ zweifellos aus dem Englischen übertragen worden ist, muß es unmittelbar auf „disport“ zurückgehen.

Dann bedeutet es aber, „sich von der Arbeit forttragen“, also sich erholen, sich zerstreuen.

Dieser Gegensatz zwischen Sport und Berufsbeschäftigung ist also zunächst das Maßgebende, und diese Seite des Begriffs ist auch heute noch mit ihm verbunden, trotz der vielen Wandlungen, welche das Wort sonst durchgemacht hat. Ein Herrenreiter ist „Sportsman“, ein besoldeter Jockey nicht.

Der Begriff der Erholung, Zerstreung außerhalb der Berufstätigkeit kommt aber auch dem Spiele zu. Die Grenze zwischen Spiel und Sport ist in der Tat durchaus nicht scharf zu ziehen, aber man kann wohl im allgemeinen sagen, daß sich mit dem „Sport“ im Gegensatz zum Spiel stets ein gewisser leidenschaftlicher Ernst und Eifer verbindet, mit dem die Beschäftigung betrieben wird. Die gleiche körperliche Betätigung kann für den einen ein Spiel, für den anderen ein Sport sein (z. B. Tennis).

Zunächst sind es nur Leibesübungen gewesen, welche man sportsgemäß betrieb. Später hat man jedoch den Begriff auch auf andere Beschäftigungen übertragen, wenn sie außerhalb der Berufstätigkeit mit leidenschaftlichem Ernst vorgenommen werden. Hierher gehören das Schach und die verschiedenen Betätigungen des Sammeltriebes.

Ist nun der Alpinismus ein Sport? Uns scheint, man muß für die meisten Formen, in denen er sich darstellt, die sportliche Natur des Alpinismus unbedingt zugeben. Freilich der Bergführer ist kein Sportsman, und wir trieben keinen Sport, als wir uns auf den Monte Rosa begaben, um dort wissenschaftliche Probleme zu lösen. Wer aber häufig, oft jahraus jahrein, in den Bergen wandert und an dieser Tätigkeit mit ernster Liebe hängt, braucht durchaus nicht große Touren auszuführen, dennoch wird er alpinen Sport treiben.

Wir haben jedoch bei der bisherigen Betrachtung des Wesens des Sports eine Seite außer acht gelassen, welche vielen untrennbar mit diesem Begriff verbunden zu sein scheint. Gerade dieses Moment ist es aber, welches häufig Veranlassung war, den Alpinismus außerhalb des Begriffes „Sport“ zu stellen: Wetteifer und Ehrgeiz.

Ehrgeiz und Wetteifer sind indes doch wohl erst sekundäre Charakterzüge des

Sports, ganz naturgemäß allerdings entstanden aus dem leidenschaftlichen Ernst, welchen jede sportliche Tätigkeit stets verlangt.

Dennoch spielt der Faktor des Wettbewerbs und der Rekordleistung in der heutigen Entwicklung des Hochalpinismus und besonders der Kletterkunst eine wesentliche Rolle. Besonders die Engländer, deren große Verdienste um den Alpinismus unbestritten sind, haben diese Seite des alpinen Sports kultiviert. Aber gerade die ersten und vornehmsten Vertreter des deutschen Alpinismus haben eindringlich vor einer Ausartung nach dieser Seite hin gewarnt. So vor allem Purtscheller, welcher meint, daß die „Jongleurkunst auf den Felsspitzen“ etwas ganz außerhalb der wahren Alpinistik Stehendes sei.³⁾ Auch uns scheint nicht wünschenswert, daß diese Seite des Sports, welche beim Alpinismus niemals völlig fehlen kann und fehlen wird, allzu sehr in den Vordergrund trete. Gar zu leicht führt sie zu übertriebenen Maximalleistungen, welche die Gesundheit schädigen, zu Unglücksfällen, welche durch Überschätzung des körperlichen Könnens herbeigeführt werden. Der Hauptnachteil einer solchen Entwicklung des Alpinismus läge aber nach der ethischen Seite. Es besteht die Gefahr, daß der Genuß und die Freude an der Natur und ihren mächtigen Eindrücken gegenüber den Freuden der Kletterübungen zurücktreten und auch, daß sich die häßlichste Seite dieser Auffassung des Sportwesens in unseren Alpinismus eindringt: die Renomiersucht und die geringschätzende Verachtung gegen alle diejenigen, welche gleiche Leistungen nicht ausführen können oder mögen. Leider wäre es keine Schwierigkeit, aus der modernen alpinen Literatur eine ganze Anzahl von Beispielen beizubringen, welche zeigen, daß unsere Bedenken nicht nur theoretischer Natur sind. Damit soll natürlich keineswegs der Betätigung der Körperkraft und des Mutes bei Gebirgstouren und Kletterübungen ihre Berechtigung und hohe Bedeutung abgesprochen werden.

Wenn wir also das Bergsteigen unter den Begriff des Sports einreihen, so ist es wohl von Interesse, zu betrachten, welche Stellung es in seiner hygienischen Bedeutung im Vergleich zu den anderen üblichsten Sportarten einnimmt, wobei wir die Übertragung des Begriffs Sport außerhalb rein körperlicher Betätigung nicht weiter berücksichtigen wollen.

Wir kommen damit zu der Frage, welche Wirkungen für den Organismus wir durch sportliche Betätigung erreichen oder erstreben. Als erstes hauptsächliches Symptom sportlicher Übungen finden wir ein Erstarken der Kraft in denjenigen Muskelgruppen, welche durch die betreffenden Sportarten geübt werden. Dieses Erstarken der Kraft gibt sich auch äußerlich durch ein Anwachsen der Muskulatur zu erkennen. Die Physiologie hat sich lange gegen die Anerkennung der praktischen Erfahrung, daß eine Vermehrung von Muskelsubstanz selbst, also ein Eiweißansatz, durch Muskelarbeit bedingt wird, gesträubt. Der Grund, weswegen die physiologische Wissenschaft gegenüber einer Vermehrung des Eiweißbestandes des Organismus durch Wachsen der Muskeln sich ablehnend verhielt, lag, wie in Kapitel IX ausführlich dargetan wurde, darin begründet, daß erfahrungsgemäß der Organismus des erwachsenen Individuums mit ungemeiner Zähigkeit seinen Eiweißbestand, wie er ihn nach Abschluß der Wachstumsperiode erreicht hat, festhält.

Wir haben dann aber weiter gesehen, daß der Eiweißansatz als Folge der

Muskelarbeit experimentell sichergestellt werden konnte. Wir haben ferner bewiesen, daß auch beim Aufstieg bis zu gewissen, individuell verschiedenen Bergeshöhen ein Eiweißansatz deutlich ist. Allerdings ist es wahrscheinlich, daß der Eiweißansatz, den die Gebirgsreize bewirken, nicht nur der Muskulatur, sondern auch anderen Organen zugute kommt. Dagegen handelt es sich bei dem auffälligen Zuwachs an Eiweißsubstanzen, den wir bei Kombination von Bergsteigen und Höhenklima fanden, wohl sicher in erster Linie um eine Vermehrung der Muskulatur.

Doch muß daran festgehalten werden, daß der Organismus des Erwachsenen in der Vermehrung seines Muskelbestandes Erhebliches nicht zu erreichen vermag. Auch lehrt die Erfahrung, daß der erhöhte Muskelbesitz kein bleibender ist.

Wir haben uns daran gewöhnt, für die Ausbildung des männlichen Körpers eine kräftige Entwicklung der Muskulatur als ästhetisches Schönheitsideal zu fordern. Wir sehen hierin das Zeichen eines durch Übung seiner Körperkräfte gesund und leistungsfähig erhaltenen Organismus. Indes auch vom Schönheitsstandpunkte aus ist uns eine gar zu stark hervortretende Muskulatur bei allzu großem Fettschwund nicht sympathisch, direkt unschön aber wirkt für das Auge eine einseitige Ausbildung gewisser beschränkter Muskelgruppen, wie sie durch manche Sportarten hervorgerufen wird. Es sind also in bezug auf die Erreichung körperlicher Manneschönheit diejenigen Sportarten in erster Linie zu wählen, welche eine möglichst allseitige Übung der Körpermuskulatur gestatten. Hierzu gehören in erster Reihe das Rudern und Schwimmen, aber auch das Bergsteigen, besonders da, wo es mit ausgiebiger Übung der Armmuskulatur verbunden ist, also in Verbindung mit Eisarbeit oder Felsklettern. Unzweckmäßig dagegen sind einseitige körperliche Leistungen, vor allem das Hanteln und Stemmen schwerer Gewichte, sowie zahlreiche Übungen unseres deutschen Gerätturnens.

Auch der Drill der Rekruten, vor allem das Üben des langsamen Schritts muß von diesem Standpunkte aus als eine wenig zweckmäßige Form körperlicher Ausbildung betrachtet werden. Es wird auf diese Weise eine sehr einseitige, ungemene Kräftigung der Bein- und Beckenmuskulatur erreicht, während die Ausbildung der übrigen Körpermuskulatur zurücksteht. Erst allmählich wird im weiteren Verlaufe der Dienstzeit das Versäumte nachgeholt.⁷⁾

Einseitige Körperübungen haben ihre Berechtigung nur dann, wenn eine individuelle Verteilung derselben statthaben kann, d. h. wenn bei jedem Individuum diejenigen Muskelgruppen einer erhöhten Tätigkeit unterworfen werden, welche im gewöhnlichen Leben der betreffenden Person zu verhältnismäßiger Untätigkeit verurteilt sind. Von diesem Standpunkte aus ließe sich unser deutsches Gerätturnen in der Tat sehr nutzbringend gestalten. Im allgemeinen ist man aber wohl in unseren Schulen von einer solchen Individualisierung der Turnaufgaben noch weit entfernt.

Zur Ausbildung einer möglichst harmonischen Entwicklung des Körpers sind ferner noch die zahlreichen systematischen Übungen der Zimmergymnastik vielfach verwandt worden. In neuester Zeit hat I. P. Müller unter dem Titel: „Mein System“⁸⁾ eine besondere Art der Körpergymnastik empfohlen, welche allseitig berechtigtes Interesse erregt hat. Denn es ist unbedingt

zuzugeben, daß die Überlegung, welche diesen Herrn zu der Ausarbeitung seines Systems veranlaßt hat, durchaus verständig ist, und daß es Herrn Müller selbst zweifellos gelungen ist, seinen eignen Körper zu denkbar schönster harmonischer Entwicklung heranzubilden. Dennoch aber hat jede solche Körpergymnastik, auch diejenige des Herrn Müller, wie uns scheint, einen sehr wesentlichen Nachteil — einen Nachteil, welcher bewirkt, daß sicher sehr viele, die Müllers Auseinandersetzungen mit aufrichtig gemeintem Beifall begrüßen, zwei oder drei Wochen lang den Anweisungen folgen und dann mehr und mehr in ihrem Eifer erlahmen, schließlich aber die Übungen ganz einstellen. Denn jede solche Gymnastik ist langweilig. Das Lustgefühl aber und die Freude an der körperlichen Übung, der Genuß in der Arbeit, das ist es, weshalb wir den Sport jeder gymnastischen Übung vorziehen. Darum wird letztere immer nur ein, wenn auch in manchen Fällen recht willkommenes Surrogat für sportliche Betätigung bilden können.

Von weit größerer Wichtigkeit als die Ausbildung der willkürlich tätigen Muskulatur ist die Kräftigung der Funktionen anderer Organe, welche durch die Muskelarbeit bewirkt wird: Die Einwirkung der Körperübungen auf Atem- und Kreislaufapparat. In Kapitel VIII wurde ausgeführt, wie mächtig der Stoffverbrauch durch Körperarbeit vermehrt wird, in Kapitel XI und XII, wie gewaltig die Ansprüche an Herz und Atmung bei der Muskeltätigkeit wachsen. Dort wurde auch besprochen, inwieweit bei besonders starken körperlichen Leistungen die Gefahr akuter oder chronischer Ermüdungszustände des Herzens gesetzt ist.

Gerade aber der Sport, in geeigneter Weise betrieben, bietet die sicherste Gewähr, daß das Herz vor solchen Schädigungen bewahrt bleibt.

Wir haben oben gesehen, daß ein arbeitender Muskel wächst, seinen Bestand vermehrt, leistungsfähiger wird. Man kann im Gegensatze dazu den Nachweis führen, daß ein nicht geübter Muskel in verhältnismäßig kurzer Zeit an Umfang und Funktionsfähigkeit verliert. Geradezu erstaunlich ist es, den Schwund der Muskulatur zu beobachten, wenn z. B. eine Extremität infolge eines Knochenbruches in einen Gipsverband gelegt und zu absoluter Ruhe gezwungen wird, und wir entdecken, wenn wir nach einer langwierigen Krankheit zum ersten Male uns vom Lager erheben, daß die Beinmuskeln die einfachste Form ihrer Tätigkeit, das Gehen und Stehen, verlernt zu haben scheinen. Allerdings genügt dann eine kurze Übung, um die verlorene Fähigkeit wieder zu ersetzen. Der bestgeübte Muskel nun ist das Herz. Rastlos arbeitet es Tag und Nacht, ohne Unterbrechung, während des ganzen Lebens. Werden aber an den Herzmuskel besondere Anforderungen gestellt, so wächst auch er, es tritt die sogenannte Hypertrophie des Herzens ein, die durchaus nicht eine pathologische Erscheinung, sondern lediglich eine Anpassung an die erhöhte Anforderung darstellt, welche an diesen Muskel herantritt.

Ferner besitzt aber der Organismus eine Anzahl von Einrichtungen, welche eine Unterstützung der Tätigkeit des Herzens bewirken und demselben so einen Teil seiner Arbeit abnehmen. Bedeutungsvoll sind in dieser Hinsicht die Venenklappen. Es sind dies nach innen vorragende halbmondförmige Falten der Venenwand, welche einen Rückfluß des Blutes hemmen und es zwingen, sich in der Kreislaufrichtung fortzubewegen. Jede Kontraktion eines Muskels bewirkt einen Druck



Nase des Lyskamm.

Phot. Vittorio Sella, Biella.

auf die Venen und entleert sie in der Richtung zum Herzen. Bei der nachfolgenden Erschlaffung kann die Wiederfüllung der Venen nur aus dem Kapillargebiet erfolgen. Je umfangreichere Muskelgruppen bei der betreffenden Leistung in Aktion treten, und je mehr in diesen Muskeln der Zustand der Kontraktion und Erschlaffung wechselt, um so größer wird die Unterstützung des Herzens, und somit die Verringerung der Gefahr für dieses Organ bei maximalen Anstrengungen sein. Also auch in der Einwirkung auf das Herz sind Rudern, Schwimmen und Bergsteigen besonders empfehlenswerte Sportarten.

Ein weiteres die Herzarbeit unterstützendes Moment ist die Ansaugung des Blutes durch die Atmung während der Inspiration in den Brustraum und damit zum Herzen. Je stärker vertieft die Einatmung ist, desto kräftiger unterstützt sie den Blutstrom. Darum sind solche körperliche Übungen in dieser Hinsicht besonders günstig, welche eine möglichst freie, ungehinderte, inspiratorische Entfaltung des Brustkorbes verbürgen, wie das in beinahe idealster Weise bei dem sportlichen Rudern der Fall ist. Unzweckmäßig dagegen sind alle solche sportlichen Betätigungen, bei welchen die Ansaugung des Venenblutes nach dem Brustkorbe hin behindert wird. Zu diesen Übungen gehören wiederum das Stemmen schwerer Gewichte, ferner auch längeres Gestreckthalten der Arme bei Freiübungen, manche Gerätübungen, wie der Knickstütz beim Barren. In gleicher Weise wirkt auch zu eng anliegende Kleidung und, was für den Alpinisten besonders wichtig ist, das Tragen unzweckmäßig angebrachten Gepäcks auf dem Rücken. Die Atmung hilft aber nicht nur bei der Inspiration das Herz füllen, sie erleichtert auch bei der Ausatmung den Übergang des Blutes in die Arterien durch Drucksteigerung im Brustraum.

Zu den mechanischen Wirkungen der Muskeltätigkeit auf den Kreislaufapparat und die Atmung kommen die chemischen durch Stoffwechselprodukte. Daß diese durch die gesteigerten Umsetzungen in den Muskeln erzeugten Substanzen den wichtigsten Atemreiz darstellen, wurde bereits in Kapitel XI ausgeführt. Andererseits haben wir durch die Versuche Weichardts¹⁰⁾ erkannt, daß bei der Muskelarbeit spezifische toxische Stoffe entstehen, welche sich durch Reduktionsprozesse aus dem zerfallenden Gewebeiweiß bilden und auf den Organismus in ähnlicher Weise wirken, wie wir es etwa bei den durch Bakterien erzeugten Giften, den Toxinen, kennen. Ob auch das Ermüdungstoxin in geringer Menge eine Reizwirkung auf Herz und Atmung auszuüben imstande ist, ist noch nicht bekannt.

In der Bedeutung für die Funktionen der Lunge und des Herzens liegt ein wesentlicher Nutzen der körperlichen Tätigkeit, die den lebenswichtigsten Muskel arbeitsfähiger macht und bewirkt, daß er sich verstärkten Ansprüchen, wie sie z. B. bei manchen schweren Erkrankungen gestellt werden, gewachsen zeigt.

Es springt ins Auge, daß eine solche Stärkung der Herzmuskulatur und Übung der Atembewegungen, besonders für den jugendlichen Organismus, von Vorteil sein muß, bei dem die Ausbildung dieser Organe sich den Bedürfnissen in hohem Maße anpaßt, und eine kräftige Entwicklung eines leistungsfähigen Herzens und eines breiten elastischen Brustkorbes die wertvollsten Errungenschaften für spätere Lebenszeiten darstellen. Gerade bei dem jugendlichen Individuum ist besonderer

Wert zu legen auf solche körperlichen Betätigungen, welche Herz und Lungen stärken. Das sind für Kinder in erster Linie Springen und Laufen, die in diesem Falle am besten in Form von Spielen im Freien betrieben werden.

So wertvoll aber die Kräftigung von Herz und Lunge durch Sport und Körper-tätigkeit ist, so ist sie doch noch nicht einmal das Wichtigste bei solchen Übungen. Auch heute besteht die Anschauung vollkommen zu Recht, welche Emil du Bois Reymond¹⁾ in seiner klassischen Rede über die Übung ausgesprochen hat: „Daß Leibesübungen wie Turnen, Fechten, Reiten, Schlittschuhlaufen vielmehr Übungen des Zentralnervensystems, des Hirns und Rückenmarks sind. Freilich gehört zu diesen Übungen ein gewisser Grad von Muskelkraft, aber man kann sich einen Menschen denken mit Muskeln wie der Farnesische Herkules und doch unfähig zu gehen, zu stehen, geschweige verwickeltere Bewegungen auszuführen.“ In der Tat ist Übung des Nervensystems, d. h. der Sinnesorgane, des Gehirns, des Rückenmarks die wichtigste Förderung des Organismus durch den Sport, und darum werden stets diejenigen Leibesübungen die edelsten sein, welche neben einer genügenden Anregung und Ausbildung der Atmung und des Herzens die nervösen Apparate in erster Linie kräftigen, diejenigen Organe also, deren höhere Ausbildung den homo sapiens aus der Reihe der übrigen Tierwelt heraushebt.

Zwei unserer Sinnesorgane werden durch den Sport besonders geschult: das Auge und der Muskelsinn. Der einzige Sport wohl, bei welchem das Gehör wesentlich geübt wird, ist die älteste Sportart, die der Mensch getrieben hat, die Jagd. Sorgsam horcht der Jäger auf das leiseste Knacken der Äste und im dämmernden Abend verrät ihm sein lauschendes Ohr oft weit eher als das Auge das Herannahen des Wildes. Unter den Sportarten, welche das Auge und den Muskelsinn vorzüglich schärfen, sind dreierlei zu nennen: Fechten, Lawn-Tennis und Alpinistik. Allerdings kann unter Fechten hier weniger unser studentisches Schlägerschlagen in Betracht kommen, wohl aber sind die vorzüglichsten Ausbildungsmittel für Auge und Muskelsinn das Florettieren und das italienische Säbelfechten, bei welchen man die kleinsten Bewegungen des Gegners bemerken und mit Verwendung seiner gesamten Körpermuskulatur, nicht nur wie beim deutschen Fechten mit derjenigen des Handgelenks, auf den gegnerischen Angriff in zweckmäßiger Weise reagieren oder eine Blöße benutzen muß. Ganz ähnlich sind die Vorteile, die das Tennisspielen mit sich bringt. Aber auch der Alpinist braucht Auge und Muskelsinn weit mehr als die rohe Kraft der Muskulatur. Wenn wir das umstehende Bild betrachten, auf dem uns die Meisterhand von Platz eine Gruppe von Alpinisten an einer der berühmtesten Kletterstellen des Grand Pic de la Meije darstellt, so sehen wir die konzentrierte Aufmerksamkeit und den gespannten Blick, mit welchem die Gefährten jede Bewegung des Vorkletternden verfolgen, und wir sehen an diesem selbst, wie er die Anspannung seiner gesamten Aufmerksamkeit, die Feinheit seines Muskelgefühls dazu benutzt, um sich über die Sicherheit seines Standes klar zu werden und danach die Möglichkeit seiner Muskelbewegungen abzuschätzen. Zugleich aber führt uns die Betrachtung dieses Bildes zu einer weiteren wichtigen Wirkung des Sports: das ist die Koordination der Bewegungen.

Unter Koordination der Bewegungen verstehen wir das Vermögen, alle zu dem Zustandekommen einer bestimmten Bewegung nötigen Muskeln in der zweckmäßigsten Weise zusammenwirken zu lassen. Keine Bewegung der Muskulatur nämlich ist eine einfache. Bei jeder derselben haben wir ein Ineinandergreifen verschiedener Muskelgruppen und dieser Mechanismus wird um so schwieriger, je komplizierter die Körperbewegung ist, welche wir auszuführen haben. Unser Nervensystem funktioniert in der Art, daß jedesmal, wenn zu einer bestimmten Muskelgruppe der Befehl geht: „Arbeite“, zugleich der Impuls zu denjenigen Muskeln gesandt wird, welche den entgegengesetzten Bewegungen dienen, zu den Antagonisten, mit der Weisung: Seid auf der Hut, damit ihr im rechten Moment die Bewegungen der arbeitenden Muskulatur hemmen und modifizieren könnt. Auf diesem Zusammenarbeiten der Muskeln und ihrer Antagonisten beruht am letzten Ende jede Geschicklichkeit in der Ausführung einer körperlichen Übung, und derjenige ist der beste Sportsman, der Muskeln und ihre Widerpartner am zweckmäßigsten neben- und miteinander arbeiten läßt.

Wir haben wiederholt bei unseren bisherigen Auseinandersetzungen den Wert der Übung gestreift und hatten gesehen, daß durch Übung die Muskulatur an Umfang zunimmt, daß in der Tat ein Eiweißansatz innerhalb der Muskulatur statthat. Es hat sich auch herausgestellt und ist auf das Exakteste zahlenmäßig bewiesen worden, daß ein und dieselbe körperliche Arbeit von demselben Individuum bei dauernder Übung mit allmählich immer geringerem Kraftaufwande geleistet wird (Kapitel VIII), bis schließlich eine Grenze erreicht ist, bei welcher keine weitere Herabsetzung des Verbrauches für diese Muskelarbeit statthaben kann, dann ist der Mensch auf diese Leistung eingeübt, ist für dieselbe trainiert.

In dieser Beziehung ist die Feststellung interessant, daß der Stoffverbrauch maximal trainierter Männer für die betreffende Übung schließlich absolut gleichgroß wird. Caspari²⁾ beobachtete zwei Dauergänger während ihres Trainings und stellte fest, daß der eine pro Meter Weg und Kilogramm Gewicht 0.207, der andere 0.206 ccm Sauerstoff verbrauchte. Dabei war nicht nur die Ernährungsweise beider Männer völlig verschieden, sondern auch die Art, in der die Geharbeit geleistet wurde. Der eine wandte den Mareyschen Beugegang an, der andere den athletischen Turnersschritt. Ersterer besteht bekanntlich darin, daß beim Gehen das Standbein gebeugt bleibt und auf diese Weise ein Marschtypus zustande kommt, welcher ein Mittelding zwischen Gang und Laufschrift darstellt. Der Bergsteiger befeißigt sich ja eines ganz ähnlichen Schrittes, weil beim Bergaufsteigen dadurch Arbeit gespart wird. Der Mareysche Beugegang ist bei den Bersaglieri der italienischen und den Spahis der französischen Armee eingeführt und soll sich dort vorzüglich bewährt haben.

Der athletische Turnersschritt sieht viel weniger zweckmäßig aus. Bei ihm wird das Hangbein etwas stark gehoben, die Knie des Standbeins stramm durchgedrückt. Es wird so eine dem Auge sehr wohlgefällige Gangart erzielt.

Trotz der Verschiedenheit des Ganges war, wie gesagt, bei beiden maximal trainierten Männern der Verbrauch für gleiche Arbeitsleistung absolut gleichgroß.

Dieses Einarbeiten auf eine Muskelleistung ist aber nicht etwa bedingt durch



Ernst Platz, Ersteigung des Grand Pic de la Meije.

Einwirkung des Gebirgsklimas.

den Zuwachs an Muskulatur, welcher ja, wie wir gesehen haben, ein ziemlich geringer ist. Der sportliche Training ist und bleibt in erster Linie ein Training des Nervensystems, oder, wie Du Bois-Reymond sich ausdrückt, eine „Nervengymnastik“. Der Aufwand für eine Muskeltätigkeit wird herabgesetzt durch das zweckmäßigste Zusammenarbeiten von Bewegungsmuskeln und Antagonisten. Das zweckmäßigste Zusammenwirken und damit das Minimum an Kraftaufwand ist dann erreicht, wenn die Bewegungsform so häufig geübt ist, daß die bewußte Aufmerksamkeit unnötig wird. Das Erinnerungsbild einer oft geübten Muskeltätigkeit prägt sich uns derartig ein, daß der Wille, diese Tätigkeit auszuüben, schon genügt, um die ganze Reihenfolge der Bewegungen in zweckmäßigster Weise sich abspielen zu lassen, ohne daß wir unsere Aufmerksamkeit auf dieselbe zu konzentrieren brauchen. So wird die betreffende sportliche Leistung allmählich zu einer halbautomatischen oder automatischen.

Bei der besonderen Art des Bergsports darf man jedoch von diesem Vorteil keinen Gebrauch machen, ja das Automatischwerden der Marschbewegungen bildet hier sogar eine Gefahr. Häufig haben wir beim Überschreiten von Gletschern nichts zu leisten als eine vielleicht etwas erschwerte Geharbeit, dennoch aber müssen wir auf Schritt und Tritt die gespannteste Aufmerksamkeit lenken, um den Gefahren zu entgehen, welche selbst der harmloseste Gletscher für den Wanderer darbietet. Ist aber das Gehirn ermüdet, wie es besonders nach einer schon sehr langen und aufreibenden Tagesarbeit der Fall ist, so verfällt der Alpinist leicht in den Fehler, die Gehbewegung, welche er sonst automatisch ausübt, auch in diesem Falle der Kontrolle des Bewußtseins bis zu einem gewissen Grade zu entziehen. Einen solchen Mann sehen wir dann oft unbeholfen über Gletscherspalten hinwegtorkeln, weil er im letzten Augenblick erst die Gefahr erkennt, aber nicht imstande ist, völlig zweckmäßig seine Muskeln zu innervieren. Oft aber auch führt ein solcher Zustand direkt zu Unglücksfällen, und es bringt das Automatischwerden der Marschbewegung nicht nur für den Touristen selbst, sondern auch für die mit ihm angeseilten Gefährten eine nicht zu unterschätzende Lebensgefahr.

Die zweckmäßige Ausführung einer bestimmten Art von Muskelbewegungen ist das erste Ziel, welches wir durch Koordinationübungen zu erreichen suchen. Bedeutungsvoller aber ist ein zweites. Es ist das Bestreben, derartig auch unter den mannigfaltigsten Bedingungen die Bewegungen seines Körpers zu beherrschen, daß auf jeden äußeren Anstoß mit der größten Promptheit und Schnelligkeit die geeignete Koordination erfolgt. Hier zeigt sich die Schulung des Nervensystems in ihrer größten Ausbildung. Einen derartig trainierten Mann wird man in allen Lebenslagen von dem untrainierten unterscheiden können. Bei einer plötzlich eintretenden gefährlichen Situation wird der Untrainierte, vor Schrecken erstarrt, unfähig sein, seine Glieder in zweckmäßiger Form zu bewegen, oder er wird im besseren Falle seine zweckmäßigen Abwehrbewegungen mit einer Unzahl unweckmäßiger Mitbewegungen kombinieren. Der Geübte aber wird seine Fähigkeit, welche er durch langdauerndes Training des Nerven- und Muskelsystems erworben hat, in der glänzendsten Weise bei solcher Gelegenheit zeigen, indem er mit überraschender

Sicherheit die für den Moment geeigneten Körperbewegungen ausführt. Das wird z. B. anschaulich von Whymper geschildert bei Gelegenheit seiner ersten Matterhornbesteigung, welche ja viieren der Gefährten des großen englischen Alpinisten den Tod brachte. Whymper erzählt, wie er mit einer selbstverständlichen Bewegung im Augenblick, als er den ersten Ruck des Seiles verspürte, mit großer Kraft seinen Körper zurückwirft und den Pickel hinter sich einstemmt. Dieser zweckmäßigen Reaktion, welche Whymper und der vor ihm gehende Führer in gleicher Weise ausführten, war es zu verdanken, daß zwischen letzterem und den vier Vordermännern das Seil entzweißt und statt sechs wenigstens nur vier Opfer der ersten Besteigung des Matterhorns zu beklagen waren.

Geistesgegenwart und Schlagfertigkeit sind die Vorteile einer so betriebenen sportlichen Übung. Leibesübungen, wie Fechten, Ringen, Bergsteigen, Jagen, gewähren uns diese wichtigsten Errungenschaften, also alle diejenigen Sportleistungen, bei welchen wir einen Kampf mit einem Gegner, sei es ein Mensch, ein Tier oder die mächtige Natur selbst, durchzukämpfen haben. Gerätturnen dagegen und Freiübungen, selbst das Rudern gewähren uns diese Ausbildung nicht, während beim Segeln gerade diese Seite des sportlichen Trainings besonders geschult wird.

Der geringere Kraftaufwand, mit welchem eine Muskeltätigkeit, auf die wir trainiert sind, ausgeführt wird, findet seinen Ausdruck auch in der Herabsetzung des Ermüdungsgefühls. Der Trainierte ist imstande, sportliche Leistungen auszuführen, welche ihn früher auf das Schwerste erschöpften und zu schmerzhaften Empfindungen in der ermüdeten Muskulatur (Muskelfieber), führten. Dieses Hinausschieben der Ermüdungsgrenze betrifft aber nicht nur die spezielle Körperleistung, auf welche das betreffende Individuum eingeübt ist, wenn sie auch in erster Linie für diese Koordination der Muskulatur in Betracht kommt. Das Trainieren auf bestimmte sportliche Übungen, welche eine größere Gruppe von Körpermuskeln in Aktion treten lassen, macht vielmehr den Betreffenden fähig, nun auch andere schwere körperliche Kraftleistungen zu vollbringen, ohne daß vorzeitige Ermüdung eintritt. Dieses Resultat konnten auch wir durch unsere Dynamometerversuche bestätigen.

Die höchsten Funktionen des Menschen aber sind die psychischen. Frohsinn, Lust, Mut und Tatkraft sollen durch den Sport erweckt und gestärkt werden. In dieser Hinsicht gibt es wohl keine Sportart, welche in gleich harmonischer Weise den Menschen erfreut, beruhigt und stärkt wie der Alpinismus. Der Anblick einer herrlichen Landschaft erfrischt unsere Seele, das Vollgefühl von Mut und Kraft läßt unsere Herzen höher schlagen und hebt unser Selbstvertrauen. Diese Empfindungen sind es auch, welche zu der Antwort geführt haben auf die immer wiederkehrende Frage der Philister, warum denn der Alpinist sich all diesen Strapazen und Gefahren aussetze, welche so vielen Menschen als zweckloser Unfug erscheinen: „Weil's uns gefreut!“

Hinzu kommt bei den meisten Sportarten eine andere seelische Empfindung, die als mächtige Triebfeder bei der Überwindung der Strapazen wirkt: der Ehrgeiz und der daraus entspringende Wettstreit. Mosso erzählt in seinem Buche:

„Der Mensch in den Hochalpen“, ein sehr bezeichnendes Beispiel für die Wirkung dieses Wettseifers auf die Muskeltätigkeit. Er ließ seine Alpini im Tale in Turin und auf der Höhe der Capanna Regina Margherita Hantelübungen ausführen. Während nun aus den Erfahrungen Mossos, wie aus den unsrigen hervorgeht, daß die Arbeitsleistung beim Übergang aus der Ebene in die Höhe eine herabgesetzte ist, fand Mosso zu seinem Erstaunen, daß in der Höhe von 4560 m mehr Arbeit geleistet wurde als in Turin. Als Grund gibt er die Erklärung, daß bei den Hantelübungen im gemeinsamen Raum der Wettseifer der Leute untereinander rege wurde und sie zu erhöhten Leistungen befähigte.

Auch Kolb⁶⁾ erwähnt, daß beim sportlichen Rudern Zustände von Ermüdung eintreten, die ohne den Ehrgeiz des Sportsman unbedingt zum Aufgeben der Übung führen würden. Es ist ja wohl gar keine Frage, daß ohne den gewaltigen seelischen Antrieb so ungeheurere Körperleistungen, wie sie etwa der Rennfahrer Miller bei dem Sechs-Tage-Rennen in Neuyork durchgeführt hat, nicht möglich wären. Daß aber gerade dieses Moment des Wettseifers auch dazu führt, die Ventile der menschlichen Maschine nicht zu beachten und die Arbeitsleistung gar zu sehr zu steigern, muß unbedingt zugegeben werden. Gerade dieser Fehler ist es, welcher oft wesentliche Schädigungen durch übertriebene Sportleistungen bedingt. Speziell für den Alpinismus ist ein allzu starkes Betonen des Wettseifers und eine allzu große Entwicklung sportlichen Ehrgeizes keineswegs erwünscht. Dieser Meinung haben wir bereits oben Ausdruck gegeben.

Wir erreichen also durch sportliche Tätigkeit und speziell durch Ausübung des Bergsports ein Anwachsen unserer Körpermuskulatur, eine Stärkung des Herzens und der Lunge, eine Übung des Nervensystems und eine Stählung und Stärkung unserer psychischen Funktionen.

Von diesen Vorteilen gehen wohl Muskelansatz und Gewöhnung an die Ermüdung allmählich verloren. Länger schon halten die Errungenschaften für Herz und Lunge vor. Die Übung des Nervensystems dagegen ist eine langdauernde, ja sie kann dem betreffenden Individuum ständig erhalten bleiben und im Kampfe des täglichen Lebens eine mächtige Hilfskraft werden. Unvergänglich aber für jeden wahren Alpenfreund bleiben die seelischen Eindrücke, die wir aus den Bergen heimbringen, als die höchste Ausbeute des Alpensports.

Bei der Wichtigkeit, welche, wie wir sahen, der Übung für die sportliche Leistung zukommt, hat sich zuerst in dem Mutterlande des Sports ein bestimmtes Regime des körperlichen Verhaltens und der Nahrungsweise eingebürgert, für welches man speziell das Wort „Training“ verwendet. Im allgemeinen besteht dieses Training neben der allmählichen Einübung auf die betreffende sportliche Tätigkeit in der Darreichung einer bestimmten Diät und der Einhaltung einer strengen und enthaltsamen Lebensführung. Es hat also den Zweck, erstens eine maximale Übung für die Sportleistung zu bewirken, zweitens durch die Ernährung das Individuum für die Ausführung der betreffenden Muskeltätigkeit besonders geeignet zu machen. Dabei wird Wert darauf gelegt, daß das Ballastmaterial des Körpers: überschüssiges Fett und Wasser, zum Schwinden gebracht wird. Das erreicht man

durch Darreichung einer knappen und wasserarmen Diät. Besonders bei dem Training der Jockeys, bei welchem es ja in erster Linie auf ein Herabdrücken des Körpergewichts ankommt, ist diese Ernährungsweise bis zum Extrem durchgeführt worden, häufig mit recht bedauerlichen Folgen.

Die Ernährung beim Training, wie sie speziell in England bei dem dort in hoher Blüte stehenden Rudersport durchgeführt wird, ist eine außerordentlich eiweißreiche. Diese Bevorzugung des Eiweiß beruht wohl auf einer Überschätzung der Bedeutung dieses Nährstoffes für die Muskelarbeit, welche auf die alten Theorien Justus v. Liebig's zurückgeht. Heute, nachdem wir als Resultat der jahrzehntelang geführten Geisteskämpfe der ersten Vertreter der Physiologie erkannt haben, daß zwar das Eiweiß der einzige Nährstoff ist, welcher gegebenenfalls allein einen Organismus zu erhalten und also seine Bedürfnisse und auch die Körperarbeit zu bestreiten vermag, daß aber auch Kohlehydrate und Fette bei gemischter Kost als Quelle der Muskelkraft gleichwertig dienen können, scheint es angebracht, mit dem Eiweißreichtum der Kost beim Training zurückzugehen. Denn wenn wir uns auch nicht auf den extremen Standpunkt leidenschaftlicher Vegetarier oder des englischen Klinikers Haig stellen wollen, so halten wir es doch für zweifellos, daß eine so erhebliche Zufuhr von Fleisch Gefahren für den Organismus (arthritische Diathese, Gicht, Überlastung der Nieren) mit sich bringen kann. Hierzu kommen Störungen des Nervensystems, die wohl gleichfalls in erster Linie auf die übertriebene Fleischkost zurückzuführen sind, wenn auch die Einförmigkeit der Lebensführung beim Training ihre Entwicklung begünstigt. Man bezeichnet diesen Zustand als „Übertrainiertsein“ (overtraining). Er geht mit großer psychischer Reizbarkeit und Herabsetzung der körperlichen Leistungsfähigkeit einher. Eine übertrainierte Mannschaft hat keine Aussicht auf sportlichen Erfolg. Selbst richtige Delirien sollen beobachtet worden sein (Beefsteakrausch).

Demzufolge ist man vielfach von dem Fleischtraining zurückgekommen und hat statt dessen erhebliche Mengen Zucker verwendet. Dies ist sicherlich bis zu einer gewissen Grenze außerordentlich zweckmäßig, weil ja der Zucker ein sehr konzentriertes und leicht resorbierbares Nahrungsmittel darstellt. Es sind auch mit dem Zuckertraining, besonders in Holland (Birnie) bei der Ernährung der jungen Rudermannschaften, sehr gute Sportresultate erzielt worden. Ein Übertrainiertsein wurde auf diese Weise völlig vermieden, und die jungen Leute blieben bei vier- bis fünfmonatlichem Training völlig auf der Höhe der Leistungsfähigkeit. Daß Fleischnahrung bei der Erzielung erstklassiger sportlicher Leistungen überhaupt nicht notwendig ist, wird zweifellos bewiesen durch die zum Teil außerordentlichen Leistungen der Vegetarianer. Es sei hier an den Dauermarsch von Dresden nach Berlin erinnert, bei welchem die fünf ersten Sieger eine fleischlose Kost genossen, und der erste Sieger, Herr Mann, damals als strenger Vegetarier lebte. Dieser legte die Strecke von 202 km in 26 Stunden 58 Minuten zurück und schlug auf diese Weise den Weltrekord auf dem Gebiete des Dauermarsches. Dennoch aber soll hier nicht einer rein vegetarischen Ernährung beim sportlichen Training das Wort geredet werden, denn dieselbe bringt, wenn sie nicht sehr raffiniert zusammengesetzt ist, durch die starke Füllung des Darmkanals mit schwer resp. gar nicht zu resorbierendem Material

Unzuträglichkeiten mit sich, welchen sicher viele Menschen nicht gewachsen wären. Als rationelle Ernährungsweise beim Training würde sich daher eine gemischte Nahrung am besten eignen, welche leicht verdaulich, nicht zu massig und nicht zu wasserreich ist. Eine derartige Ernährungsweise hat sich auch in Deutschland, z. B. beim Rudersport, heute ziemlich allgemein eingebürgert und zu erfreulichen Resultaten geführt.

Daß andererseits die Nahrungsaufnahme beim Training entsprechend der enormen Anstrengung oft eine ungeheuer große ist, geht aus den Zahlen hervor, welche Jaffa⁵⁾ an einer Anzahl kalifornischer Studenten beim Fußballtraining festgestellt hat. Diese nahmen im Durchschnitt pro Tag 260 g Eiweiß, 416 g Fett und 710 g Kohlehydrate zu sich, entsprechend 7885 W.E., also etwa das Doppelte der Nahrung eines kräftig arbeitenden Menschen.

Bekanntlich muß sich jeder junge Mann, welcher sich einem strengen sportlichen Training unterwirft, ehrenwörtlich verpflichten zur Enthaltbarkeit im Rauchen, Liebes- und Alkoholgenuß. Daß die ersteren beiden Verbote berechtigt und zweckmäßig sind, ist nicht unbedingt zuzugeben. Ein völliger Verzicht wird sicher zuweilen ungünstig auf das Nervensystem einwirken und das Eintreten des Übertrainiertseins beschleunigen. Ein Übermaß setzt natürlich auf jeden Fall die körperliche Leistungsfähigkeit herab.

Noch schwieriger scheint die Beantwortung der Frage, ob das absolute Alkoholverbot zweckmäßig ist.

Wir haben ja in den Auseinandersetzungen des Kapitels III gesehen, daß der Alkohol die Rolle eines Nahrungsmittels zu übernehmen imstande ist. Zwar ist es experimentell noch nicht exakt bewiesen, daß er auch als Quelle der Muskelkraft in Betracht kommt. Es liegt aber ebensowenig ein Grund vor, dem Alkohol diese Rolle abzuspochen. Sollte er auch nicht unmittelbar als Quelle der körperlichen Leistungen dienen können, so würde er indirekt sicherlich dennoch zur Quelle der Muskelkraft werden, weil er die anderen Nährstoffe vertreten und sie also für die Muskelarbeit disponibel erhalten kann. Dem gegenüber steht aber die Einwirkung des Alkohols auf das Zentralnervensystem. Die Wirkung des Alkohols auf das Zentralnervensystem ist keine einheitliche. Sie besteht im wesentlichen aus einer Erregung, welcher eine erhöhte Ermattung folgt. Gerade aber um dieser erfahrungsmäßigen Erregung willen stellt sich vielfach die Neigung bei sportlichen Leistungen ein, Alkohol aufzunehmen. Es ist eine bekannte Tatsache, daß man Rennpferden oft unmittelbar vor dem Rennen eine Flasche Sekt in den Schlund gegossen hat. Auch bei manchen körperlichen Maximalleistungen sind wesentliche Mengen Alkohols genommen worden. So berichtet Tissié⁶⁾ von einem Rennfahrer, welchen er während der Aufstellung eines 24-Stundenrekords wissenschaftlich beobachtet hat. Dieser Mann nahm in den kurzen Pausen, die er sich gönnte, außer den üblichen Nahrungsmitteln auch Rum und Champagner zu sich. Leider werden die absoluten Mengen Alkohol nicht angegeben. Aus der Wahl der Getränke geht aber schon zur Genüge hervor, daß dieselben nicht ganz gering gewesen sein können. In der Tat erwähnt auch Tissié, daß der Aufnahme des Rums vorübergehend eine erhöhte Kraftleistung folgte, auf welche aber bald die Reaktion ein-

setzte. Diese Reaktion aber ist es, welche für den Sportsman die Aufnahme des Alkohols so außerordentlich gefährlich macht, so daß es vollkommen zweckmäßig erscheint, während des Trainings, also während der Einübung auf eine Maximalleistung, eine völlige Enthaltung von Alkohol durchzuführen. Denn als Nahrungsmittel spielt der Alkohol für die Kost doch eine sehr geringe Rolle, die beim Gesunden jederzeit durch die übrigen Nährstoffe vertreten werden kann.

Günstiger mag die Verwendung des Alkohols sich bei der Ausführung der Maximalleistung selbst gestalten, besonders dann, wenn diese Maximalleistung eine so schnell vor sich gehende ist, daß man darauf rechnen kann, dieselbe, etwa ein Wettrennen über eine kurze Strecke, beendet zu haben, bevor die unfehlbar eintretende Reaktion sich geltend macht. Analog dieser Überlegung wird man auch einer Aufnahme von Alkohol besonders dann das Wort reden können, wenn bei Dauerleistungen nur noch eine kurze Strecke uns von dem Ziele trennt, und wir also hoffen dürfen, nur die erregende, heilsame Wirkung des Alkohols auszunutzen, ohne unter der Ermattung, welche ihr folgt, zu leiden.

Diese Anschauung, welche wohl am besten den Erfahrungen entspricht, die der vorurteilsfreie Beobachter gesammelt hat, wird gestützt durch die experimentelle Forschung. Als Resultat dieser experimentellen Forschungen hat sich nämlich ergeben, daß der Erfolg des Alkohols durchaus verschieden ist, je nachdem er auf eine bereits ermüdete oder auf eine noch kräftige, leistungsfähige Muskulatur einwirkt. Bei nicht ermüdeten Muskeln wirkt der Alkohol schädlich, indem er die Maximalarbeitsleistung bei der Zusammenziehung des Muskels herabsetzt. Dagegen wird die Ermüdung durch den Alkoholgenuß bekämpft und unter seiner Einwirkung wird die Leistungsfähigkeit ermüdeten Muskeln vorübergehend gesteigert.

Der Alpinist pflegt gewöhnlich ein Training im eigentlichen Sinne des Wortes nicht durchzumachen. Kann man doch die Tätigkeit des Alpinisten selbst als ein Training ansehen, das ihn vorbereiten soll für die Strapazen des Lebens. Andererseits sind ja die wenigen Wochen, welche dem Großstadtmenschen zu seiner Erholung und der Ausübung des Alpensports gewöhnlich gewährt werden, nicht ausreichend, um ein eigentliches sportliches Training durchzuführen. In neuester Zeit fangen allerdings die Felskletterer an, für eine gewisse Trainierung ihres Körpers Sorge zu tragen in den sogenannten „Kletterschulen“, wie sie den Deutschen in vorzüglichster Weise in der Sächsischen Schweiz und im Schwarzwald bei Baden-Baden, den Österreichern in den Gebieten um Wien, speziell in der berühmten Raxalp, dargeboten werden. Aber auch für jeden Alpenwanderer ergibt sich aus den Betrachtungen, welche über den Wert der Übung angestellt wurden, daß man den Körper an die spezielle Muskularbeit des Bergsteigens und an den Höhenaufenthalt (s. S. 256) zu gewöhnen hat und nicht gleich in den ersten Tagen zu große Anforderungen an den vielleicht gar durch langes Stubenhocken entkräfteten Körper stellen darf. Überanstrengung, Abgeschlagenheit, ja selbst vorzeitiges Auftreten der Bergkrankheit werden sich als schädliche Folgen zu großer unvermittelter Ansprüche fast stets zu erkennen geben.

Literatur.

- 1) Emil du Bois-Reymond: „Über die Übung“. Gesammelte Reden, Leipzig 1887.
 - 2) Caspari: „Physiologische Studien über Vegetarismus“. Verh. der Berliner Phys. Gesellschaft. 26. II. 1904.
 - 3) Eckardt: „Über die sportliche Seite des Alpinismus“. Mitteilungen des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins. 1903.
 - 4) Grimm: „Deutsches Wörterbuch“. Bd. X, 1905.
 - 5) M. E. Jaffa: „Nutrition investigations at the California agricultural experiment Station.“ Washington 1900.
 - 6) Kolb. „Beiträge zur Physiologie maximaler Muskelarbeit und besonders des modernen Sports“. Berlin.
 - 7) Leitenstorffer: „Das militärische Training“. Stuttgart 1898.
 - 8) J. P. Müller: „Mein System“. Kopenhagen und Leipzig 1904.
 - 9) Tissot: „Observations physiologiques concernant un record velocipedique.“ Ann. de phys. norm. et path. t. 24. 1894.
 - 10) Weichhardt: „Über Ermüdungstoxin und -antitoxin“. Mehrere Publikationen in der Münchener med. Wochenschr. 1904 u. 1905.
-

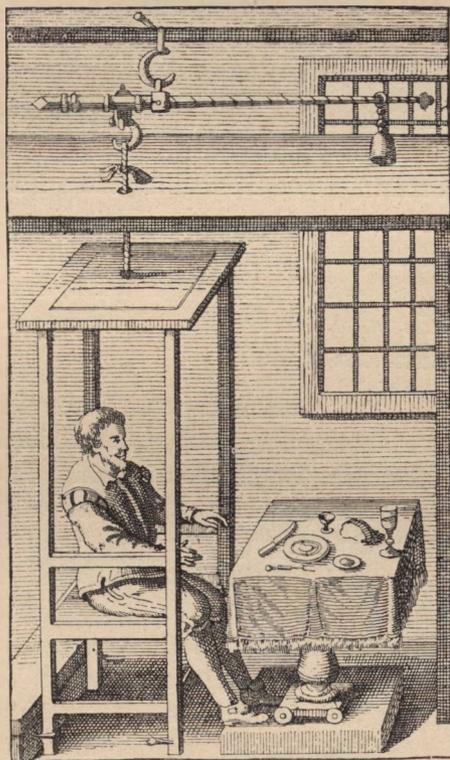
Kapitel XIV.

Perspiration und Schweißabsonderung.

Die großen Fortschritte, welche die gesamte Naturwissenschaft im 17. Jahrhundert gemacht hat, sind in erster Linie dadurch zustande gekommen, daß an Stelle unscharfer Beschreibungen exakte Messungen und Wägungen traten. Wenn auch diese neue Forschungsmethode vor allem der Astronomie und Physik zugute kam, so beeinflusste sie doch in mächtigster Weise auch die Physiologie und Medizin. Schon die Bezeichnung der damals aufkommenden exakten Schule der Heilkunde als „Iatro-mathematiker“ läßt erkennen, wie sehr Maß und Zahl das Denken der Mediziner jener Zeit beherrschten. Zu den hervorragendsten Vertretern dieser Richtung gehört Sanctorius¹¹⁾ in Padua. Beistehende Abbildung zeigt das Titelbild seines berühmten Buches „De statica medica“ (Über medizinische Statik). Wir sehen den Forscher in einer kleinen Kammer, die an einer Wage hängt. Diese Einrichtung gestattet fortlaufend die Gewichtsänderungen des Menschen zu beobachten und mit den wägbaren Einnahmen und Ausgaben zu vergleichen.

Durch die Forschungen dieses Mannes und zahlreicher, in seinen Fußstapfen arbeitender Gelehrter jener Zeit in allen Ländern Europas wurde die Erkenntnis zum Gemeingut, daß der Mensch, wie jedes Lebewesen, durch Abgabe unsichtbarer Substanzen — Gase und Dämpfe — ständig an Gewicht verliert, daß die Größe dieses Gewichtsverlustes (*perspiratio insensibilis*) durch das Befinden und die Leistungen des Menschen in hohem Maße beeinflusst wird, daß der Verlust steigt bei körperlicher Arbeit und während der Verdauung. Man fand ihn abhängig von den Jahreszeiten, im Sommer, überhaupt bei hoher Temperatur, größer als im Winter, ferner mit Gesundheit und Krankheit in inniger Beziehung, in gewissen fieberhaften Krankheiten erheblich gesteigert.

Über die Natur der auf diese Weise vom Körper abgegebenen Stoffe gewann man erst ein Jahrhundert später volle Klarheit. Die Entdeckung der Kohlensäure



Sanctorius von Padua,
der Begründer des Stoffwechselversuchs.

durch Black, des Sauerstoffs durch Priestley und Scheele, das Studium der Verbrennungsprozesse durch Lavoisier führten zu der Erkenntnis, daß die ohne greifbare Stoffaufnahme und -abgabe stattfindenden Gewichtsveränderungen durch den Atemprozeß und durch Abgabe von Wasserdampf von Lungen und Haut bedingt sind. Die Verbrennungsprozesse sind in Kapitel VIII ausführlich behandelt. Hier wäre nur noch zu erörtern, wie sie auf das Körpergewicht einwirken:

1 l Sauerstoff wiegt	1.430 g
1 l Kohlensäure „	1.966 g

Es wiegen daher $1.43 : 1.966 \text{ l} = 0.727 \text{ l}$ Kohlensäure soviel wie 1 l Sauerstoff. Wenn daher auf 1 l eingeatmeten Sauerstoffs 0.727 l Kohlensäure ausgeatmet werden oder mit anderen Worten: wenn der respiratorische Quotient (vgl. S. 94) den Wert 0.727 hat, bewirkt der Gaswechsel keine Änderung des Körpergewichts. Wenn dagegen die Sauerstoffaufnahme im Verhältnis zur Kohlensäureausscheidung größer ist, wenn also der respiratorische Quotient unter 0.727 liegt, macht die Atmung den Körper schwerer. Ist aber die Menge der Kohlensäure größer, als dem Quotienten 0.727 entspricht, so bewirkt die Atmung eine Abnahme des Körpergewichts, deren Betrag in jedem Falle leicht aus dem respiratorischen Quotienten berechnet werden kann. Hat dieser z. B. den Wert 1.0, d. h. ist das Volumen der ausgeatmeten Kohlensäure dem des eingeatmeten Sauerstoffs gleich, so werden auf 1 l = 1.43 g aufgenommenen Sauerstoffs 1.966 g Kohlensäure ausgeschieden, es findet also ein Gewichtsverlust von $1.966 - 1.43 = 0.536 \text{ g}$ pro Liter eingeatmeten Sauerstoffs statt.

Ausscheidung von Wasserdampf durch die Atmung. Daß Wasserdampf in großen Mengen durch die Lungen ausgeatmet wird, lehrt uns die Nebelbildung in der Expirationsluft, das bekannte Sichtbarwerden des Hauches bei niedriger Temperatur. Noch viel evidenter macht sich die Wasserdampfausscheidung durch die Atmung kenntlich, wenn die ausgeatmete Luft durch ein längeres Rohr strömt und sich in diesem abkühlt. An der tiefsten Stelle dieses Rohres sammeln sich in kurzer Zeit erhebliche Mengen Wasser an.

Wir können die Menge des ausgeatmeten Wasserdampfs leicht berechnen. Es nimmt nämlich, wie messende Versuche dargetan haben, die Atemluft in Berührung mit der Schleimhaut der Nase, der Luftröhre und ihrer Äste soviel Wasserdampf auf, wie sie bei der herrschenden Temperatur aufnehmen kann, d. h. sie sättigt sich mit Wasserdampf. Da sie gleichzeitig die Temperatur des in den Luftröhrenästen strömenden Blutes (37°C .) annimmt, ist sie also für diese Temperatur mit Wasserdampf gesättigt und enthält so pro Liter 43.95 mg Wasser. Nun ist aber, wie in unseren meteorologischen Erörterungen ausgeführt wurde, auch die eingeatmete Luft wasserdampfhaltig. Mittels der auf Seite 50 beschriebenen Instrumente haben wir für jeden Tag die in der eingeatmeten Luft vorhandene Wasserdampfmenge festgestellt. Ziehen wir dieselbe von dem Wasserdampfgehalt der ausgeatmeten Luft ab, so wissen wir, wieviel dampfförmiges Wasser unser Körper mit jedem Liter ausgeatmeter Luft abgegeben hat. Um die in 24 Stunden abgegebene Wassermenge kennen zu lernen, müssen wir die in dieser Zeit geatmete

Luftmenge ermitteln. Das geschieht auf Grund der in Kapitel VIII beschriebenen Respirationsversuche.

Diese ergeben allerdings nur die bei absoluter Bettruhe nüchtern und die beim Bergauf- und Bergabsteigen geatmeten Luftmengen. Für die durch Umhergehen, mannigfache Hautierungen und Verdauungsarbeit gesteigerte Lungenventilation während des Tages bedarf es einer besonderen Berechnung.

Als Grundlage derselben dient die 24stündige Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureausscheidung, welche sich aus den im Körper umgesetzten Nährstoffen ergibt. Wenn das Körpergewicht unverändert bleibt, ist der Umsatz gleich der aufgenommenen Nahrung. Wenn es sich ändert, kann man unter Berücksichtigung der Stickstoffbilanz annähernd feststellen, wie viel Körperfett bei Gewichtsabnahme zersetzt, wie viel bei Zunahme angesetzt wurde und danach die aus der Nahrung berechneten Zahlen für den Gaswechsel korrigieren. — Wir berechnen nun ferner aus den Daten der Respirationsversuche, wie viel Liter Luft für ein Liter aufgenommenen Sauerstoffs oder abgegebener Kohlensäure ausgeatmet wurden. Diese Zahlen sind zwar für die Ruhe- und Arbeitsversuche nicht gleich, aber doch auch nicht so verschieden, daß wir bei Einsetzung rationeller Mittelwerte in die Rechnung einen erheblichen Fehler zu fürchten hätten. So ergibt sich aus der Sauerstoffaufnahme oder auch aus der Kohlensäureausscheidung die in 24 Stunden geatmete Luftmenge.

Die Art der Berechnung wird durch ein Beispiel verständlich werden. Wir benutzen dazu den Stoffumsatz von Loewy am 10. VIII. 01 in Brienz. Aus Anhangstabelle VII geht hervor, daß sich in diesen Tagen sein Körpergewicht nicht änderte, daß also die Nahrung gerade den Stoffbedarf deckte. Es ergibt sich ferner aus dieser Tabelle, daß Loewy am 10. VIII. 14.27 g Stickstoff umsetzte und daß er 139.1 g Fett resorbierte. Außerdem nahm er 16.1 g Alkohol in Bier auf. Der gesamte physiologische Nutzeffekt der Nahrung (Stab 18 der Tabelle*), womit er seinen Stoffbedarf deckte, betrug 2615 W. E. Wir haben Seite 95—103 dargelegt, wieviel Sauerstoff verbraucht, wieviel Kohlensäure gebildet wird bei der Umsetzung der genannten Nährstoffe und wieviel Wärme dabei entsteht. Wir hatten dort gefunden, daß 1 g umgesetzter Stickstoff einem Verbrauch von 5.8 l Sauerstoff, einer Bildung von 4.6 l Kohlensäure und 27 W. E. entspricht, ferner, daß 1 g des hauptsächlich von uns genossenen Fettes, der Butter, 1.994 l Sauerstoff braucht und 1.401 l Kohlensäure sowie 9.23 W. E. liefert; endlich 1 g Alkohol 1.43 l Sauerstoff, 0.953 l Kohlensäure und 6.93 W. E.

Die letzte Hauptgruppe der Nährstoffe: die Kohlehydrate, haben wir in unserer Nahrung nicht direkt bestimmt, wir berechnen ihre Menge vielmehr aus der Verbrennungswärme der gesamten Nahrung, indem wir von ihr die der drei vorher genannten Kategorien abziehen. Wir wissen ja, daß die Nahrung außer stickstoffhaltigen Substanzen, Fett und Alkohol nur noch Kohlehydrate enthält. Diese Kohlehydrate brauchen auf jede Wärmeeinheit, die bei ihrer Verbrennung entsteht, 0.198 l Sauerstoff und liefern ebensoviel Kohlensäure. Auf Grund dieser Daten gestaltet sich nun die Berechnung der ausgeatmeten Kohlensäure und des eingeatmeten Sauerstoffs wie folgt:

14.27 g Stickstoff entsprechen	82.7 l Sauerstoff	65.6 l Kohlensäure	385 W. E.
139.1 „ Fett	277.4 „ „	194.8 „ „	1284 „
16.1 „ Alkohol	23.0 „ „	15.4 „ „	112 „
	Sa. 383.1 l Sauerstoff	275.8 l Kohlensäure	1781 W. E.

Der gesamte Wärmewert der umgesetzten Nahrung betrug, wie oben ausgeführt 2615 „
 Es entfallen daher auf Kohlehydrate 834 „
 Diese 834 W. E. entsprechen . . 165.5 l Sauerstoff und 165.5 l Kohlensäure
 Wir haben daher im ganzen pro Tag 548.6 „ „ „ 441.3 „ „

*) Als „physiologischen Nutzeffekt“ bezeichnen wir die Wärmemenge, welche dem Körper aus der aufgenommenen Nahrung zugute kommt. Sie ergibt sich, wenn man von der Verbrennungswärme der Nahrung die der Ausscheidungen, Harn und Kot, abzieht.

Aus den in dieser Periode ausgeführten Respirationsversuchen (Tabellen XIV und XXI des Anhangs) ergibt sich, daß auf 21 l Lungenventilation 1 l Sauerstoff aufgenommen wird.*) Für die Aufnahme der 543 l Sauerstoff sind daher 11508 l Atemluft erforderlich.

1 l ausgeatmeter Luft enthält 43.95 mg Wasserdampf. Die eingeatmete Luft war an diesem Tage durchschnittlich 22° C. warm und zu 63% mit Wasserdampf gesättigt. Bei 22° C. enthält 1 l gesättigter Luft 19.32 mg Wasserdampf. 63% hiervon sind 12.17 mg, das ist die Wassermenge, welche in 1 l eingeatmeter Luft schon enthalten war. Demgemäß entzieht jedes Liter Atemluft dem Körper $43.95 - 12.17 = 31.78$ mg Wasserdampf und die in 24 Stunden geatmeten 11508 l Luft: 11508×31.78 mg 366 g

Außer durch Wasserdampfabgabe hat der Körper durch Kohlensäureausscheidung und Sauerstoffaufnahme an Gewicht verloren:

Die ausgeatmeten 441.3 l Kohlensäure wiegen 441.3×1.966 g = 867.6 g
Die eingeatmeten 548.6 „ Sauerstoff „ 548.6×1.43 „ = 784.5 „

Differenz = 83.1 g

Der gesamte Gewichtsverlust durch die Lungen beträgt also $83.1 + 366 = 449.1$ g

Die gesamte Perspiration, d. h. der Gewichtsverlust des Körpers durch die unsichtbaren Ausscheidungen, betrug nun an diesem Tage 1879 g. Da der Verlust durch die Lungen 449.1 g oder rund 450 g beträgt, sind durch die Haut verdunstet 1429 g

Der Gewichtsverlust des Körpers berechnet sich wie folgt:

Körperwägung am 10. VIII. morgens 6 Uhr .	60670 g
„ „ 11. VIII. „ 6 „ .	60290 „
Gewichtsabnahme	380 g
Aufnahme von fester und flüssiger Nahrung	2436 „
Summa	2816 g
Gewicht von Harn und Kot	937 „
Körpergewichtsverlust (Perspiration)	1879 g

In der eben entwickelten Weise wurde nun für alle Versuchspersonen und für jeden Versuchstag die Perspiration bestimmt, der Gewichtsverlust durch die Atmung und Lungenverdunstung berechnet, und durch Abzug desselben von der Perspiration die Wasserausscheidung durch die Haut gefunden.

Bedeutung der Schweißabsonderung. Die so ermittelte Wasserausscheidung durch die Haut haben wir nun in doppelter Hinsicht zu würdigen. Einmal in ihrer Bedeutung für die Wärmeregulation des Körpers und zweitens wegen der Substanzen, welche mit dem Wasser durch die Schweißdrüsen ausgeschieden werden. Gerade diesen Stoffen hat man früher vielfach große Bedeutung für die Gesundheit zugemessen. Aus unterdrückter Hauttätigkeit leitete man die mannigfachsten Krankheiten ab, und namentlich seit im Anschluß an die Messungen von Sanctorius bekannt war, wie erheblich diese Ausscheidungen durch die Haut sind, wuchs ihre Wertschätzung für Gesundheit und Krankheit des Menschen.

Man hat auch versucht, auf experimentellem Wege die Bedeutung der Hautausscheidung klarzulegen, indem man dieselbe bei Tieren durch Firnissen der

*) Tabelle XIV ergibt den Sauerstoffverbrauch in Ruhe zu 207.8 cem bei 4531.4 cem Atemgröße, das macht auf 1 cem Sauerstoff = 21.3 cem Lungenventilation. Die entsprechenden Arbeitsversuche (Tabelle XXI) geben für 1513.1 cem aufgenommenen Sauerstoff 31290 cem Atemgröße, also auf 1 cem Sauerstoff = 20.7 cem. Wir benutzen für den Tagesdurchschnitt das Mittel dieser einander sehr naheliegenden Werte mit 21 cem.

Haut verhinderte. Viele Beobachter haben danach den Tod der Tiere unter eigentümlichen Erscheinungen von Lähmung, denen manchmal Krämpfe vorangingen, konstatiert. Oft besprochen ist der Fall jener römischen Knaben, die bei einem Papstjubiläum als vergoldete Engel das Fest verherrlichen sollten und an den Folgen des Überzuges der ganzen Körperoberfläche mit Blattgold zugrunde gingen. Die Untersuchungen der neueren Zeit haben ergeben, daß es nicht die Unterdrückung der Ausscheidung gewisser Stoffe ist, welche in diesen Fällen die Erkrankung herbeiführt, daß es sich vielmehr um eine Störung der Wärmeregulation des Körpers handelt. Die Körperwärme gefirnißter Tiere wird fortschreitend niedriger, und die Tiere sterben schließlich in derselben Weise, als hätte man sie etwa durch kalte Bäder stark unterkühlt. Bringt man die Tiere in einen hochtemperierten Raum, so bleiben sie gesund. Die Ursache des Temperaturabfalls ist im wesentlichen die mit dem Firnissen verbundene Hautreizung, welche einen Blutandrang zur Haut und dadurch vermehrte Wärmeabgabe herbeiführt. Ähnliches beobachten wir nach ausgedehnten oberflächlichen Verbrennungen der Haut, welche ebenfalls häufig durch Unterkühlung des Körpers tödlich enden. Auf diese Erkenntnis gestützt, hat man beim fiebernden Menschen den Überzug der Haut mit einer undurchdringlichen Schicht als Heilmittel zur Herabsetzung der Fiebertemperatur in Anwendung gebracht (Senator)¹³. Während aber unter gewöhnlichen Verhältnissen das Firnissen der Haut zur Abkühlung führt, kann es bei arbeitenden Individuen, die durch die Muskeltätigkeit sehr erhebliche Wärmemengen produzieren, umgekehrt durch Überhitzung des Körpers gefährlich werden. Das Hauptmittel der Abkühlung bei körperlicher Arbeit, und namentlich wenn dieselbe in hoher Lufttemperatur geschieht, ist die Wasserverdunstung auf der Hautoberfläche. Darum ist ebenso wie das Firnissen der Haut auch das ähnlich wirkende Tragen von für Wasserdampf undurchlässigen Kleidungsstücken, etwa Gummimänteln u. dergl., unter solchen Umständen unerträglich.

Art der Entwärmung des Körpers. Die im Körper umgesetzte Energie wird, wie wir früher gesehen haben, zum größten Teil in Wärme umgewandelt. Nur ein kleiner Bruchteil, welchen Rubner¹⁰ für mäßig arbeitende Menschen auf 50 W. E. pro Tag, d. h. nicht ganz 2% der ganzen Wärmeproduktion schätzt, wird als äußere Arbeit abgegeben. Beim Bergaufsteigen allerdings wird dieser Prozentsatz wesentlich größer. — Ein weiterer geringer Bruchteil (42 W. E. pro Tag) dient zur Erwärmung der Nahrung auf Körpertemperatur; er unterliegt, je nach der Ernährungsweise, erheblichen Schwankungen und wird z. B. im Sommer bei reichlicher Aufnahme kalter Getränke um das Mehrfache wachsen. Ähnlich schwankende Wärmemengen sind zur Anwärmung der Atemluft auf 37° erforderlich. Rubner schätzt sie auf 35 W. E. = 1.3% der täglichen Wärmeabgabe. Die Schätzung trifft zu bei einer Lufttemperatur von 25° C. Bei 0° beträgt die Abgabe 115 W. E. = 4.3%.

Die Hauptmasse der abgegebenen Wärme kommt auf Strahlung, Leitung und Wasserverdunstung. Rubner gibt für mittlere Verhältnisse der Außentemperatur und Wärmeproduktion des erwachsenen Menschen die Zahlen:

für Strahlung	1181 W.E. = 43.7%	der Gesamtwärmeproduktion
„ Leitung	833 „ = 30.9%	„ „
„ Wasserverdunstung	558 „ = 20.7%	„ „

Selbstverständlich erleiden diese Werte, je nach dem Zustande der Atmosphäre, weitgehende Verschiebungen. Die Ausstrahlung kann durch Sonnenwirkung nicht nur beschränkt werden, es kann sogar auf diese Weise zu einer Wärmeaufnahme kommen, so daß die eingestrahlte Wärme auf anderem Wege, vornehmlich durch Wasserverdunstung, wieder entfernt werden muß.

Rubner und Cramer haben den Effekt der Besonnung mit dem einer Erhöhung der Lufttemperatur verglichen. Sie fanden, daß man die Differenz der Angaben des von der Sonne erwärmten „Schwarzkugelthermometers“ und der im Schatten gemessenen Temperatur halbiert der Schattentemperatur zuzählen muß, um die Wirkung auf den Wärmeverlust des Körpers auszudrücken.

Wenn wir auf dem Monte Rosa, bei einer Lufttemperatur von -5° , am Solarthermometer 56° ablesen, so befanden wir uns, in der Sonne liegend, unter denselben Wärmebedingungen, wie im Schatten bei einer Temperatur von

$$-5 + \frac{56 + 5}{2} = 25.5^{\circ} \text{ C.}$$

Es ist also begreiflich, daß man sich unter diesen Verhältnissen trotz der Wintertemperatur von -5° behaglich warm fühlt, ja das Bedürfnis hat, die Oberkleider abzulegen oder zeitweise einen Teil des Körpers zu beschatten.

Die Abgabe durch Leitung hängt außer von der Temperatur der Luft von ihrem Wasserdampfgehalt ab. Je feuchter sie ist, desto besser leitet sie die Wärme. Zunahme der Luftfeuchtigkeit um 25% hat für die Wärmeabgabe durch die Haut dieselbe Bedeutung wie Abnahme der Lufttemperatur um 2° . Aus dem Gesagten folgt, daß die Entwärmung durch Leitung und Strahlung im wesentlichen vom Zustande der umgebenden Atmosphäre abhängt. Nur in mäßigem Umfange können wir durch Erhöhung oder Erniedrigung der Hauttemperatur, d. h. durch spärlichere oder reichlichere Blutdurchströmung, die Wärmeabgabe regeln.

Anders steht es mit dem dritten Faktor der Entwärmung, der Wasserverdunstung. Sie kann unter dem Einfluß des Nervensystems in weitestem Umfange variiert werden und ist daher in erster Linie berufen, die Wärmeabgabe den Bedürfnissen des Organismus anzupassen.

Wasserverdunstung im Dienste der Wärmeregulation. Die Bedeutung der Wasserverdunstung für die Abkühlung des Körpers wird ohne weiteres klar, wenn wir uns erinnern, daß jedes Gramm Wasser zu seiner Verdunstung, d. h. zu seiner Umwandlung aus dem tropfbar flüssigen in den gasförmigen Zustand, 580.8 w. e. braucht, d. h. so viel Wärme, daß dadurch 580.8 g Wasser um 1° C. abgekühlt werden. Die Wärmekapazität des menschlichen Körpers beträgt etwa $\frac{4}{5}$ von der des Wassers. Ein Mensch von $72\frac{1}{2}$ kg Gewicht würde also in seiner Aufnahmefähigkeit für Wärme einer Wassermasse von 58 kg entsprechen. Sein Körper würde

also durch Verdampfung von 100 g Wasser um 1° C. in seiner Temperatur erniedrigt werden. Da bei angestrenzteren Märschen 2—3000 g Wasser verdampfen können, sieht man, ein wie mächtiges Abkühlungsmittel unserem Organismus in der Verdampfung zu Gebote steht. Es muß aber gleich hier betont werden, daß nicht der gesamte abgesonderte Schweiß zur Abkühlung voll zur Verwendung kommt. Die geringen Schweißmengen, die bei starkem Schwitzen in Tropfen vom Körper abfallen, spielen zwar keine Rolle, aber ein erheblicher Bruchteil dringt in die äußeren Lagen der Kleidung und kann sich am Schlusse anstrengender Arbeit noch unverdampft in ihnen befinden. Doch auch die Menge, die an der äußeren Oberfläche der Kleidung wirklich verdampft, kühlt den Körper nur wenig, denn die verdampfende Schicht ist durch mehrere Kleiderlagen von der Körperoberfläche getrennt, die zur Verdampfung nötige Wärme wird daher zum größten Teil nicht dieser, sondern der vorbeiströmenden Luft entzogen. Wir kommen auf diese Verhältnisse bei Besprechung der zweckmäßigen Kleidung des Bergsteigers, Kapitel XVI, eingehender zurück.

Hier seien aus unseren Vorversuchen in Berlin im Winter 1900 einige Zahlen über die Mengen des in den Kleidern zurückbleibenden Schweißes angeführt. Bei sechs von Loewy und Müller gemeinschaftlich ausgeführten Märschen über eine Wegstrecke von 20—22 km betrug die in vorstehend dargelegter Weise berechnete gesamte Wasserabgabe der Haut bei Loewy 422—625 g, bei Müller 571—948 g. Die in den Kleidern gebliebene und durch Wägung derselben direkt bestimmte Wassermenge betrug bei dem ersteren 127—393 g, bei dem letzteren 0—363 g, so daß bei Loewy 24—93 % des gesamten von der Haut abgeschiedenen Wassers in den Kleidern blieben, bei Müller 0—52 %. Die Zahlen sind sehr interessant, einmal weil sie zeigen, wie sehr verschieden bei gleicher Anstrengung und gleichen Witterungsverhältnissen die von verschiedenen Individuen durch die Haut abgesonderten Wassermengen sind, und zweitens, wie sehr die zweckmäßige Verwertung des Schweißes, d. h. seine wirkliche Verdunstung, durch die Beschaffenheit der Kleidung beeinflußt wird. Die Kleidung von Loewy erwies sich insofern unzuweckmäßig gegenüber der von Müller, als sie sehr viel mehr Wasser zurückhielt. Um so auffallender ist es, daß der letztere trotz der günstigeren Verdunstungsverhältnisse mehr Schweiß bei gleicher Arbeit absonderte.

Auch in unseren Versuchen in Brienz haben sich ähnlich wie in Berlin individuelle Unterschiede der Schweißdrüsentätigkeit bei gleicher Arbeitsleistung gezeigt.

Um bei diesen Brienzern Versuchen die Bedeutung der Schweißdrüsentätigkeit und Wasserverdunstung für die Vermeidung der Überhitzung des Körpers klarer darzulegen, haben wir bei jedem der Märsche die Wärmeproduktion des Marschierenden berechnet. Wir konnten dies auf Grund der Respirationsversuche, welche uns den Verbrauch an Sauerstoff, und indirekt an chemischer Energie, pro Meter Weg für jede Versuchsperson kennen lehrten. (Vergl. Anhangstabellen X—XV.) Da der Weg fast für die ganze Strecke bis zum Rothornkult gleichmäßig 25 % Steigung hat, brauchen wir zur Bestimmung der Weglänge die Höhendifferenz nur mit vier zu multiplizieren. Die den chemischen Umsetzungen entsprechende

Tabelle I.

	Kleine Märsche 800—900 m Steigung						Große Märsche 1150—1750 m Steigung											
	15. VIII. 01			16. VIII. 01			19. VIII. 01			20. VIII. 01			21. VIII. 01			22. VIII. 01		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Temperatur	unten 18.5 oben 8.7			15.5 2.7			20.0 16.0			21.0 15.0			21.0 12.0			20.0 14.0		
Feuchtigkeit	unten 76 % oben 82 %			69 % 90 %			70 % 60 %			70 % 60 %			64 % 59 %			64 % 44 %		
Wind	0			0			0			0			0			0		
	Steigerung durch den Marsch			Steigerung durch den Marsch			Steigerung durch den Marsch			Steigerung durch den Marsch			Steigerung durch den Marsch			Steigerung durch den Marsch		
	der Wärmebildung			der Wärmebildung			der Wärmebildung			der Wärmebildung			der Wärmebildung			der Wärmebildung		
	W. E.			W. E.			W. E.			W. E.			W. E.			W. E.		
	g			g			g			g			g			g		
	%			%			%			%			%			%		
	Von der gebildeten Wärme werden durch Verdunstung gebunden			Von der gebildeten Wärme werden durch Verdunstung gebunden			Von der gebildeten Wärme werden durch Verdunstung gebunden			Von der gebildeten Wärme werden durch Verdunstung gebunden			Von der gebildeten Wärme werden durch Verdunstung gebunden			Von der gebildeten Wärme werden durch Verdunstung gebunden		
Kolmer	471	789	97	419	119	16	927	1994	125	609	2320	221	609	2258	215	875	2497	166
Müller	535	903	98	476	759	93	1019	2506	143	665	1869	163	665	1970	172	961	2746	166
Loewy	446	759	99	389	596	89	847	—	—	557	1095	114	557	1231	126	899	2201	125
Waldenburg	702	1600	132	702	335	28	945	1239	76	828	2092	147*)	891	1773	116	888	2504	164
Caspari	631	1692	156	631	415	38	1029	1831	103	906	1558	100	977	1953	116	—	—	—
Zuntz	625	1531	142	625	577	54	985	2293	195	860	1853	125	927	2134	134	914	2084	132

*) Waldenburg ging schneller als die anderen.

Wärmemenge dient nicht gänzlich zur Erwärmung des Körpers. Ein Teil wird mechanische Arbeit, deren Endergebnis die Hebung des Körpers ist. Dieser Teil beträgt, wie im folgenden Kapitel noch erörtert werden soll, für jedes Meterkilogramm Hubarbeit 2.3 W.E. In Stab 1 der Tabelle 1 (Seite 384) ist die dementsprechend korrigierte Steigerung der Wärmebildung des Körpers während der Marschstunden aufgeführt. — Es fanden ferner vor und nach jedem dieser Märsche Wägungen des entkleideten Körpers statt, aus denen im Verein mit den genauen Notizen über Aufnahmen und etwaige wägbare Ausscheidungen während des Marsches sich die Perspiration berechnen ließ. Von dieser gesamten Perspiration wurde die geringe (zwischen 21 und 62 g betragende) Differenz zwischen dem Gewicht des aufgenommenen Sauerstoffs und der ausgeschiedenen Kohlensäure abgezogen, das übrige ist als verdampftes Wasser zu berechnen. Von der ganzen Wassermenge kommen 300—400 g auf die Verdunstung von der Lungenoberfläche, der Rest ist Produkt der Schweißdrüsen. Für die Abkühlung des Körpers ist die Lungenverdampfung noch wertvoller als die von der Hautoberfläche, weil sie hier direkt von der blutreichen Schleimhaut erfolgt, also die ganze Verdampfungswärme dem zirkulierenden Blut entzogen wird. Wir können in bezug auf die Abkühlung des Körpers beide Verdampfungsvorgänge gemeinschaftlich betrachten. In Stab 2 ist dementsprechend aufgeführt, wie viel mehr Wasser der Körper während der Arbeitsstunden abgegeben hat, gegenüber ebensovielen Ruhestunden desselben Tages. Die Wärmemenge, welche durch Verdunstung dieses Wassers gebunden wird, ergibt sich in großen Wärmeinheiten durch Multiplikation des Wassergewichts mit 0,58. Stab 3 endlich besagt, wie viel Prozente der ganzen, durch die Arbeit bedingten Wärmeproduktion das verdunstende Wasser absorbiert. Man sieht sofort, daß diese Wärmemenge der gesamten Mehrproduktion des Körpers an Wärme nicht nur gleichkommt, daß sie sogar in der Mehrzahl der Fälle größer ist als diese. Eine Ausnahme macht nur der kühle, regnerische 16. August, an welchem die Verhältnisse so liegen, wie bei den Berliner Märschen im Winter (Tab. 2).

Wenn man bedenkt, daß der Körper neben der Wasserverdunstung auch durch Strahlung und Leitung Wärme abgeben kann, und wenn man sich erinnert, daß die Haut eines arbeitenden Menschen stets erheblich wärmer ist als die eines ruhenden und daher mehr Wärme ausstrahlen muß, erscheint es auf den ersten Blick merkwürdig, daß die Wasserabsonderung meist eine größere ist, als nötig wäre, um die gesamte, durch die Arbeit produzierte Wärme zu binden. Das erklärt sich aber aus den Temperaturverhältnissen während unserer Märsche. Wir legten einen großen Teil derselben bei sehr hoher Lufttemperatur in praller Sonne zurück, dabei war die Luftbewegung stets sehr gering, so daß nur wenig Wärme durch Leitung an die Luft abgegeben werden konnte. Unter diesen Verhältnissen hätten wir auch ohne Muskelarbeit die Schweißdrüsen zur Entwärmung des Körpers in Anspruch nehmen müssen. Es ist daher begreiflich, daß erheblich mehr Wasser abgesondert wurde, als zur Ausgleichung der Wärmeproduktion durch die Arbeit nötig war. Vergrößert wird dieser Überschuß noch dadurch, daß viel Wasser, statt auf der Oberfläche der Haut zu verdunsten, in die äußeren Kleiderlagen filtrierte und deshalb wenig zur Abkühlung des Körpers beitrug.

Anders war es bei den vorgenannten Marschversuchen im Winter.

Tabelle 2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Berlin Datum	Meteorolog. Verhalten			Müller			Loewy		
	Luft- tempe- ratur	Luft- feuch- tigkeit	Wind- stärke	Steigerung d. Wärme- bildung durch die Marsch- arbeit W. E.	Von Haut und Lunge ver- dunstetes Wasser	Wärmewert des ver- dunsteten Wassers in % der ge- steigerten Wärme- bildung	Steigerung d. Wärme- bildung durch die Marsch- arbeit W. E.	Von Haut und Lunge ver- dunstetes Wasser	Wärmewert des ver- dunsteten Wassers in % der ge- steigerten Wärme- bildung
18. XII. 1900	5.0	69	1.5	848	826	57	736	525	41
19. „ „	1.7	85	1.5	846	420	29	736	—	—
20. „ „	3.6	84	1.5	947	617	38	864	220	15
21. „ „	4.8	73	2.5	947	599	37	864	175	12
22. „ „	5.3	82	1.5	929	830	52	864	445	30
23. „ „	2.5	88	1.5	929	433	27	864	300	20

Aus Stab 7 und 10 der Tabelle sieht man, daß hier die Wasserverdunstung nur einen Bruchteil der beim Marschieren erzeugten Wärme (Stab 5 und 8) deckt. An manchen Tagen, so am 21. XII. bei Loewy, entfällt die verdunstete Wassermenge fast gänzlich auf die Atmung. Es wurden zwar von der Haut 422 g Wasser abgesondert, davon blieben aber 372 g, also 93%, in den Kleidern, so daß die Hautverdunstung für die Abkühlung des Körpers kaum eine Rolle spielt. Hier hat wohl die Schweißsekretion im wesentlichen dadurch abkühlend gewirkt, daß sie die Wärmeleitung durch die Kleider verbesserte. Kleiderstoffe leiten nämlich die Wärme um so besser, je wasserhaltiger sie sind. Man begreift leicht, daß eine derartige Wirkung hauptsächlich im Winter in Betracht kommt, da der Wärmeverlust durch Leitung mit der Temperaturdifferenz zwischen Haut und Umgebung wächst.

Sehr evident zeigt ein Vergleich von Tabelle 1 und 2, daß bei warmer Luft die erhöhte Wärmeproduktion fast ausschließlich durch Verdampfung von Wasser, bei niedriger Lufttemperatur vorwiegend durch Leitung und Strahlung ausgeglichen wird.

Einfluß der klimatischen Faktoren auf die Schweißabsonderung. Die Beziehungen zwischen Größe der Schweißabsonderung und den Arbeitsleistungen des Körpers einerseits, den klimatischen Bedingungen andererseits sind in sehr eingehender Weise von Schumburg und Zuntz¹²⁾ in der mehrfach zitierten „Physiologie des Marsches“ studiert worden. Es wurde dort durch Berechnung einer großen Anzahl unter verschiedenen Temperaturverhältnissen ausgeführten Märsche festgestellt, welchen Einfluß die Lufttemperatur, die Windstärke und die Feuchtigkeit der Luft auf die Größe der Schweißabsonderung haben. Jene Versuche sind insofern nicht vollkommen mit den unseren vergleichbar, als die Märsche in militärischer Uniform, welche für die Wärmeabgabe im Sommer entschieden ungünstiger ist als unsere gewöhnliche Kleidung, gemacht wurden. Das Ergebnis jener Versuche war, daß bei einer Lufttemperatur von 10° C. und vollkommen mit Wasserdampf gesättigter, windstillen Luft auf 1000 durch die Arbeit erzeugte Wärmeinheiten 800 g

Wasser abgesondert wurden, d. h. eine Wassermenge, welche 465 W. E. bei ihrer Verdampfung bindet. Es ist also in diesem Falle weniger als die Hälfte der überschüssigen Wärmeproduktion durch Wasserverdampfung entfernt worden. Für jeden Grad Celsius Temperaturzunahme stieg die abgesonderte Wassermenge um 38 g. Die Windstärke hat einen beschränkenden Einfluß, d. h. es verdunstet um so weniger vom Körper, je stärker bewegt die Luft ist. Für je eine Einheit der bekannten zehnteiligen Skala nahm die Schweißsekretion um 70 g ab. Das erklärt sich aus der abkühlenden Wirkung des Windes, welche Schweißdrüsentätigkeit in geringerem Maße nötig macht. Auch die Trockenheit der Luft verringert die Schweißabsonderung. Dies ist eine Folge der erleichterten Verdunstung. Für jedes Prozent Abnahme der Wasserdampfsättigung der Luft nimmt sie um 4 g ab. Wir haben ja gesehen, daß die Verdunstung dem Körper nur dann in vollem Maße zugute kommt, wenn sie dicht an der Hautoberfläche erfolgt. Je feuchter die Luft ist, desto mehr ist die Verdunstung an der Haut erschwert, desto mehr dringt das abgesonderte Wasser in die äußeren Kleiderschichten, wo seine Verdunstung dem Körper nicht mehr viel nützt, desto geringer ist also die Abkühlung des Körpers und um so größer daher die Tätigkeit der Schweißdrüsen.

Überstarke Schweißabsonderung ist natürlich besonders im Sommer für die Abkühlung des Körpers von geringem Nutzen, weil sie sehr rasch zu einer Durchnässung der Kleidung und damit geradezu zu einer Erschwerung der Verdunstung auf der Haut führt. Die wesentlichste Bedingung, auf der die Verdunstung an der Haut beruht, ist ja die Luftzirkulation auf ihrer Oberfläche. Nur in dem Maße, wie die mit Wasserdampf gesättigte Luft durch frische ersetzt wird, kann die Verdunstung hier vorschreiten. Wenn aber die Poren der äußeren Kleiderschichten mit Wasser verstopft sind, wird der Luftzutritt zur Haut mehr und mehr beschränkt und die Verdunstung immer mehr an die Außenfläche der Kleider verlegt, wo sie nichts nutzen kann. Die Durchnässung der Kleidung hemmt also die im Sommer vorwiegend in Betracht kommende Entwärmung durch Verdunstung, während sie im Winter, wo Leitung und Strahlung von größerer Bedeutung sind, die Entwärmung fördert.

Die übermäßige Schweißsekretion bei gehinderter Verdunstung hängt mit der Tatsache zusammen, daß die Temperatur des Körpers, speziell die des zum Hirn strömenden Blutes, den Hauptreiz für das Zustandekommen der Schweißdrüsenabsonderung abgibt. Daß ein solcher Reiz bei jedem etwas anstrengenderen Marsch entsteht, daß die Temperatur des zirkulierenden Blutes dabei wirklich erhöht wird, konnten wir durch regelmäßige Messungen der Körperwärme vor und einige Zeit nach Beginn der Märsche feststellen. Unsere Körperwärme, welche morgens im Bette fast durchgehends unter 37° C. lag, wie genauer aus der nach S. 406 abgedruckten Kurventafel hervorgeht, stieg bei Beginn der Märsche stets erheblich an, fast immer auf 38° C. und darüber, um sich dann unter dem Einfluß der Schweißverdunstung meist auf dieser Höhe zu halten. In interessanter Weise wird der Zusammenhang zwischen erhöhter Körperwärme und Stärke der Schweißabsonderung auch durch das Faktum illustriert, daß derjenige von uns, der die stärkste Schweißabsonderung aufwies (Müller), zugleich bei der Arbeit die höchste Körperwärme, bis zu 39° C. und

darüber hatte. Offenbar ist gerade die höhere Körpertemperatur die Ursache, daß die Schweißdrüsentätigkeit so stark angeregt wurde.

Haben wir hier ein Beispiel übermäßiger Reaktion der Schweißdrüsen, die oft mit allgemeiner Übererregbarkeit des Nervensystems vergesellschaftet ist und daher besonders häufig beim weiblichen Geschlecht vorkommt, so sind doch auch die Fälle nicht selten, in welchen die Schweißdrüsen bei Erhitzung des Körpers nicht rechtzeitig ihre Tätigkeit beginnen. Dann steigt die Bluttemperatur leicht zu bedenklicher Höhe. Das Gesicht erscheint glühend rot, das Hitzegefühl wird außerordentlich quälend. Solche Menschen sind natürlich der Gefahr des „Hitzschlages“ mehr als andere ausgesetzt. Derartige träge Reaktion der Schweißdrüsen kann auch durch äußere Einwirkungen herbeigeführt werden. So erwähnt Hiller⁶⁾ mehrere Fälle von Hitzschlag bei Soldaten, welche kurz vorher einen Schwimmkurs durchgemacht hatten, und bei denen das häufige kalte Baden die Neigung zur Schweißproduktion herabgesetzt hatte.

Die sehr unbehaglichen, so erzeugten Zustände können durch die zur Herabsetzung der Fiebertemperatur gebräuchlichen Mittel (Antipyrin usw.) oft sehr erleichtert werden. Wenn man einem Menschen, bei welchem sich der Schweißausbruch nicht rechtzeitig einstellen will, ein solches Medikament zu Beginn eines Marsches gibt, schafft man ihm erhebliche Erleichterung und nach mehrmaliger Anwendung der Mittel pflegt die Reaktion der Schweißdrüsen eine promptere zu werden.

Wirkung des Training. Wie bei fast allen Funktionen unseres Körpers, so sehen wir auch bei der Schweißdrüsentätigkeit eine zunehmende Zweckmäßigkeit durch die Übung zustande kommen. Der wenig an anstrengende Märsche Gewöhnte schwitzt übermäßig und dem eben Gesagten zufolge in unnützer, sogar für die Abkühlung des Körpers schädlicher Weise. Jene Versuche an marschierenden Soldaten führten auch zu dem zahlenmäßigen Nachweise, daß nach einer größeren Anzahl von Übungsmärschen die übermäßige Schweißbildung nachläßt, und die Absonderung mehr dem wahren Bedürfnis des Körpers angepaßt wird. Es zeigte sich nämlich, daß die auf Grund der vorher genannten Zahlen für die Abhängigkeit der Schweißbildung von Wärme, Windstärke und Trockenheit berechneten Zahlen während der ersten 10 Märsche meist von den wirklich abgesonderten Schweißmengen übertroffen wurden, während in den späteren Märschen umgekehrt die Schweißabsonderung hinter der berechneten Größe zurückblieb. Dabei war die Erhitzung des Körpers auf dem Marsch in den letzteren Fällen meist geringer, ein Beweis, daß die spärlichere Schweißabsonderung ihren Zweck der Abkühlung des Körpers besser erfüllt hatte, als die überreichliche während der ersten Märsche.

Die Stickstoffausscheidung durch den Schweiß. Wir hatten oben gesehen, daß die Schweißabsonderung neben ihrer Bedeutung als Abkühlungsmittel des Körpers auch als Ausscheidungsweg für gewisse Stoffe, die im Schweißwasser gelöst sind, in Betracht kommt. Durch Untersuchungen von Cramer,⁷⁾ Harnack,⁴⁾ Camerer jr.³⁾ wurde nachgewiesen, daß der Schweiß die wesentlichsten Bestandteile des Harns in großer Verdünnung enthält, daß vor allen Dingen die beiden Hauptbestandteile des letzteren: Harnstoff und Kochsalz, regelmäßig in ihm vorhanden

sind. Man spricht deshalb auch von einer Vertretung der Nieren in Fällen ungenügender Tätigkeit durch die Schweißdrüsen. Am bekanntesten ist in dieser Hinsicht die Tatsache, daß bei der asiatischen Cholera, auf deren Höhe ja die Nierentätigkeit gänzlich unterdrückt ist, die Haut durch Verdunstung des Schweißes mit einem kristallinischen Überzuge sich bedeckt, welcher im wesentlichen aus Kochsalz und Harnstoff, hauptsächlich aus dem letzteren, besteht.

Für uns ist diese Eigenschaft des Schweißes: Auswurfstoffe aus dem Körper zu entfernen, insofern bedeutungsvoll, als ihre Nichtberücksichtigung Stoffwechselversuche fehlerhaft macht. Man hat freilich bei fast allen bisher am Menschen angestellten Versuchen die Verluste durch den Schweiß vernachlässigt oder allenfalls grob geschätzt. Das ist zulässig, solange man nur am ruhenden Menschen arbeitet, aber auch dann nur in der kalten Jahreszeit. Im Sommer können die Ausscheidungen durch den Schweiß eine recht erhebliche Rolle im Gesamtstoffwechsel spielen. Das hat wohl für den Menschen zuerst exakt Cramer nachgewiesen. Argutinsky,¹⁾ welcher unter Pflügers Leitung den Einfluß angestrengter Märsche auf den Eiweißzerfall untersuchte, hat dabei die Ausscheidung stickstoffhaltiger Stoffe durch den Schweiß berücksichtigt, indem er denselben in besonders gereinigten Unterkleidern auffing und diese Kleiderstoffe nachher so lange mit destilliertem Wasser auswusch, bis dasselbe alle gelösten Stoffe aufgenommen hatte. In dem eingedampften Waschwasser wurde dann der Stickstoff in der üblichen Weise bestimmt. Ebenso verfahren Schumburg und Zuntz²⁾, und wir haben dies Verfahren für unsere Versuche adoptiert. Da es nicht möglich war, täglich die Hautausscheidungen zu analysieren, begnügten wir uns damit, bei jeder Versuchsperson eine Anzahl Bestimmungen unter gleichzeitiger Ermittlung der Perspiration auszuführen. Aus der Perspiration berechneten wir dann in der oben dargelegten Weise die Größe der Schweißabsonderung und konnten so feststellen, wieviel Stickstoff auf 1 kg abgesonderten Schweißes den Körper verließ. Die Resultate dieser Bestimmungen sind in Anhangstabelle XXX zusammengestellt.

Die ersten Stäbe dieser Tabelle bedürfen keiner besonderen Erklärung. In Stab 7 ist die Perspiration, d. h. der insensible Gewichtsverlust des Körpers, für die ganze Versuchszeit angegeben, in Stab 8 das aus Respirationsversuchen berechnete Mehrgewicht der ausgeatmeten Kohlensäure gegenüber dem eingeatmeten Sauerstoff, in Stab 9 die von der Lunge verdampfte Wassermenge. Die letzten beiden Zahlen von der Perspiration abgezogen, ergeben das Gewicht des Schweißes. Da die Versuchszeiten sehr verschieden waren, von 4—24 Stunden wechselnd, ist in Stab 11 die pro Stunde abgesonderte Schweißmenge aufgeführt, um ein Urteil über die Intensität der Hauttätigkeit zu ermöglichen. Stab 12 enthält die in den Anzügen gefundene Stickstoffmenge, welche in Stab 13 durch Division durch die abgesonderte Schweißmenge auf 1 kg Schweiß berechnet ist.

Die Zahlen des Stabes 13 der Tabelle XXX zeigen, daß bei demselben Individuum die Konzentration des Schweißes nicht unerheblich schwankt, und daß noch größere Schwankungen beim Vergleich verschiedener Personen zur Beobachtung kommen. Den niedrigsten Stickstoffgehalt finden wir bei Loewy am 10. August 1901 mit 0.14 g Stickstoff im Liter Schweiß. Den höchsten bei Zuntz am 16. August 1901 mit 0.588 g. Mehrfach wird man bei Durchsicht der Tabellen finden, daß die Konzentration des Schweißes dann eine größere ist, wenn die stündliche Absonderung geringer ist. So zeigen bei Waldenburg die beiden Tage, an welchen pro Stunde

über 200 g Schweiß abgesondert wurde, 0.189 g und 0.205 g Stickstoff in 1 l, diejenigen, bei welchen die Absonderung nur 53—59 g betrug, 0.225 und 0.287 g. Ähnliches tritt sehr frappant bei Müller hervor, indem der höchsten Schweißabsonderung von 300 g pro Stunde ein Gehalt von 0.201 g im Liter, der niedrigsten von 39.2 ein solcher von 0.450 g entspricht. Ein Teil dieses Unterschiedes dürfte auf Versuchsfehlern beruhen. Bei starker Schweißabsonderung ist es, wie schon erwähnt, nicht zu vermeiden, daß Schweiß in die äußere Kleidung eindringt und so der Messung entgeht. Wir suchten zwar diesen Fehler möglichst zu vermeiden. Er ist in einigen Fällen dadurch ganz ausgeschaltet, daß wir während der Aufsammlung des Schweißes weder Rock noch Weste trugen, jedenfalls bedingte er aber bisweilen einen gewissen Verlust an Stickstoff. Trotz dieses Fehlers ist es aber sehr wahrscheinlich, daß der Schweiß bei sehr reichlicher Absonderung wasserreicher und also ärmer an Stickstoff und anderen Bestandteilen wird.

Wenn wir in unseren Stoffwechselversuchen und speziell in den Bilanzen der Anhangstabellen III—VIII überall den Stickstoffverlust durch die Haut aus den Mittelwerten der Zahlen der Anhangstabelle XXX berechnet haben, so durften wir annehmen, daß die an einzelnen Tagen begangenen Fehler sich an den nächsten annähernd wieder ausgeglichen haben. Doch erscheint es möglich, daß der Stickstoffverlust durch die Haut wirklich etwas größer ist, als er sich in den Versuchen ergibt. Wie grob übrigens die Fehler werden, welche durch Vernachlässigung der Stickstoffausscheidung durch die Haut bei starker Schweißabsonderung gemacht werden, das lehren in überzeugender Weise die Zahlen von Stab 14 der Anhangstabelle XXX, in welchen der prozentische Anteil des durch die Haut abgeschiedenen Stickstoffs an der gesamten Stickstoffausscheidung des Körpers (Haut und Nieren) angegeben ist. In einem Falle steigt der Anteil der Haut bis auf 13.5 % der ganzen Stickstoffausscheidung. Ähnlich hohe Werte fanden Linser und Schmid⁹⁾ bei ruhenden, sich dauernd in heißer Luft aufhaltenden Menschen. In ihren sechs Bestimmungen betrug der Schweißstickstoff 0.399—0.601 g pro Tag und in maximo 9.6 % des Harnstickstoffs.

Im Anschluß an die hier mitgeteilten Tatsachen sind offenbar noch eine Menge interessanter Fragen zu erforschen. Steht der Gehalt des Schweißes an Stickstoff, Kochsalz und anderen Bestandteilen in Beziehung zu der gerade im Blut zirkulierenden Menge? Die großen Unterschiede im Prozentgehalt an Stickstoff pro Liter Schweiß, welche man findet, sind vielleicht so zu erklären, daß in den Stunden, in welchen reichlich Harnstoff im Blute zirkuliert — das sind die Stunden der Verdauung nach einer eiweißreichen Mahlzeit — ebenso wie durch die Nieren, auch durch die Schweißdrüsen ein harnstoffreicheres Sekret abgesondert wird. Auch die Frage verdient noch eingehendere Bearbeitung, inwieweit bei länger andauerndem Schwitzen die Konzentration des Hautsekretes in bestimmtem Sinne sich ändert.

Gibt es eine von den Schweißdrüsen unabhängige Wasserverdunstung der Haut? Bekanntlich ist die Haut des Menschen durchlässig für Gase. Es ist mit Sicherheit nachgewiesen, daß sie ständig Kohlensäure abgibt, daß sie Sauerstoff aus der Atmosphäre aufnimmt und auch für eine Reihe anderer, zum Teil giftiger Gase durchlässig ist. Zu diskutieren wäre, ob diese Durchlässigkeit der Haut auch für Wasserdampf besteht. Erheblich ist sie jedenfalls nicht. Das lehrt die geringe Wasserverdunstung toter, mit normaler Oberhaut bekleideter Körperteile

(Krause⁸). Wahrscheinlich ist es der dünne Fettüberzug, welcher unsere Oberhaut bedeckt, der die direkte, von der Tätigkeit der Schweißdrüsen unabhängige Wasserverdunstung, wenn nicht gänzlich, so doch in sehr hohem Maße beschränkt.

Wir hatten vor einigen Jahren Gelegenheit, das Verhalten eines Menschen zu beobachten, bei welchem durch angeborene Mißbildung die Schweißdrüsen der Haut vollkommen fehlten. Er lieferte eine vorzügliche Demonstration der Bedeutung der Schweißdrüsen für die Wärmeregulation. Während er sich nämlich im Winter vollkommen wohl und arbeitsfähig fühlte, war er an wärmeren Tagen und in geheizten Räumen zu jeder Arbeit unfähig. Arbeitete er unter diesen Umständen, so stieg seine Körpertemperatur in kurzer Zeit um mehrere Grade, bis auf 40° und darüber, und er hatte dann die bekannten unbehaglichen Empfindungen fiebernder Menschen. Ebenso stieg seine Körpertemperatur rapide an, wenn er im Sommer einige Zeit in der Sonne saß. An diesem Menschen haben wir einige Bestimmungen der Perspiration unter gleichzeitiger Feststellung der Atemgröße ausgeführt, und so ermittelt, daß die gesamte Perspiration annähernd mit dem Gewichtsverlust durch die Lungen übereinstimmte, daß bei ihm also in der Tat ein nennenswerter Wasserverlust durch die Haut nicht stattfand.

Auch einige unserer auf dem Monte Rosa bei andauernd sehr niedriger Temperatur ausgeführten Perspirationsbestimmungen ergaben Werte, welche annähernd mit dem Gewichtsverlust durch die Lungen allein übereinstimmten, so daß auch hier irgendeine in Betracht kommende Verdunstung durch die Haut ausgeschlossen war. So bei Zuntz am 6. IX., wo die gesamte Perspiration 601 g betrug, während aus der Lungenventilation ein Gewichtsverlust von 714 g zu berechnen war, ebenso am 8. IX., wo eine Perspiration von nur 480 g einem berechneten Gewichtsverlust von 714 g gegenübersteht. Daß an diesen beiden Tagen der auf die Lungen allein berechnete Gewichtsverlust größer ausfiel, als der faktisch gefundene, beruht auf der Unsicherheit der Wägung auf dem Monte Rosa, welche wegen der im Wageraum herrschenden Temperatur von unter 0 Grad nur in halbentkleidetem Zustande vorgenommen werden konnte. Dabei bedingte die wechselnde Feuchtigkeit der Unterkleider Fehler von einigen 100 g. — Auch während des Aufenthalts auf dem Brienzer Rothorn herrschte an einigen Tagen so niedrige Temperatur, daß eine Schweißabsonderung vollkommen ausgeschlossen war. Allenfalls war noch denkbar, daß nachts im Bett sich der Körper vorübergehend so weit erwärmte, um eine minimale Tätigkeit der Schweißdrüsen herbeizuführen. An dem sehr kalten 28. August betrug immerhin die Wasserabgabe durch die Haut noch 200—440 g, dagegen berechnete sich für Kolmer am 13. August auf dem Brienzer Rothorn ein an die Fehlergrenze heranreichender Wert von nur 60 g Wasserabscheidung durch die Haut.

Die von uns gefundene und nach allem bisher Gesagten auch leicht erklärliche geringe Wasserverdunstung des Körpers in größeren Höhen steht mit manchen, auch in Sachverständigenkreisen verbreiteten Anschauungen in Widerspruch. Es ist zwar bekannt, wie schnell alle feuchten Gegenstände in der verdünnten trockenen Luft des Hochgebirges austrocknen. Wir erinnern nur an die im Engadin allgemein übliche Bereitung des Trockenfleisches durch einfaches Aufhängen der Fleisch-

stücke an der Luft. Diese Trockenheit der Luft macht sich auch an der Schleimhaut unserer Nase und bei Atmung durch den Mund in der Mundhöhle durch unangenehme Empfindungen von Trockenheit, durch Rissigwerden und leichtes Bluten der Schleimhaut geltend. Trotzdem verliert der gesamte Körper viel weniger Wasser als in den tieferen Regionen. Das liegt einfach an der niederen Temperatur der Höhenluft, welche die Schweißdrüsen nicht in Tätigkeit treten läßt. Die direkte Verdampfung aus dem Blute durch die Oberhaut hindurch ist ja minimal.

In Kapitel VI wurde erwähnt, daß man die Zunahme der Blutkörperchenzahl im Hochgebirge aus einer Eindickung des Bluts durch Wasserverlust hat erklären wollen. Aus den mitgeteilten Zahlen erhellt, wie unzulässig eine solche Erklärung ist.

Wirkung der Muskelarbeit auf die Nieren. Angesichts des enormen Wasserverlustes, welchen der Körper bei den großen Märschen erfährt, und welcher, wie aus Tabelle XXX hervorgeht, in wenigen Stunden bis 2 kg und mehr betragen kann, sollte man erwarten, daß die Wasserausscheidung durch die Nieren stark beschränkt und daß der Harn, dementsprechend konzentriert, wasserarm abgesondert würde. Im allgemeinen lehrt ja auch die Erfahrung, daß im Sommer, wenn man schwitzt, der Urin spärlich und konzentriert ist. Wie schon Schumburg und Zuntz gefunden hatten, ist dies aber bei Muskeltätigkeit nicht der Fall. Vielmehr wird die Wasserabsonderung durch die Nieren bei angestrenzter Muskeltätigkeit angeregt und infolgedessen ein weniger konzentrierter Harn gebildet. Das bestätigte sich auch auf unseren Märschen. Regelmäßig war der Marsch-

Tabelle 3.
Wirkung des Marsches auf die Nierentätigkeit.

Datum	Kolmer				Müller				Zuntz			
	Spezielles Gewicht des Harns		Steigerung der Verdunstung auf dem Marsch gegenüber der Ruhe	Wasseraufnahme auf dem Marsch	Spezielles Gewicht des Harns		Steigerung der Verdunstung auf dem Marsch gegenüber der Ruhe	Wasseraufnahme auf dem Marsch	Spezielles Gewicht des Harns		Steigerung der Verdunstung auf dem Marsch gegenüber der Ruhe	Wasseraufnahme auf dem Marsch
	auf dem Marsch	Durchschnitt des Tages			auf dem Marsch	Durchschnitt des Tages			auf dem Marsch	Durchschnitt des Tages		
9.VIII.01	1028	1030	—	300	—	—	—	—	—	—	—	—
10. „ „	1025	1030	—	0	—	—	—	—	14.VIII. 1029	—	—	280
15. „ „	1012	1021	789	770	1029	1032	903	187	1032	1033	—	400
16. „ „	1018	1020	119	200	1026	1031	759	300	—	1034	1531	0
17. „ „	1019	1025	—	200	1027	1031	—	500	1030	1032	577	—
19. „ „	1019	1023	1994	650	1029	1034	2506	950	1031	1032	2293	832
20. „ „	1020	1025	2320	70	1029	1031	1869	1000	—	—	—	—
21. „ „	1023	1025	2258	1420	1028	1031	1970	1300	—	—	—	—
22. „ „	1016	1025	2497	670	1029	1031	2746	1200	1023	1029	2084	800

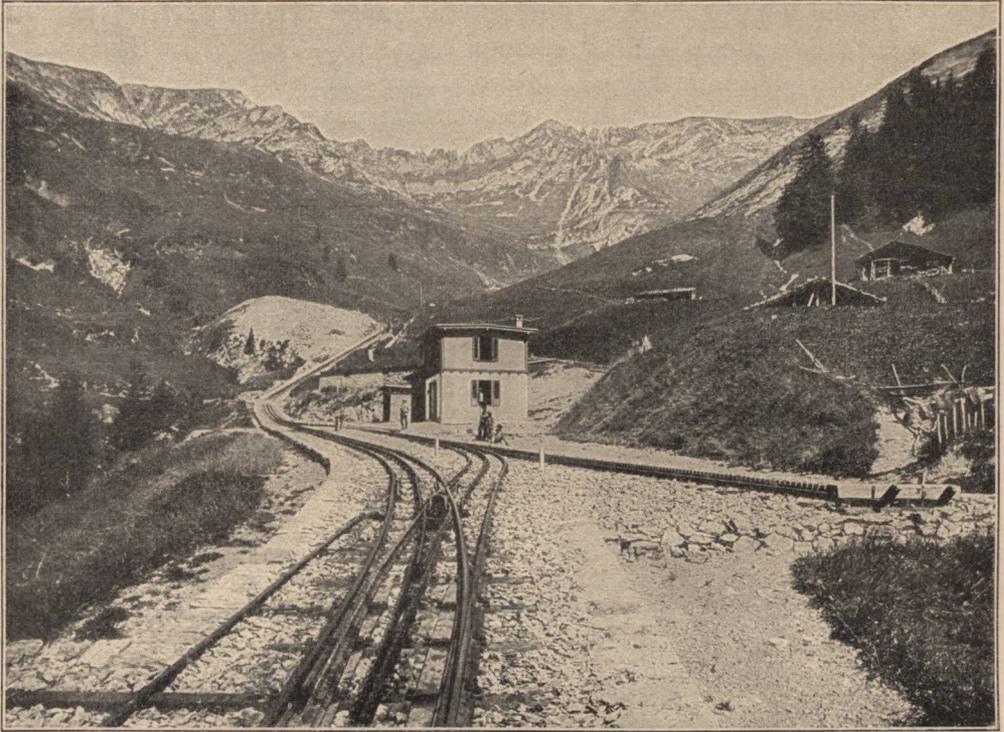
harn von geringerem spezifischem Gewicht als der des übrigen Tages. Tabelle 3 enthält für drei von uns die betreffenden Angaben — sie bedarf kaum einer weiteren Erklärung. Um zu zeigen, daß der Körper während der Märsche erheblich an Wasser verloren hat, ist in dem 3. und 4. Stabe angegeben, um wieviel Gramm die Verdunstung während der Märsche diejenige einer gleichlangen Ruhezeit desselben Tages übertraf, und im 4. Stabe, wieviel Wasser während des Marsches getrunken wurde. — Diese Wasseraufnahme bleibt regelmäßig hinter dem Wasserverlust des Körpers zurück. Es ist auffallend und beachtenswert, daß der große Wasserverlust während der Märsche kein entsprechendes Bedürfnis der Wasseraufnahme, welche stets bei uns dem freien Ermessen überlassen war, herbeiführte. Erst am späteren Nachmittag, mehrere Stunden nach der Rückkehr von den Märschen, wurde durch reichliches Trinken der normale Wasserbestand des Körpers wiederhergestellt.

Von den Ergebnissen dieses Kapitels sollen die auf die Wärmeregulation bezüglichen im nächsten Kapitel, anschließend an die Betrachtung der Körpertemperatur, weiter behandelt werden. Hier sei nur nochmals die Bedeutung des Nachweises erheblicher Stickstoffmengen im Schweiß und der großen Schwankungen, welche diese Ausscheidung erleidet, hervorgehoben.

Wenn bis zu 13% des Stickstoffs durch den Schweiß abgeschieden werden können, so erscheinen alle Stoffwechselversuche im Sommer und bei körperlicher Arbeit geradezu als wertlos, wenn sie diesem Faktor nicht Rechnung tragen.

Literatur.

- 1) Argutinsky: „Stickstoffausscheidung durch den Schweiß“. Pflügers Archiv 46, S. 594.
- 2) Bequerel und Breschet: „Annales des Sciences naturelles“. 1835.
- 3) Camerer jr.: „Chemische Zusammensetzung d. Schweißes“. Zeitschrift f. Biologie 41, S. 271.
- 4) Harnack: „Zusammensetzung des menschlichen Schweißes“. Fortschr. d. Med. 1893, S. 91.
- 5) Helmholtz: Artikel „Wärme, physiologisch“ in Encyklopäd. Wörterbuch der med. Wissensch. Berlin 1846, Bd. 35.
- 6) Hiller: „Der Hitzschlag auf Märschen“. Berlin, Hirschwald 1902 (Bibliothek Coler).
- 7) Cramer: „Beziehung der Kleidung zur Hauttätigkeit“. Archiv f. Hygiene 10, S. 231.
- 8) Krause: Artikel „Haut“ in Wagners Handwörterbuch der Physiologie, Bd. II, S. 161.
- 9) Linser und Schmid: „Stoffwechsel bei Hyperthermie“. Deutsches Archiv f. klin. Med. 79, S. 526.
- 10) Rubner: „Untersuchungen über Körperwärme und ihre Beeinflussung durch die Kleidung“. Archiv f. Hygiene, Bd. 11—32.
- 10^a) Derselbe: Lehrbuch der Hygiene (Leipzig und Wien). 6. Aufl. 1900.
- 11) Sanctorius: „De statica medica Aphorismi“. Venetae 1614.
- 12) Schumburg und Zuntz: „Physiologie des Marsches“. Berlin, Hirschwald 1901, S. 309—333.
- 13) Senator: „Untersuchungen über den fieberhaften Prozeß“. Berlin 1873.



Station Hausstadt der Brienz Rothornbahn (1350 m).

Kapitel XV.

Die Körperwärme.

Die Tatsache, daß die Körperwärme des Menschen, wie die aller sog. „warmblütigen“ Tiere, unter normalen Verhältnissen in sehr geringem Maße schwankt, hat seit Jahrhunderten die Aufmerksamkeit der Biologen erregt. Durch zahlreiche Messungen wurde festgestellt, daß die äußere Temperatur nur von geringem Einfluß auf unsere Körperwärme ist, so daß diese fast gleichhoch in den Tropen und in den arktischen Regionen gefunden wird. Andererseits wurde ermittelt, daß sie geringe, aber sehr regelmäßige Schwankungen im Laufe des Tages erfährt, daß sie in der zweiten Hälfte der Nacht oder frühmorgens am niedrigsten ist, während der Tagesstunden ansteigt und den höchsten Stand zwischen 5—7 Uhr nachmittags erreicht. Bis zu einem gewissen Grade hat sich diese Tageskurve der Körperwärme von der Lebensweise abhängig erwiesen, und es haben namentlich die Untersuchungen von Johansson³⁾ dargetan, daß die Muskelbewegungen auf ihren Gang von erheblichem Einfluß sind. Die Temperatursteigerung während der Morgenstunden bleibt bei andauernder Bettruhe zwar nicht ganz aus, aber sie wird doch wesentlich eingeschränkt. Andererseits hängt das gegen 5—7 Uhr beobachtete Maximum der Temperatur außer mit der Tagesarbeit auch mit der Mittagsmahlzeit

einigermaßen zusammen, indem die Verdauungsarbeit, durch welche ja der Stoffwechsel um 30% und mehr gegenüber dem nüchternen Zustand erhöht wird, an der Steigerung der Temperatur um diese Stunde beteiligt ist. Es ließ sich aber nachweisen, daß die regelmäßige Tagesschwankung, wenn auch in abgeschwächtem Maße, sich erhält, wenn die Mahlzeiten verschoben werden, und daß sie sogar noch längere Zeit fortbestehen kann, wenn eine vollkommene Umkehr der Lebensweise, Arbeit bei Nacht, Schlafen bei Tage, vorgenommen wird (Benedict und Snell)¹⁾. Diese Stabilität der Temperaturkurve scheint bei verschiedenen Personen verschieden groß zu sein. U. Mosso⁶⁾ fand in einem viertägigen Selbstversuch nach Umkehr der Lebensweise das Maximum der Temperatur auf den Morgen verschoben; zugleich aber prägte sich eine Störung der Wärmeregulation in einem Ansteigen der Durchschnittswärme um fast 1° C. aus.

Die dem Vorstehenden zugrunde liegenden Messungen der Körperwärme wurden teils in der geschlossenen Achselhöhle, teils im Munde unter der Zunge, teils im After ausgeführt. Letztere Messungsweise ist die sicherste und wurde deshalb auch von uns fast ausschließlich angewendet. Sie zeigt konstantere und meist um einige Zehntel Grade höhere Werte als die Messungen in der Achselhöhle.

Es ist überhaupt für die Beurteilung der noch zu besprechenden Tatsachen bedeutungsvoll, daß verschiedene Teile des Körpers nicht unerheblich in ihrer Temperatur voneinander abweichen. Die höchste Temperatur zeigt stets die Leber und speziell das aus ihr dem rechten Herzen zuströmende Blut. Der Darm ist regelmäßig um $\frac{1}{2}$ —1° C. kühler als die Leber. Wenn man die Temperaturen des aus dem rechten Herzen in die Lunge eintretenden und des aus ihr austretenden Blutes vergleicht, so findet man letztere regelmäßig niedriger. Abgesehen von anderen hier wirkenden Momenten erklärt sich dies aus der im vorigen Kapitel besprochenen Verdunstung in der Lunge, welche dem durchströmenden Blut erhebliche Wärmemengen entzieht und dadurch zur Abkühlung des Körpers beiträgt.

Die Temperatur der Muskelschichten des Körpers hat man auf elektrischem Wege durch eingestochene sog. „Thermoadeln“ ermittelt. Sie ist an den Extremitäten nicht unerheblich niedriger als in den inneren Organen. Das erklärt sich durch die starke Wärmeabgabe an die kühlere Haut. Dementsprechend ist auch die Temperatur der Muskeln an den Extremitäten größeren Schwankungen ausgesetzt, sie kann bei kalter Umgebungstemperatur um mehrere Grade unter der Wärme der inneren Organe liegen. Wir wissen nun, daß die Muskulatur durch die Lebhaftigkeit der in ihr ablaufenden Stoffwechselforgänge ein Hauptherd der Wärmebildung ist, und es muß besonders betont werden, im Gegensatz zu manchen, auch jetzt noch in der Literatur sich findenden Angaben, daß hohe Temperatur eines Organs keineswegs beweist, daß der Stoffwechsel und die Wärmebildung in ihm besonders groß seien. Ein gegen Wärmeverlust geschütztes und von warmem Blute reichlich durchströmtes Organ braucht nur wenig Wärme zu bilden, um eine sehr hohe Temperatur aufzuweisen. Dies gilt z. B. für die Leber, welche durch die Pfortader ein Blut empfängt, das sich schon im Darm stark erwärmt hat, so daß gar keine besonders große Wärmebildung im Organ selbst nötig ist, um die Leber zum wärmsten Teile des Körpers zu machen (Cl. Bernard)²⁾.

Organtemperatur und Stoffumsatz. Es übt nun aber die Temperatur eines Organs auf die Intensität seines Stoffwechsels einen großen Einfluß aus. Man hat für jedes einzelne Gewebe des Körpers nachweisen können, daß die Oxydationsprozesse und die Wärmebildung in ihm mit der Temperatur wachsen. Das Gleiche läßt sich in überzeugender Weise für den ganzen tierischen Organismus dartun. Kaltblüter verbrauchen desto mehr Sauerstoff, je wärmer die Umgebung, in der sie sich befinden, und je wärmer mit dieser Umgebung auch ihr eigener Körper ist. Bei Warmblütern konnte Pflüger⁷⁾ durch sehr starke Kälte- oder Hitzeeinwirkung die Wärmeregulation überwinden. Dann zeigte sich, daß auch ihr Organismus bei wechselnder Eigentemperatur denselben Gesetzen folgt, wie der der Kaltblüter. Steigerung der Körpertemperatur um 1° C. steigerte die Verbrennungsprozesse im Tierkörper um beinahe 10⁰/. In neueren Versuchen von Winternitz⁸⁾ und von Linser und Schmid⁴⁾ wurden beim Menschen noch viel erheblichere Wirkungen der Erwärmung gefunden. Der erhöhte Stoffwechsel im Fieber erklärt sich zum Teil aus dieser Beziehung zwischen Körpertemperatur und Größe des Stoffwechsels.

Der Abhängigkeit der Zersetzungsgröße von der Temperatur müssen wir eingedenk sein, wenn wir das Verhalten unserer Muskeln bei der Arbeit richtig würdigen wollen. Die Muskelarbeit bedingt, wie früher ausgeführt, hochgradige Steigerung des Stoffwechsels. Beim Bergaufgehen sahen wir den Sauerstoffverbrauch auf das Vierfache und mehr anwachsen. Wenn wir bedenken, daß die dabei tätigen Muskeln höchstens $\frac{1}{3}$ der Körpermaße darstellen, so muß der Stoffumsatz in ihnen selbst aufs etwa Zwölffache gesteigert sein. Eine so enorme Steigerung des Umsatzes wird dem Gesagten zufolge bei hoher Temperatur des Muskels leichter zustande kommen. Mit dieser Erwägung stimmt auch die bekannte Beobachtung an Kaltblütern überein, daß ihre Muskeln bei höherer Temperatur schon durch geringere Reize zu kräftiger Zusammenziehung angeregt werden und bei ihrer Verkürzung größere Arbeit leisten können. Im Zusammenhang mit dem, was wir vorher über die relativ niedrige Temperatur der Muskeln unserer Extremitäten gesagt haben, erklärt sich hieraus die Tatsache, daß jede Arbeit im Beginn und namentlich bei niedriger Außentemperatur schlecht von statten geht, daß wir uns, wie man sich ausdrückt, erst „einarbeiten“ müssen. Einige Zeit nach Antritt eines Marsches fühlen wir unsere Muskeln beweglicher, dem Willen folgsamer. Der Moment, in dem das Gehen leichter wird, fällt mit dem Ausbruch des Schweißes, d. h. mit dem Augenblick zusammen, in dem die Körpertemperatur und auch die der Haut, damit natürlich auch die Temperatur der unter der Haut gelegenen Muskeln, ein gewisses Maximum erreicht hat. Ähnliches hat Kolb beim Wettrudern beobachtet. Wir werden gleich sehen, daß die im Mastdarm gemessene Körperwärme schon kurze Zeit nach Beginn des Marsches um 1° und mehr erhöht ist. Die Temperatur der Muskulatur selbst aber ist dem eben Gesagten zufolge dann bereits weit mehr gegenüber dem Ruhezustande gesteigert.

Wie schnell bei körperlicher Tätigkeit die Temperatur steigt, haben wir durch zahlreiche Messungen während der Märsche festgestellt. Das Verhalten unserer Körperwärme in der Ruhe zeigen die Kurven der nach S. 406 folgenden Tafel.

Die Tafel ist wohl ohne weiteres verständlich. Für jeden Tag sind die morgens nach dem Aufwachen und abends etwa eine Viertelstunde nach dem Niederlegen im Mastdarm gemessenen Temperaturen eines jeden von uns eingetragen. Die horizontalen Linien des Netzes entsprechen der am linken Rande angegebenen Temperatur, die senkrechten dem Datum. Auf der Datumlinie liegt der die Morgentemperatur, rechts von derselben der die Abendtemperatur angegebene Punkt. Einige wichtige Phasen des Versuchs sind durch Pfeile markiert. Irrtümlich ist für Waldenburg, Caspari und Zuntz der 15. statt des 14. als Tag des ersten Marschversuchs bezeichnet.

Ein Blick auf die Tafel zeigt, daß unsere Körpertemperatur nur ausnahmsweise 37° C. überstieg. Schon nach kurzer Marschdauer aber war eine Temperatur von 38° und darüber zu konstatieren. Mit Erreichen dieser Temperatur beginnt die Schweißabsonderung, und nun bleibt die Wärme annähernd konstant. In sehr vielen Fällen war sogar die Temperatur am Schluß eines mehrstündigen Marsches niedriger als eine Stunde nach Beginn desselben. So bei der Besteigung des Rothorns am 22. August:

	bei Kolmer	Loewy	Zuntz
in 1000 m Höhe			38.3° C.
in 1345 „ „	38.1° C.	38.6° C.	38.15 „
in 2150 „ „	37.9 „	38.0 „	37.9 „

Bis zu einem gewissen Grade trägt zu diesem Verhalten sicherlich der Umstand bei, daß in den höheren Regionen die Bedingungen der Abkühlung sich günstiger gestalten infolge der kühleren und trockeneren Luft. So sehen wir denn auch in den Versuchen, in welchen der Rückweg bergab zu Fuß gemacht wurde, oft am Schlusse des Marsches in Brienz etwas höhere Temperatur als während des Aufstiegs. So bei Zuntz:

am 14. VIII.	Während des Aufstiegs	in 1345 m Höhe	38.4° C.
	Im Moment der Rückkehr in Brienz	„ 530 „ „	38.8 „
am 15. VIII.	Während des Aufstiegs	in 1000 m Höhe	37.6° C.
	„ „ „	„ 1345 „ „	38.4 „
	Nach der Rückkehr	„ 530 „ „	38.1 „

Bedeutung des Bergauf- und Bergabgehens für die Erwärmung des Körpers. Für die in einigen Fällen beobachtete höhere Körperwärme nach Beendigung des Abstiegs kommt aber die höhere Lufttemperatur in den tieferen Regionen nicht allein in Betracht, sie ist nicht einmal die wesentlichste Ursache. Vielmehr ist die im Körper entstehende Wärme größer beim Bergabgehen als beim Bergaufgehen, trotzdem das Maß der chemischen Umsetzungen, wie wir S. 263 gezeigt haben, in letzterem Falle ein größeres ist. Beim Bergaufgehen nimmt der Teil der chemischen Energie, welcher zur Hebung des Körpers dient, nicht die Form von Wärme an, während umgekehrt beim Bergabgehen die Schwere den Körper beschleunigt und diese Beschleunigung durch Muskel- und Sehnenanspannungen und Reibungen im Innern des Körpers neutralisiert wird, wobei eine entsprechende Menge Wärme frei wird. Dieses Verhalten ist bedeutungsvoll genug, um eine etwas eingehendere Erörterung zu verdienen.

Wir wollen zu diesem Behufe die mechanischen Vorgänge im Muskel und ihre Beziehungen zu den chemischen Umsetzungen und zur Wärmebildung an der

Hand des Prinzips von der Erhaltung der Kraft etwas genauer betrachten. Dies Prinzip besagt bekanntlich, daß es in der Natur nur Umwandlungen von Kräften, niemals Neuerzeugung oder Vernichtung solcher gibt. Speziell in dem Falle des Aufhörens einer Bewegung entsteht an Stelle der verschwundenen Bewegungsenergie Wärme. Aus den zahlreichen Messungen der Wärmemengen, welche bei der Hemmung von Bewegungen entstehen, geht hervor, daß eine Arbeitsmenge von

$$1 \text{ mkg} \dots\dots\dots 2.353 \text{ w. e.}$$

gleichwertig ist oder mit anderen Worten: die Arbeitsmenge, welche 1 kg einen Meter hoch heben kann, ist gleichwertig der Wärmemenge, welche 1 g Wasser um 2.353° C. erwärmt.

Bei chemischen Prozessen, welche mit Wärmebildung einhergehen, kann die ganze dabei entwickelte Energie in der Art, wie wir es Seite 96 besprochen haben, als Wärme zum Vorschein kommen. Es kann aber auch ein Teil dieser chemischen Energie zu mechanischer Arbeit verwendet werden, also etwa zur Hebung eines Gewichts auf eine bestimmte Höhe. Für jedes Meterkilogramm Arbeit, das in dieser Weise durch einen chemischen Prozeß geleistet wird, wird die Wärmemenge um 2.353 w. e. geringer. Die Summe der beiden Werte, direkt entwickelte Wärme und Wärmeäquivalent der Arbeit, bleibt aber unverändert. So verhält sich auch die in unseren Muskeln umgesetzte chemische Energie. Ein Teil, und zwar etwas mehr als $\frac{1}{3}$ der ganzen Menge, dient zu mechanischer Arbeit, der Rest wird Wärme. Wenn nun aber, wie dies häufig der Fall ist, die mechanische Arbeit im Innern des Körpers selbst durch Reibungen wieder vernichtet wird, tritt die ihr gleichwertige Wärmemenge auf, und nun ist die ganze den chemischen Umsetzungen entsprechende Wärme als solche im Körper vorhanden. Ein Beispiel hierfür ist das Verhalten des Herzens. In ihm wird mechanische Arbeit erzeugt, welche zur Fortbewegung des Blutes in den Gefäßen dient. Der anfänglich hohe Druck, unter dem das Blut in den Arterien steht, nimmt aber durch Reibung in den engeren Gefäßen stetig ab, und bei der Rückkehr zum Herzen ist der Blutdruck nur noch minimal. An Stelle dieser verlorenen mechanischen Arbeitskraft ist durch die Reibung in den kleineren Gefäßen Wärme getreten. So haben wir im Herzmuskel eine Wärmebildung, die annähernd $\frac{2}{3}$ der ganzen Verbrennungswärme der in ihm verbrauchten Nährstoffe entspricht, und das letzte Drittel tritt an den verschiedensten Stellen des Körpers, infolge der Reibung des Blutes an den Gefäßwänden, auf.

Wenn ein dem eben getöteten Frosch entnommener Muskel passend aufgehängt und mit einem Gewichte belastet durch Reize zum Zucken gebracht wird, so erwärmt er sich, während er zugleich die ihm angehängte Last hebt. Wiederum haben wir hier also eine Teilung der im Muskel durch die chemischen Prozesse erzeugten Energie in zwei Komponenten: Hubarbeit und Wärme. Wenn wir, nachdem der Muskel sich verkürzt hat, die von ihm gehobene Last unterstützen, bleibt das Äquivalent der geleisteten Arbeit aufgespeichert in Form sogenannter „Energie der Lage“. Vermöge der neuen Lage, welche das gehobene Gewicht angenommen hat, stellt es eine Energiequelle dar. Lassen wir es frei fallen, so nimmt es eine Geschwindigkeit an, welche das Äquivalent der Hubarbeit des Muskels ist.

Lassen wir aber das fallende Gewicht in Verbindung mit dem Muskel, so wird dieser durch die Last gedehnt und, wie die direkte Messung ergibt, gleichzeitig erwärmt. Die bei der Dehnung im Muskel auftretende Wärme entspricht dem Anteil der Energie der umgesetzten Nährstoffe, welcher bei der Verkürzung des Muskels noch nicht die Form von Wärme angenommen hatte. Dem Gesagten zufolge wird ein Muskel, der abwechselnd eine Last hebt und dann durch eben diese Last wieder gedehnt wird, nach einer Reihe solcher Verkürzungen und Verlängerungen sich um das ganze Äquivalent der umgesetzten chemischen Energie erwärmt haben. Wird aber durch eine passende Sperrvorrichtung dafür gesorgt, daß das gehobene Gewicht den Muskel nicht wieder dehnen kann, sondern durch jeden folgenden Hub höher und höher gehoben wird, dann resultiert eine geringere Erwärmung des Muskels, und zwar ist die Wärmemenge für jedes Meterkilogramm Arbeit, d. h. für jedes ein Meter hoch gehobene Kilogramm um 2.353 w. e. geringer, als wenn der Muskel immer wieder durch das fallende Gewicht gedehnt worden wäre. Wenn wir endlich an einen ruhenden Muskel ein Gewicht hängen, so daß er durch dieses gedehnt wird, dann das Gewicht wegnehmen, so daß der Muskel sich vermöge seiner Elastizität verkürzen kann, ihm dann das Gewicht wieder anhängen und diesen Vorgang eine Reihe von Malen wiederholen, so erwärmt sich der Muskel jedesmal durch die Dehnung, ohne daß entsprechende chemische Umsetzungen in ihm stattfinden. In diesem Falle ist also mechanische Arbeit im Muskel in Wärme umgewandelt worden.

Die eben für den einzelnen Muskel betrachteten Vorgänge haben ihr Analogon in der Muskulatur des gehenden Menschen bei den drei Formen des Gehens: horizontal, bergauf und bergab. Wenn wir horizontal gehen, werden die Gliedmaßen abwechselnd gehoben und gesenkt und dabei gleichzeitig mit jedem Schritt dem Körper eine Beschleunigung nach vorwärts gegeben, eine Beschleunigung, welche aber nur so groß ist, daß die Geschwindigkeit unverändert bleibt, daß also gerade die Reibungswiderstände überwunden werden. In diesem Falle wird also die bei der Verkürzung der Muskeln geleistete Arbeit nachher bei ihrer Verlängerung wieder aufgebraucht, es wird keine Arbeit nach außen in Form von Hebung irgendwelcher Last abgegeben; die Erwärmung der Luft und des Bodens durch Reibung und Stoß ist so gering, daß sie vernachlässigt werden kann. Die ganze in den Muskeln umgesetzte chemische Energie muß daher den Körper erwärmen. Die Größe dieser Energie können wir, wie in Kapitel VIII beschrieben, bestimmen und so die gebildete Wärmemenge berechnen. — Wenn wir bergauf gehen, erheben wir uns stetig über unser Ausgangsniveau. Wir hatten gesehen, daß jedes kg Gewicht, welches um 1 m gehoben wird, eine Energiemenge entsprechend 1 mkg oder 2.353 w. e. beansprucht. Diese Energie entstammt der chemischen Umsetzung in den Muskeln, sie tritt aber in ihnen nicht als Wärme auf, weil sie als „Energie der Lage“ unseres emporgestiegenen Körpers erhalten bleibt. Für jedes um 1 m gehobene Kilogramm muß also eine Wärmemenge von 2.353 w. e. weniger entstehen, als der Verbrennungswärme der umgesetzten Substanz entspricht und als durch Umsetzung derselben Nährstoffmenge beim horizontalen Gehen entstanden wäre. Beim Bergabgehen wird die vorher durch

Hebung des Körpers aufgespeicherte Energie der Lage den Körper abwärts treiben, das Fallen muß durch Muskelspannung verlangsamt werden und genau wie bei Dehnung eines Muskels durch ein angehängtes Gewicht wird in den Muskeln ein Quantum Wärme frei werden, welche nicht chemischer Energie entstammt.

Die eben angestellten Erwägungen wollen wir nunmehr auf den speziellen Fall des Bergauf- und Bergabgehens, den wir am Brienzer Rothorn studiert haben, anwenden. Unser Weg hatte dort, wie erinnerlich, durchgehends eine Steigung von $25\% = 1:4$, d. h. der Körper wurde um einen Meter gehoben, wenn man 4 m Weges bergauf zurückgelegt hatte. Aus Tabelle 17, S. 262, entnehmen wir, daß Zuntz beim Bergaufsteigen für jedes Kilogramm Gewicht und jeden Meter Weg 2.217 w.e. umsetzte. Zur Hebung um 1 m wurde also das Vierfache dieser Menge, 8.868 w.e. verbraucht. Das Wärmeäquivalent der Hebung von 1 kg um 1 m ist aber 2.353 w.e. Zur Erwärmung des Körpers dienen also nur $8.868 - 2.353 = 6.515$ w.e. Hätte er bei horizontalem Gehen 8.868 w.e. entwickelt, so wäre diese ganze Wärmemenge im Körper zum Vorschein gekommen. So ist bei gleicher Kraftentwicklung im Körper die Erwärmung desselben beim Bergaufgehen im Verhältnis von 6.515:8.868, d. h. um 26.5 Prozente geringer.

Beim Bergabgehen war der Verbrauch für 1 kg und 1 m Weg zu 0.537 w.e. bestimmt worden. Er beträgt daher für 4 m entsprechend der Senkung von 1 kg um 1 Meter $4 \times 0.537 = 2.148$ w.e. Gleichzeitig aber ist im Körper durch Spannung der Muskeln und Sehnen eine Wärmemenge aufgetreten, welche 1 mkg gleichwertig ist, also eine Wärmemenge von 2.353 w.e. Der Körper hat sich demnach beim Zurücklegen von 4 m Weges bergab um 4.501 w.e. erwärmt, wovon nur 2.148 w.e. aus den gleichzeitigen chemischen Umsetzungen resultieren. Die faktische Erwärmung des Körpers ist also mehr als doppelt so groß, als man nach den chemischen Umsetzungen erwarten sollte.

Um zu erfahren, wieviel Wärme in einer bestimmten Zeit beim Bergauf- und Bergabgehen im Körper entsteht, müssen wir nun noch die pro Minute durchschnittlich zurückgelegte Wegstrecke in Betracht ziehen. Sie betrug bei Zuntz bergauf 28.82 m, bergab 76.05 m. Die zu diesen Wegen gehörigen Hebungen und Senkungen des Körpers entsprechen $\frac{1}{4}$ der Wegstrecke, also 7.2 m pro Minute bergauf, 19.0 m bergab. Die Erwärmung des Körpers pro Kilogramm beträgt:

beim Bergangehen	$7.2 \times 6.515 = 46.9$ w.e.
beim Bergabgehen	$19.0 \times 4.501 = 85.5$ „ „
bei raschem horizontalem Gehen, 100 m	
pro Minute	$100 \times 0.678 = 67.8$ „ „

Der Körper erhitzt sich also beim Bergabgehen in dem nach Behagen gewählten Tempo beinahe doppelt so stark als beim Bergaufgehen. Wir lernen so einen neuen, höchst charakteristischen Unterschied der Vorgänge im Körper bei beiden Arten des Gehens kennen. Bergab ist der Stoffumsatz erheblich geringer als bergauf, wenn beide Bewegungsarten auf gutem Wege und in einem, dem Behagen entsprechenden Tempo ausgeführt werden. Die Erhitzung des Körpers aber ist bergab bedeutend größer als bergauf. Diesen Tatsachen entspricht nun auch

durchaus unser Empfinden. Beim Bergabgehen sind Herz und Atmung niemals aufs höchste beansprucht, Lufthunger wird dabei wohl nie uns zu Verlangsamung des Schrittes zwingen. Aber starkes Hitzegefühl und reichliche Schweißbildung bleiben bei langem, schnellem Abstieg niemals aus. Es ist dies Hitzegefühl und bei manchen wohl auch das durch die Erhöhung der Körpertemperatur erzeugte Herzklopfen, was der Schnelligkeit des Abstieges Schranken auferlegt.

Die Gefahr des Hitzschlags. Bei unseren Versuchen haben wir niemals bedrohliche Erhöhungen der Körpertemperatur im Laufe des Abstiegs beobachtet. Die höchste von uns hierbei gefundene Erwärmung, 38.9°C ., hat noch keinerlei Bedenken. Wir sind aber immer nur etwa 500—600 m hintereinander abgestiegen und haben dabei ein mäßiges Tempo innegehalten. Es liegt nahe genug, daß bei sehr viel längeren Wegen bergab, besonders wenn die Lufttemperatur hoch und zugleich Grund zur Eile vorhanden ist, die Erhitzung des Körpers eine übermäßige wird und dadurch Gefahren entstehen. Jedermann kennt die nicht seltenen, traurigen Fälle von Hitzschlag, welche bei großen militärischen Märschen mit Gepäck im Sommer, bei Erntearbeiten usw. zahlreiche Menschenleben fordern. Der Hitzschlag kommt dadurch zustande, daß die Abkühlung des Körpers mit der Wärmeproduktion nicht mehr Schritt hält und infolgedessen die Temperatur bis auf Werte von 42°C . und darüber steigt. Solche Temperaturen aber sind an und für sich lebensbedrohend, sie lähmen, wenn sie auch nur kurze Zeit einwirken, die Funktionen der wichtigsten Organe, des Hirns und des Herzens. Wenn der Körper, wie in unserem Falle des mäßigschnellen Bergabgehens, in jeder Minute um $85.5\text{ w. e. pro Kilogramm}$ erwärmt wird, so bedeutet das, da die Körpergewebe sich bei gleicher Wärmezufuhr um $\frac{1}{5}$ stärker erhitzen als das Wasser, eine Erwärmung um über $\frac{1}{10}^{\circ}$ in der Minute. Wenn also die Wärmeabfuhr versagt, kann die gefährliche Temperatur von 41 bis 42°C . in etwa $\frac{1}{2}$ Stunde erreicht werden. Von äußeren Momenten ist hier besonders feuchte Hitze, wie sie vor Gewittern zu herrschen pflegt, zu fürchten. Wenn dieselbe mit Windstille verbunden ist, kann die Verdampfung des Wassers von der Körperoberfläche derart ungenügend werden, daß gefährliche Überhitzung zustande kommt. Die Gefahr wächst, wenn auch noch die Sonnenstrahlung, die ja im Hochgebirge größere Kraft hat, dem Körper Wärme zuführt. Glücklicherweise schließen sich die beiden hier in Betracht kommenden Gefahren gegenseitig aus. Bei sehr feuchter, gewitterschwüler Luft ist die Sonnenstrahlung gering, bei starker Sonnenstrahlung die Luft meist trocken.

Bedrohlicher noch werden die durch die äußere Temperatur bedingten Störungen der Wärmeregulation, wenn sich innere Ursachen hinzugesellen. Hier ist es namentlich der Mangel an Wasser im Körper, also heftiger Durst, welcher die Schweißsekretion beschränkt und dadurch das wichtigste Mittel zur Herabsetzung der Körpertemperatur versagen läßt. Fast immer sind die tödlichen Fälle von Hitzschlag dadurch zustande gekommen, daß die Wasseraufnahme entweder unmöglich war oder infolge der leider noch so sehr verbreiteten Vorurteile gegen das Trinken bei erhitztem Körper gescheut wurde. Sehr erhöht wird die Gefahr des Hitzschlags bei solchen Menschen, deren Herz wenig kräftig ist. In der Hinsicht

sind einerseits Fettleibige, sowie ältere Personen gefährdet, andererseits solche, deren Herz durch übergroße Anstrengungen oder, was wohl die häufigste Ursache ist, durch vorangegangenen reichlichen Alkoholgenuß geschwächt ist. Bei ungenügender Herztätigkeit läßt die Blutdurchströmung der Haut nach, und damit wird sowohl die Zufuhr von Wasser zu den Schweißdrüsen, als auch die Möglichkeit, größere Wärmemengen durch Strahlung und Leitung von der Haut abzugeben, herabgesetzt. Es kommt hinzu, daß ein schon anderweitig geschwächtes Herz gegen hohe Temperatur empfindlicher ist und daher schneller den Folgen der Überhitzung des Körpers erliegt. Um bei Bergwanderungen den Gefahren des Hitzschlags zu entgehen, denke man an entsprechende Regelung der Bekleidung, an genügende Wasseraufnahme und an Mäßigung des Schrittes beim Bergabgehen, sobald heftiges Herzklopfen oder Schwindelgefühl darauf hindeuten, daß die Körpertemperatur stark erhöht ist.

Hiller^{2a)} hat bei seinen Untersuchungen über den Hitzschlag gefunden, daß ein Organismus, der auf Ertragung starker Abkühlungen trainiert ist, der Gefahr des Hitzschlags mehr ausgesetzt ist, als jemand, der schon längere Zeit an ein Übermaß von Hitze gewöhnt war. Soldaten, welche eben einen Schwimmkursus durchgemacht und sich dabei oft sehr lange im kalten Wasser aufgehalten hatten, erkrankten bei strapaziösen Sommermärschen auffallend häufig an Hitzschlag. Das ist eine Warnung für solche Touristen, welche nach verlängertem Aufenthalt in eisigen Höhen rasch ins heiße Tal hinabsteigen. Sie müssen besonders der Gefahr des Hitzschlags eingedenk sein.

Steigerung unserer Körpertemperatur durch die Märsche. Wie in bezug auf die Wasserverdampfung, so gibt es auch in bezug auf die Erhöhung der Körperwärme bei der Arbeit individuelle Besonderheiten. Derjenige unter uns, welcher immer die stärksten Schweißabsonderungen zeigte, Müller, hatte auch fast stets am Schlusse der Märsche die höchste Temperatur (bis zu 39.1° C.). Die vermehrte Schweißabsonderung hatte also keinesfalls eine bessere Abkühlung des Körpers zur Folge gehabt. Wir haben schon erwähnt, daß namentlich bei hoher Lufttemperatur Durchnässung der Außenkleidung, wie sie nach übermäßigem Schwitzen eintritt, die Abkühlung des Körpers hintanhält. Dies erklärt einerseits die hohe Körpertemperatur, wie andererseits diese wohl Ursache der besonders reichlichen Schweißabsonderung ist. Es ist nämlich nach neueren Untersuchungen im wesentlichen die Wärme des den Hirnzentren zufließenden Blutes, welche die Schweißabsonderung anregt, in analoger Weise wie der Kohlensäuregehalt eben dieses Blutes die Atembewegungen regelt.

Als Beleg für die individuellen Schwankungen der Körperwärme bei gleichen Anstrengungen unter gleichen Bedingungen geben wir die beiden folgenden kleinen Tabellen. Aus ihnen sei zunächst hervorgehoben, daß der Besttrainierte unter uns: Kolmer, und der Jüngste: Waldenburg, der ebenfalls mit geringem Anstrengungsgefühl die Wege zurücklegte, durchgehends die geringste Temperaturerhöhung aufwiesen. Als zweite interessante Tatsache ergibt sich, daß bei den übrigen die anfangs erhebliche Steigerung durch die Märsche im Verlaufe des Trainings allmählich geringer wird.

Tabelle 1.
Körpertemperatur am Ende der kleinen Märsche.

Datum	Gruppe I			Gruppe II		
	Kolmer	Müller	Loewy	Waldenburg	Caspari	Zuntz
14. VIII. 1901	—	—	—	38.2	38.9	38.8
15. „ „	37.9	—	38.1	38.0	38.2	38.1
16. „ „	—	—	38.5	37.9	37.95	37.95
17. „ „	38.2	39.0	38.7	38.0	—	37.95

Tabelle 2.
Körpertemperatur am Ende der großen Märsche.

Datum	Kolmer	Müller	Loewy	Waldenburg	Zuntz
19. VIII. 1901	—	39.1	—	—	—
20. „ „	38.3	38.9	38.5	38.2	—
21. „ „	37.8	38.7	38.0	—	—
22. „ „	37.9	38.85	38.0	38.2	37.9

Besonders frappant ist der von Mosso mitgeteilte Fall eines Trägers, welcher im Herbst nach vielfachem Lasttragen im Gebirge beim Ersteigen einer Höhe von 400 m mit 40 kg Gepäck nur eine Erhöhung der Temperatur von 37.1° C. auf 37.5° erfuhr. Nach der Winterruhe machte derselbe einen ebenso hohen, sogar etwas bequemeren Weg mit derselben Last und dabei stieg seine Temperatur von 37.2 auf 39.0° C., ein Beweis, wie auch bei so vorzüglich geübten Personen, wie es diese Träger sind, nach 1/2-jähriger Rast die Wärmeregulation leidet, um dann allerdings nach kurzer Übung wieder das frühere Verhalten zu zeigen. — Mosso schließt aus diesem Experiment, wie wir glauben zu Unrecht, daß die Wärmebildung durchaus nicht der Größe der Arbeitsleistung entspricht. Die Körpertemperatur ist aber das Resultat der gleichzeitigen Wärmerezeugung und Wärmeabgabe. Je besser beide miteinander harmonieren, desto vollkommener erhält sich die Körperwärme auf normaler Höhe. Wenn ein Mensch nach erheblicher Muskelanstrengung keine oder nur eine sehr geringe Erwärmung des Körpers zeigt, so beweist dies nicht, wie Mosso meint, „daß er die Arbeit mit sehr geringem Energieaufwande geleistet habe“. Es kann vielmehr ebensogut bedeuten, daß seine Wärme abgebenden Apparate vorzüglich funktionieren. Richtig ist, daß der geübte Mensch dieselbe Arbeit erheblich ökonomischer leistet, als der ungeübte. Wir haben in Kapitel VIII gesehen, daß bei schwierigen Schneemärschen z. B. der Geübte bis zu 50% weniger Sauerstoff verbrauchte, also weniger Energie aufwendete für dieselbe Arbeit als der Ungeübte. Insofern wird man auch annehmen können, daß die geringere Erwärmung des Körpers, welche die von Mosso untersuchten Träger und die in schnellem Tempo ansteigenden jungen Leute nach wiederholten Übungen zeigten, zum Teil darauf beruhte, daß sie wirklich weniger Wärme produzierten. Aber das Wesent-

liche ist doch, daß ihre wärmeregulatorischen Apparate, speziell die Schweißdrüsen, in prompterer und zweckmäßigerer Weise für die Wärmeabfuhr sorgten.

Sehr schnell kehrt in der Ruhe die erhöhte Körpertemperatur zur Norm zurück. Meist ist sie nach $\frac{1}{2}$ Stunde schon wieder 37.0° C. Recht instruktiv ist folgende Beobachtung, die Zuntz bei einem absichtlich möglichst beschleunigten Anstieg in der Mittagshitze machte.

Vor der Expedition von 1895 führte er einige Trainiernärsche im Harz aus und erstieg unter anderem am 10. August bei Gewitterschwüle 3 Stunden nach dem Mittagessen einen etwa 240 m hohen Hügel auf schlechtem, steilem Pfad in 26 Minuten, dann ging er noch 6 Minuten fast horizontal. Danach war die

Körpertemperatur 39.35° C., Puls 126, 15—16 Atemzüge pro Minute.

Es wurde nun $\frac{1}{2}$ Stunde auf der fast ebenen Höhe im Walde in mäßigem Tempo gegangen, dann nochmals 2 Minuten steil angestiegen. Sofort danach:

Temperatur 38.4° C., Puls 92, 10 Atemzüge pro Minute.

Abstieg in raschem Tempo, dann wenige Minuten horizontal:

Temperatur 38.75° C., Puls 104, 9 Atemzüge pro Minute.

Jetzt Ruhe; nach 50 Minuten:

Temperatur 37.85° C., Puls 78, 6 Atemzüge pro Minute.

$2\frac{1}{2}$ Stunde später abends im Bett:

Temperatur 36.85° C., Puls 75, 7 Atemzüge pro Minute.

Die in jener Zeit regelmäßig im Bette ausgeführten Messungen ergaben:

morgens 36.7 — 36.8° C., abends 36.8 — 37.1° C.,

es war also die Abendtemperatur 3 Stunden nach jener Überhitzung wieder vollkommen normal.

Wirkung der Höhe auf die Körpertemperatur. Ein Blick auf die Kurventafel lehrt, daß die vier von uns, welche während des letzten Abschnitts des Stoffwechselversuchs Aufenthalt auf dem Monte Rosa-Gipfel nahmen, dort sämtlich höhere Körpertemperatur zeigten, als zu irgendeiner anderen Zeit des Versuches. Es hat also die große Höhe des Monte Rosa eine unzweifelhafte Steigerung der Körperwärme, die sich ebenso in den Morgen- wie in den Abendtemperaturen zeigt, zur Folge. Die Tatsache ist interessant genug, um sie etwas näher zu studieren. Wir nehmen zu diesem Behufe bei allen Versuchspersonen das Mittel der durch das Verhalten während des Tages am wenigsten beeinflussten Morgentemperaturen derjenigen Tage in Brienz, an denen keinerlei besondere Einwirkung, speziell keine größere Marschleistung stattgefunden hatte und vergleichen es mit den Morgentemperaturen auf dem Monte Rosa. — Wir finden so:

Bei Kolmer in Brienz	36.5°
An den ersten drei Tagen des Monte Rosa-Aufenthaltes .	37.2 , also $+0.7^{\circ}$
An den letzten beiden Tagen des Monte Rosa-Aufenthaltes	36.6 u. 36.7 , also $+0.15^{\circ}$

Bei Loewy in Brienz	36.3°
Auf dem Monte Rosa am ersten Tage	38.0 , also $+1.7^{\circ}$
„ „ „ „ „ zweiten „	37.5 , „ $+1.2^{\circ}$
„ „ „ „ „ dritten „	37.0 , „ $+0.7^{\circ}$
„ „ „ „ „ letzten „ immer noch	37.0°

Bei Caspari in Brienz	36.7°
Auf dem Monte Rosa am ersten Tage	37.2, also +0.5°
„ „ „ „ „ zweiten „	37.2, „ +0.5°
„ „ „ „ „ dritten „	37.1, „ +0.4°

Bei Zuntz in Brienz und ebenso nach der Rückkehr vom

Monte Rosa in Turin gleichmäßig	36.75°
Auf dem Monte Rosa am ersten Tage	37.7, also +1.0°
An den späteren Tagen keine merkliche Steigerung.	

Bei dem späteren Aufenthalt von Zuntz im Jahre 1903 war auch die Morgentemperatur auf dem Monte Rosa etwas höher, als vorher in geringerer Höhe:

In Todtmoos 800 m (2 Tage)	36.5, 36.5°
In Col d'Olen 2900 m (4 Tage)	36.8, 36.45, 36.65, 36.5°
Margherita-Hütte 4500 m (3 Tage)	36.8, 36.95, 36.7°

In der Höhe des Col d'Olen (2900 m) zeigt sich, wie bei Zuntz so auch bei Müller, eine kleine Steigerung der Körperwärme:

In Brienz	36.3°
Auf dem Col d'Olen	36.6°

Waldenburg dagegen zeigte auch auf dem Col d'Olen noch keine Erhöhung der Körperwärme.

Eine Wirkung des Aufenthalts auf dem Rothorn läßt nur Kolmer in geringem Maße erkennen, indem dort seine Morgentemperaturen an den ersten noch nicht durch Märsche komplizierten Aufenthaltstagen um 0.2—0.3° in Brienz erhöht sind. Bemerkenswert ist, daß nach der Rückkehr vom Rothorn, die ja, wie schon erwähnt, in vieler Beziehung die Energie des Stoffumsatzes und der Körperleistung herabdrückte, bei Müller und Kolmer auch die Temperatur deutlich niedriger liegt als vor dem Aufstieg zum Rothorn.

Wir können also auch in bezug auf die Körpertemperatur einen deutlichen Höheneffekt nachweisen, der nur bei verschiedenen Personen in verschiedener Höhe beginnt. Es läßt sich von vornherein nicht entscheiden, in welchem ursächlichen Zusammenhang die Erhöhung der Körpertemperatur und das früher nachgewiesene Anwachsen der Verbrennungsprozesse stehen. Letzteres kann die Körperwärme erhöhen, braucht dies aber nicht zu tun und ganz besonders nicht unter solchen Umständen, wie sie auf dem Monte Rosa-Gipfel herrschten, wo man sich dauernd in sehr kalter Luft aufhielt. Andererseits haben wir gesehen, daß jede Erhöhung der Körpertemperatur an sich die Oxydationsprozesse steigert, und so könnten die an uns allen beobachteten Steigerungen der Verbrennungsprozesse, zum Teil wenigstens, durch die erhöhte Temperatur des Körpers bedingt sein. Mit letzterer Auffassung wäre es zwar vereinbar, daß Zuntz bei seinem zweiten Aufenthalt auf dem Monte Rosa im Jahre 1903 nur sehr geringe Steigerung der Körpertemperatur und eine erheblich geringere Steigerung der Oxydationsprozesse als im Jahre 1901 aufwies. Aber die Zunahme der Verbrennungsprozesse dauerte an, nachdem die Temperatur wieder vollkommen normal geworden war. Daher erscheint es ausgeschlossen, sie allein aus der erhöhten Körpertemperatur zu erklären.

Nachwirkungen der Märsche auf die Körpertemperatur. Wir hatten gesehen, daß die beim Marsch einsetzende Temperatursteigerung sehr rasch in der Ruhe wieder rückgängig wird. Ein anstrengender Marsch ist aber doch nicht ganz ohne Einfluß auf die Körperwärme in späteren Stunden der Ruhe. Ein Blick auf die Kurventafel lehrt, daß bei der Mehrzahl von uns an den ersten Marschtagen die Unterschiede zwischen Morgen- und Abendtemperatur größer werden. Zum Teil gilt dies auch für die Tage der kleinen, behufs Messung der Atmung ausgeführten Marschübungen am 8. und 9. August. Sehr eigentümlich ist die Wirkung der Märsche auf Waldenburg, bei dem die Abendtemperatur an den Marschtagen nicht unerheblich höher liegt als vorher, dafür aber die Temperatur des folgenden Morgens beinahe $\frac{1}{2}^{\circ}$ niedriger als sonst. Dies spricht sich in den starken Zacken der Kurve an den Marschtagen aus. Am 15. August, dem zweiten Marschtage, ist die Morgen-temperatur 36.0 , die Abendtemperatur 37.8° C. Bei Müller zeigte sich nach den ersten, mit Respirationsversuchen kombinierten Marschübungen am 10. und 11. August eine Abnahme der Morgentemperaturen; nach dem ersten größeren Marsch hat er wie Waldenburg erhöhte Abendtemperatur, nach späteren Märschen nicht mehr. Ähnliches findet sich bei Kolmer. Bei Caspari ändert sich nach den ersten Marschübungen der Typus der Temperaturkurve, indem die Abendtemperaturen tiefer werden als die Morgentemperaturen.

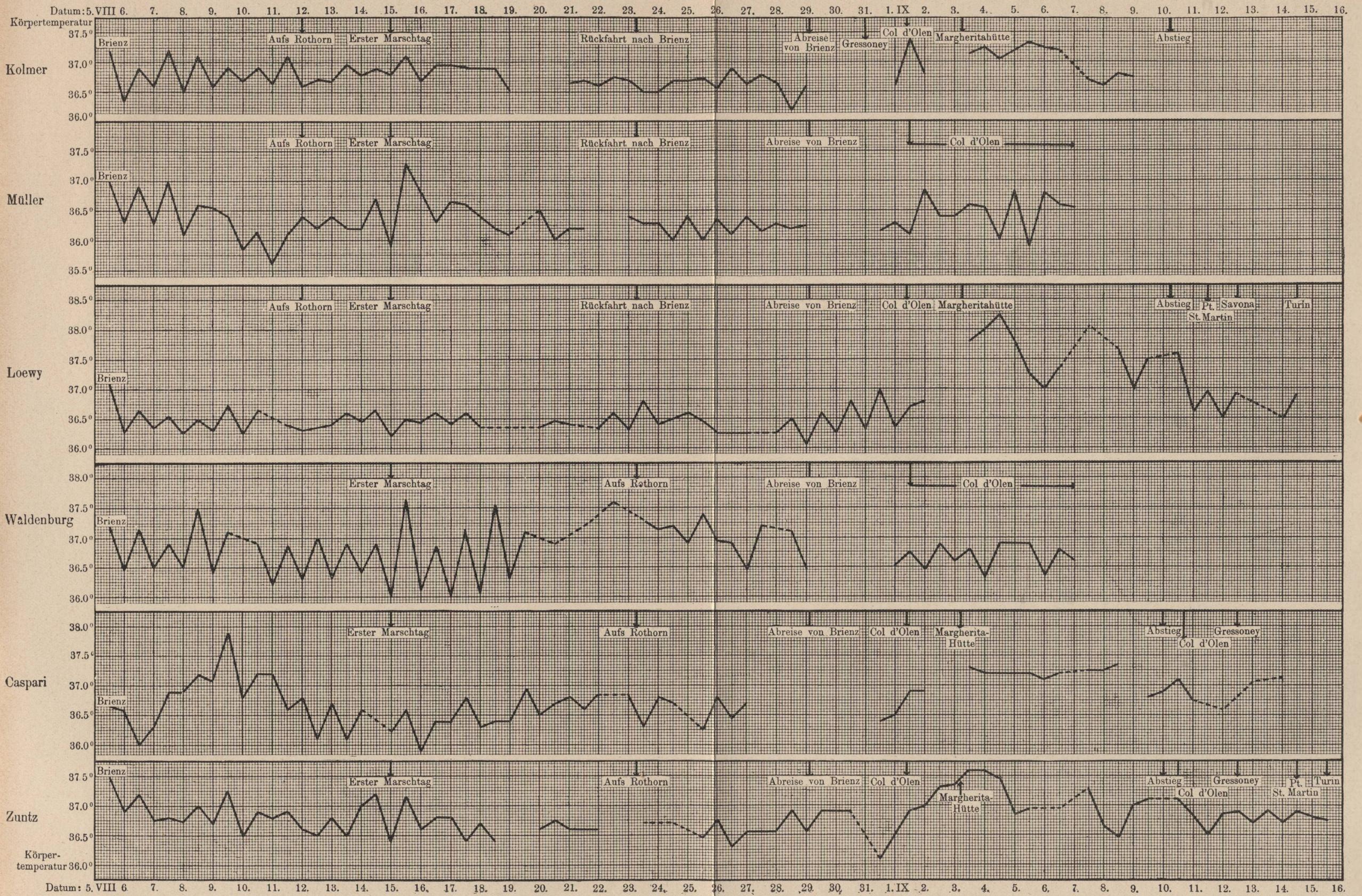
Die hohen Temperaturen, welche wir in Ruhe auf dem Monte Rosa-Gipfel beobachteten, scheinen durch die Anstrengung des Aufstiegs nicht bedingt zu sein, da schon $\frac{3}{4}$ Stunden nach der Ankunft auf der Hütte die Nachwirkung der Marschanstrengung so gut wie vollständig verschwunden war. Es betrug nämlich in diesem Momente die Temperatur bei Loewy 38.0° , d. h. ebensoviel wie am folgenden Morgen, bei Zuntz 37.65° gegen 37.7° C. am anderen Morgen.

Abgesehen von dem lehrreichen Einblick, den uns die Messungen der Körpertemperatur in einen der feinsten Regulationsmechanismen des Körpers gewährt haben, erweiterten sie auch unsere Kenntnis der Einwirkung des Hochgebirges, indem sie zeigten, daß die sonst so konstante Körperwärme durch die Reize des Hochgebirges in individuell verschiedenem Grade bis zu fieberhafter Höhe gesteigert wird. Diese Steigerung geht keineswegs mit der Intensität der Bergkrankheit parallel, da die Krankheitserscheinungen bei Caspari, die Temperatursteigerungen bei Loewy am ausgesprochensten waren.

Die Temperatursteigerung auf den Märschen gab uns Gelegenheit, zu erörtern, daß die im Körper beim Bergauf- und Bergabgehen erzeugten Wärmemengen nicht nach der Größe des Stoffumsatzes zu beurteilen sind.

Literatur.

- 1) Benedict u. Snell: „Körpertemperaturschwankungen usw.“ Pfügers Arch. 90, S. 33.
- 2) Bernard Cl.: „Leçons de physiologie opératoire“. Paris 1879, p. 460 ff.
- 2a) Hiller: „Der Hitzschlag auf Märschen“. Berlin, Hirschwald. 1902.



Körpertemperaturen, Morgens und Abends in Betruhe gemessen.

- ³⁾ Johansson: „Tagesschwankungen des Stoffwechsels und der Körpertemperatur“. Skandinav. Archiv f. Physiol. VIII, 1898, S. 85.
- ⁴⁾ Linser und Schmid: „Stoffwechsel bei Hyperthermie“. Deutsches Archiv f. klin. Med. Bd. 79, S. 514. 1904.
- ⁵⁾ Mosso Angelo: „Der Mensch in den Hochalpen“. Kap. IX.
- ⁶⁾ Mosso Ugolino: Arch. ital. de Biologie VIII, S. 177, 1887.
- ⁷⁾ Pflüger: „Wärme und Oxydation der lebendigen Materie“, sein Archiv 18, S. 247.
- ⁸⁾ Rosenthal: „Physiologie der tierischen Wärme“. Hermanns Handbuch d. Physiologie Bd. IV, Teil 2.
- ⁹⁾ Winternitz: „Einfluß heißer Bäder“. Klinisches Jahrbuch VII, 1900.





Abstieg von der Margherita-Hütte.

Kapitel XVI.

Bekleidung und hygienische Ausrüstung des Bergsteigers.

Wer in die luftigen Höhen hinaufsteigen will, wer gar die Regionen des ewigen Schnees zum Wanderziele hat, denkt naturgemäß in erster Linie an Schutz gegen die Kälte und wird sich dementsprechend ausrüsten. Aber nicht gegen die Kälte allein muß der Bergfahrer gewappnet sein, selbst auf dem Gletscher ist es vielmehr der rasche Wechsel von eisiger Kälte, vielleicht bis zum Unerträglichen gesteigert durch sausenden Sturm und Wolken von Eisnadeln, zu sengender Hitze im Sonnenbrande. Conway schildert in der Beschreibung seiner Himalajareisen die aufregende und erschöpfende Wirkung dieser raschen Temperaturwechsel sehr anschaulich und schiebt ihnen einen großen Teil der Höhenbeschwerden zu, vielleicht mehr, als ihnen neben dem dominierenden Einfluß des Sauerstoffmangels zukommt.

Anforderungen an die Kleidung des Bergsteigers. In hohem Maße macht sich der Temperaturwechsel bei der üblichen Art des Wanderns in unseren Alpen geltend, wo man oft an jedem Tage zwischen Winterkälte auf den Gipfeln und brütender Sommerschwüle in den Tälern wechselt. Die Hitze wird zum schweren Hindernis des energischen Steigens, die Schweißdrüsen müssen bis zur äußersten Grenze ihrer Leistungsfähigkeit tätig sein, um die große, im Körper bei der Muskel-

arbeit produzierte Wärmemenge durch Wasserverdunstung zu entfernen. — Aus diesen Umständen resultiert die Schwierigkeit, die Kleidung des Bergsteigers allen Bedürfnissen anzupassen. Jetzt sollen die Kleider wirken wie die des Polarfahrers, sie sollen beim Marsche, mehr aber noch während der Rast, gegen Wärmeverlust schützen, wenige Stunden später wäre dagegen der Tropenanzug der angemessene und würde vielleicht noch als unnütz wärmehaltend empfunden.

Sehr drastisch beschreibt Scheuchzer, der in Kapitel I ausführlicher zitierte Pionier der Hochgebirgsfreude, die Notwendigkeit des Schutzes gegen die Kälte, vor allem bei den winterlichen Reisen über die Alpenpässe. Er erzählt von abgefrorenen Fingern und Zehen, von Nasenspitzen, die dem Wanderer beim Schneuzen ins Schnupftuch fallen, von der Wiedererweckung in der Kälte erstarrter Menschen durch Abreiben mit Schnee, durch kurze Bäder in kaltem Wasser. Mit vielfachen Lagen Papiers soll sich der Wanderer Brust und Bauch bedecken zur Abwehr der Kälte.

Der Schutz der peripheren Körperteile, der Finger und Zehen, der Ohren, Nase usw., ist ein besonders wichtiges Moment. Dabei muß immer daran gedacht werden, daß auch der beste Wärmeschutz kein absoluter ist. Niemals vermag er eine Abkühlung der Körperteile bis zur Umgebungstemperatur zu verhüten, wenn in ihnen nicht ständig Wärme erzeugt oder, was für die peripheren Teile mit ihrer geringen Wärmeproduktion das wichtigste ist, solche mit dem Blute aus dem Körperinnern zugeführt wird. Darum rückt jede Störung der Blutzirkulation, jede Umschnürung der Extremitäten, jeder feste Druck, die Gefahr des Erfrierens näher. Dieser Gefahr wegen, aber auch schon um die unangenehmen Empfindungen des Prickelns, der eisigen Kälte und des Brennens fernzuhalten, ist jedes feste Strumpfband, sind Hand oder Fuß elastisch zusammendrückende Handschuhe und Strümpfe zu verpönen. Die Handschuhe seien weich und nachgiebig, am besten aus Wolle gestrickt. Nur der Daumen sei getrennt, die übrigen Finger in gemeinschaftlicher Hülle, so daß sie sich gegenseitig wärmen und frei bewegt werden können. Die Notwendigkeit, beim Klettern in Felsen die einzelnen Finger gesondert zu gebrauchen, kann zu einem Abweichen von dieser Regel zwingen. Die Handschuhe seien durch gute Imprägnierung gegen das Eindringen der Nässe und damit gegen die Gefahr, brettartig steif zu frieren, geschützt.

Ähnliche Prinzipien gelten für das Schuhzeug. Die Zehen müssen im Vorderteil des Schuhs frei gebeugt und gestreckt werden können, der für sicheres Gehen und Vermeiden des Vorstoßens der Zehen beim Bergabgehen unentbehrliche feste Sitz des Schuhs muß durch gute Anpassung an die Form der mittleren Partie des Fußes gesichert sein. In dieser Partie kann auch der Druck des Schuhs die Zirkulation nicht stören, weil die für die Zehen wichtigsten Blutgefäße hier im Fettpolster der Sohle durch einen straffen Bandapparat (*Aponeurosis plantaris*) gegen Druck von unten geschützt sind. Der feste Sitz des Schuhs in Verbindung mit einer nicht zu hohen und nicht zu steifen Fersenkappe verhütet auch das sonst nicht seltene Wundreiben der Haut über der Achillessehne. Jeder stetige Druck ist um so bedenklicher, weil er mit der Kälte zusammenwirkt, um die Empfindungsnerve zu lähmen, jene Warner, die uns durch den Schmerz rechtzeitig an die Gefahr erinnern. Sind erst die durch

Kälte erzeugten schmerzhaften Empfindungen vorüber, so ist bei fortdauernder Kälte- einwirkung die Gefahr des Erfrierens groß. Das gilt wie für einzelne Körperteile, so auch für den Gesamtorganismus. Hat erst die Kälte zu einem Betäubungs- zustande geführt, hat man erst der durch sie erzeugten Schlagsucht nachgegeben, dann ist man dem Erfrierungstode rettungslos verfallen, falls nicht rechtzeitig Hilfe von außen kommt. Sehr erhöht wird diese Gefahr in Höhen, in welchen der Sauerstoffmangel bereits intensivere Wirkungen entfaltet. Die Erfahrungen der Luftschiffer haben uns gelehrt, daß der Sauerstoffmangel, indem er ganz all- mählich die Hirntätigkeit erlahmen läßt, in heimtückischster Weise ein Ein- schlafen, aus dem es kein Erwachen mehr gibt, herbeiführen kann. Das größte und wirksamste Gegenmittel gegen die Erfrierungsgefahr ist die Muskeltätigkeit, so lange sie durchführbar ist; so lange noch die Marscharbeit mit ihrer Steigerung der Wärmeproduktion aufs drei- und vierfache andauert, wird die Kälte nicht ge- fährlich. Die größte Gefahr aber bringt die „wärmende“ Schnapsflasche. Ein kräf- tiger Schluck erzeugt behagliches Wärmegefühl durch vermehrten Blutandrang nach der Haut, die erwärmte Haut gibt aber mehr Wärme ab, der Körper verliert von seinem Wärmeverrat. — Von dieser Wirkung des Alkohols hat man vielfach zur Herabsetzung der Temperatur Fiebernder Gebrauch gemacht. Der erhöhte Wärmeverlust, verbunden mit dem Erschlaffungsgefühl und der Schlagsucht, welche reichlicherem Alkoholgenuß bald zu folgen pflegen, beschleunigen den Eintritt jener toddrohenden Lethargie, von der wir vorher sprachen.

Fragen wir nun nach den Mitteln zum Wärmeschutz unseres Körpers, so müssen wir uns erinnern, daß der Wärmeverlust wesentlich auf drei Wegen erfolgt: durch Ausstrahlung von der warmen Körper- resp. Kleideroberfläche an die kalte Umgebung; durch Fortleitung der Wärme von Schicht zu Schicht. Dabei kann die an sich sehr schlecht leitende Luft uns doch erhebliche Wärmemengen entziehen, wenn immer neue Massen an der Oberfläche des Körpers vorbeistreichen, wie bei starkem Winde. Drittens endlich ist die Wasserverdunstung ein Mittel zur Entwärmung; sie wird durch die Absonderung des Schweißes in Gang gebracht, wirkt aber auch ständig an der Oberfläche der Lunge, hier oft als unerwünscht abkühlender Vorgang.

Die Größe der Wärmestrahlung schwankt je nach der Beschaffenheit der ausstrahlenden Oberfläche ganz außerordentlich. Das erhellt am überzeugendsten aus den bekannten Versuchen der Physiker mit dem sog. Leslieschen Würfel, einem mit heißem Wasser gefüllten würfelförmigen Metallkästchen, dessen Wände aus ver- schiedenem Material bestehen. Mißt man die von den einzelnen Flächen dieses Würfels ausgestrahlten Wärmemengen, etwa durch eine thermoelektrische Säule oder durch ein Bolometer (S. 44), so findet man enorme Unterschiede, je nach der Beschaffenheit der Oberfläche. Am wenigsten Wärme strahlt eine hochpolierte Metallfläche aus, am meisten eine rauhe schwarze Schicht, etwa Ruß. Überzieht man den Würfel mit Kleiderstoff, so findet man erheblichen Einfluß der Farbe, weiße Stoffe strahlen am wenigsten, schwarze am meisten Wärme aus. Die Ober- fläche der Tiere ist, soweit nicht andere Rücksichten (Mimicry) ihre Färbung be- stimmen, diesen Verhältnissen angepaßt; fast alle Polartiere haben weißen Pelz, die Tropenbewohner dunkel bis schwarz pigmentierte Haut. Sehr evident tritt dies in

der Färbung der die verschiedenen Zonen bewohnenden Menschenrassen zutage. Wie das Weiß die Ausstrahlung der Körperwärme beschränkt, so auch die Einstrahlung der Wärme von höher temperierten Objekten, z. B. von der Sonne. Darum vertauscht das Polartier im Sommer, wenn ihm die fast ständig über dem Horizont stehende Sonne willkommene Wärme zustrahlt, sein weißes Haarkleid gegen ein dunkles, um von der Sonnenstrahlung profitieren zu können, und der Beduine hängt über seine dunkle Haut ein glattes, weißes Gewand, wenn er sich der Wüstensonne aussetzen muß.

Ein weiteres Moment von großer Wichtigkeit ist der Luftgehalt der Kleidung. Wir hatten schon erwähnt, daß ruhende Luft ein schlechter Wärmeleiter ist. Daher sind es die von den Kleidern festgehaltenen Luftschichten, welche das Warmhalten in erster Linie bedingen. Das Pelz- und Federkleid der Tiere verdankt seine Wirksamkeit als Wärmeschutz nicht den Eigenschaften der Haare und Federn als solcher, vielmehr der in feinsten Verteilung zwischen ihnen vorhandenen Luft. So sind auch besondere Einrichtungen zur Festhaltung dieser Luftmassen getroffen. Sie könnten durch Wasser verdrängt werden, wenn ein starker Regen die Haut der Tiere durchnäßt. Als Schutz gegen diese Durchnässung sind die Haare und Federn mit einer fettartigen Oberflächenschicht überzogen, welche eine Benetzung verhindert und das Regenwasser in Tropfen abfallen läßt. Am vollkommensten funktioniert diese wasserdichte Imprägnierung beim Gefieder der Schwimmvögel, die wir häufig beschäftigt sehen, mit dem Schnabel das fettige Sekret der Bürzeldrüse über ihre Federn zu streichen. Bei den Haaren und Federn spielt auch, wie S. Exner²⁾ gezeigt hat, die Elektrizität eine wichtige Rolle zur Verhütung ihrer gegenseitigen Berührung und zur Erhaltung der Luftwärme zwischen ihnen. Haare und Federn werden durch Reibung ungemein leicht elektrisch. Hierauf beruht ja die bekannte Verwendung des Katzenfells und des Fuchsschwanzes zur Ladung des Elektrophors. Die mit gleichnamiger Elektrizität geladenen Haare und Federchen aber stoßen einander ab, wie man besonders schön an den Haaren eines auf dem Isolierschemel mit dem Konduktor einer Elektrisiermaschine verbundenen Menschen sehen kann.

Die Oberkleidung. Die Kleiderstoffe des Menschen sollen nach dem Vorbilde der natürlichen Bekleidung der Tiere, des Pelzes, hergerichtet sein. Namentlich die äußersten Schichten sollen unbenetzbar sein, das Regenwasser soll an ihnen abgleiten, ohne die innern Schichten zu durchfeuchten und in letzteren soll die Luft ihre wärmehaltende Wirkung entfalten. So wäre also die Aufgabe des Wärmeschutzes vollkommen zu erfüllen durch leichte, luftführende Kleiderstoffe (Flanell, Trikot), welche von einem wasserdichten Außenstoff, etwa einem Gummimantel, bedeckt wären. Ein solcher Gummimantel aber macht die Kleidung unfähig, ihrer zweiten, ebenso wichtigen Aufgabe gerecht zu werden, für die Entfernung überschüssig im Körper gebildeter Wärme zu sorgen. — Diese Wärmeabgabe geschieht ja im wesentlichen durch Verdunstung des von den Schweißdrüsen auf die Hautoberfläche ergossenen Wassers. Die Verdunstung setzt stetige Erneuerung der mit der Haut in Berührung stehenden Luft voraus, d. h. Ersatz der mit Wasserdampf

gesättigten Luftschichten durch trockene Luft, was natürlich nur möglich ist, wenn die äußeren Kleiderlagen porös sind. Kombination von Porosität mit Undurchlässigkeit für tropfbares Wasser, also Unbenetzbarkeit — das sind die Eigenschaften, welche die äußere Kleiderlage besitzen muß, um ihre Doppelaufgabe zu erfüllen: Erhaltung einer nicht zu stark bewegten, den Wärmeschutz sichernden Luftschicht auf der Haut und in den angrenzenden Kleiderlagen, solange es gilt, die Wärmeverluste zu beschränken, und hinreichende Erneuerung der in den Kleidern eingeschlossenen Luft, damit der Schweiß in dem Maße, wie er gebildet wird, verdunsten kann. Mit seiner Ansammlung in den Kleidern ist ein doppelter Nachteil verbunden (vgl. Seite 383). Zunächst wird die Kühlung des arbeitenden Körpers unvollkommen, indem die zur Verdunstung erforderliche Wärmemenge nicht mehr allein der Haut, sondern auch der äußeren Luft entnommen wird. Nachher aber, wenn der Körper ruht, wenn die Wärmeproduktion sinkt und also keine Verdunstung mehr stattfinden soll, fahren die in den Kleidern angesammelten Wassermengen fort zu verdunsten. Sie entziehen dadurch dem Körper Wärme zu einer Zeit, wo er sie nicht verlieren darf, und veranlassen die bekannten lästigen Frostschauer, die wir immer empfinden, wenn wir mit durchnässten Kleidern ruhen. Diese Abkühlung wird dadurch besonders empfindlich, daß die Nässe aus den äußeren Kleiderschichten immer wieder ins Hemd zurückwandert, in dem Maße, wie Wasser an der warmen Hautoberfläche verdunstet.

Zu dem Wärmeverlust durch Verdunstung kommt aber noch der durch die erhöhte Wärmeleitung der durchnässten Kleider. Das die Poren an Stelle der Luft erfüllende Wasser ist ein viel besserer Wärmeleiter als die Luft. Es sei nur daran erinnert, daß man nackt in Luft von 25° C. sich lange Zeit behaglich fühlt, dagegen in Wasser selbst von 30° C. so viel Wärme verliert, daß bald Frösteln eintritt.

Die Bedeutung der relativ ruhenden, aber doch in stetem, langsamem Wechsel begriffenen Luft zwischen den Kleiderschichten wird sehr schön durch die bekannten Vorzüge der Häuser mit porösen Wänden und porösem Dach illustriert. In einem aus Luftziegeln erbauten und mit Stroh gedeckten Hause herrscht wegen der lebhaften Ventilation stets frische Luft. Dabei fühlt man sich in ihm im Winter bei geringer Heizung warm, im Sommer stets kühl, weil die das Baumaterial durchsetzenden Luftschichten nur langsam einen Ausgleich mit der äußeren Temperatur gestatten, trotzdem sie in ständiger Bewegung begriffen sind.

Von der Oberkleidung verlangen wir, wie schon angedeutet, daß sie der Luft freien Durchtritt zu den inneren Schichten gewährt, daß sie andererseits wenig Neigung zeigt, sich mit Schweiß vollzusaugen, und daß sie endlich die äußere Nässe, den Regen zurückhält; diese scheinbar einen Widerspruch involvierenden Eigenschaften zu vereinigen, ermöglicht die wasserdichte Imprägnierung. Eine gute Imprägnierung sollte, indem sie nur den Gewebsfasern einen Überzug der das Wasser abstoßenden Substanz gibt, die Poren des Stoffes offen lassen. Man kann sich leicht von der Güte der Imprägnierung überzeugen, indem man einem Stück des Stoffes die Form einer Mulde gibt und Wasser darauf gießt, dasselbe darf auch in längerer Zeit nicht durchsickern. Höherem Drucke des Wassers kann freilich auch

die beste Imprägnierung nicht standhalten. Sobald er hoch genug ist, um die Oberflächenspannung der Wassertropfen zu überwinden, sobald er die Tropfen in die Form dünner Fäden vom Durchmesser der Poren des Stoffes pressen kann, dringt die Flüssigkeit durch den imprägnierten Stoff hindurch. Daher pflegt die Imprägnierung gegen mit großer Gewalt auffallenden Regen, gegen vom Sturme gepeitschte Wassertropfen auf die Dauer nicht zu schützen. Es sei noch daran erinnert, daß die den Wasserschutz gewährenden Überzüge der Gewebsfaser allmählich verloren gehen. Man sollte daher die Imprägnierung, wenigstens an den leicht zu bearbeitenden Mänteln, alle Jahre erneuern lassen.

Die Verfahren, welche gewöhnlich benutzt werden, um den Kleidern ein gefälliges Aussehen zu geben, das Plätten und Appretieren, verdrängen den größten Teil der Luft aus den Poren, ohne jedoch die Benetzbarkeit der Stoffe zu mindern. Noch nachteiliger wirken die Prozeduren auf die so wichtige Luftdurchgängigkeit, indem sie die Poren zusammenpressen und verkleistern. Sie sind daher in hohem Maße unzweckmäßig und sollten für die Kleider des Touristen wenigstens streng verpönt sein.

Die für die Verdunstung des Schweißes so wichtige Porosität der Stoffe kann bei heftigem Winde unangenehm werden; man fühlt den durch die zu großen Poren pfeifenden Wind als erkältend; bei sehr niedriger Lufttemperatur wird der so entstehende Wärmeverlust recht empfindlich. Die zweckmäßige Mitte halten die dickeren und dabei leichten, also viel Luft beherbergenden Stoffe aus Loden und ähnlichen Geweben. Je fester sie sind, also je weniger porös bei gegebener Dicke, desto dauerhafter pflegen sie zu sein. Man wird daher zwischen den Anforderungen an Solidität und Haltbarkeit, welche der Tourist an seine Kleidung stellen muß, und dem Wunsche, dieselbe so leicht und luftdurchlässig wie möglich zu haben, einen Kompromiß schließen müssen. Solch schwere Stoffe, wie sie die Führer zu tragen pflegen, belasten den nicht allzu kräftigen Touristen übermäßig und lassen ihn bei Wanderungen durch die erschwerte Hautausdünstung leiden.

Als zweckmäßigste Tracht erscheint uns die gut verschließbare Lodenjoppe und die bis unter das Knie reichende Hose aus gleichem Stoff. Eine Weste zu tragen, erscheint uns unzweckmäßig. Was sie zur Wärmehaltung beiträgt, läßt sich durch das Unterzeug leicht ersetzen. Besonders zu widerraten ist die Verwendung dichtgewebter Futterstoffe als Rückenteil der Weste und zur Abfütterung einzelner Teile des Rockes. Sie erschweren die Ventilation außerordentlich, um so mehr, als sie sich beim Schwitzen in kurzer Zeit durchnässen. Sie bewirken infolgedessen nachher in der Ruhe unangenehme Abkühlung. Wird eine Weste gewünscht, so bestehe auch sie in allen Teilen aus porösem, locker gewebtem Material. —

Von großer Bedeutung ist es, das Maß des Luftzutritts zu den Unterkleidern und damit die Verdunstung des Schweißes leicht regulieren zu können. Bei Wärme setzt das vollständige Öffnen der Joppe einen großen Teil des Unterzeuges direkt dem Luftzuge aus, erhebliche Luftmengen können durch die wie Kamine wirkenden Ärmel und Hosenbeine an der Körperoberfläche vorbeigeführt werden, wenn der dort eintretenden Luft am Halse freier Austritt ermöglicht ist. Ärmel und Hosen-

beine sollten daher, was ja auch sonst der Bequemlichkeit entspricht, ebenso wie der Halskragen der Joppe, weit sein, aber mit Schnallen oder ähnlichen Vorrichtungen versehen, welche ein bequemes und ziemlich luftdichtes Abschließen gestatten, sobald man die Abkühlung nicht mehr wünscht.

Eine unentbehrliche Ergänzung erfährt der Anzug durch den Mantel. Radmantel, Poncho, Havelock mit Kragen sind die zweckmäßigsten Formen. Da der Mantel nur bei kühlem Wetter und im Regen benutzt wird, ist seine Undurchlässigkeit für Wasser notwendig. Doch sollte er porös sein. Auch beim Gehen im Regen ist oft die Abkühlung durch Leitung und Strahlung nicht ausreichend. Die Schweißdrüsen treten in Tätigkeit, der Schweiß muß verdampfen können; unter einem Gummimantel hat man dann die Empfindung lähmender Schwüle. Immerhin kann der Mantel dichter gewebt sein als Joppe und Hose. Er muß ferner so geschlossen werden können, daß er im Sturm nicht flattert, und muß den Armen die nötige Freiheit beim Klettern, beim Handhaben von Stock und Pickel lassen. Er sollte auch nicht tiefer als zum Knie reichen. Erwünscht ist, daß er mit Kapuze zum Schutze des Kopfes und speziell der Ohren versehen wird.

Für die Wahl der Farbe der Oberkleider und des Mantels wurden die Gesichtspunkte schon entwickelt. Eine helle Farbe, etwa grau, ist am zweckmäßigsten, weil sie am wenigsten die sengenden Sonnenstrahlen absorbiert und andererseits auch am wenigsten Wärme ausstrahlt, daher bei klarer, kalter Luft die Körperwärme am besten konserviert.

Das Unterzeug. Das Unterzeug soll den Körper in der Ruhe vor Unterkühlung schützen, andererseits aber bei Arbeit eine ausgiebige Kühlung durch Wasserverdunstung ermöglichen. Die Verdunstung muß dicht an der Hautoberfläche erfolgen, dabei aber soll das Unterzeug möglichst wenig Wasser beherbergen, damit die Abkühlung schnell aufhört, wenn die Schweißabsonderung zu Ende ist.

Man hat bei den Erörterungen über die beste Art des Unterzeuges meist in erster Linie das Fasermaterial berücksichtigt, ob Wolle, Leinen, Baumwolle oder Seide. Ganz bedeutungslos ist ja das Material nicht, aber viel wesentlicher ist doch die Webweise. — Von Besonderheiten des Materials ist zunächst sein verschiedenes Bindungsvermögen für Wasser beachtenswert. Die von 100 g absolut trockener Stoffe in mit Wasserdampf gesättigter Luft aufgenommenen Wassermengen betragen nach Rubner

- bei Wolle 25—28 g,
- „ Leinen ähnliche, z. T. noch höhere Werte,
- „ Seide 16.5 g,
- „ Baumwolle 11.6 g.

Durch die Wasseraufnahme schwellen die Fasern, der zwischen ihnen vorhandene Luftraum wird entsprechend verengt. Das macht bei dem großen Porenvolum der Flanell- und Trikotstoffe wenig aus, während die ohnedies geringe Porosität der glatten Gewebe stark beeinträchtigt wird. Auch die verschiedene Leitfähigkeit der Gewebsfasern für Wärme spielt bei ihrer Verwendung zu Unterkleidern

eine sekundäre Rolle; wenn auch Seide 3 mal, Baumwolle und Leinen gar 5 mal besser die Wärme leiten als Wolle, so bedeuten selbst diese Unterschiede nur wenig gegenüber denen der Webweise. Letztere bedingt, daß im Flanell $\frac{9}{10}$ des Raumes, in Trikotstoffen nahezu $\frac{4}{5}$ durch Luft eingenommen wird, während die Luftporen in glatten Geweben immer noch fast die Hälfte ausmachen. Da nun Luft die Wärme noch 6 mal schlechter leitet als Wolle, ist der Luftgehalt für die Wärmeleitung der Gewebe entscheidend. Bei der Wichtigkeit des Wärmeschutzes im Hochgebirge sollte man dort nur luftreiche Gewebe, also Flanell oder Trikot, tragen. Mit der Dicke nimmt selbstverständlich der Wärmeschutz fast proportional zu. Je höhere Regionen man zu besuchen gedenkt, je kühler die Jahreszeit ist, desto dicker sollte der Stoff des Unterzeugs sein. Sehr empfehlenswert ist es, beim Eintritt in kältere Regionen doppelte Unterkleider anzulegen.

Der Aufgabe, nächst der Haut eine wärmehaltende ruhende Luftschicht zu schaffen, dient das Tragen von Unterjacken aus sog. Netzstoff unter dem gewöhnlichen Hemde. Man hat wohl bei Einführung dieser in ihrer Webweise an engmaschige Fischnetze erinnernden Stoffe in erster Linie daran gedacht, das Ankleben des feuchten Hemdes an der Haut zu verhindern. In der Tat beugt man so bis zu einem gewissen Grade dem dadurch bedingten lästigen Kältegefühl vor und erhöht den Wärmeschutz durch die zwischen Hemd und Haut gelagerte Luftschicht. Sobald aber eine lebhafte Schweißverdunstung zur Kühlung des Körpers gefordert wird, ist es unzuweckmäßig, wenn das über dem Netzhemd getragene Oberhemd aus dichtem glattem Gewebe besteht, vielleicht gar stellenweise gestärkt und dadurch in seiner Durchlässigkeit noch mehr reduziert ist. In diesem Falle muß das Unterzeug, wie die Oberkleidung, sehr porös sein, und es muß diese Porosität auch möglichst bewahren, wenn es mit Schweiß benetzt ist. Diese Aufgabe erfüllen am besten die flanell- oder trikotartig gewebten Stoffe, einerlei ob sie aus Wolle, Baumwolle oder aus Seide hergestellt sind. Leinen scheint sich für diese Webweise nicht recht zu eignen.

Als ein Vorzug der Wollstoffe ist es zu bezeichnen, daß die feinen, steifen, über das Niveau des Gewebes hervorragenden Härchen das Ankleben an der Haut verhindern, also ähnlich wirken wie die zwischen Haut und Hemd eingeschobenen Netzjacken. Eben diese Härchen sind aber auch Ursache des Juckens, welches vielen Menschen mit empfindlicher Haut das Tragen von wollenem Unterzeug zur Pein macht.

Man hat es vielfach als Vorzug der Wolle gerühmt, daß sie die Feuchtigkeit rascher nach außen leitet als Baumwolle. Wir können hierin keinen unbedingten Vorteil sehen. Seite 382 haben wir auseinandergesetzt, daß der Schweiß seinen Zweck nur dann ganz erfüllt, wenn er auf der Haut verdunstet, daß deshalb seine schnelle Überführung in die Oberkleidung als ein Nachteil zu bezeichnen ist.

Die mehrfach zitierten Versuche von Schumburg und Zuntz ließen die Mißstände des schnellen Filtrierens des Schweißes in die Oberkleider scharf hervortreten. Dies gab Anlaß zu Versuchen, das Unterzeug derart zu gestalten, daß es die Verdunstung auf der Haut begünstigt, die Wanderung des Schweißes in die äußeren Kleiderschichten erschwert.

Als Stoff zu den Hemden und Unterhosen wurde ein möglichst poröses, nur durch einzelne Fäden verknüpftes Doppelgewebe verwendet. Die Fäden, aus welchen die äußere Schicht besteht, sind vor dem Verweben imprägniert und dadurch unbenetzbar gemacht, die der Haut anliegende innere Schicht ist möglichst hygroskopisch. Hierdurch wird der Schweiß unmittelbar an der Haut zurückgehalten und kann dort, da die poröse äußere Schicht reichlich Luft zutreten läßt, verdunsten. Die ganze Verdunstungskälte kommt so der Abkühlung der Haut zugute. Bedingung hierfür ist freilich, daß auch die Oberkleider recht durchlässig für Luft sind, also, wie früher gesagt, aus porös wasserdichtem Material bestehen.

Unter Leitung von Bischoff und Zuntz hat Dr. Dreist derartige Unterzeuge genauer untersucht und zwar sowohl im praktischen Gebrauch als durch Messungen im Laboratorium. Die praktische Erprobung erfolgte gelegentlich eines militärischen Reitkurses, an welchem acht junge Männer teilnahmen, von denen immer die eine Hälfte ihr gewohntes Unterzeug, die andere das Versuchsmaterial trug. Hierbei zeigte sich, daß die Imprägnierung den Übertritt von Wasser in die Oberkleider, der ja zum Teil in Dampfform stattfindet, nicht verhindern konnte, daß sie ihn aber beschränkte. In einigen Fällen ließ sich auch durch Bestimmung der Perspiration feststellen, daß die Schweißabsonderung infolge der besseren Kühlung der Körperoberfläche eingeschränkt wurde. Nach dem Reiten wurde die durchfeuchtete Kleidung nicht gewechselt. Es zeigte sich, daß Frösteln beim Tragen der präparierten Wäsche ausblieb, während es bei dem üblichen Unterzeug oft stundenlang anhielt und so stark war, daß schließlich doch ein Wechsel der Wäsche nicht umgangen werden konnte. Die Imprägnierung verhindert eben den Rücktritt der in den Oberkleidern befindlichen Feuchtigkeit nach innen. Außen verdunstend kann aber das Wasser, wie früher erörtert, dem Körper nur wenig Wärme entziehen. Dieses Verhalten ist gerade für den Touristen im Hochgebirge von besonderer Bedeutung. Man denke nur an das Rasten auf windumtosten Gipfeln nach anstrengendem Aufstieg.

Die experimentelle Untersuchung geschah nach einem von Krieger zuerst angewendeten Verfahren. Mit warmem Wasser gefüllte Metallzylinder werden mit den zu untersuchenden Kleidungsstoffen umhüllt und zwar mit trockenen oder nassen, je nachdem man den Wärmeschutz durch trockene oder nasse Kleidung messen will. Um auch die Wirkung des Windes nachzunehmen, setzt man die in verschiedener Art bekleideten Zylinder auf eine Drehscheibe, durch deren Umdrehung man jeden Grad des Windes von 1—30 m Geschwindigkeit erzeugen kann. Man kann nach dieser Methode mit Sicherheit nachweisen, welchen erheblichen Einfluß der Ort der Wasserverdunstung auf die Kühlung hat, wieviel stärker sie ist, wenn die unmittelbar dem Zylinder anliegende, als wenn die äußere Lage benetzt ist. Ferner kann man leicht zeigen, daß bei Durchnässung der äußeren Kleiderschichten die Abkühlung eine wesentlich geringere ist, wenn der Zylinderwand statt gewöhnlichem Hemdenstoff imprägnierter anliegt. So zeigt das Experiment die stärkere Wirkung der Verdunstung dicht an der zu kühlenden Oberfläche und den Schutz gegen übermäßige Abkühlung des Körpers bei Durchnässung der Oberkleider. Der Schutz wird sich natürlich in gleicher Weise geltend machen, ob die Durchnässung von Schweiß oder von Regen herrührt.

Fußbekleidung. Von besonderer Wichtigkeit ist der Schutz der Füße gegen die eindringende Nässe bei langen Schneewanderungen. Die anzuwendenden Maßregeln, gute Fettung der Schuhe, Einfetten der Außenseite der Wollstrümpfe mit etwas Lanolin oder Vaseline, gut passende, dehnbare und wohl imprägnierte Gamaschen, entweder aus sehr weichem sämischen Leder oder wohl besser aus grober Wolle gestrickt, sind allbekannt. Auch die Wickelgamaschen bewähren sich bei sorgfältiger Anlegung recht gut. Weniger empfehlenswert erscheinen uns die vielgebräuchlichen Gamaschen aus Segeltuch. — Von der Leistungsfähigkeit der Füße hängt so sehr

Erfolg und Genuß jeder Bergwanderung ab, daß wir ihrer Pflege noch besonders gedenken müssen. In erster Linie gilt es Wundlaufen, Blasenbildung und ähnliche Schädigungen der Fußhaut zu vermeiden. Hierzu ist glatter Sitz der Strümpfe, Ausschaltung jeden Druckes durch den Schuh, jeden Rutschens des Fußes im Stiefel notwendig. Ein empfindliches Nervensystem ist der beste Schutz; man beachte jede Druckempfindung, jede unangenehme Reibung und beseitige die Ursache sofort, dann wird der Fuß immer leistungsfähig bleiben. Beim Bergabgehen muß der Schuh fester geschnürt sein als bergauf, um das schmerzhaft Anstoßen der Zehen gegen das Vorderende des Schuhs zu vermeiden. Man scheue nicht die geringe Mühe, den Schuh beim Beginn des An- und Abstieges lockerer oder fester zu schnüren.

Bei vielen Menschen bewirkt übermäßige Schweißabsonderung am Fuße Erweichung der Oberhaut und veranlaßt so die Gefahr des Wundlaufens. Man kann durch systematische Behandlung des Fußes die Schweißabsonderung beschränken und durch zweckmäßige Maßnahmen die schädlichen Wirkungen des Schweißes verhindern. In ersterem Sinne wirken regelmäßige kühle Waschungen, Abreibungen der Füße mit Branntwein, Seifenspiritus und ähnlichen Mitteln, sowie Förderung des Blutumlaufs durch systematische Massage, Bepudern des Fußes, besonders auch der Spalten zwischen den Zehen mit Salizylpuder oder mit dem von einem von uns besonders wirksam befundenen Tannoformstreupulver. Die namentlich beim Militär öfter geübte Anwendung stärkerer Säuren in Form von Fußbädern ist zwar sehr wirksam, aber doch recht eingreifend und sollte daher keinesfalls kurz vor Antritt einer Tour zur Anwendung kommen.

Man kann den Nachteilen des Schweißfußes dadurch begegnen, daß man gut aufsaugende Wollstrümpfe und möglichst poröse Schuhe ev. mit wasseraufsaugenden, leicht zu wechselnden Einlegesohlen verwendet. Man hat auch an den Schuhen besondere Ventilationseinrichtungen angebracht. Durch feine am Absatz befindliche Messingröhrchen sollte bei jedem Auftreten die Luft zwischen Sohle und Fuß ausgepreßt und durch frische ersetzt werden. Es wird schwer sein, bei derartigen Einrichtungen das Eindringen von Wasser bei feuchtem Wetter und Schneewanderungen zu vermeiden. Die Pflege des Fußes durch die erstgenannten Maßnahmen wird daher das Wesentlichste bleiben.

Es sei noch daran erinnert, daß Plattfüße besonders stark zum Schwitzen neigen; hier wird also die Verbesserung der Fußstellung durch geeignete Einlagen im Schuh das Übel lindern.

Daß genügende Dicke der Sohlen und eine zweckmäßige Nagelung, indem sie die Unterfläche des Fußes gegen schmerzhaften Druck des steinigen Bodens schützen, wesentlich zur Schonung des Fußes beitragen, ist selbstverständlich. Der durch die Nagelung bewirkte sichere Tritt mindert aber auch die Arbeit des Gehens erheblich, spart so Kräfte und Schweißtropfen. Andererseits wird übermäßig schweres Schuhzeug die Arbeit des Gehens nicht unerheblich vergrößern.

Sehr störend, und namentlich bei fettleibigen und stark schwitzenden Personen nicht selten, ist das Wundlaufen in den Leisten- und Gesäßfalten, der sog. „Wolf“. Häufiges Waschen, Einfetten der gefährdeten Stellen vor Antritt des Marsches wird dem Übel vorbeugen und das Tragen besonderer, die Reibung des Unterzeugs

ausschließender Bandagen, welche als „Wolfbinden“ empfohlen werden, überflüssig machen.

Schutz gegen die Sonnenstrahlen. Die Gewohnheit vieler Bergbewohner, die Gegend der Knie nackt zu lassen, empfiehlt sich nicht für den anders gewöhnten Touristen. Sonst bedeckt gehaltene Körperteile sind gegen die S. 48 besprochenen chemischen Wirkungen des Sonnenlichts besonders empfindlich. Werden solche Stellen auch nur wenige Stunden von grellem Sonnenlicht, dessen Wirkung durch den Reflex von Schnee und Eis verstärkt wird, getroffen, so kann es zur heftigsten Hautentzündung kommen. Besonders intensiv wird diese Wirkung, wenn die entblößte Haut von Schweißperlen bedeckt ist. Jedes Wasserkügelchen wirkt dann wie ein Brennglas. — Die Notwendigkeit, bei Gletscherwanderungen die Haut mit einer Schicht schwer schmelzbaren Fettes zu bedecken, ist allbekannt. Dasselbe empfiehlt sich aber auch, wenn die Haut empfindlich ist, schon bei jedem längeren Aufenthalt in der Sonne in Höhen über 1500 m. Zweckmäßig ist es, dem Fett eine rote oder gelbe Farbe zuzusetzen (etwa Sudan oder Curcuma), nicht nur aus kosmetischen Gründen, sondern vor allem damit die chemisch wirksamen Strahlen besser von der Haut abgehalten werden. Notwendig ist es, die Fettschicht gleichmäßig an allen der Sonne ausgesetzten Stellen aufzutragen; empfindlich pflegt sich namentlich die Vernachlässigung der Ohren durch schmerzhaftes Entzündung zu rächen. Wer eine sehr reizbare Haut besitzt, tut gut, in den höchsten Alpenregionen eine locker dem Gesicht anliegende Maske zu tragen, wie es bei Italienern vielfach üblich ist (vgl. Titelbild S. 408); oder auch rote resp. grüne Schleier, welche Gesicht und Nacken bedecken. — Es sei noch daran erinnert, daß Waschen des Gesichts und der Hände kurz vor Antritt einer größeren Wanderung bedenklich ist, weil es die Empfänglichkeit der Haut für die Reize der Kälte und der Besonnung steigert.

Daß die Augen besonderen Schutzes gegen den blendenden Reflex des Schnees bedürfen, wurde schon S. 49 ausgeführt. Am sichersten wirken Brillen, welche mit gepolstertem Drahtnetz dem Rande der Augenhöhlen anliegen und so auch seitliches Licht abblenden. Die vielfach benutzten blauen oder grünen Gläser ändern den Farbencharakter des Landschaftsbildes, während rauchgraue denselben unverändert lassen und deshalb empfehlenswerter sind.

Kopfbedeckung. Nicht unwichtig ist die Art der Kopfbedeckung. Dunkle Hüte erwärmen sich besonders in größeren Höhen durch die Sonnenstrahlen derart, daß Kopfschmerzen entstehen. Hellgraue oder weiße Farbe der Hüte ist darum empfehlenswert. Die Krempe muß den Nacken und nach Möglichkeit auch das Gesicht vor direkten Sonnenstrahlen schützen. Der Hut soll die Ausdünstung der Kopfhaut nicht hindern, er muß deshalb aus porösem Stoff bestehen. Zweckmäßig ist eine Ventilationsöffnung. Das Material des Hutes sollte wasserdicht imprägniert sein; ein mit Regenwasser durchtränkter Filzhut belastet den Kopf in unangenehmer Weise. Die eingedrückte Oberfläche des wasserdichten Hutes tut manchmal gute Dienste als Trinkgefäß; auch schafft sie, mit etwas Schnee oder Gletschereis bedeckt, dem Kopfe angenehme Kühlung. In tieferen Regionen leistet

dies ein unter den Hut gelegtes nasses Taschentuch, das zugleich als Schutz des Nackens gegen Sonnenbrand dienen kann.

Gepäck. Von erheblicher Bedeutung für die Leistungsfähigkeit des Touristen und damit für den Genuß der Gebirgsreisen ist das Gepäck. Die Kosten der Wanderung werden wesentlich vermindert, die Unabhängigkeit und Beweglichkeit des Touristen erhöht, wenn er das Notwendige an Toilettegegenständen und Proviant selbst trägt. Andererseits vermehrt jedes Kilogramm Gepäck, das wir uns aufbürden, die Arbeit unserer Muskeln, läßt uns früher ermüden und mindert die Leistungsfähigkeit. Bei schwächlichen Personen und namentlich im höheren Lebensalter wird es häufig vorkommen, daß wenige Kilogramm sich schon unangenehm bemerkbar machen, und daß ein Genuß der Fußwanderung nur unbelastet möglich ist. Allerdings ist das Gehen mit Gepäck eine Leistung, die in ziemlich kurzer Zeit durch Training sehr vervollkommenet werden kann. Die Untersuchungen von Schumburg und Zuntz haben gelehrt, daß die anfangs sehr erheblich nachteiligen Einwirkungen des Gepäcks auf alle Funktionen des Menschen schon nach wenigen Übungsmärschen sich mindern, so daß dann eine Last von 22 kg und mehr nicht so viel schadet, wie anfangs eine solche von 10 kg. Es stellte sich ferner heraus, daß die Last, wenn sie nur zweckmäßig am Körper angebracht ist, zu ihrer Fortbewegung nicht mehr Energie erfordert, als das gleiche Gewicht der Körpermasse.

Auf zweckmäßige Befestigung der Last am Körper kommt allerdings sehr viel an. Zunächst darf sie natürlich nirgends einen mit der Zeit schmerzhaft werdenden Druck ausüben, zweitens darf die Last die Atmung nicht hindern und drittens muß sie so angebracht sein, daß der Schwerpunkt des Körpers nicht zu sehr verschoben wird. Der Schwerpunkt des Rumpfes liegt senkrecht über der Verbindungslinie der Gelenkköpfe der Oberschenkel, so daß der Körper keine merkliche Neigung zum Fallen nach vorn oder hinten hat; ebenso ist die Last auf beide Beine gleichmäßig verteilt. Dieses Verhältnis darf durch das Gepäck nicht gestört werden. Einseitig getragene Taschen sind deshalb unzweckmäßig; sie erschweren auch die Atmung durch den quer über die vordere Brustwand verlaufenden Tragriemen.

Der immer mehr in Aufnahme kommende Rucksack ist wohl die am wenigsten belästigende Form und, weil er sich viel mehr in die Höhlung des Rückens einpaßt, dem Tornister vorzuziehen. Hierdurch wird ein Teil der Last statt von den Schultern direkt durch den unteren Teil des Rückens getragen. Es entsteht so der weitere Vorteil, daß der Schwerpunkt nur sehr wenig nach hinten verlegt wird, daß also ein geringes, die Atmung noch nicht beengendes Vorbeugen genügt, den Schwerpunkt über der Verbindungslinie der Oberschenkelköpfe zu erhalten. Die Lagerung der breiten Tragriemen über der Schulter ist auch derart, daß der Brustkasten ohne jede Beengung bleibt. Die Fixierung der Schulterblätter nach hinten dürfte sogar geeignet sein, tiefes Atmen zu erleichtern, indem sie den vom Oberarm und Schulterblatt zu den Rippen ziehenden Atemmuskeln einen festeren Ursprungspunkt gibt.

Bergtracht der Damen. Die Zahl der Bergsteigerinnen ist heute so groß, daß ihrer Bekleidung noch besonders gedacht werden muß. Die Prinzipien sind

dieselben wie bei der Männerkleidung. Daß alles, was die freie Beweglichkeit und Biagsamkeit des Körpers hindert, ausgeschlossen bleiben muß, ist selbstverständlich. Nicht nur das Korsett, sondern auch Einschnürung der Taille durch Bänder ist von Übel. Im Winde flatternde Röcke erschweren das Gehen um so mehr, je länger sie sind. Der Rock, welcher bei Kletterpartien natürlich abzulegen ist, sollte keinesfalls unter die Mitte des Unterschenkels reichen, damit er beim Steigen nicht hindert. Bluse und Überbeinkleid sei aus dem für die Männerkleidung empfohlenen, nur vielleicht etwas leichteren Material. Auch die zum Befestigen der Röcke und Hosen dienende Untertaille sollte aus porösem, die Ausdünstung nicht hemmendem Material gefertigt sein. Man Sorge für die Möglichkeit ausreichender Durchlüftung, andererseits aber treffe man Vorsorge, die Kleider bei starkem Wind genügend abschließen zu können. Gegen den heftigen Wind der höheren Regionen und gegen den Regen ist auch das Haar, am besten wohl durch eine am Mantel sitzende, gut schließende Kapuze zu schützen. Die Maßregeln gegen Sonnenbrand sind bei der zarten weiblichen Haut von doppelter Wichtigkeit.

Literatur.

- 1) Dreist: „Einfluß der Unterkleidung auf die Wärmeregulation“. Inaug.-Diss. Berlin 1904.
- 2) S. Exner: „Über die elektrischen Eigenschaften der Haare und Federn“. Pflügers Archiv. Bd. 61, S. 427 und Bd. 63, S. 305.
- 3) Krieger: Zeitschrift f. Biologie. V, 1869.
- 4) Pettenkofer: „Funktion der Kleider“. Zeitschrift f. Biologie. I, 1865.
- 5) Rubner: Lehrbuch der Hygiene. Leipzig u. Wien. 1903.
- 6) Derselbe: „Experimentelle Untersuchungen über Bekleidungs-systeme“. Arch. f. Hyg., Bd. 29 u. 31.
- 7) Schuster: „Verhalten der trockenen Kleidungsstoffe gegenüber dem Wärmedurchgang“. Arch. f. Hygiene. Bd. 8, S. 1. 1888.

Kapitel XVII.

Die Einwirkung des Hochgebirges auf das Nervensystem.

Das Nervensystem beherrscht alle Funktionen unseres Körpers. Atemmechanik, Blutverteilung und Herztätigkeit, Darmbewegungen, Arbeit der Drüsen, all dies wird durch das Nervensystem in Gang gebracht und geregelt. Wir sahen in den vorstehenden Kapiteln wie gewaltig die Reize der Hochgebirgsluft alle Organsysteme beeinflussen, wie sehr unter ihrer Herrschaft die Tätigkeit der Organe in der Höhe von der im Tieflande abweicht. Wir konnten einen großen Teil dieser Wirkungen auf eine Beeinflussung des Nervensystems durch die Höhenluft beziehen, und gerade von der individuell verschieden hochgradigen Erregbarkeit desselben die im Vordergrund der Erscheinungen stehenden individuellen Verschiedenheiten in der Reaktion auf das Höhenklima ableiten.

Hängt demnach die Art und die Intensität, mit der wir auf die Reize des Hochgebirges reagieren, in erheblichem Umfange vom Zustand unserer nervösen Zentralorgane ab, so wirken diese Reize ihrerseits wieder in hohem Maße modifizierend auf das Verhalten des Nervensystems ein. Als charakteristisches Beispiel sei hier nur an die Anpassung an die Höhe, die Akklimatisation, erinnert. Durch zweckmäßige Regelung der Atemtätigkeit oder der Blutverteilung wächst unsere Toleranz gegenüber der Luftverdünnung mit der Dauer der Einwirkung. Ein großer Teil dieser Anpassungsvorgänge ist durch Umstimmungen, d. h. durch Erregbarkeitsänderung in verschiedenen Abschnitten des Nervensystems bedingt.

Derartige Umstimmungen kommen aber nicht nur im Bereich der rein körperlichen Vorgänge zur Geltung, vielmehr in gleicher Art bei den mit Bewußtsein verknüpften Funktionen, von der niedersten Form der Schmerz- und Tastempfindung an bis hinauf zu den reinen Denkprozessen und den höchsten künstlerischen Empfindungen. Diese Leistungen hängen ebenso sehr von der Summe der Sinnesindrücke, welche den Körper treffen, wie von der normalen Durchblutung und Sauerstoffversorgung des Hirns ab. Das Zentralnervensystem wird also einerseits erheblich von der Tätigkeit der vegetativen Organe, insbesondere von Kreislauf und Atmung beeinflusst, andererseits übt es auf die Funktion eben dieser Organe beherrschenden Einfluß aus.

Aus dem Gesagten geht ohne weiteres hervor, daß das Gebirge in allen Höhenlagen das Nervensystem beeinflussen muß, in den niederen vorwiegend durch Vermittlung der Reize, welche die Sinnesorgane treffen, in den höheren außer diesen durch das mit zunehmender Luftverdünnung immer stärkere Hervortreten des Sauerstoffmangels, der tief in alle Funktionen des Organismus eingreift.

Die auf unsere Sinne wirkenden Reize können wir in zwei Kategorien teilen, in solche, welche ständig und gewissermaßen in diffuser Weise, ohne daß sich ein fest begrenztes Bild ihrer Wirkung in unserem Bewußtsein herausbildet, dem Hirn

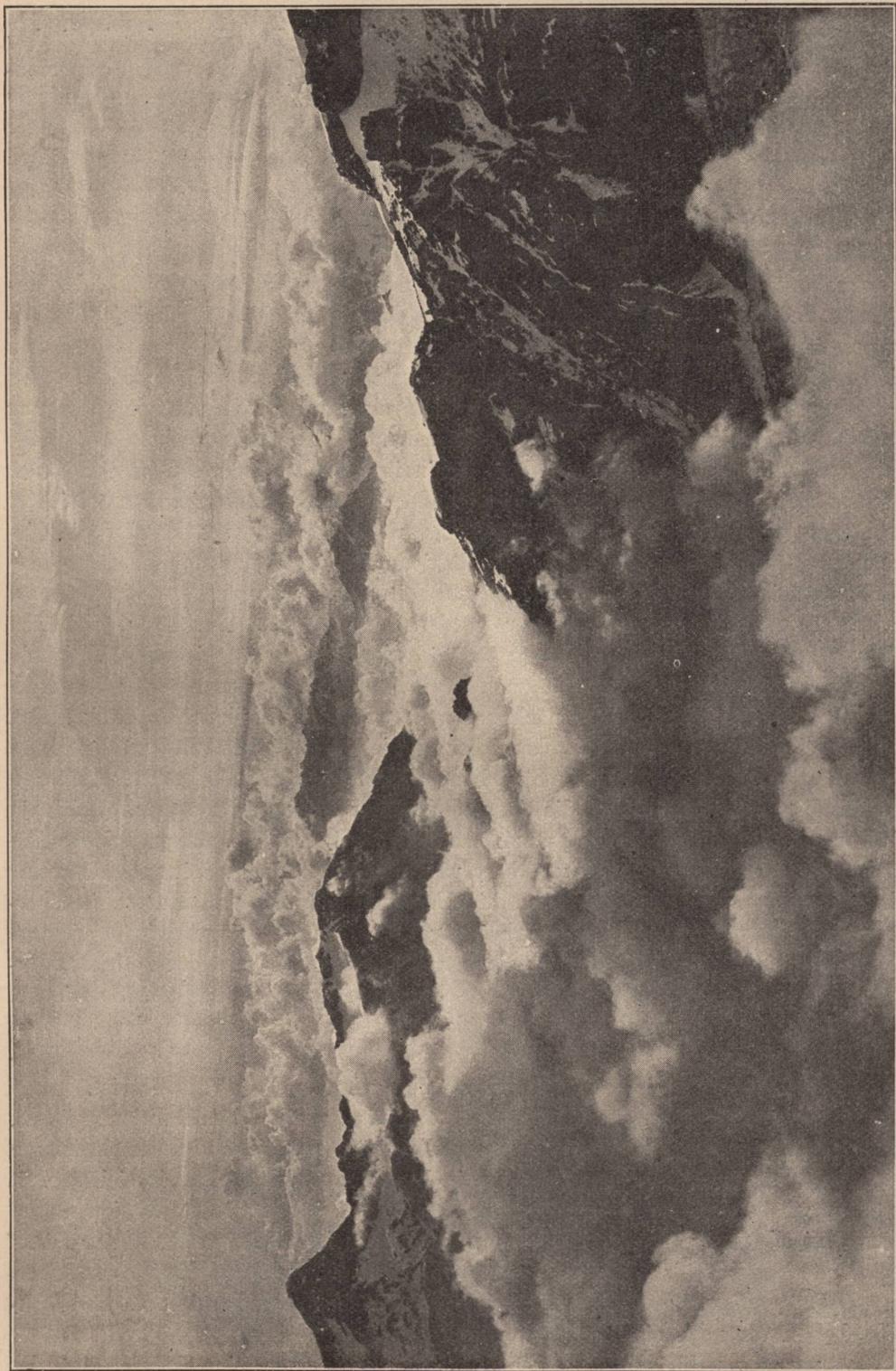
durch alle Sinnesporten Erregungen zusenden, und andere, die sich sofort zu fest ungrenzten Vorstellungen gestalten. Zu den letzteren gehören vor allem die durch das Auge vermittelten Eindrücke, welche uns in umfassendster Weise die bewußte Empfindung von der uns umgebenden Natur verschaffen, in all ihren Abstufungen von heiterer Lust und Behagen durch Staunen über die Großartigkeit der Szenerie bis zum bedrückenden, demütigen Gefühl der Kleinheit vor der erhabenen Wucht der übermächtigen Hochgebirgsnatur. Wie jeder tiefere seelische Eindruck werden diese Einwirkungen, je nach ihrer Intensität, mehr oder weniger lange nachwirken. Sie können das Gemüt derart beherrschen, daß das seelische Gleichgewicht lange Zeit gestört bleibt, daß es zu Aufregungszuständen, dauernder Unruhe und Schlaflosigkeit kommt.

Wie wir aber schon in der gewohnten Umgebung hochgradige Differenzen in der psychischen Reaktion auf äußere Reize finden, so auch in den Bergen. Bei weniger erregbaren Menschen reichen die neuen Eindrücke gerade nur aus, um die Bilder des Alltagslebens, die Gedanken an den Beruf und häusliche Mühen zu verdrängen und zu einer ruhigen, friedlichen Gemütsverfassung zu führen. Leute mit solchem Temperament, die im Tieflande infolge Überarbeitung an Depressionszuständen, Appetitmangel und Schlaflosigkeit gelitten haben, werden jetzt durch die ungewohnte Umgebung von den sie beunruhigenden Vorstellungen abgelenkt. Durch allmählich gesteigerte Körperarbeit hebt sich zudem das Vertrauen auf die eigene Leistungsfähigkeit. Man kehrt frisch und gestärkt von der Wanderung heim, erfreut sich des lebhaften Appetits und erquickenden, tiefen Schlafes.

Die unbewußten Eindrücke gehen diesen bewußten in gewissem Sinne parallel. Auch sie können, je nach der Empfänglichkeit des Individuums, entweder erregend oder beruhigend wirken, und so finden wir denn im Gebirge die mannigfaltigsten Kombinationen dieser beiden Wirkungen des Klimas. Dabei wird die Erregung im allgemeinen in größeren Höhen, in denen die Reize stärker sind, verbreiteter und intensiver sein. Sie tritt um so eher hervor, je plötzlicher sich der Höhenwechsel vollzieht und je größer die Höhendifferenz ist.

Von besonderer Bedeutung sind bei vielen die Erregungszustände der Haut, wie sie durch das intensive und an chemisch wirksamen Strahlen reiche Licht hervorgebracht werden. Wir hörten schon früher, daß die Hautreizung zu Pigmentbildung, in ausgesprochenen Fällen zu heftiger Entzündung: Rötung und Blasenbildung, d. h. zu richtiger Verbrennung führt. Die Beteiligung des gesamten Nervensystems an diesen Vorgängen prägt sich darin aus, daß auch nicht direkt vom Licht getroffene Stellen der Körperoberfläche, ja selbst die Schleimhaut des Mundes durch die Reizung beeinflußt werden. Häufig beobachtet man, daß Menschen, die sich tagsüber längere Zeit den Sonnenstrahlen und dem von den Gletschern reflektierten Licht ausgesetzt haben, in der folgenden Nacht nicht nur an den direkt bestrahlten Stellen, sondern am ganzen Körper von Brennen und Jucken gestört sind. Kein Wunder, daß dann an Schlaf nicht zu denken ist. Aber auch die geringeren Grade von Reizung, welche noch keine unangenehmen Empfindungen an der Haut hervorrufen, steigern den Erregungszustand des gesamten nervösen Apparats.

So beruht also die im Hochgebirge oft auftretende Schlaflosigkeit⁴⁾⁵⁾ auf



Wolkenmeer im Hochgebirge.



einem Zusammenwirken der uns unbewußten und der bewußten, der seelischen Reize. Andererseits bewirkt die dauernde Erregung, in der sich das Zentralnervensystem bei vielen befindet, daß die Schlaflosigkeit im Gebirge weniger unangenehm empfunden wird als im Tieflande. Man fühlt sich nach fast schlaflos verbrachter Nacht am Tage auffallend frisch und tatkräftig. Lange darf dieser Zustand natürlich nicht anhalten, wenn er nicht zu Schädigungen führen soll. Oft genügt schon ein kurzer Übergangsaufenthalt in mittlerer Bergeshöhe, um die erregende Wirkung des Aufstiegs in größere Höhen abzuschwächen. Bei der Mehrzahl der Hochgebirgsbesucher klingt aber die Erregung nach einigen Tagen von selbst soweit ab, daß ungestörter Schlaf auf die erregenden Eindrücke des Tages folgt. Auch bei Wanderungen im Gebirge findet man nach der starken Anregung durch die großen Höhen bei der Rückkehr ins Tal um so vollkommeneren Beruhigung.

Unter der Einwirkung des Sauerstoffmangels gesellt sich nun zur Erregung durch äußere Eindrücke in individuell verschiedener Höhe eine neue charakteristische Form von Erregtheit und Erschlaffung, die in ihren höheren Graden zum Bild der Bergkrankheit überleitet. Durch das Ineinandergreifen von Überreizung und leichter Erschöpfbarkeit kommen sehr mannigfaltig variierte Störungen zustande, die bisweilen zu plötzlichen Ausbrüchen von Exaltation oder Depression führen. Das ganze Benehmen zeigt eine gewisse Unrast, eine Labilität der Stimmungen, die zwischen Niedergeschlagenheit und übermäßiger Lustigkeit schnell wechseln. Auf körperliche Leistungen, die im Flachlande kaum ermüden, folgt hier Apathie und Mattigkeit, oft auch Übererregbarkeit, die je nach dem Temperament des Betreffenden nach der melancholischen, meist aber nach der heiteren Seite hin ihren Ausdruck findet. So beschreibt Mosso in sehr anschaulicher Weise,³⁾ wie bei Ankunft in der Hütte die Ankömmlinge durch überlautes Sprechen, Gestikulieren, Prahlen und Wegleugnen jeder Müdigkeit auffallen und die Anwesenden nur allzu leicht stören. Schon in mittleren Höhen kann jeder aufmerksame Beobachter die Anfänge solcher Zustände erkennen. Gerade die Bergführer wissen von derartigen Reizzuständen ihrer Schutzbefohlenen zu berichten, wenn die Erregung sich auf dem Marsch in übermäßiger Angst oder auch in Überschätzung der eigenen Kraft und in Streitsucht zu erkennen gibt. Dann kostet es die ganze Überredungskunst des Führers, Unbesonnenheiten zu vermeiden oder den geschwächten Willen zu stärken. So erinnert das Bild des vom Hochgebirgsklima stark Angegriffenen an das des launenhaften und willensschwachen Neurasthenikers, dessen labiles Empfindungsleben den Einflüssen der Außenwelt wie seinen Orgengefühlen schrankenlos ausgesetzt ist.

In großen Höhen kann sich die Erregung bis zu wirklichen Delirien steigern. Kräftige, berggewandte und schrittsichere Touristen taumeln auf unschwierigen Wegen wie Betrunkene, andere beklagen in bewegten Worten, daß sie sich so weit hinaufgewagt haben. Um jeden Preis wollen sie wieder in tiefere Regionen und lassen gern alle ihre Vorräte zurück, um nur schneller bergabsteigen zu können. Auf dem Monte Rosa hatten wir Gelegenheit, von beiden Zuständen Beispiele zu sehen.

Dafür, daß das Zentralnervensystem in der Höhe anders reagiert als im Flachlande, haben wir noch einige experimentelle Beweise:

Versuche von Mosso,²⁾ in denen die Versuchsperson einmal in Turin, das

andere Mal auf der Margherita-Hütte 40 ccm absoluten Alkohols, in einer Konzentration wie etwa Sherry, bei fast nüchternem Zustand trank, ergaben in der Höhe im Gegensatz zum Tiefland ein Ausbleiben jeder erregenden Wirkung, und zwar sowohl im allgemeinen Verhalten als bei Untersuchung der Herztätigkeit und der Atmung. Dieses Resultat wird gestützt durch Mitteilungen aus den Anden, die wir so vorzüglichen Beobachtern wie Pöppig und Tschudi verdanken. Ihnen fiel auf, daß die sie begleitenden eingeborenen Träger in großer Höhe recht ansehnliche Mengen Alkohol vertrugen, ohne daß sich die bekannten Zeichen von Übererregtheit oder Betäubung bemerkbar machten. Kehreten die gleichen Leute aber ins Tiefland zurück, so wurden sie nach den gleichen Mengen stark betrunken. Da von Alkohol 98% im Körper verbrannt werden und nur 2% verdunsten, so ist es nicht wahrscheinlich, daß Unterschiede in der Schnelligkeit der Abdunstung von der Lungenoberfläche in der verdünnten Luft die Ursache der verschiedenen Empfänglichkeit für den Alkohol sind. Man darf vielmehr vermuten, daß die Ursache in der Tat in einer herabgesetzten Erregbarkeit des Hirns liegt.

Für ein bestimmtes Zentrum ist dasselbe durch Versuche von Galeotti³⁾ wahrscheinlich gemacht worden. Er suchte Änderungen in der Erregbarkeit des Hirns durch Beobachtung des Schluckvorgangs zu ermitteln. Gelangt ein Bissen in den Schlund, so wird reflektorisch ein Schluckakt ausgelöst. Durch den Bissen werden die Empfindungsnerven im Schlund erregt, die ihrerseits einen Reiz zum Zentrum leiten, welches eine Zusammenziehung der Schlundmuskeln bewirkt. So wird der Bissen vom Mund zum Magen befördert. Schluckt man nun zwischen zwei tiefen Atemzügen kleine Mengen Wassers so oft hintereinander, als es möglich ist, so kann man durch Bestimmung der Zahl der Schluckbewegungen die Promptheit der Reaktion der dem Schluckakt vorstehenden Zentren zahlenmäßig bestimmen. Natürlich wird diese Zeit zunächst davon abhängen, wie lange man den Atem anhalten kann. Das war bei beiden Versuchspersonen Galeottis oben längere Zeit möglich als in der Tiefe. Trotzdem vermochte Galeotti in Turin 15mal, auf der Margherita-Hütte nur 9mal, die andere Person 17 bzw. 9mal den Schluckakt auszuführen. Galeotti schließt daraus, daß das Zentrum in der Höhe leichter ermüdbar ist.

Die moderne experimentelle Psychologie bedient sich zahlreicher Apparate, um den zeitlichen Ablauf eines psychischen Vorgangs exakt zu bestimmen. Um die Ermüdung der nervösen Zentren nach größeren Trainiermärschen zu studieren, hatten Zuntz und Schumburg⁶⁾ solche Methoden bei marschierenden Soldaten mit Erfolg verwendet. Leichte Märsche wirkten belebend, stark anstrengende dagegen noch am folgenden Tage erschlaffend auf die geistigen Funktionen. Im Hochgebirge hat bisher noch niemand solche Methoden in Anwendung gebracht. Zwar hatten sich Durig und Zuntz im Jahre 1903 auf derartige Untersuchungen vorbereitet, waren jedoch infolge Zeitmangels leider nicht in der Lage sie auszuführen. Es klafft hier eine große Lücke, und es ist zu hoffen, daß diese, sehr interessante Resultate versprechenden Versuche bald in Angriff genommen werden.

Nicht direkt mit der Höhe an sich, vielmehr mit den Eigentümlichkeiten der Gebirgswanderungen hängt eine nervöse Erscheinung zusammen, die vielen Menschen den Aufenthalt im Gebirge verleidet und ihnen einen großen Teil der Genüsse des

Höhenaufenthaltes raubt, der Schwindel. Bald empfindet man eine eigentümliche Angst vor dem Herabfallen, bald fühlt man sich durch unwiderstehliche Gewalt herabgezogen. Bei höheren Graden des Leidens scheint der Boden unter uns zu schwanken, die ganze Umgebung sich im Kreise zu drehen.

In gewissem Sinne kann man das Schwindelgefühl als zweckmäßige Reaktion des Organismus gegen drohende Gefahr auffassen (Pflüger). Die peinliche Empfindung veranlaßt uns, vom Abgrund zurückzutreten und verhindert, daß man sich in allzu gefährliche Situationen wagt. Aber wie jede an sich zweckmäßige nervöse Reaktion bei übererregbaren, „nervösen“ Menschen übermäßig stark und auch bei unpassender Gelegenheit sich einstellt und dann die Gefahr der Situation sogar vergrößert, so zwingt das Schwindelgefühl den Übererregbaren selbst an gefahrlosen Stellen zu angstvollen, unzuweckmäßigen Bewegungen und führt durch Aufgeben des Haltes und unsicheres Auftreten den vielleicht tödlichen Absturz herbei. Diese Zufälle werden besonders an solchen Orten eintreten können, an denen der Bergsteiger nach einer Biegung des Weges unvorbereitet hart am Abgrund steht und unbedingt gezwungen ist, diese Stelle zu passieren. Oft sind dann die vom Schwindel Befallenen nicht zu bewegen, einen Schritt vorwärts zu tun. Sie erklären, lieber unkommen zu wollen, als sich länger dem Angstgefühl auszusetzen. Erfahrene Führer erzählen, daß in solchen Fällen nichts hilft, als dem Touristen die Augen zu verbinden und ihn an steiler Felswand mit verbundenen Augen weiter zu tragen oder zu führen.

Die Schwindelerscheinungen im Gebirge erinnern an analoge Empfindungen, welche beim Anblick unregelmäßiger Bewegungen oder dann zustande kommen, wenn man selbst seine Lage zur Umgebung in raschem Wechsel ändert, wie beim Aufenthalt auf schwankendem Schiffe.

Diese Form des Schwindels bleibt aber auch bei geschlossenen Augen bestehen; denn sie ist durch das sog. Gleichgewichtsorgan hervorgerufen, das Organ, welches, im Ohrlabyrinth gelegen, zur Wahrnehmung der Bewegungsrichtungen dient. Daher fehlt sie bei Taubstummen, deren Ohrlabyrinth zerstört ist.

Bekannt ist, wie sehr man sich an die den Schwindel erzeugenden Einwirkungen gewöhnen kann, wie nach längerem Aufenthalt auf der See bei der Mehrzahl der Menschen die Schwindelerscheinungen und mit ihnen die Seekrankheit nachlassen. In gleicher Weise kann man sich aber auch gegen das von den Augen ausgelöste Schwindelgefühl beim Blick in die Tiefe stählen. Hierfür bildet Goethes Kampf gegen den Schwindel ein klassisches Beispiel. Er bestieg bekanntlich den Turm des Straßburger Münsters so oft, bis er sich schließlich auf der Spitze des Turmes an den exponiertesten Stellen ohne unangenehme Empfindungen aufhalten konnte. Er schreibt darüber in „Wahrheit und Dichtung“:

„Besonders aber ängstigte mich ein Schwindel, der mich jedesmal befiel, wenn ich von einer Höhe herunterblickte. Allen diesen Mängeln suchte ich abzuhelfen und zwar, weil ich keine Zeit verlieren wollte, auf etwas heftige Weise. Ich erstieg ganz allein den höchsten Gipfel des Münsterturms und saß in dem sogenannten Hals unter dem Kopf oder der Krone, wie man's nennt, wohl eine Viertelstunde lang, bis ich es wagte, wieder heraus in die freie Luft zu treten, wo man auf einer Platte, die kaum eine Elle ins Gevierte haben wird, ohne sich sonderlich anhalten zu können, stehend das unendliche Land vor sich sieht, indessen die nächsten Umgebungen und Zierraten die Kirche und alles, worauf und worüber man steht, verbergen...

Dergleichen Angst und Qual wiederholte ich so oft, bis der Eindruck mir ganz gleichgültig ward, und ich habe nachher bei Bergreisen und geologischen Studien, bei großen Bauten, wo ich mit den Zimmerleuten um die Wette über die freiliegenden Balken und über die Gesimse des Gebäudes herlief, ja, in Rom, wo man eben dergleichen Wagstücke ausüben muß, um bedeutende Kunstwerke näher zu sehen, von jenen Vorübungen großen Vorteil gezogen.“

Jeder, der zu Schwindelgefühl neigt und mit Genuß Hochtouren machen will, sollte vorher in analoger Weise Herrschaft über diese Schwäche zu gewinnen suchen.

Literatur.

1) Galeotti: Labor. scient. internat. du Mont Rosa Trav. de l'année 1903, Turin 1904.

2) Mosso und Galeotti: Ebenda.

3) A. Mosso: „Der Mensch auf den Hochalpen“.

Derselbe: „Expériences faites sur les singes avec les dépressions barométriques“. Rend. della R. Acad. dei Lincei, vol. XIII, 1^o sem., ser. 5. fasc. 5, 1904.

Derselbe: „Expériences faites sur les singes à Turin et sur le sommet du Mont Rosa. Ebenda.“

4) Senator: „Bäder, klimatische Kuren“. v. Leydens Handbuch der Ernährungstherapie. Bd. I, Abt. I.

5) H. Weber: „Klimatotherapie“ in Ziemssens Handb. d. allg. Ther., Bd. II, Teil I.

6) Schumburg und Zuntz: „Physiologie des Marsches.“ Berlin, Hirschwald 1900.



Capanna Gnifetti (3620 m).

Phot. Vittorio Sella, Biella.

Kapitel XVIII.

Über die Wirkung des Sauerstoffmangels im Hochgebirge.

Seit P. Bert die Krankheitserscheinungen, welche im Hochgebirge und bei Ballonfahrten auftreten, als Folge des Sauerstoffmangels charakterisiert hat, wird bis heute immer wieder darüber gestritten, wie weit diese Erklärung zutreffend sei. Von mancher Seite wird auch heute noch behauptet, daß in den für Europa in Betracht kommenden Berghöhen bis 4000 und selbst 5000 m der Sauerstoffmangel keine wesentliche Bedeutung habe, daß daher die in diesen Höhen beobachteten Störungen auf anderen Ursachen beruhen. Trotzdem diese Annahme anscheinend eine Stütze in dem findet, was Loewy¹⁵⁾ bei Luftverdünnung im pneumatischen Kabinett beobachtet hat, sowie in den Kapitel X erörterten Gesetzen der Sauerstoffbindung durch den Blutfarbstoff werden wir im folgenden zeigen, daß es selbst schon in mittleren Höhen zu Sauerstoffmangel kommen kann.

Loewy fand deutliche Zeichen von Sauerstoffmangel erst dann, wenn der Partialdruck dieses Gases in den Lungenalveolen auf wenigstens 35 mm abgesunken war. Bei dieser Grenze machte sich Benommenheit des Kopfes, Schwindel, gelegentlich Ohnmacht geltend — es war also in erster Linie das Hirn, welches unter dem Sauerstoffmangel litt. Chemisch dokumentiert er sich in einem Steigen

des respiratorischen Quotienten, welches dadurch zustande kommt, daß die Kohlensäureausscheidung zunimmt, während die Sauerstoffaufnahme nahezu unverändert bleibt. Bei noch hochgradigerem Sauerstoffmangel, welcher rasch zum Tode führt, fanden Friedländer und Herter⁸⁾ ein enormes Sinken der Sauerstoffaufnahme bei nahezu unveränderter Kohlensäureausscheidung. Es bildet sich also in diesem Falle beim Warmblüter in ähnlicher Weise, wie dies Pflüger²³⁾ für den Frosch gezeigt hat, eine wahre „Anaërobiose“ aus, ein Leben ohne Sauerstoff.

Die gleiche Beobachtung hatte Zuntz mit Goltstein¹⁰⁾ bereits im Jahre 1877 gemacht. Bei langsamer Verminderung des Sauerstoffgehalts der Atemluft ändert sich zunächst der Sauerstoffverbrauch nicht. Von einer bestimmten Grenze ab wird er dann aber immer geringer, während gleichzeitig die Tiefe der Atemzüge erheblich zunimmt. Wenn der Verbrauch etwa auf $\frac{1}{6}$ des Normalwertes gesunken ist, werden die Atembewegungen seltener und nehmen periodischen Charakter an, um dann allmählich zu erlahmen. Dabei können alle Reizerscheinungen ausbleiben; häufiger allerdings geht dem Tode noch eine heftige, von Krämpfen begleitete Atemnot vorher.

Ganz ähnlich wie Loewy im pneumatischen Kabinett fand Zuntz mit v. Schrötter²⁴⁾ im Luftballon ein erhebliches Wachsen der Kohlensäureausscheidung, während die Sauerstoffaufnahme noch ein wenig zunahm. Beim Aufstieg von 3000 m Meereshöhe bis zu etwa 5000 m nahm dieses Überwiegen der Kohlensäureausscheidung über die Sauerstoffaufnahme bei Zuntz stetig zu, während es bei v. Schrötter erst in fast 5000 m Höhe in die Erscheinung trat.

Diese individuellen Unterschiede bei Einwirkung der gleichen Luftverdünnung sind auch sonst mehrfach beobachtet — namentlich unsere in Tabelle XVI zusammengestellten Versuche im pneumatischen Kabinett lassen sie deutlich erkennen.

Loewy¹⁵⁾ hat ein wichtiges Moment, auf welchem diese individuellen Unterschiede beruhen, aufgedeckt in den Verschiedenheiten der Atemmechanik verschiedener Menschen. Er konnte zeigen, daß bei gleicher Größe der Lungenventilation die Dichte des Sauerstoffs in den Alveolen um so kleiner ist, je häufiger, d. h. also je flacher geatmet wird. In der Tat waren die damals beobachteten Unterschiede im Verhalten verschiedener Versuchspersonen aus ihrer Atemmechanik vollkommen befriedigend zu erklären. Es war auch die infolge von Muskeltätigkeit eintretende Änderung eben dieser Mechanik, welche das Paradoxon verständlich machte, daß manche Menschen bei Arbeit und dadurch aufs Mehrfache gesteigertem Sauerstoffverbrauch eine größere Luftverdünnung vertragen als in körperlicher Ruhe und demgemäß im Hochgebirge während des Aufstieges weniger leiden als nach mehrstündiger Rast in der Schutzhütte. Die Atemmechanik ist aber nur eines der Momente, welche die Toleranz für Luftverdünnung bestimmen. Besonders geeignet, dies zu illustrieren, sind die Unterschiede im Verhalten von Loewy und Zuntz bei annähernd gleicher Luftverdünnung; während der erstere bei 435 mm und sogar noch bei 356 mm Luftdruck und einer Alveolartension des Sauerstoffs von 27—29 mm normale respiratorische Quotienten aufweist, hat Zuntz bei 426 mm Druck und einer infolge seiner günstigen Atemmechanik höheren Alveolartension des Sauerstoffs (52 mm) in vier Versuchen regelmäßig erhöhte respiratorische

Quotienten, also bereits einen gestörten Stoffwechsel. Andererseits besteht in bezug auf die Hirnerscheinungen bei Zuntz eine etwas größere Toleranz gegen Luftverdünnung als bei Loewy. — Mehrere analoge Beispiele weist die Anhangstabelle XVI auf.

Zur Erklärung dieses wechselnden Verhaltens müssen wir die Leistungen des Kreislaufapparates in Betracht ziehen.

Gewöhnlich ist ja die Sauerstoffversorgung der Kapillargebiete des Körpers eine überreichliche. Das Blut kehrt mit einem noch erheblichen Rest an Sauerstoff durch die Venen ins rechte Herz zurück. Daß dies bei Menschen ebenso der Fall ist wie bei den früher untersuchten Säugetieren, geht aus neueren Versuchen von Loewy und v. Schrötter¹⁶⁾ hervor.

Aus der S. 295 gegebenen Kurve über die Beziehungen zwischen Druck des Sauerstoffs und Aufnahme desselben ins Blut kann man folgern, daß in einer etwa der Monte Rosa-Höhe entsprechenden Luftverdünnung immer noch der Sauerstoffgehalt des arteriellen Blutes hoch genug bleibt, um den Organen mehr als den durchschnittlichen Bedarf zuzuführen. Es ist aber ohne weiteres klar, daß diese Folgerung nicht mehr zutrifft, wenn der Blutumlauf ein verlangsamerter ist, oder wenn der Hämoglobingehalt des Blutes wesentlich unter der Norm liegt.

Auf diesen beiden Momenten scheint es in der Tat neben der vorher besprochenen Atemmechanik zu beruhen, daß bei vielen Individuen schon in Höhen unter 3000 m Störungen auftreten. Diese brauchen aber durchaus nicht mit denen, welche Loewy im pneumatischen Kabinett gefunden hatte, übereinzustimmen. Es braucht nicht immer das allerdings gegen Sauerstoffmangel besonders empfindliche Hirn der Ort zu sein, an welchem er sich zuerst geltend macht. Wissen wir doch aus den Untersuchungen von Alexander Schmidt, Frédéricq, Hill und Nabarro,¹¹⁾ daß das Venenblut verschiedener Körperprovinzen in sehr verschiedenem Maße an Sauerstoff verarmt sein kann. Bei der Tätigkeit der Organe nimmt zwar normalerweise ihre Blutdurchströmung erheblich zu, aber oft ist doch diese Zunahme der Steigerung des Verbrauches nicht entsprechend. So fand Zuntz mit Hagemann³¹⁾ den Gehalt des dem rechten Herzen entnommenen Blutes bei Muskelarbeit wesentlich niedriger als bei Ruhe. Da aber das Blut des rechten Herzens nur zum Teil aus den tätigen Muskeln stammt, da auch gerade bei Arbeit eine sehr lebhafte Zirkulation in der wenig Sauerstoff verbrauchenden Haut zustande kommt, muß die Minderung in dem Blute der tätigen Muskeln noch sehr viel bedeutender sein, als sie sich im Blute des rechten Herzens ausspricht. Unter diesen Umständen kann schon eine Abnahme des Sauerstoffgehalts im Arterienblut um wenige Prozente zu einem vollkommenen Aufbrauchen des Blutsauerstoffs und damit zu den Erscheinungen des Sauerstoffmangels in den tätigen Muskeln führen.

Wir wissen durch die Versuche am ausgeschnittenen Muskel, daß gerade dieses Organ lange Zeit ohne Sauerstoff unter Kohlensäurebildung Arbeit leisten kann. Wir wissen aber auch, daß bei derartiger Arbeit abnorme Zersetzungsprodukte entstehen und daß namentlich erhebliche Mengen organischer Säuren in

den Muskeln gebildet werden. *)⁷⁾²⁰⁾ Mit dieser Säurebildung haben wir ein neues Moment, welches die Kohlensäureausscheidung erhöht und zum Anwachsen des respiratorischen Quotienten bei Sauerstoffmangel beiträgt.

Angesichts dieser Überlegungen ist es von hohem Interesse, daß Galeotti⁹⁾ bei sich und anderen nach mehrtägigem Aufenthalt auf dem Monte Rosa-Gipfel eine Abnahme der Blutalkaleszenz um etwa 40⁰/₀, also eine sehr erhebliche Säurebildung festgestellt hat. Eine bedeutend geringere Säurebildung fand er bei Tieren, welche während einiger Stunden ein sauerstoffarmes Gasgemisch geatmet hatten. Der von Galeotti gefundenen Abnahme der Alkaleszenz entspricht die von Mosso und Marro²¹⁾ gefundene Minderung des Kohlensäuregehaltes im Blute. Wir haben die Beziehungen bereits in Kapitel X näher erläutert.

Die Wirkung der Alkaleszenzabnahme des Blutes auf die Kohlensäureausscheidung kann natürlich nur eine vorübergehende sein. Würde die Alkaleszenzabnahme in der Höhe stetig fortschreiten, so müßte sie zum Tode führen. Bleibt sie aber nach einiger Zeit stabil, indem der Überschuß von Säuren auf irgendeinem Wege eliminiert wird, so muß die Kohlensäureausscheidung durch die Atmung nun wieder gleichen Schritt mit ihrer Bildung in den Geweben halten.

Aber auch die „anaerobiotische“ Kohlensäurebildung, d. h. die Bildung von Kohlensäure ohne Zufuhr atmosphärischen Sauerstoffs, kann nicht unbegrenzt weiter gehen. Wir wissen namentlich durch die Untersuchungen von Kühne,¹²⁾ Verworn,²⁸⁾ Jacques Loeb,¹³⁾ daß bei Andauer von Sauerstoffmangel die eine tierische Zelle früher, die andere später ihre Funktionen einstellt. Es ist deshalb eine Fortdauer des Lebens bei so erheblicher Luftverdünnung, daß es an einzelnen Stellen des Körpers zur Anaerobiose kommt, nur dann möglich, wenn diesen Stellen zu anderen Zeiten wieder soviel Sauerstoff zugeführt wird, daß eine Regeneration stattfinden kann, oder wenn es sich um wenige, für den Gesamtorganismus entbehrliche Zellen handelt, die zugrunde gehen dürfen.**) Bei lange währendem Aufenthalt im Hochgebirge kann man nicht erwarten, daß vorhandener Sauerstoffmangel sich andauernd in einer Erhöhung des respiratorischen Quotienten ausspricht. In der Tat haben wir denn auch, und das tritt namentlich in den sehr zahlreichen, von Durig und Zuntz ausgeführten Versuchen hervor, bei längerem Aufenthalt auf der Monte Rosa-Spitze vollkommen normale respiratorische Quotienten gehabt.

Die durch Sauerstoffmangel erzeugten Atemreize. Bis zu einem gewissen Grade schafft der Sauerstoffmangel selbst auch die Hilfsmittel zu seiner

*) Daß in v. Freys Versuchen mit künstlicher Durchblutung ausgeschnittener Muskeln Sauerstoffmangel an der Milchsäurebildung beteiligt oder vielleicht deren alleinige Ursache war, kann kaum bezweifelt werden. Die Durchblutung erfolgte unter dem relativ niedrigen Druck von 40—70 mm, die durchströmende Blutmenge betrug bei blutwarmen Präparaten nur 1500 bis 2500 ccm pro Kilogramm und Stunde, das ist eine Menge, welche den Bedarf selbst eines kurarisierten Hundes (500 ccm Sauerstoff pro Kilogramm und Stunde) nicht decken kann, wenn, wie in Freys Versuchen, das arterielle Blut nur 10.6—16.4 Vol. % Sauerstoff führt.

**) Solche Zerstörung braucht nicht unter allen Umständen von Nachteil zu sein. Vielleicht hängt im Gegenteil das Gefühl der Verjüngung und Frische, das wir nach einem Hochgebirgsaufenthalt wie nach der Genesung von schweren Krankheiten empfinden, mit der Elimination schadhaft gewordener Gewebelemente und ihrem Ersatz durch neugebildete zusammen.

Bekämpfung. In Kapitel XI wurde ausgeführt, daß Sauerstoffmangel, ebenso wie Anhäufung von Kohlensäure, zu einer Erregung des Atemzentrums, also zu verstärkter Atmung führt. In seinen bekannten Untersuchungen über die Ursachen der Atembewegungen hat Pflüger²²⁾ die Vermutung ausgesprochen, daß nicht das negative Moment des Fehlens von Sauerstoff die Atemzentra reize, sondern daß diese Reizung erst durch die abnormen Stoffwechselprodukte, welche der Sauerstoffmangel erzeugt, zustande kommt. Er sagt wörtlich:

„Mutmaßlich wirkt der Mangel an Sauerstoff deshalb so positiv giftig, weil er eine Anhäufung der sich fortwährend im Körper bildenden, leicht oxydierbaren Stoffe zur notwendigen Folge hat, welche das respiratorische Zentralorgan in der Medulla oblongata und viele motorische Ganglienzellen heftig erregen.“

Diese Erregung durch Sauerstoffmangel wird in helleres Licht gesetzt, wenn wir die Atemmechanik von Tieren betrachten, welche längere Zeit sauerstoffarme Luft atmen. Ist die Sauerstoffarmut der Atemluft nur eine mäßige, so ist anfangs die Atemgröße nicht merklich verändert. Erst bei längerer Fortdauer der Einatmung sauerstoffarmer Luft macht sich eine verstärkte Atmung bemerkbar und ebenso eine Steigerung des Blutdruckes. Namentlich die Versuche von Friedländer und Herter⁸⁾ zeigen den höchst charakteristischen Unterschied zwischen der Wirkung des Einatmens einer kohlenäurereichen Luft und einer sauerstoffarmen. Bei ersterer tritt binnen einer halben Minute die stärkste Wirkung auf Atembewegung und Blutdruck zutage. Bei letzterer kommt der Effekt erst allmählich im Laufe einer Reihe von Minuten zur vollen Entwicklung. Das entspricht durchaus der Auffassung, daß bei mäßigem Sauerstoffmangel erst allmählich die das Zentrum reizenden Stoffe in größerer Menge gebildet werden. Noch charakteristischer ist die Tatsache, daß die Erregung des respiratorischen Zentrums dann besonders stark hervortritt, wenn nach längerem Sauerstoffmangel wieder normale Luft geatmet wird.^{10) 8)} Diese Erscheinung ist dadurch verständlich, daß bei längerem Sauerstoffmangel die Erregbarkeit der Zentra allmählich herabgesetzt wird, so daß die in größerer Menge im Blute zirkulierenden reizenden Stoffe wenig Effekt haben. Wird dann wieder sauerstoffreiche Luft zugeführt, so erholt sich das Atemzentrum und reagiert nun heftig auf die im Blute noch zirkulierenden Reizstoffe.

Bei normaler Atmung im Flachlande allerdings kommt, wie namentlich Miescher-Rüsch¹⁸⁾ dargelegt hat, der Sauerstoffmangel als Reiz für die Atmung wenig in Betracht. Die Atmung paßt sich vielmehr aufs feinste den Änderungen der Kohlensäurespannung an und wird durch diese im wesentlichen reguliert. In der Tat konnten Cohnstein und Zuntz,⁴⁾ sowie Loewy¹⁴⁾ nachweisen, daß jede Erhöhung des Kohlensäuregehaltes so prompt durch eine Steigerung der Atemgröße beantwortet wird, daß man auf diesem Wege die Erregbarkeit des Atemzentrums studieren kann. Dabei ergibt sich aus den Versuchen Loewys, daß die Atemgröße bei Zunahme der Kohlensäurespannung um 1 mm im Mittel um 811 ccm wächst. Aus entsprechenden Versuchen von Speck²⁷⁾ berechnet sich fast die gleiche Zunahme. Da ferner zwischen 25 und 50 mm Kohlensäurespannung die Wirkung auf die Atmung gleichmäßig anwächst, kann man wohl annehmen, daß diese Gleichmäßigkeit sich auch noch etwas unter der direkt gemessenen Grenze

findet, daß also die Leistung des Atemapparats für jedes weitere Absinken der Kohlensäurespannung um 1 mm, um ca. 800 ccm pro Minute geringer wird. Wenn also bei einem 5600 ccm atmenden Menschen die Kohlensäurespannung um 7 mm abnehmen würde, müßten die Atembewegungen aufhören. Wir finden so für die Versuchspersonen Loewys im Mittel eine Spannung von 24.6 mm Kohlensäure als die Grenze, bei welcher die Atmung stillstehen, sog. Apnoë eintreten würde. Entsprechend den ziemlich erheblichen individuellen Schwankungen der Atemgröße bestehen übrigens nicht unbeträchtliche Differenzen dieses Grenzwertes, bei dem die Kohlensäure als Atemreiz wirksam wird. In Specks Versuchen liegt die Grenze bei 19.2 mm Spannung.

Das Ergebnis stimmt befriedigend mit dem überein, was wir bei Tieren und Menschen beobachten, welche wir durch rhythmische Lufteinblasungen in den Zustand der Apnoë versetzen. Hier ist der Kohlensäuregehalt des Blutes resp. die Spannung in den Lungenalveolen bis zu dem eben berechneten Grade oder noch mehr erniedrigt [Ewald, ^{6a}) Speck²⁷].

Allerdings fand Ewald den Sauerstoffgehalt des Arterienblutes in der Apnoë ein wenig erhöht. Wenn Sauerstoffmangel schon in der Norm als Reiz für die Atmung in Betracht käme, würde man dieser Erhöhung des Sauerstoffgehaltes einen Anteil am Zustandekommen der Apnoë zuschreiben müssen; daß er dabei nicht wesentlich beteiligt ist, wird durch die Versuche von P. Hering wahrscheinlich gemacht, welcher auch Blut apnoischer Tiere untersuchte und ebenfalls regelmäßig Verminderung der Kohlensäure, daneben aber oft auch geringeren Gehalt an Sauerstoff fand. Es sei ferner daran erinnert, daß, wie Filehne festgestellt hat, das Blut apnoischer Tiere, ehe sie wieder zu atmen anfangen, erheblich dunkler geworden ist, als es vorher bei normaler Atmung war. Die Dunkelung ist aber ein sicheres Zeichen geringerer Sauerstoffsättigung, da die Farbe des Blutes vom Kohlensäuregehalt unbeeinflusst bleibt. Endlich sei noch erwähnt, daß bestehende Apnoë trotz reichlichster künstlicher Atmung und Sauerstoffsättigung des Blutes aufgehoben wird sowie man der eingeblasenen Luft etwas Kohlensäure beimengt (Bordoni³).

Die Indifferenz des Sauerstoffs für die Anregung der Atmung unter gewöhnlichen Verhältnissen geht ferner aus A. Loewys Versuchen bei Atmung verschieden dichter und verschieden zusammengesetzter Luftgemische hervor. Statt einer Abnahme fand er bei Atmung von Luftgemischen mit 31—49% Sauerstoff eine innerhalb der zufälligen resp. durch andere Momente bedingten Schwankungen liegende Steigerung der Atemgröße von 5.2 l auf 5.7 l; beweisender noch für die Indifferenz des Sauerstoffs unter gewöhnlichen Verhältnissen ist, daß Luftverdünnung bis 440 mm Quecksilberdruck die Atemgröße noch nicht merklich steigerte (5.6 l Atemgröße). Bei etwas weiterer Druckabnahme wird dann die Wirkung erheblich, bei 415 mm hat die Versuchsperson schon 8.4 l Ventilation pro Minute.

Ganz ähnlich lauten die Ergebnisse der Versuche von Speck in bezug auf Atmung sauerstoffreicher und sauerstoffarmer Luft. Wir können daher die Kohlensäure als allein maßgebend für die Regulation der Atmung des normalen ruhenden Menschen ansehen.

Sobald die Atemgröße stärker erhöht ist als der Kohlensäurespannung entspricht, müssen wir annehmen, daß neben der Kohlensäure noch andere Reize in Wirkung getreten sind. Das ist beim Aufenthalt in Berghöhen von 3000 m fast regelmäßig der Fall. Rechnen wir auf Grund der vorstehenden Angaben auf 1 mm wirksamer Kohlensäurespannung 800 ccm Atemvolumen, so würde die normale Atmung von Zuntz⁵) mit 4755 resp. 5000 ccm pro Minute etwas über 6 mm wirksamer Kohlensäurespannung erfordern. Die gesamte Spannung beträgt im Flachlande durchschnittlich 35.4 mm, es würde also die Grenze der erregenden Wirkung der Kohlensäure bei 29 mm liegen; dieser Wert wird schon in 3000 m Meereshöhe nicht

erreicht, indem hier die gesamte Kohlensäurespannung in Betruhe nur noch 24.45 mm beträgt. Bei Durig ist in gleicher Höhe die Kohlensäure noch als Reiz beteiligt, denn ihre Spannung beträgt hier 28.9 mm, während die Grenze der erregenden Wirkung bei ihm sich auf 24.3 mm berechnet. In der Margherita-Hütte ist diese Grenze mit 24.08 mm erreicht. Wenn die Kohlensäure in dieser Höhe noch der einzige Atemreiz wäre, dürften keine Atembewegungen mehr stattfinden. Da diese aber sogar energischer als in der Ebene ablaufen, so müssen neue Reize aufgetreten sein, welche stärker wirken als der normale Kohlensäurereiz.

Die Bedeutung der im Hochgebirge vorhandenen neuen Atemreize tritt auch schon deutlich hervor, wenn wir, wie in Kapitel XI, S. 325 geschehen ist, die auf 1 mm absolute Kohlensäurespannung in den Lungenalveolen entfallende Ventilationsgröße berechnen.

An gleicher Stelle wurde auch gezeigt, daß die bei Muskelarbeit ja stets reichlich erzeugten Atemreize im Hochgebirge bei gleicher Arbeitsleistung in sehr viel größeren Mengen gebildet werden, und daß dementsprechend die Steigerung der Lungenventilation durch eine Arbeit von bestimmter Größe viel bedeutender ist als im Flachlande. — Ob die bei Muskelarbeit und die bei Ruhe und Sauerstoffmangel gebildeten Reizstoffe identisch sind, läßt sich nicht entscheiden, es ist aber wahrscheinlich, denn im tätigen Muskel wird ja stets infolge des großen Verbrauchs ein gewisser Mangel an Sauerstoff bestehen.

Mit der Bildung der Atemreize im tätigen Muskel dürfte die der „Ermüdungsstoffe“ in naher Beziehung stehen. Man weiß seit lange, daß im tätigen Muskel Substanzen gebildet werden und aus ihm ins Blut übergehen, welche die Leistungsfähigkeit des Muskels selbst und der nervösen Zentralorgane herabsetzen. Einer dieser „Ermüdungsstoffe“, welcher von Weichardt²⁹⁾ genauer untersucht wurde, gleicht in seinen Eigenschaften den, in den letzten Jahren so viel studierten, krankheitserzeugenden Bakteriengiften, den „Toxinen“. Aus den Muskeln übermüdeter Tiere läßt sich dies Toxin in größeren Mengen gewinnen. Injiziert man es Tieren in die Blutbahn, so werden dieselben äußerst schlaff, schlafstüchtig, ihre Körpertemperatur sinkt, und nach größeren Mengen tritt der Tod ein. Tiere, denen man Ermüdungstoxin wiederholt beibringt, erzeugen in ihrem Blute ein Gegengift, ein „Antitoxin“. Nach Einspritzung oder auch Verfüttern desselben ertragen die Tiere sonst tödliche Mengen des „Ermüdungstoxins“. Wir kommen auf die Frage, ob das Ermüdungsantitoxin in der Hygiene des Bergsteigens eine Rolle zu spielen berufen ist, in Kapitel XXI zurück, hier interessiert uns die Tatsache, daß ebenso wie durch übermäßige Arbeit, so auch durch Sauerstoffmangel das spezifische Ermüdungstoxin entsteht. Wenn Weichardt seine Versuchstiere in verdünnter Luft nur mäßig austrengte, entwickelten sie ebensoviel und mehr Toxin, als wenn er sie bei gewöhnlichem Luftdruck aufs äußerste ermüdete. Auch durch Behandlung ausgeschnittener Muskeln mit Sauerstoff entziehenden Mitteln konnte Toxin in größeren Mengen gewonnen werden. So eröffnet sich uns ein neuer Gesichtspunkt für die leichte Ermüdbarkeit des Menschen in sehr großen Höhen.

Die respiratorischen Quotienten beim Höhengaufenthalt. Auf dem Monte Rosa-Gipfel beobachteten wir eine Erscheinung, welche in striktem Gegensatz zu

dem Befunde steht, den man bei kurzdauerndem Sauerstoffmangel z. B. im pneumatischen Kabinett häufig gemacht hat. Während in letzterem Falle Erhöhung des respiratorischen Quotienten auftritt, fanden wir in einzelnen Versuchen auf dem Monte Rosa, namentlich solchen, welche bei Ruhe nach vorangegangener größerer Muskelanstrengung gemacht wurden, abnorm niedrige respiratorische Quotienten. Wir sagten vorher schon, daß die Erhöhung des Quotienten bei einem Tage und Wochen dauernden Aufenthalt in verdünnter Luft unmöglich fortbestehen kann, daß vielmehr die durch den Sauerstoffmangel erzeugten unvollkommen verbrannten Stoffe zu anderen Zeiten und eventuell an anderen Stellen des Körpers doch wieder zur Verbrennung kommen müßten. Bei der Verbrennung dieser Stoffe ist aber die Kohlensäurebildung gering im Verhältnis zum Sauerstoffverbrauch. Untersucht man daher die Atmung in Perioden, in denen solche Stoffe reichlich vorhanden sind und nun zur Verbrennung kommen, also etwa bald nach anstrengender Arbeit, so muß der respiratorische Quotient unter der Norm liegen. Ohne uns über die Natur der in Betracht kommenden Stoffe in Vermutungen zu verlieren, wollen wir nur erwähnen, daß z. B. bei der Verbrennung von Alkohol der respiratorische Quotient 0.67, bei der von Aceton, das ja vielfach, so nach langem Hungern oder bei der Zuckerharnruhr als Produkt unvollkommener Verbrennung auftritt, der Quotient 0.5 zu erwarten ist.

Bei Durig und Zuntz fanden sich so auf der Monte Rosa-Spitze nach längerer Muskeltätigkeit respiratorische Quotienten bis zu 0.65 herunter. Solche Quotienten hat man auch sonst nach anstrengenden Arbeiten bei Menschen und Tieren gefunden. In beiden Fällen dürfte dasselbe ursächliche Moment, nämlich ungenügende Sauerstoffzufuhr bei großem Bedarf, maßgebend sein.

Wir haben früher zur Erklärung solcher abnorm niedriger Quotienten besonders daran gedacht, daß bei Muskelarbeit der Glykogenvorrat des Körpers verbraucht wird, und daß dieser Vorrat in der nachfolgenden Ruhe, falls keine Nahrung zugeführt wird, aus den Beständen des Körpers, also aus Eiweiß oder aus Fett, sich regeneriert. Bildung von Kohlehydrat aus Fett muß aber ebenfalls den Quotienten unter den der Fettverbrennung entsprechenden Wert, also unter 0.70 erniedrigen. In der Tat fand denn auch Zuntz³⁰⁾ beim hungernden Hunde, dem er durch Phlorhizin Zucker entzog, und so eine Neubildung von Zucker, wahrscheinlich aus Fett, provozierte, den respiratorischen Quotienten von 0.66—0.63. Man sieht, daß es nicht an Ursachen fehlt, welche uns unter den Bedingungen des Hochgebirges niedrige respiratorische Quotienten finden lassen.

Steigerung des Sauerstoffverbrauchs im Hochgebirge. Eine andere Tatsache, welche in Kapitel VIII genauer behandelt wurde, ist die Steigerung des Sauerstoffverbrauchs im Hochgebirge, eine Steigerung, welche sowohl den Verbrauch bei Arbeit, und zwar diesen in besonders deutlichem Maße, als auch den in der Ruhe betrifft. So paradox es auf den ersten Blick erscheint, daß der in zu geringem Maße vorhandene Sauerstoff dennoch in abnorm großen Mengen gebraucht wird, so verständlich wird das Paradoxon, wenn wir die Verhältnisse genauer analysieren. Bei Arbeit kommt wohl zunächst in Betracht, daß die mangelhaft mit Sauerstoff versorgten Muskeln weniger leistungsfähig sind, und daß deshalb, wie immer bei zu starker Beanspruchung von Muskeln, weniger zweckmäßig gearbeitet wird. Es werden eben Hilfsmuskeln mit für die Arbeit beansprucht, welche unter un-

günstigerem Winkel an den Knochen angreifen. Die Steigerung des Sauerstoffverbrauchs, und natürlich auch der Kohlensäurebildung, würde also bei Sauerstoffmangel auf denselben Ursachen beruhen, wie die Steigerung, welche bei ermüdeten und überanstrengten Menschen regelmäßig beobachtet wird. Wenn wir aber auch in der Ruhe, allerdings nicht so konstant, und erst in größeren Höhen als bei Arbeit die Steigerung des Verbrauchs finden, so erklärt sich dies zum Teil aus dem Umstand, daß ja auch in der Ruhe ständig Muskelarbeit statt hat, und daß diese Muskelarbeit, z. B. die der Herz- und Atemmuskulatur, auch unter ungünstigeren Umständen erfolgt als bei reichlicherer Sauerstoffzufuhr. Für die Atemmuskulatur ist ferner in Betracht zu ziehen, daß sie, wie vorher schon erwähnt, mehr zu leisten hat, daß wir im Hochgebirge infolge der durch den Sauerstoffmangel erzeugten Reize dauernd verstärkt atmen. Es trägt außerdem, namentlich in den ersten Tagen des Höheng Aufenthalts, zur Vermehrung der Atemarbeit bei, daß die stärker ausgedehnten Darmgase einen Druck auf das Zwerchfell ausüben und dadurch die Atmung erschweren. Hinzu kommt, daß die Produkte unvollkommener Verbrennung, welche im Blute zirkulieren, schließlich doch verbrannt werden und hierfür zeitweise ein Mehrverbrauch an Sauerstoff nötig ist. Hierauf dürfte es zum Teil beruhen, wenn wir sehen, daß nach Anstrengungen im Gebirge nicht, wie sonst nach Muskeltätigkeit, der Sauerstoffverbrauch schon nach 3—4 Minuten wieder normal wird, sondern stundenlang um ein sehr Erhebliches gegen die Norm gesteigert bleibt (vgl. S. 241).

Als ein letztes Moment kommt vielleicht auch noch die erregende Wirkung der mehrfach besprochenen Produkte der unvollkommenen Oxydation auf die motorischen Zentren des Rückenmarks in Betracht. Wir wissen, daß diese Produkte bei akutem Sauerstoffmangel so intensive Reizwirkung entfalten, daß es zu heftigen Krämpfen kommt. Hier, wo sie nur in mäßigem Grade dauernd die Atmung verstärken, mögen sie zugleich, durch Erregung der Rückenmarkszentren, welche die Tätigkeit der Körpermuskulatur beherrschen, den Stoffwechsel in letzterer ein wenig anregen. Denn jede auch nur in verstärkter Spannung sich äußernde Erregung der Muskeln steigert den Stoffverbrauch. In diesem Sinne ist wohl das Auftreten von Frostschauern und Zittern in verdünnter Luft aufzufassen, welches wir an Müller im pneumatischen Kabinett konstatiert haben (vgl. S. 242). Hierher gehören ferner die interessanten Beobachtungen von Mosso¹⁹⁾ bei der periodischen Atmung im Hochgebirge. Bei mehreren Personen konnte er feststellen, daß Beine oder Arme regelmäßig in jeder Atemperiode zuckten, während die tiefste Einatmung ausgeführt wurde. Hier wurden also die Zentra der Extremitätenmuskeln miterregt in dem Moment, in dem auch die Atmung am stärksten war, also wohl die größte Menge erregender Stoffe im Blute zirkulierte.

Angesichts der entwickelten Gesichtspunkte werden wir uns nun nicht mehr wundern über die großen Unterschiede in der individuellen Reaktion auf das Hochgebirge. Die Höhen, in denen es zu zeitweisem Sauerstoffmangel kommt, müssen sehr verschieden sein. Der Sauerstoffmangel wird, wenn wenig lebenswichtige Organe die Abbauprodukte im wesentlichen produzieren, für den übrigen Körper durch Verstärkung der Atmung ausgeglichen. Andererseits begreifen wir aber auch,

daß in bezug auf die Zirkulation schlecht versorgte Organe schließlich Schaden leiden können, und verstehen so derartig schwere Erkrankungen, wie sie z. B. in Form lang dauernder Lähmungen zur Beobachtung gekommen sind.

Die letzten Zweifel daran, daß schon in mittleren Höhen Sauerstoffmangel vorkommt, werden durch die sehr charakteristischen, kaum anders als durch Sauerstoffmangel erklärbaren Veränderungen des Harns beseitigt. Auf Seite 285 ff. wurde gezeigt, daß der Harn beim Aufenthalt in den höheren Bergregionen reicher an unvollkommen oxydierten Stoffen wird, und daß schon in der Höhe des Brienzer Rothorns sich zuweilen ein abnormer Gehalt an Aminosäuren findet.

Wir können die Betrachtungen über den Sauerstoffmangel im Hochgebirge nicht abschließen, ohne einige sich dabei aufdrängende Gesichtspunkte von größerer Tragweite zu berühren. Es sei zunächst an die klinischen Erfahrungen bei Patienten erinnert, deren Sauerstoffversorgung infolge von Bleichsucht, von Lungenerkrankung (Emphysem oder Pleuritis) oder infolge von Kreislaufstörungen mangelhaft ist. Bei all solchen Patienten hat sich erhebliche Zunahme der Atembewegungen herausgestellt; meist wurde bei ihnen auch der Sauerstoffverbrauch höher gefunden als man nach ihrer Konstitution hätte erwarten sollen. Für beide Veränderungen dürfte dieselbe Erklärung gelten, wie für die entsprechenden Wirkungen des Hochgebirges: Es zirkulieren im Blute durch Sauerstoffmangel erzeugte Stoffe, welche erregend auf die Zentren der Atmung und wahrscheinlich auch auf andere Bewegungszentren einwirken. Die nachträgliche Oxydation dieser Stoffe trägt ebenfalls dazu bei den Sauerstoffverbrauch zu erhöhen.

Für das Verständnis der Erscheinungen im Hochgebirge sind die Erfahrungen der vergleichend biologischen Forschungen über die Art, wie verschiedene Zellformen und verschiedene Lebewesen sich bei fehlendem Sauerstoff verhalten, von großer Bedeutung. Sie lehren uns, daß es in der Natur in bezug auf die Abhängigkeit des Lebens vom Sauerstoff alle Grade der Abstufung gibt. Es gibt Organismen, welche fast augenblicklich ihre Bewegungen einstellen, wenn es an freiem Sauerstoff fehlt, so die meisten beweglichen Bakterien, welche Engelmann⁶⁾ aus diesem Grunde geradezu als empfindlichstes Reagens auf Sauerstoff benutzte, um mit ihrer Hilfe die Sauerstoffabscheidung des grünen Pflanzenfarbstoffs in ihrer Abhängigkeit von der Stärke und der Farbe des Lichts zu studieren. — Engelmann hat gezeigt, daß viele Bakterien innerhalb weniger als einer Sekunde zur Ruhe kommen, wenn der Sauerstoff fehlt, und in ebenso kurzer Zeit bei Zutritt desselben wieder zu tanzen beginnen. — Ähnlich empfindlich gegen Sauerstoffmangel sind die zur Untersuchung der Protoplasmabewegung viel benutzten Staubfadenhaare von *Tradescantia virginica*. Sobald die Protoplasmaströmung nach Wegschaffung des Sauerstoffs stillsteht, reagiert die Zelle selbst auf elektrische und chemische Reize nicht mehr. Im Gegensatz hierzu beobachtete Kühne¹²⁾ bei Armleuchtergewächsen (*Nitella*) auch bei Ausschluß von Licht, welches ja mit Hilfe des Chlorophylls Sauerstoff frei machen würde, 50 Tage andauernde Protoplasmabewegung und Wachsen der Zellen in vollkommen sauerstofffreiem Wasser. Die höchste Stufe der Unempfindlichkeit gegen den Sauerstoffmangel repräsentieren die zahlreichen sog. anaërobiontischen Organismen, welche nur bei fehlendem Sauerstoff auf Kosten der Energie, die durch Spaltung

komplexer organischer Verbindungen frei wird, ihr Leben fristen. Das anaerobe Wachstum der Hefezellen mit seiner Bildung von Alkohol und einer Reihe anderer Spaltungsprodukte aus Zucker diene als Beispiel für die Erzeugung von erregenden, als Zellgifte wirkenden Produkten bei solchem Leben ohne Sauerstoff.

Die in den vorher angeführten Fällen hervortretenden großen Differenzen in der Unentbehrlichkeit des Sauerstoffs für die Lebensfunktionen selbständiger Organismen zeigen sich nun auch bei den verschiedenen Zellen unseres Körpers.

In gleicher Weise wie die von Engelmann untersuchten Bakterien erscheinen gewisse Zellen unseres Hirns in ihrer Funktion vom Sauerstoff abhängig, speziell diejenigen, in welchen sich die Bewußtseinsvorgänge abspielen. So verstehen wir, daß der vollständigen Absperrung der Blutzufuhr vom Gehirn in kürzester Zeit Bewußtlosigkeit folgt. Zufluß sauerstofffreien Blutes wirkt gleich wie vollkommenes Fehlen der Blutzufuhr, rasch lähmend; wird aber das Blut erst im Laufe einiger Minuten sauerstofffrei, wie bei der Erstickung durch Verschuß der Luftwege, so geht dem Erlahmen der Hirnfunktionen eine mächtige Reizung voran, welche sich in Atemnot und Krämpfen äußert. In diesem Falle haben sich offenbar im Körper jene bei Anaerobiose entstehenden, die Hirnzellen reizenden Zerfallsprodukte in solchen Mengen gebildet, daß sie die geschilderte starke Erregung zustande bringen, ehe gänzlicher Sauerstoffmangel die Zellen lähmt. — Viel länger als beim Warmblüter verträgt das Hirn der Kaltblüter bei niedriger Temperatur den Sauerstoffmangel. Pflüger²³⁾ konnte an Fröschen viele Stunden lang bei annähernd 0° Erhaltung der Reizbarkeit bei vollkommenem Ausschluß des Sauerstoffs nachweisen.

Ganz anders als das Hirn verhalten sich die Muskeln des Warmblüters, sie bleiben bei fehlendem Sauerstoff noch lange reizbar; viele Stunden nach dem Tode, d. h. dem Erlöschen der Hirntätigkeit und des den Organen Sauerstoff zuführenden Blutkreislaufs erzielt elektrische und andere Reizung kräftige Zusammenziehung der Muskeln.

In sehr eindringlicher Weise hat Jacques Loeb¹³⁾ die beiden Seiten der Wirkung des Sauerstoffmangels demonstriert: In gewissen Fällen ist der Sauerstoff als solcher zur Erzeugung der vitalen Energie unentbehrlich, in anderen schadet sein Mangel indirekt, indem er zur Bildung von Stoffen führt, welche den glatten Ablauf der Lebensprozesse stören. Als Beispiel für letzteren Vorgang dient das Verhalten der Furchung der Eizelle bei Sauerstoffmangel. Bekanntlich erfolgt nach der Befruchtung die Teilung der Eizelle in sehr regelmäßiger, in der Schnelligkeit der Folge der einzelnen Stadien wesentlich durch die Temperatur beeinflusster Weise. Bei gewissen Fischeiern (*Otenolabrus*), sowie bei den Eiern der Seeigel ist Sauerstoff für das Zustandekommen der Furchung unbedingt nötig. Aber nicht nur das: die bereits abgelaufene Furchung wird durch vollständige Entziehung des Sauerstoffs wieder rückgängig gemacht, die Zellen fließen wieder zusammen, um sich, wenn die Entziehung nicht allzu lange gedauert hat, unter erneutem Einfluß des Sauerstoffs wieder zu differenzieren. Hier ändert also offenbar der Sauerstoffmangel oder die durch ihn entstehenden Substanzen die Beschaffenheit der Zelloberfläche. Bei anderen Fischarten (*Fundulus*) dagegen schreitet die Entwicklung des Eies ohne Sauerstoff lange ungestört voran; es konnte sogar als erste Wirkung des Sauerstoffmangels eine Beschleunigung des

Prozesses nachgewiesen werden, die von Loeb mit der Erregung der Atmung und den anderen vorher besprochenen Reizerscheinungen bei höheren Tieren in Parallele gestellt wird.

Jene Unterschiede in der Empfindlichkeit, welche wir bei den Eiern sehen, finden sich auch bei den entwickelten Tieren. Der bei seiner Furchung so empfindliche *Ctenolabrus* zeigt auch als Embryo eine auffallend schnelle Lähmung des Herzens durch Sauerstoffmangel. Schon wenige Minuten nach der Verdrängung des Sauerstoffs steht das Herz plötzlich still. Ganz im Gegensatz dazu beobachtet man am Herzen von *Fundulus*, dessen Zellen ja, wie wir gesehen haben, keine Strukturänderung durch Sauerstoffentziehung erfahren, ein allmähliches Versiechen der Leistung. Die Zahl der Herzschläge geht im Laufe von 1½ bis 2 Stunden von etwa 120 auf 20 herunter, um dann viele Stunden diese Frequenz beizubehalten. Man kann sich wohl unbedenklich der Auffassung von Loeb anschließen, daß die letztere Leistung das Maß der Energie darstellt, welche in dem Organ durch Anaërobiose, also durch Spaltungsprozesse ohne Mitwirkung des Sauerstoffs, frei wird.

Ganz analog dem Herzen des *Fundulus* verhält sich unsere Muskulatur; sie bleibt auch ohne Sauerstoff stundenlang erregbar, leistet in passender Weise gereizt Arbeit — aber diese Arbeit ist sehr klein, verglichen mit der eines vom Blut durchströmten und dadurch mit Sauerstoff versorgten Muskels. Schon nach kurzer Reizdauer versagt der sauerstofflose Muskel, erholt sich aber lange Zeit immer wieder auch ohne Zufuhr von Sauerstoff.

Bei solchem Leben ohne Sauerstoff entstehen natürlich reichlich jene abnormen Produkte, deren Erzeugung in geringer Menge das erste Zeichen mangelhafter Sauerstoffzufuhr im Hochgebirge ist — die abnormen Harnbestandteile, die im Blute nachgewiesenen Säuren.

Wir dürfen die Erörterungen dieses Kapitels dahin zusammenfassen, daß Sauerstoffmangel sich im Hochgebirge bei vielen gesunden Menschen schon in mittleren Höhen deutlich bemerkbar macht, daß er bei Blutarmen, bei Störungen des Kreislaufs und der Atmung besonders früh auftritt. Durch die Anregung der Atmung, welche die in einzelnen, besonders schlecht mit Blut versorgten Partien des Körpers gebildeten Spaltungsprodukte bewirken, wird der übrige Organismus vor Sauerstoffmangel geschützt. Erst in Höhen von 4000 m treten gröbere Störungen bei der Mehrzahl der Menschen auf, während einzelne bevorzugte Naturen 6000 m und mehr ertragen.

Literatur.

1) Aron: „Zur Ursache der Erkrankung in verdünnter Luft“. Festschrift für J. Lazarus. Berlin 1899.

2) E. du Bois-Reymond: „De fibræ muscularis reactione, etc.“. Berlin 1859.

3) Bordoni: Referiert in Virchow-Hirschs Jahresbericht 1888, S. 186.

4) Cohnstein und Zuntz: „Über die Ursache der Apnoë des Fötus usw.“. Pflügers Archiv 42, S. 355.

5) Durig und Zuntz: Engelmanns Archiv 1904, Suppl. S. 417.

- ⁶⁾ Th. W. Engelmann: „Neue Methode zur Untersuchung der Sauerstoffausscheidung tierischer und pflanzlicher Organismen“. Pflügers Archiv 25, S. 285.
- ^{6a)} Aug. Ewald: „Zur Kenntnis der Apnoë“. Pflügers Archiv VII, S. 575.
- ⁷⁾ v. Frey: „Versuche über den Stoffwechsel der Muskeln“. Archiv für (Anatomic und) Physiologie 1885, S. 533.
- ⁸⁾ Friedländer und Herter: Ztschr. f. phys. Chemie III, S. 19.
- ⁹⁾ Galeotti: „Les variations de l'alcalinité du sang sur le Mont Rosa“. — Travaux du Labor. scientif. du Mont Rosa. Turin 1904. p. 1.
- ¹⁰⁾ Martin Goltstein: „Über die physiologischen Wirkungen des Stickoxydulgases“. Pflügers Archiv 17, S. 331.
- ¹¹⁾ Hill und Nabarro: „The exchange of blood gases in the brain and in the muscles etc.“. Journal of physiol. 18, p. 218.
- ¹²⁾ W. Kühne: „Die Bedeutung des Sauerstoffes für die vitale Bewegung“. Zeitschrift für Biologie 35, S. 43 und 36, S. 1.
- ¹³⁾ Jacques Loeb: „Untersuchungen über die physiologischen Wirkungen des Sauerstoffmangels“. Pflügers Archiv 62, S. 249.
- ¹⁴⁾ Loewy: „Zur Kenntnis der Erregbarkeit des Atemzentrums“. Pflügers Arch. 47, S. 601.
- ¹⁵⁾ Derselbe: „Untersuchungen über die Respiration und Zirkulation“. Berlin 1895.
- ¹⁶⁾ Loewy und v. Schrötter: „Die Blutzirkulation beim Menschen“. Berlin, Hirschwald, 1905.
- ¹⁷⁾ Loewy und Zuntz: „Mechanismus der Sauerstoffversorgung des Körpers“. Archiv für (Anatomic und) Physiologie 1904, S. 166.
- ¹⁸⁾ Miescher-Rüsch: „Bemerkungen zur Lehre von den Atembewegungen“. Archiv für (Anatomic und) Physiologie 1885, S. 365.
- ¹⁹⁾ Mosso: „La physiologie de l'apnée, étudiée chez l'homme“. Travaux du labor. de physiol. de Turin Années 1901—1903, p. 123.
- ²⁰⁾ Derselbe: „La respiration périodique“.
- ²¹⁾ Mosso und Marro: „Blutgase auf dem Monte Rosa“. Arch. ital. de Biologie 39, p. 387 und 402.
- ²²⁾ Pflüger: „Über die Ursache der Atembewegungen“. Sein Archiv I, S. 61.
- ²³⁾ Derselbe: „Die physiologische Verbrennung usw.“. Sein Archiv X, S. 251.
- ²⁴⁾ v. Schrötter und Zuntz: „Ergebnisse zweier Ballonfahrten zu physiologischen Zwecken“. Pflügers Archiv 92, S. 479.
- ²⁵⁾ Spallitta: „Der Gasgehalt des Blutes nach Salzwasserinfusion“. Zentralblatt für Physiologie XIX, Nr. 4. 1905.
- ²⁶⁾ P. Spiro: „Zur Physiologie der Milchsäure“. Zeitschrift für phys. Chemie I, 111.
- ²⁷⁾ Speck: „Physiologie des menschlichen Atmens“. Leipzig 1892.
- ²⁸⁾ Verworn: „Ermüdung, Erschöpfung und Erholung der nervösen Centra des Rückenmarks“. Archiv für (Anatomic und) Physiologie 1900, Suppl. S. 152.
- ²⁹⁾ Weichardt: „Über Ermüdungstoxin und Autitoxin“. Münchener med. Wochenschr. 1904 u. 1905.
- ³⁰⁾ Zuntz: „Gaswechsel im Phlorhizindiabetes“. Verhandl. der Berliner physikalischen Gesellschaft 1904.
- ³¹⁾ Zuntz und Hagemann: „Stoffwechsel des Pferdes bei Ruhe und Arbeit“. Berlin, Parey, 1898. S. 380—401.

Kapitel XIX.

Die Bergkrankheit.

Das in immer weitere Kreise dringende Interesse an den Alpen und am Alpensport hat nicht nur die Kenntnis der Berge in früher nicht geahntem Maße verallgemeinert, ihre Schönheiten offenbart, die Geist und Körper belebenden Wirkungen des Bergsports populär gemacht, es hat auch mannigfache Gefahren und Schädigungen aufgedeckt, die dem Bergsteiger zustoßen können. Es läßt sich nicht leugnen, daß diese zum Teil nicht ohne eigenes Verschulden eintreten. Die Lust an Abenteuern verführt häufig dazu, Gefahren, denen man sich nicht auszusetzen brauchte, aufzusuchen, bestehende zu vergrößern. Ein Teil der körperlichen Schädigungen, die das Hochgebirge hervorruft, ist durch Leichtsinn oder Überschätzung der eigenen Fähigkeiten und Kräfte verursacht. Wir erinnern hier nur an die Überanstrengungen des Herzens, von denen ausführlich in Kapitel XII gehandelt wurde. Diese Zufälle, die keinen geringen Raum in der Chronik der Bergunfälle einnehmen, könnten bei genügender Aufmerksamkeit und Selbstzucht vermieden werden.

Andererseits gibt es jedoch eine, für den Aufenthalt in der Höhenluft spezifische und von ihm abhängige Erkrankung, die den Bergsteiger ohne eigenes Verschulden trifft, den einen in geringerer, den anderen in beträchtlicherer Höhe, der aber schließlich niemand entgeht, der über eine gewisse Grenze hinaus zur Höhe strebt.

Man bezeichnet diese Erkrankung als Bergkrankheit.

Der Name ist heute so allgemein bekannt, und die Erscheinungen der Bergkrankheit sind durch vielfältige Berichte von Hochtouristen so geläufig geworden, daß es etwas eigentümlich anmutet, wenn Dr. Meyer-Ahrens,¹⁸⁾ der erste, der im Jahre 1854 in deutscher Sprache das damalige Wissen über die Bergkrankheit in einer vorzüglichen Monographie zusammenfaßte, die Aufstellung eines eigenen, Bergkrankheit genannten, Krankheitsbildes erst begründen zu müssen glaubt. Und doch gibt es auch heutzutage noch Leute, die, weil sie selbst von der Bergkrankheit verschont geblieben sind, deren Vorkommen überhaupt leugnen. Das ist eine unzulässige Skepsis, die aus den Erfahrungen anderer sich nichts zu eigen machen und nichts lernen will.

Ist auch der Name „Bergkrankheit“ ein sehr gangbarer geworden, so ist andererseits der damit zu verbindende Begriff, die Auffassung vom Wesen der Krankheit und deren Ursachen, noch nicht so vollständig geklärt, daß auch nur bei den Sachverständigen darüber Einstimmigkeit herrschte.

Nach der vorstehend gegebenen Definition soll man nur eine dem Hochgebirge spezifisch zukommende Erkrankung als Bergkrankheit bezeichnen. Alle Affektionen also, die einer auch im Tieflande wirksamen Krankheitsursache entspringen, müssen ausgeschlossen werden. Entzündungen der Luftwege, Erkrankungen des

Magendarmapparates durch Diätfehler, der Haut und Augen durch grelles Licht sind, auch wenn sie uns in den Bergen treffen, nicht als Erscheinungen der Bergkrankheit zu bezeichnen. Allerdings kann nicht geleugnet werden, daß die Klimafaktoren, die für die Entstehung entzündlicher Krankheiten verantwortlich gemacht werden müssen, im Höhenklima besonders ausgeprägt sind, daß speziell dessen hohe Trockenheit, die starke Luftbewegung, die Temperaturwechsel begünstigend auf die Entstehung entzündlicher Erkrankungen wirken können.

Anders liegt die Frage schon, wo die Wirkung des Höhenklimas derart in den Vordergrund tritt, daß sie neben anderen mitwirkenden Schädlichkeiten die Hauptursache zum Ausbruch von Krankheitserscheinungen abgibt. Unter den hier in Betracht kommenden, die krankmachende Wirkung des Höhenklimas unterstützenden Schädlichkeiten steht in erster Reihe die körperliche Anstrengung. So hat man z. B. beobachtet, daß im Hochgebirge Diarrhöen infolge von schwierigen Klettereien bei Personen auftreten, die in tieferen Regionen unter gleichen Verhältnissen nicht daran leiden. Hier liegt es nahe, die mangelhafte Versorgung des Darmes mit dem an Sauerstoff verarmten Blut als Ursache anzunehmen, die Erkrankung also in mittelbare Beziehung zur Höhe zu bringen (vgl. Kapitel VII). Ebenso verhält es sich mit den Ermüdungserscheinungen, die bei körperlichen Anstrengungen im Hochgebirge auftreten. Das noch genauer zu schildernde Bild ist ein so besonderes, wie es im Flachlande nicht wahrzunehmen ist. Gelangt man beim Wandern oder Klettern im Hochgebirge in Regionen, in denen die Sauerstoffzufuhr für den, entsprechend der Muskelarbeit gesteigerten, Bedarf unzureichend wird, so macht sich eine ganz eigenartige Mattigkeit und Schwäche bemerkbar; man glaubt sich unfähig, auch nur einen Schritt weiter tun zu können, man muß Halt machen, sich unter Umständen sogar niedersetzen oder niederlegen. Dann aber fühlt man sich sofort frisch und wohl, nimmt mit scheinbar neuen Kräften die Wanderung wieder auf, um nach 20, 30 oder 100 Schritten wieder Halt machen zu müssen. Der neue Halt behebt sogleich jedes Schwächegefühl, verleiht sofort wieder das Gefühl vollkommener Kraft.

Das sind nicht die Symptome reiner Ermüdung; diese ist nie eine so vollständige, daß man sich zu irgend einer Bewegung absolut unfähig fühlte, auch geschieht bei ihr die Erholung nur langsam, und volle Frische wird nicht ohne längere Ruhepause wieder erlangt. Hier handelt es sich nicht um eine durch übermäßige Beanspruchung der Muskeln eintretende Erschöpfung derselben, vielmehr um eine im Verhältnis zum Bedarf ungenügende Sauerstoffzufuhr, die mit der Verdünnung der Luft zusammenhängt. Man kann diesen Symptomenkomplex schon zur Bergkrankheit rechnen, aber sie kommt hier noch nicht rein zum Ausdruck.

Das charakteristische und eindeutige Bild der Bergkrankheit enthüllt sich uns erst unter Umständen, wo keine körperliche Arbeit geleistet wird. Es tritt in ausgeprägtem Maße bei gesunden Individuen erst in größeren Erhebungen auf als die krankhaften Erscheinungen, die bei Gletscherwanderungen oder Felsklettereien sich geltend machen, und so kommt es, daß aus eigener Erfahrung nur relativ wenige Bergsteiger sie kennen zu lernen Gelegenheit haben, und daß auch heute noch manche Forscher die reine Form der Bergkrankheit leugnen und alle Bergkrankheitserscheinungen als die Folgen körperlicher Überanstrengungen ansehen.

Unsere eigene Stellung zum Wesen und den Ursachen der Bergkrankheit werden wir im folgenden eingehend darlegen und begründen.

Geschichtliche Notizen. Wir wollen hier keine ausführliche Geschichte der Bergkrankheit geben. Die darauf bezügliche Literatur ist wiederholt umfassend dargestellt worden. Außer von Meyer-Ahrens¹⁸⁾ in sehr ausführlicher Weise von Paul Bert,²⁾ in jüngster Zeit in kürzerer Form von H. Kronecker.¹⁵⁾ Auch H. v. Schrötter^{26) 26a)} und G. v. Liebig¹⁶⁾ machen in ihren am Schlusse dieses Kapitels zitierten Arbeiten über die Bergkrankheit historische Mitteilungen. Zum Zwecke eingehender Studien verweisen wir auf diese Darstellungen. Hier wollen wir nur eine kurze Übersicht derjenigen Arbeiten liefern, die grundlegend gewesen sind oder für Wesen und Ursachen der Krankheit besonders wertvolle Mitteilungen enthalten.

Wie schon in Kapitel I erwähnt wurde, war Acosta¹⁾ der erste, der in einem 1590 in spanischer Sprache erschienenen Werke eine Beschreibung der Bergkrankheit gab. Acosta war ein spanischer Jesuit, der auf einer Expedition nach dem nicht lange zuvor von Spanien unterworfenen Goldlande Peru begriffen war. Bei dem Passieren des Pariacaca wurde er auf einem Maultiere reitend in etwa 4500 m Höhe von eigentümlichen Beschwerden ergriffen, die sich in schmerzhaftem Schlucken, in Würgen und Erbrechen, anfangs von Speiseresten, Schleim und Galle, dann von Blut äußerten. Seine Begleiter litten in ähnlicher Weise, einige auch an Durchfällen. — Acosta berichtet, daß im allgemeinen bleibende Nachteile nicht entstehen, daß ausnahmsweise jedoch die Krankheit zum Tode führen kann. Er bemerkt weiter, daß sie nicht in allen Gegenden der Anden mit gleicher Heftigkeit auftritt, einzelne Punkte vielmehr eine größere Disposition abgäben als andere in gleicher Höhe.

Acosta gab dem geschilderten Symptomenkomplex den Namen Bergkrankheit. Es ist bemerkenswert, daß er ihn bereits auf die Düntheit der Luft zurückführte.

Nach anderthalb Jahrhunderten finden wir weitere eingehende Berichte über dasselbe Leiden. Sie rühren von drei französischen Akademikern (Bouguet, La Condamine und Godin) her, die die bolivianischen Anden im Jahre 1736 zum Zwecke von Meridianmessungen aufsuchten. Außer ihnen selbst gibt Don Ulloa,²⁸⁾ ein spanischer Marineoffizier, der ihnen zum Schutze beigegeben war, genaue Mitteilungen über ihr Befinden. Auch sie litten an Erbrechen, ferner an allgemeiner Schwäche, Schwindel- und Ohnmachtsanwandlungen, Atemnot, Herzklopfen und fieberhaften Erscheinungen, die nach einigen Tagen allmählich nachließen. Ulloa erwähnt, daß nicht alle Personen gleich schwer von der Krankheit befallen werden. — Wie die Menschen, so erkrankten auch die Lasttiere. Sie zeigten Zeichen hochgradiger Erschöpfung und viele gingen zugrunde. Ulloa bezeichnet die Krankheit als Mareo de la Puna, d. h. die Seekrankheit, die einen auf der Puna — der peruanischen Hochebene — erfaßt, der Ähnlichkeit der Symptome wegen, die die Bergkrankheit mit der Seekrankheit bietet.

Interessant ist, daß Ulloa bezüglich der Ursache der Bergkrankheit die Anschauung bekämpft, daß sie giftigen Gasen, die von unterirdischen Erzadern ausgehen, ihre Entstehung verdanke. Diese Meinung ist noch heute unter der indianischen Bevölkerung der Anden verbreitet und von ihr rührt die indianische Bezeichnung der Bergkrankheit Sorroche her. Sorroche ist nach Middendorf¹⁹⁾ die verdorbene Aussprache des Keshuawortes Sorrojehi und bedeutet Schwefelkies. Denselben Sinn hat die spanische Bezeichnung für Bergkrankheit Veta; Veta bedeutet: Erzgang.

Bis gegen das Ende des achtzehnten Jahrhunderts liegen dann keine neuen Nachrichten vor. Nun aber nimmt zugleich mit dem Einsetzen der wissenschaftlichen Erforschung des Hochgebirges auch die Literatur über die Bergkrankheit schnell einen erheblichen Umfang an.

Der erste, der sie wieder anschaulich beschreibt, ist Saussure.²⁴⁾

Er lernte sie gelegentlich seiner ersten Montblancbesteigung kennen. Schon bevor ihm diese im Jahre 1787 gelang, hatte Saussure bei einer Besteigung des Buët 1778 in 3000 m

Höhe an sich und seinen Führern die Wirkung der Höhe gespürt. Sie machten diese Besteigung zu Fuß. Das vorwiegendste Symptom war eine sehr schnell eintretende Ermüdung, die alle 40 bis 50 Schritte zum Anruhen zwang, und eine auffallende Neigung zum Einschlafen. „Die Art Ermüdung, die von der verdünnten Luft herrührt, ist unüberwindlich,“ sagt Saussure; „wenn sie ihren höchsten Punkt erreicht hat, so würde einen selbst die eminenteste Gefahr nicht einen Schritt weiter tun lassen.“ Bezüglich der Schlafsucht bemerkt er, „daß alle, welche nicht beschäftigt sind, leicht einschlafen trotz Wind, Kälte und Sonne und zwar oft in sehr unbequemen Stellungen. Allerdings bringt auch in der Ebene die Ermüdung den Schlaf, aber er tritt nicht so rasch ein, besonders wenn die Ermüdung gänzlich geschwunden zu sein scheint, nachdem man einige Augenblicke geruht hat.“

Es zeugt von der scharfen Beobachtungsgabe Saussures, daß er sich über die Unterschiede, in der sich die Ermüdung in der Höhe und im Tieflande äußert, eingehend ausläßt. Für ihn sind die Beschwerden der Höhenkrankheit nicht allein Folgen der Ermüdung, wie es fälschlich so viele Forscher annahmen, die sich späterhin mit der Entstehung der Bergkrankheit befaßt haben.

In verstärktem Maße und kombiniert mit anderen Beschwerden machten rasche Ermüdung und Schlafsucht sich auf dem Montblanc geltend. Alle 15—16 Schritte mußte Saussure vor Erschöpfung ruhen, dazu kamen Atemnot, Herzklopfen, ab und zu Ohnmachtsanwandlungen, die ihn zwangen, sich zu setzen. Die Atemnot war besonders stark beim Bücken, wonach er zwei bis drei Minuten keuchend Atem schöpfen mußte. — Bei vollkommener Körperruhe auf der Spitze, woselbst er sich zum Zwecke meteorologischer Beobachtungen 4½ Stunden aufhielt, merkte er leichte Übelkeit. Der Appetit mangelte gänzlich; alkoholische Getränke — Wein oder Branntwein — schienen die Beschwerden zu steigern.

Besonders schwer fiel Saussure das Ablesen der Instrumente und seine Erklärung hierfür beweist wiederum sein ausgezeichnetes Beobachtungstalent. Er sagt: „jede mit Sorgfalt angestellte Beobachtung in dieser dünnen Luft ermüdet, und zwar weil man, ohne daran zu denken, den Atem zurückhält, und, da man die Dünnhheit der Luft durch häufigere Atemzüge ersetzen muß, so verursacht diese Suspension des Atmens ein merkliches Übelbefinden.“

Ein Jahr vor Saussures erster gelungener Montblancbesteigung hatte Lavoisier die Bedeutung des Sauerstoffes für die Lebensprozesse der Tiere entdeckt, und Saussure bringt die Atmungsbeschwerden in der Höhenluft bereits mit der Verdünnung des Sauerstoffes in ursächliche Beziehung.*)

In den Beginn des neunzehnten Jahrhunderts fallen Alexander von Humboldts¹³⁾ berühmte Reisen nach Mittel- und Südamerika (Quito). Auch sie enthalten reichliches Material zur Kenntnis der Bergkrankheit. Bemerkenswert ist dabei die Angabe, daß neben Entkräftung, Übelbefinden, Brechneigung bei Humboldt und seinen zwei Begleitern (Bonpland und Montufar) Blutungen aus Lippen und Augen auftraten.

Weiter liegen aus den dreißiger Jahren Berichte eines englischen Forschers, Cunningham⁵⁾ aus Peru, vor und ein stattliches Werk von Pöppig,²³⁾ einem Leipziger Professor, der zu botanischen Untersuchungen gleichfalls Peru und Chile mehrere Jahre hindurch bereiste.

Aus den Angaben Cunninghams ist erwähnenswert, daß er die Bergkrankheit, deren Erscheinungen er ähnlich den vorstehend genannten Autoren schildert, auf die elektrischen Verhältnisse des Höhenklimas bezieht, eine Anschauung, die auch in jüngster Zeit wieder Anhänger gewonnen hat, allerdings von ganz anderen Gesichtspunkten aus.

Pöppigs Angaben sind sehr wertvoll, weil er sich nicht nur vorübergehend in Regionen aufhielt, in denen der Tiefländer von der Bergkrankheit befallen zu werden pflegt, sondern längere Zeit in ihnen verweilte und sich nicht in unwirtlichen Gegenden bewegte, vielmehr in größeren, der Kultur nicht ganz entbehrenden Orten. — Sehr anschaulich schreibt Pöppig über die Bergstadt Cerro de Pasco in 4400 m Höhe:

*) Sehr anschauliche und lesenswerte Schilderungen selbsterlebter Leiden während eines Aufenthaltes auf dem Montblanc gaben in jüngster Zeit Dr. Egli-Sinclair^{5b)} und Dr. Guglielminetti.^{7a)}

„Bei dem ersten Ausgang des Ankömmlings am Morgen ist er überrascht durch eine unerklärliche Müdigkeit, peinliche Atemnot, leichten Kopfschmerz, Gefühl des Andranges des Blutes nach Kopf und Lungen. Umsonst versucht er durch weiteste Ausdehnung der Brust die Lungen mit dem belebenden Elemente zu erfüllen, es scheint, als ob man sich in einem leeren Raume befinde. Die steilen Gassen werden beschwerlich, kaum vermögen die Füße den Körper zu tragen, die Knie sinken ein, man muß sich oft ausruhen. Endlich erlahmt der Wille, der Geist wird abgestumpft und kleinmütig.“ Das Sprechen ist erschwert, eine Angabe, die sich schon bei Humboldt findet. Das Spielen von Blasinstrumenten kann zu Gefäßzerreißen in den Lungen und zu blutigem Auswurf führen.

Auch Pöppig erwähnt Neigung zu Ohnmachten, Übelkeit, Schlagsucht. Aber es kommt nicht zur Erquickung durch den Schlaf; man findet keine Ruhe, im Gegenteil, gerade die nächtlichen Stunden führen die höchste Beklemmung herbei und sind die Zeiten eines wahrhaften Martertums.

Pöppig hatte Gelegenheit, Beobachtungen über die Gewöhnung an die Höhenluft zu machen. Er äußert sich darüber folgendermaßen: „Nach 6 bis 12 Tagen sind die schlimmsten Erscheinungen verschwunden, Müdigkeit und beschwerliches Atmen bleiben aber noch lange zurück. Im ersten Jahre kann kein Europäer seine Kraft brauchen, wie er es gewohnt ist, oder wie in niederen Gegenden, allmählich aber gewöhnt er sich.“

Ebenso wie Pöppig hat dann Tschudi sich mehrere Jahre in den Anden aufgehalten. Er bereiste Peru 1838—42. Auch Tschudi²⁷⁾ gibt von dem einen der Anfälle, von denen er betroffen wurde, eine sehr anschauliche Schilderung. In 4500 m Höhe wurde sein Maultier müde, er mußte absteigen und, es am Zügel führend, emporklettern. Da wurde ihm der Atem kurz, es bemächtigte sich seiner ein unbeschreibliches Angstgefühl, . . . „eine Welt lag mir auf der Brust. Die Lippen wurden aufgedunsen und barsten, die feinen Kapillargefäße der Augenlider rissen und tropfenweise drang das Blut heraus. Die Sinne schwanden, Nebel schwammen mir vor den Augen und zitternd mußte ich mich niederlegen“. — Nachdem Tschudi eine halbe Stunde fast bewußtlos gelegen, konnte er seinen Weg fortsetzen.

Über ähnliche Erscheinungen, speziell über Blutungen aus der Nase berichtet auch d'Orbigny,²⁸⁾ der sich gleichfalls in den dreißiger Jahren des vorigen Jahrhunderts in den bolivianischen Anden aufhielt.

Interessant und, wie sich weiter zeigen wird, auch in anderen Hochgebirgen wiederkehrend, ist Tschudis Angabe, daß es Gegenden in den Anden gibt, die wegen ihrer starken Veta so berüchtigt sind, daß die wegdkundigen Indianer den Reisenden schon lange vorher auf sie aufmerksam machen, und daß sich darunter solche finden, die bedeutend tiefer liegen als andere, in denen die Veta weit weniger fühlbar ist, sogar nicht einmal vorkommt. — Im allgemeinen tritt sie zuerst in ca. 3600—3900 m Höhe auf.

Er gibt ferner an, daß die atmosphärischen Verhältnisse von Einfluß auf den Ausbruch der Krankheit sind. Bei reiner Atmosphäre und großer Kälte soll sie viel heftiger und allgemeiner auftreten, als wenn die Luft mit Wasserdampf erfüllt ist. —

Der jüngste Autor, der über Bergkrankheit aus den peruanischen Anden berichtet, ist Middendorf.¹⁹⁾ Seine Angaben stimmen mit denen Tschudis fast in jedem Punkte überein.

Zwei Bemerkungen bedürfen jedoch einer Erwähnung. Die eine, daß nach schlecht verbrachten Nächten sogleich Besserung der Beschwerden eintrat, sobald die Sonne über den Höhen erschien und das Zimmer beleuchtete, und die zweite, daß Middendorf bei der Fahrt von Arequipa nach Puno in Bolivia auf der Paßhöhe der Randkordillere in ca. 5000 m frei von Beschwerden blieb, jedoch nach der Ankunft in Puno selbst, das nur 4000 m hoch gelegen ist, erkrankte und am folgenden Tage schon in 3000 m Höhe beim Gehen nach wenigen Schritten Atemnot und Nasenbluten bekam. — Diese Angabe ist, wie sich zeigen wird, für die Auffassung vom Wesen der Bergkrankheit von Wichtigkeit.

Es seien noch die Reisebeschreibungen von Güssfeld⁹⁾ und E. A. Fitz-Gerald⁷⁾ genannt, die sich beide auf die chilenischen Anden, speziell den Aconcagua beziehen, den Fitz-Gerald bis zu 6500 m, sein Schweizer Führer Zurbriggen fast bis zur Spitze 6999 m erstieg, ferner die Whympers⁸⁰⁾ vom Chimborazzo und Cotopaxi. Whympers ist der

erste, der während der heftigen Beschwerden, die ihm zusetzten und einen fiebrigen Zustand erzeugten, seine Körpertemperatur maß. Er fand sie — er maß wie fast alle Engländer unter der Zunge — auf 38° C. gesteigert. — Endlich seien Conways Ersteigungen des Illimani (6410 m) und des Sorata (6550 m) in den bolivianischen Anden erwähnt.⁴⁾ — Alle diese Unternehmungen zeigen, bis zu welcher außerordentlichen Höhen einzelne — wenn auch unter Beschwerden — trotz erheblicher körperlicher Anstrengung vorzudringen vermögen.

Später als aus den Anden liegen Berichte über Bergkrankheit, besonders über Wirkungen längeren Aufenthaltes, aus anderen Hochgebirgen der Erde vor. Das ist erklärlich, wenn man bedenkt, daß die Anden bis in die Region der Bergkrankheit hinein besiedelt und frei von ewigem Eise sind, daß ihre Besteigung relativ leicht ist und nicht die Zurüstungen erfordert wie ein längerer Aufenthalt in den für die Bergkrankheit in Betracht kommenden Höhen der Alpen oder der Hochgebirge Asiens.

Aus dem Anfange des neunzehnten Jahrhunderts finden wir Nachrichten über das Auftreten der Krankheit bei der Ersteigung des Kasbeck im Kaukasus von Engelhardt und Parrot (1815), bei Besteigung des Ararat in Armenien, gleichfalls von Parrot, der ihn dreimal besuchte (1834), des Mauna Loa auf Hawaii von Wilkes (1838—42) und neuerdings wieder von Franz Kronecker und Benedikt Friedländer (1895). Sie bietet kein wesentlich anderes Bild als das in den vorstehenden Schilderungen dargestellte. Wer sich für die im einzelnen reizvollen Beschreibungen interessiert, möge sie in den Originalen oder in den obengenannten Zusammenstellungen bei Meyer-Ahrens oder Paul Bert oder H. Kronecker nachlesen.

Seitdem die Periode des Alpinismus begonnen, in der die Bezwingung der Bergwelt zum Selbstzwecke wurde, häufen sich die Berichte auch aus den Hochgebirgen Zentralasiens, aus Tibet und dem Himalaja.

Es würde den Rahmen unserer Darstellung und auch den uns zur Verfügung stehenden Raum überschreiten, wenn wir diese Berichte auch nur skizzieren wollten. Nur das für uns Wesentliche: neue Erscheinungsformen, neue Erklärungsversuche, neue Beziehungen wollen wir herausheben.

Moorcroft²⁰⁾ überschritt 1812 den Nitpaß (5068 m). Er litt besonders an Blutandrang zum Kopf und Schwindel, so daß er einen Schlagfluß befürchtete. Auch begannen seine Lippen zu bluten. Besondere Beschwerden hatte er, als er sich zum Schlafen niederlegte; er wurde von starken Beklemmungen auf der Brust befallen, die er für Sekunden durch tiefes Aufseufzen beseitigen konnte. Die Beschwerden ließen etwas nach, als die Luft wärmer wurde. — Dieselben Beschwerden hatte 1819 an gleicher Stelle Webb²⁰⁾ und seine Führer. Die Eingeborenen führten sie auf giftige Dünste zurück, die von giftigen Blumen ausgehen sollten, eine Anschauung, der auch Frazer (1815) bei der Beschreitung des Bansuruh genannten Bergpasses und Hodgson an einem anderen Punkt des Himalaja begegneten. Ja, dem katholischen Missionar Hue¹²⁾ zeigten auf seiner Reise von der Mongolei nach Tibet am Bourhan Bota seine Führer sogar ein feines Gras, das man direkt „Pestdunst“ nannte. Diese Dünste haben dem Berg seinen Namen verliehen, denn Bourhan Bota bedeutet Küche Buddhas. Aus Hucs Mitteilung ist bemerkenswert, daß der Aufstieg an der Nordseite weit mehr zur Bergkrankheit disponiert als der an der Südseite; auch tritt sie bei Wind wenig hervor, ist dagegen erheblich bei ruhigem, heiterem Wetter.

Das Gegenteil berichten die Gebrüder Schlagintweit²⁵⁾, die sich durch große Widerstandsfähigkeit gegen die Höhenluft auszeichneten und bis in 6800 m Höhe vordringen konnten. Sie fühlten sich in 5100 m Höhe beim Wehen des Abendwindes krank, während sie am Morgen, wenn Windstille herrschte, wohler waren. —

Alle vorstehenden Autoren betonen, daß körperliche Arbeit die Beschwerden außerordentlich steigert; reitet man empor, so bleibt man lange Zeit von ihnen frei; kaum steigt man aus dem Sattel, so treten sie mit Heftigkeit auf. Das Tragen schwerer Lasten mag die Ursache davon sein, daß die eingeborenen indischen Kulis oft mehr leiden als die Reisenden selbst, trotzdem sie aus hochgelegenen Orten stammten. „Oft ließen sich“ — sagen die Gebrüder Schlagintweit — „unsere Diener und Führer auf den Schnee fallen, indem sie erklärten, daß sie lieber sterben wollten, als noch einen Schritt machen.“

Vielfache Bemerkungen über Beziehungen der Bergkrankheit zur herrschenden Witterung finden sich in dem berühmt gewordenen Buche Conways⁴⁾, der im Anfang der achtziger Jahre des verflossenen Jahrhunderts die Hauptgipfel des Himalajas in Begleitung des Zermatter Führers Zurbriggen erstieg und bis über 7000 m vordrang. — In Höhen zwischen 4800 und 5100 m traten bei ihm und seinen Begleitern, ebenso aber auch bei den einheimischen in 3000 m Höhe geborenen und aufgewachsenen Kulis, Beschwerden auf. Sie waren stärker an geschützten Orten und bei Sonnenbrand als im Schatten oder bei bedecktem Himmel, bei hellem Wetter stärker als bei Nebel. Auch fühlten die Reisenden sich eigentümlicherweise nachts stets besser als bei Tage! Nur die Nacht, die der Besteigung des Pioneer Peak (ca. 7000 m hoch) folgte, war schlecht. Es bestand dauerndes Herzklopfen und beim Abstiege blieben die Beschwerden bis zu 4000 m herab bestehen, also bis zu einem viel tieferen Niveau, als dem, auf dem sie beim Aufstieg eingesetzt hatten. Conway schließt hieraus, daß sie alle die Höhenluft um so schlechter ertrugen, je länger sie in ihr lebten! — Wir werden versuchen, eine präzisere Deutung für diese Tatsache, die mit der oben nach Middendorf erwähnten übereinstimmt, zu geben.

Weitere Nachrichten aus den innerasiatischen Gebirgen, speziell aus dem tibetanischen Hochlande, verdanken wir Sven Hedin¹⁰⁾, der in seinem bekannten Reisewerk wiederholt auf die Beschwerden, die er und seine Begleiter erlitten, zurückkommt. Hedin meint, daß das heftige Kopfweh und das Herzklopfen, die schon in 2850 m eintraten, um nach einigen Tagen zu schwinden, durch den plötzlichen Höhenunterschied verursacht waren.

Auch Hedin hebt besonders den Einfluß körperlicher Anstrengung auf den Ausbruch der Krankheit hervor. „Auf dem Vulkan Demawend in Armenien hatte ich auf weit geringeren Höhen viel mehr gelitten, aber dort war ich zu Fuß gegangen. Das ganze Geheimnis besteht eben darin, daß man den Körper möglichst wenig anstrengt, indem man z. B. reitet. Hat man dazu Gelegenheit, so kann man sehr ansehnliche Höhen ohne Nachteil erreichen. Hier waren alle meine Kirgisen krank, ja einige erklärten sich für sterbenskrank . . . Aber sie hatten die Unklugheit begangen, ganz gegen meinen Rat die Jaks (Reittiere) zurückzulassen und durch das mühsame Stampfen im Schnee an den steilen Abhängen die Kräfte zu erschöpfen.“ — Auch absolute Schlaflosigkeit quälte Hedin und seine Leute und besonders des Nachts heftiger Luftmangel und beständig zunehmendes Kopfweh. — Einer der Begleiter Hedins war schwer krank und hustete Blut. Am dritten Rasttage jedoch war er wieder vollkommen wohl auf und kräftig.

Eigentümlich ist, daß Hedin an keinem seiner Begleiter eine Steigerung der Körpertemperatur fand, häufiger eine Herabsetzung unter 36°, dabei starke Pulsbeschleunigung.

Im Gegensatz zu Hedin sei die hervorragende Widerstandskraft des Ehepaares Bullock-Workman^{2a)} hervorgehoben, das in Begleitung von Zurbriggen das 7152 m hohe Siegfriedhorn im Himalaja trotz ungünstiger atmosphärischer Verhältnisse (Wind, Schneetreiben) ohne wesentliche Beschwerden erklimmte. Sie erreichten die Gipfel nur allmählich, indem sie an verschiedenen Punkten ihres Aufstieges in 4939, 5670 und 5901 m Höhe Lagerplätze aufschlugen und sich so gewissermaßen für die Höhe trainierten.

Ganz kürzlich erschien eine Reisebeschreibung des Schweizer Arztes Guillardmod,⁹⁾ der mit fünf anderen Herren — alles tüchtigen Alpinisten — sich mehrere Monate im Himalaja aufhielt. Ausgerüstet war die Expedition von zwei englischen Hochtouristen, Eckenstein und Crowley; sie nahm ihren Weg vom Südfuße des Gebirges in der Absicht, den 8611 m hohen Chogori zu ersteigen.

Infolge ungünstiger Witterung und Krankheiten der Teilnehmer konnte dieses Ziel nicht ganz erreicht werden, jedoch befanden sie sich lange Zeit in über 5000 m Höhe und kamen bis zu 6700 m empor. — Wohl infolge ihrer sportlichen Trainingung litten alle sechs Mitglieder erst verhältnismäßig spät an Symptomen der Bergkrankheit, die sich im wesentlichen in großer Schwäche bei jeder körperlichen Betätigung äußerte. Jedoch erwähnt Guillardmod, daß in über 6000 m Höhe ihm das Stufenschlagen im Eise nicht mehr Mühe machte als in den Alpen in 4000 m.

Bemerkenswert ist die auch bei Guillardmod wiederkehrende Angabe, daß in Couloirs

die Krankheit in tieferen Lagen eintritt als auf einem freien, den Winden zugängigen Plateau, daß in ihnen die Kälte und die stagnierende Luft den Ausbruch der Krankheit begünstigen, wie er bestimmt behaupten zu können glaubt. Aber auch pralle Sonne soll schädigend wirken. Er stimmt Conway bei, daß man als Anstiegsroute ein von Nord nach Süd laufendes Tal wählen soll, um möglichst viel Schatten zu haben, und als Haltepunkt einen allen Winden ausgesetzten Platz, um von der Krankheit verschont zu bleiben.

Nicht nur der Mensch leidet in der dünnen Luft des Hochgebirges, auch die Tiere werden von der Krankheit ergriffen. Am häufigsten ist diese Tatsache aus den Anden berichtet, schon von Acosta, am ausführlichsten von Tschudi und Pöppig. Sie machte sich hier am meisten und unangenehmsten an den zum Reiten dienenden Maultieren bemerkbar, die zu keuchen anfangen und eine so starke Ermattung zeigten, daß sie nur äußerst langsam vorwärts kamen, entlastet werden mußten, ja selbst dann zuweilen nicht vom Fleck zu bringen waren. Es kommt nicht selten vor, daß sie langsam schnaufend und unter häufigerem Haltmachen vorwärts schreiten, dann plötzlich umfallen und tot liegen bleiben. Bouget, der eine der drei schon genannten französischen Akademiker, die Anfang des achtzehnten Jahrhunderts die Anden bereisten, berichtet sogar, daß, wenn man den in den östlichen Kordillern gelegenen Paß von Guanacas überschreitet, man den ganzen Weg über zwei Stunden weit von toten Maultieren bedeckt finde, so daß man bei jedem Schritt auf deren Knochen stoße.

Auch Saussure beobachtete an seinem Maultiere die Wirkungen der dünnen Luft gelegentlich einer Passierung des Theodulgletschers von Breuil aus in Form von starker Atemnot und Schwäche.

Ebenso erkrankten Pferde, auch Rinder, die nicht oben geboren oder an die Höhe gewöhnt sind, zumal wenn sie als Zug- oder Lasttiere benutzt werden. Sie müssen zur Erholung dann auf tiefer gelegene Weideplätze gebracht werden. Bei ihnen kommt auch ein Symptom vor, das uns in den Krankheitserscheinungen am Menschen wiederholt begegnet ist, nämlich Blutungen aus der Nase und auch aus dem Darne.

Von Tschudi wird über eine auffallend geringe Widerstandsfähigkeit der Katzen gegen die dünne Luft berichtet. Sie sollen auf den peruanischen Anden überhaupt nicht leben können. Bringt man sie ins Hochland, so werden sie bald von Krämpfen heimgesucht, denen Zustände großer Mattigkeit folgen. Diese werden wiederum von Krämpfen abgelöst und die Tiere gehen bald zugrunde. Hunde vertragen die Höhe viel besser, jedoch werden sie weniger leistungsfähig, da sie beim Laufen Atemnot bekommen. Die Jungen dieser Tiere jedoch, die im Hochlande schon geboren sind, leisten, z. B. beim Jagen, dasselbe wie im Tieflande und sind durch die Höhe nicht weiter beeinflußt. — Nur die sog. ägyptischen Hunde sollen nach Pöppig und Tschudi unfähig sein, die Höhe zu ertragen. Nach einem Aufenthalt von einigen Wochen gehen sie unter Krämpfen zugrunde.

Auch die aus der Ebene heraufgebrachten Hühner leben entweder nur kurze Zeit oder werden unfähig, Eier zu legen.

Ganz gleich klingende Mitteilungen besitzen wir aus dem Himalajagebiet.

Erscheinungen und Auftreten der Bergkrankheit. Aus den vorstehend zusammengestellten Berichten und aus unseren eigenen in Kapitel IV geschilderten Beobachtungen, sowie unter Berücksichtigung der bei Ballonfahrten und im pneumatischen Kabinett gemachten Erfahrungen wollen wir ein Bild der Bergkrankheit zu geben versuchen.

Wir haben es mit einer Erkrankung zu tun, die bei einzelnen schon in 3000 m Höhe einsetzen kann, bei anderen erst in 4000 oder gar 5000 m, während wenige, besonders Bevorzugte, ohne wesentliche Beschwerden bis zu Höhen zwischen 6000—7000 m gelangen können.

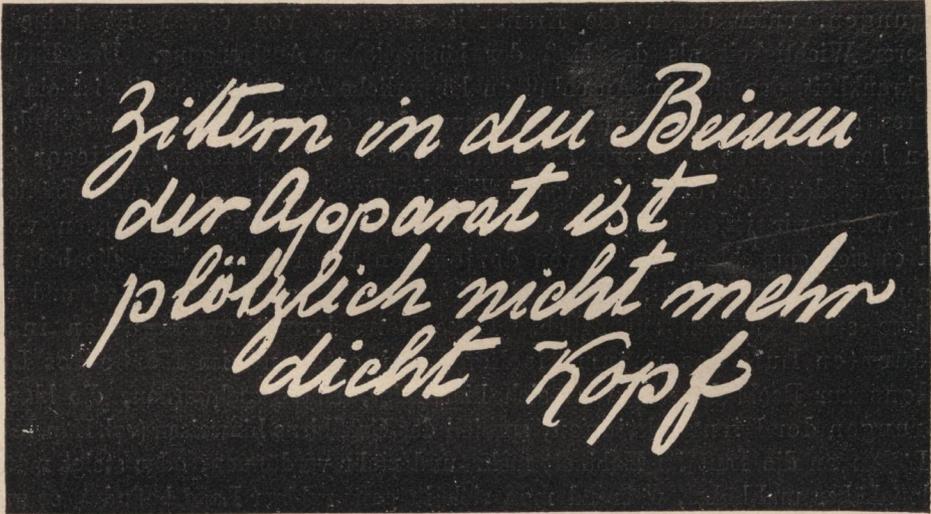
Ein Überblick über die von den verschiedenen Forschern mitgeteilten Symptome zeigt, daß die Erscheinungsform der Bergkrankheit eine sehr wechselnde ist. Hierfür kommt einerseits die Individualität der Befallenen in Betracht. Sie spielt, wie auch die Erfahrungen unserer eigenen Expedition zeigen, eine bedeutsame Rolle. Wesentlicher aber ist noch die Verschiedenheit der äußeren Bedingungen, unter denen die Krankheit auftritt. Von diesen ist keine von größerer Wichtigkeit als das Maß der körperlichen Anstrengung. Das Bild der Bergkrankheit, das sich im Anschluß an körperliche Arbeit entwickelt, ist ein ganz anderes als das bei Körperruhe. Da nun aber die Erkrankung vorwiegend, wie schon hervorgehoben, während Körperarbeit einsetzt, so beherrscht dieser Symptomenkomplex die Vorstellung vom Bilde der Bergkrankheit fast ausschließlich.

Wenn wir jedoch in das Wesen der Krankheit tiefer eindringen wollen, wird es sich empfehlen, gerade von derjenigen Form auszugehen, die bei voller körperlicher Ruhe auftritt. Denn hier ist das Bild am eindeutigsten und einer Analyse am leichtesten zugänglich. Diese Form kommt am reinsten in der verdünnten Luft des pneumatischen Kabinetts und im Korbe des Luftballons zur Beobachtung. Was sich hier zeigt, sind Beschwerden, die klar auf Störungen der Hirnfunktionen, speziell des Großhirns hinweisen (vgl. Kap. XVII). — Läßt man die Luft im Kabinett mehr und mehr verdünnen, oder steigt man im Ballon höher und höher, während man sich in ganz ruhiger Lage befindet, so merkt man gewöhnlich nichts als eine immer zunehmende Müdigkeit und Schläfrigkeit, die schließlich so unwiderstehlich wird, daß man in einen Schlaf verfällt, aus dem man nur mit Mühe aufgerüttelt werden kann. Irgendein körperliches Unbehagen tritt gewöhnlich nicht auf; zuweilen nur macht sich etwas Kopfdruck, wenig Stirn- oder Schläfenkopfschmerz bemerkbar. Atemnot und Herzklopfen bestehen meist nicht, manchmal etwas seufzende, tiefe Atemzüge.

Anders schon, wenn man sich irgendwie zu betätigen sucht. Beim Aufrichten oder noch mehr beim Bücken, beim Ablesen oder der Handhabung irgendwelcher Instrumente oder Apparate fühlt man eine auffallende Mattigkeit, Schwindel, daß man sich halten muß, um nicht umzufallen. Die Muskeln gehorchen dem Willen nicht mehr. Das Sehen ist erschwert, das Denken beeinträchtigt. Dazu kommt mehr oder weniger heftiger Kopfschmerz, ein Gefühl, als würde der Schädel durch einen Reifen zusammengepreßt, Atemnot und Herzschlagen, bei einigen Übelkeit. Setzt oder legt man sich wieder hin, so schwindet das alles, und es bleibt nur die Schlafsucht und zuweilen etwas Kopfschmerz bestehen.

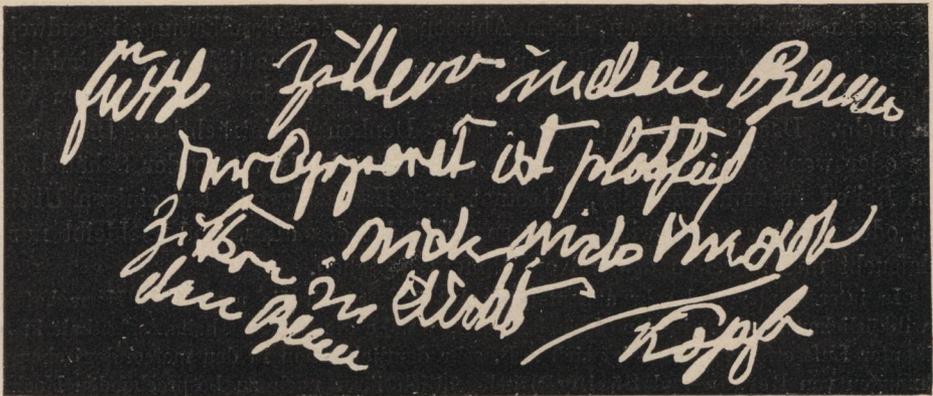
In interessanter und sehr augenfälliger Art äußert sich die mangelnde Herrschaft über die willkürlichen Muskeln in den Veränderungen, welche die Schrift beim Aufenthalt in stark verdünnter Luft erfährt. Das zeigt sich z. B. sehr deutlich schon in den meteorologischen Aufzeichnungen von Berson und Süring^{1a)} gelegentlich ihrer noch zu besprechenden Hochfahrt von 1901, die sich bei v. Schrötter^{2a)} reproduziert finden. Noch besser ausgeprägt sind diese Veränderungen in den beiden folgenden Schriftproben Schrötters. An Stelle der klaren, gleichmäßigen, festen Züge sehen wir bei einem Drucke von 240 mm, nachdem für zwei Minuten die Sauerstoffatmung ausgesetzt war, eine zittrige, undeutliche, kaum lesbare Schrift, in der manche Worte doppelt und falsch geschrieben sind („nich, nich“ anstatt nicht). — Bei Caspari und Müller konnten wir ähnliche Veränderungen der Schrift auf dem Monte Rosa-Gipfel feststellen.

Analog den im Ballon oder Kabinett bei Körperruhe zu beobachtenden Erscheinungen sind die, welche bei längerem Aufenthalt auf großen Höhen, sei es, daß diese aktiv oder passiv erreicht wurden, sich geltend machten. Das Krankheitsbild wird hier um einige charakteristische Züge reicher. Zunächst sei erwähnt,



H. v. Schrötters normale Schrift.

daß nicht sogleich nach dem Aufstieg die Krankheit in voller Stärke einsetzt, erst im Laufe einiger Stunden bildet sie sich allmählich aus. Im Vordergrund stehen auch hier Störungen der Hirnfunktionen, in erster Linie eine auffallende Trägheit, Mangel jedweder Energie; man fühlt sich unfähig zu irgendeiner Betätigung und



Desselben Schrift bei Höhenkrankheit im Luftballon.

jede auch noch so leichte körperliche wie geistige Arbeit ist peinlich. Man verhält sich gleichgültig gegen alles und liegt oder sitzt apathisch herum, in einer Art traumhaften Zustandes. Selbst der beim normalen Menschen nie fehlende Instinkt zur Nahrungsaufnahme mangelt vollkommen. Es besteht eine absolute Appetitlosigkeit,

ja, ein direkter Ekel vor der Nahrung, bei vielen Übelkeit, bei manchen Erbrechen. — All das weicht erst allmählich im Laufe von Tagen. Eigentümlich ist, daß die Neigung, Nahrung aufzunehmen, sich zunächst nur für gewisse Speisen einstellt, später auch für andere, daß aber die Art dieser Speisen individuell verschieden ist, wie für uns in Kapitel IV ausführlich mitgeteilt wurde. Daneben besteht allgemeines Unbehagen, Abgeschlagenheit, leichter Kopfschmerz, der sich bei Bewegungen steigert. Auch Atemnot stellt sich bei den geringsten Bewegungen ein, Schwindelerscheinungen und Gefühl abnormer Muskelschwäche, der Puls ist beschleunigt. — Der ganze Zustand entspricht dem im Beginn einer schweren fieberhaften Infektionskrankheit, und zum Bilde des Fiebers fehlt auch nicht dessen Kardinalsymptom: die Steigerung der Körperwärme, wie die Kurven in Kapitel XV gezeigt haben. Conway hat wie wir eine erhöhte Körpertemperatur an sich selbst festgestellt.

Tritt die Bergkrankheit ein, während man passiv in die Höhe gelangt, sei es reitend, sei es im Tragsessel, sei es mittels Bergbahn, so stehen wiederum Hirnstörungen im Vordergrund: Schwindel, Schwarzsehen bis zu Ohnmachtsanwandlungen, Übelkeit, Erbrechen; dazu Apathie und allgemeine Schwäche.

Angesichts der teils schon in Ausführung begriffenen, teils projektierten Gebirgsbahnen, die die höchsten Gipfel Europas bezwingen sollen, ist die Frage von großer praktischer Wichtigkeit, wo die Grenze der Gefahr liegt, in welcher Höhe ein größerer Prozentsatz der Besucher voraussichtlich von der Bergkrankheit ergriffen wird. — Wir brauchen uns dabei nicht allein auf theoretische Annahmen zu stützen, können vielmehr die Erfahrungen zu Rate ziehen, welche auf den amerikanischen Gebirgsbahnen gemacht worden sind. Hier ist zunächst die Zahnradbahn auf den Pikes Peak in Colorado (4331 m) zu nennen, ferner zwei in den südamerikanischen Anden, deren eine von Callao (Peru) über die Randkordillere hinweg nach dem 3712 m hoch gelegenen Oroya geht und eine Höhe von 4798 m überschreitet. Die Fahrt bis zum höchsten Punkte dauert gegen 10 Stunden. Die andere führt von Antofagasta (Chile) nach dem 3694 m hoch gelegenen Oruro, wobei eine Paßhöhe von 4153 m überschritten wird. — Vielfache Mitteilungen zeigen nun, daß diese Höhen durchaus nicht ohne Gefahr sind. Bei absoluter körperlicher Ruhe leiden nur wenige, aber schon die zu den gewöhnlichen Lebensverrichtungen erforderlichen Bewegungen und Hautierungen erzeugen bei einer sehr großen Zahl der Passagiere Unbehagen, Atemnot, Kopfschmerz und machen eine auffallende Körperschwäche offenbar. v. Schrötter,^{20a)} der eine Anzahl solcher Angaben gesammelt hat, berichtet, daß eine Reihe von Personen sich so elend fühlte, daß sie schleunigst wieder die Höhe verlassen mußte. Mehrere sollen oben gestorben sein.

Bedenken wir, daß die Jungfraubahn zu 4166 m Höhe geführt werden soll, die Montblancbahn gar zu 4600 m, so werden wir gewisse Befürchtungen nicht unterdrücken können. Wir werden nach diesen Erfahrungen, die ja mit unseren theoretischen Anschauungen vollkommen übereinstimmen, voraussagen können, daß für gar viele der mit der Bergbahn erreichte Aufenthalt auf Jungfrau- und Montblancspitze zum mindesten kein Genuß sein wird, daß sie an mehr oder weniger erheblichen Beschwerden leiden werden, daß bei manchem Schädigungen nicht ausbleiben dürften. Die Schnelligkeit des Aufstiegs ist von einer disponierenden Bedeutung, wie im folgenden noch gezeigt werden wird.

Anders stellen sich die Krankheitserscheinungen dar, wenn sie während eines Marsches im Hochgebirge einsetzen. Bemerkenswert ist schon, daß sie sich meist in geringerer Höhe geltend machen als bei Körperruhe. In die erste Reihe rücken dabei Beschwerden von seiten derjenigen Organe, die am meisten in Anspruch genommen werden, nämlich der Muskeln. Diese erscheinen mehr oder weniger plötz-

lich zu weiterer Tätigkeit unfähig. Sie versagen den Dienst und man muß, wo es gerade sei, Halt machen und eventuell sich niederlegen. Daneben bestehen Atemnot und Herzklopfen. Hinzugesellen können sich ohnmachtähnliche Zustände, die durch Schwindelerscheinungen und Schwarzsehen eingeleitet werden. Tritt die Krankheit in relativ geringen Höhen auf, so bessern sich mit dem Ausruhen die Beschwerden schnell, die Mattigkeit schwindet, das Kraftgefühl kehrt zurück, man nimmt mit neuem Mute den Weg wieder auf, um meist nach kurzer Strecke Weges, nach wenigen Hundert oder selbst schon nach einigen Dutzend Schritten von neuem zum Halten gezwungen zu sein.

Bei höheren Graden der Erkrankung, wie sie bedeutenderen Höhen eigentümlich ist, kommt zu der körperlichen die geistige Ermattung. Sie ist in einigen der vorstehenden Schilderungen höchst anschaulich dargestellt. Die Willensenergie ist erloschen, die Indolenz gegen die durch Kälte, Schnee und Sturm drohenden Gefahren und das Schwächegefühl sind so vollkommen, daß man es vorzieht, an Ort und Stelle zugrunde zu gehen, als einen Versuch zum Weiterkommen zu machen.

Zu diesen Hauptsymptomen gesellen sich nun zuweilen andere, früher häufiger, in den letzten Dezennien seltener beobachtete: nämlich Blutungen. Sie treten an den Lippen auf, an der Augenbindehaut (Humboldt, Tschudi), sie erfolgen aus der Nase (d'Orbigny), aus den Lungen (Mrs. Hervey,¹¹⁾ Sven Hedin) und auch Darmblutungen sind beschrieben worden (Acosta, Tschudi).

Blutungen aus den Luftwegen treten besonders leicht bei lautem Sprechen oder Blasen von Instrumenten auf. So kam es in Cerro de Pasco (Hochland von Peru, 4300 m Höhe) bei einem Engländer bei jedem Versuche, die Flöte zu blasen, zu blutigem Auswurfe (Pöppig) und Boussingault³⁾ verbot seinen Begleitern auf dem peruanischen Hochlande das laute Sprechen. — Überhaupt ist das Sprechen und mehr noch das Pfeifen und Blasen von Instrumenten im Höhenklima erschwert. Das dürfte sich aus der Schwierigkeit erklären, den zum Anblasen der Stimmbänder bezw. der Blasinstrumente erforderlichen Druck der Ausatemungsluft den veränderten Bedingungen des Luftdrucks anzupassen.

Einen so schweren Eindruck das Krankheitsbild in seiner ausgeprägten Form macht, so peinigend die Beschwerden sind, so ist doch die mit ihnen verbundene Gefahr im allgemeinen gering. Ein Teil der Erscheinungen geht, wie erwähnt, bei Einhaltung körperlicher Ruhe zurück, die noch bestehen bleibenden werden allmählich in einer Reihe von Tagen bis Wochen rückgängig. Man fühlt sich dann bei ruhigem Verhalten vollkommen wohl, nur körperliche Anstrengungen, wie Bücken, Beragnsteigen, erzeugen noch Schwäche und Atemnot. Eine vollkommene Akklimatisation, so daß auch körperliche Arbeit mühelos geleistet werden kann, scheint sich jedoch nur sehr langsam auszubilden. Nach Pöppig ist dazu, wie erwähnt, ein Jahr erforderlich. — Es darf jedoch nicht unerwähnt bleiben, daß einzelne plötzliche Todesfälle beschrieben sind, die wohl der Bergkrankheit zur Last gelegt werden müssen.

Die Ursache der Bergkrankheit. Wie haben wir nun die Bergkrankheit aufzufassen und wie können wir ihre Erscheinungen erklären?

Im Laufe der Zeit ist eine ganze Reihe von Theorien darüber entstanden, die zum Teil nur noch historisches Interesse haben, da sie sich als unhaltbar erwiesen. So die von A. v. Haller,^{12a)} wonach in der dünnen Luft das Blut gegen die Körperoberfläche strömt und die inneren Organe blutarm und funktionsuntüchtig werden. Das Irrtümliche dieser Anschauung ist in Kapitel XII beleuchtet worden. Unzulänglich sind ferner die Theorien, welche die psychische Erregung infolge der mit den Bergwanderungen verbundenen Gefahren, die physische Ermattung, die sich bei langen Bergbesteigungen einstellt, den mangelhaften Schlaf und die unzureichende und ungewohnte Ernährung, die Blendung auf ausgedehnten Firnfeldern verantwortlich machen wollen. Es handelt sich hier um Faktoren, welche wohl den Ausbruch der Krankheit beschleunigen können, welche aber allein nicht genügen, sie auszulösen.

Auch Kroneckers^{1b)} Theorie, die eine infolge der Luftdruckverminderung zustande kommende Blutstauung in den Lungen annimmt, entbehrt, wie bereits in Kapitel XII erörtert wurde, der genügenden tatsächlichen Unterlagen. Es ist dort gezeigt worden, und die folgende Betrachtung wird das noch deutlicher machen, daß die Symptome, auf Grund deren Kronecker Blutstauungen und folgerichtig eine ihnen zugrunde liegende Herzaffektion annimmt, nichts für eine solche beweisen und sich ohne diese Annahme gut erklären lassen. Wenn auch die Erscheinungen der Bergkrankheit in den meisten Stücken mit denen bei manchen Herzerkrankungen übereinstimmen, so darf man doch nicht schließen, daß sie auch durch letztere bedingt sein müssen. Die Symptome sind die gleichen, die Ursachen verschieden. —

Es bleiben nun noch drei Theorien, die weiterer Diskussion bedürfen: die sog. Ermüdungstheorie, die von der Bedeutung der Akapnie und die von der Wirkung des Sauerstoffmangels.

Fragen wir uns, bevor wir auf diese im einzelnen eingehen, zunächst, wie die vorstehend geschilderten Erscheinungen der Bergkrankheit zu deuten sind, auf welche Organstörungen sie hinweisen.

Die geschilderten Krankheitsbilder haben vollkommene Analoga in Erkrankungen, die auch im Tieflande zur Beobachtung kommen und experimentell erzeugt werden können. Sie stellen also nichts Spezifisches dar, so wie etwa gewisse Tropenkrankheiten charakteristische, nur ihnen eigentümliche Zeichen haben. Alle Symptome entsprechen in ihrer Ausbildung und Abstufung den bei verschiedenen Graden von Blutarmut zur Beobachtung gelangenden. Bei der großen Verbreitung, die eine mangelhafte Blutbildung unter unseren heutigen Kulturbedingungen erreicht hat, ist die Kenntnis der damit verbundenen Beschwerden nicht mehr auf den Arzt beschränkt, vielmehr in weitere Kreise gedungen. Man kennt die eigentümliche Müdigkeit, die Schwäche bei Muskelarbeit, die leicht einsetzende Atemnot, das Herzklopfen, die Schwindel- und Ohnmachtsanwandlungen, den Mangel an Appetit, die Kopfschmerzen. Es sind dieselben Beschwerden, die wir bei den Bergkranken sehen. Sie setzen auch ebenso plötzlich wie bei der Bergkrankheit ein, wenn plötzliche starke Blutverluste zustande kommen.

Die gleichen Erscheinungen begegnen uns aber ferner bei manchen Er-

krankungen des Herzens, wenn die Herztätigkeit den Anforderungen des Körpers nicht voll genügt. — Was in beiden Fällen die Symptome auslöst, ist die ungenügende Zufuhr des für die Lebenstätigkeit notwendigen Sauerstoffs zum Zentralnervensystem und zu den arbeitenden Organen, speziell zu den Muskeln. Bei der Blutarmut ist die Sauerstoffversorgung zu gering, weil das Blut zu wenig Sauerstoff binden kann, bei den Erkrankungen des Herzens, weil das Blut nicht schnell genug zirkuliert, um die notwendige Sauerstoffmenge zur Stelle zu schaffen.

Der Sauerstoffmangel als Ursache der Bergkrankheit. Wir wissen nun aus den in Kapitel X mitgeteilten Tatsachen, daß beim Aufenthalt in verdünnter Luft der Sauerstoffgehalt des Blutes sich vermindert. Man hat eingewendet, daß diese Verminderung zu gering ist, um schon zu Sauerstoffmangel zu führen. Aber wir konnten zeigen (Kapitel X und XI), daß sie in Höhen von 4000 m ab beträchtlich genug sein kann, um schon bei Körperruhe die Erkrankung hervorzurufen. Dazu kommt, daß der normale Sauerstoffvorrat des Blutes individuell nicht unbeträchtlich wechselt. Ist er gering, so wird eine bei der Mehrzahl unschuldige Verminderung schon zu Mangel an Sauerstoff führen. Ferner kann die gleiche Sauerstoffverminderung ganz verschiedene Folgen für die Sauerstoffversorgung der Organe haben. Bei langsamer Blutzirkulation wird sie weit ungünstiger wirken und weit eher zu Sauerstoffmangel führen als bei schneller. Die Schnelligkeit des Blutumlaufes aber können wir im Einzelfalle nicht ermitteln!

Das in Kapitel IX mitgeteilte Auftreten unvollkommen verbrannter Stoffe im Harn bei dem Marsche zum Briener Rothorn (2100 m) und auf dem Monte Rosa-Gipfel auch während körperlicher Ruhe gibt einen direkten Beweis für die unzureichende Sauerstoffversorgung des Körpers. Im Anschluß hieran ist im vorstehenden Kapitel eingehend nachgewiesen worden, daß die während körperlicher Arbeit auch in mittleren Höhen einsetzenden krankhaften Erscheinungen sich gut durch Sauerstoffmangel erklären lassen.

Wenn wir die bei Körperruhe in etwa 4000 m Höhe, bei Muskelarbeit schon unter 3000 m auftretenden Beschwerden auf Sauerstoffmangel beziehen, so stehen wir auf dem Boden einer gesicherten Erfahrung und in Übereinstimmung mit den Tatsachen, die wir experimentell kennen gelernt haben. Eine wichtige Stütze dieser Auffassung ist weiter, daß sowohl im pneumatischen Kabinett wie im Luftballon der heilsame Effekt von Sauerstoffeinatmung sicher erwiesen ist, und daß man unter Sauerstoffeinatmung Höhen bzw. Luftverdünnungen erreicht hat, die sonst tödlich wirken. Konnten doch Berson und Süring^{1a)} so bis zu 10500 m aufsteigen und Paul Bert und Mosso im Kabinett eine Luftverdünnung ertragen, die einer Höhe von nahe an 9000 m bzw. 11650 m entsprach.

Daß Sauerstoffeinatmung gegen die beim Hochgebirgsaufenthalt ausgebrochene Bergkrankheit nicht immer hilft, beweist nichts hiergegen. Das hat schon v. Schrötter in seiner Besprechung der Bergkrankheit auseinandergesetzt.

Wenn Mosso dagegen anführt, daß trotz Sauerstoffatmung die Luftschiffer sich in Regionen von 7000 m aufwärts nicht vollkommen normal und leistungsfähig fühlen, so ist zu bemerken, daß ja auch die Wirksamkeit reinen Sauerstoffs schließlich ihre Grenze hat. Ist die Erhebung

so beträchtlich, daß selbst bei Atmung reinen Sauerstoffs die Sauerstoffspannung in den Lungen unter etwa 40 mm Quecksilber sinkt, so muß es natürlich zu Sauerstoffmangel kommen. Nach Berechnungen H. v. Schrötters^{26a)} dürfte diese Grenze bei etwa 12000 m erreicht sein. — In der Geschichte der Aeronautik hat eine Höhenfahrt der drei französischen Forscher Sivel, Crocé-Spinelli und Tissandier eine traurige Berühmtheit erlangt. Der Ballon stieg bis zu 8600 m. Alle drei hatten, trotzdem sie sauerstoffreiche Luft atmeten, schon zuvor das Bewußtsein verloren, die beiden erstgenannten erwachten nicht wieder. Nur Tissandier erholte sich und vermochte die Landung des Ballons zu bewerkstelligen.

Man kann nicht, wie A. Mosso es tut, diesen Unglücksfall gegen die Wirksamkeit der Sauerstoffatmung ins Feld führen. Denn die Sauerstoffzufuhr war unzureichend und ungenügend, da nur Gummisäcke mit einem Gemisch von ca. 60% Sauerstoff und 40% Stickstoff mitgeführt wurden.

Berson und Süring^{1a)} konnten bei ihrer bekannten Auffahrt am 31. Juli 1901 mit dem Ballon „Preußen“ unter Sauerstoffatmung zu der höchsten bis jetzt überhaupt erreichten Höhe von 10800 m aufsteigen. Erst oberhalb 9000 m machte sich bei Süring eine deutliche Schlafsucht bemerkbar, die jedoch durch Anrufen zu beseitigen war. Berson vermochte noch in 10225 m Ablesungen an den meteorologischen Instrumenten vorzunehmen und niederzuschreiben, auch noch in 10500 m die Ventilleine zu ziehen. Dann verfiel er ebenso wie schon zuvor Süring in eine tiefe Ohnmacht, die ungefähr $\frac{3}{4}$ Stunden dauerte. Während dieser Zeit stieg der Ballon noch weiter bis auf 10800 m, um dann rapide auf 5500—6000 m zu fallen. In dieser Höhe erwachten beide wieder. — Berson und Süring waren also nicht weit von der theoretisch ermittelten Grenze der Lebensmöglichkeit entfernt. Dabei war die Methode der Sauerstoffzufuhr auch bei ihnen keine so vollkommene, wie sie hätte sein können. v. Schrötter hat das überzeugend aus ihren Mitteilungen nachgewiesen.

Einfluß der Ermüdung. Auf Grund des vorstehenden Tatsachenmaterials, besonders der Erfahrung, daß bei Ausschluß größerer Muskelarbeit, ja bei voller Körperruhe die Bergkrankheit einsetzen kann, sollte eigentlich eine Anschauung unmöglich sein, welche sie ausschließlich auf körperliche Überanstrengung zurückführt und als Folge der Ermüdung betrachtet. Und doch ist sie heute noch weit verbreitet. Dufour^{5a)} war der erste, der sie aussprach. Er konnte die Überanstrengung als Ursache der Bergkrankheit auffassen, denn er beobachtete sie nur nach großen Anstrengungen. — Wenn seine Meinung bis heute Geltung behalten hat, so rührt das ebenfalls daher, daß relativ viele Bergsteiger bis zu Höhen kommen, in denen sie Beschwerden während anstrengender Märsche fühlen, nur wenige aber die Höhen erreichen, in welchen man schon bei Körperruhe leidet. Aber auch diese steigen meist so schnell wieder ab, daß sie die volle Wirkung der Krankheit nicht kennen lernen. Die eigenen negativen Erfahrungen werden dann, wie so oft, in unzulässiger Weise verallgemeinert. — Selbst in offiziellen Gutachten wird noch die Ansicht ausgesprochen, daß eine „Bergkrankheit“ als besondere Krankheit nicht existiere. Wie Kronecker mitteilt, findet sich in einem Gutachten über die Zulässigkeit der Jungfraubahn der Satz: „Die sog. Bergkrankheit ist stets entweder auf den allzu reichlichen Genuß von Alkohol, oder auf Diätfehler, oder auf Überanstrengung der Kräfte durch die Marschleistung zurückzuführen. Wer bis zur Erschöpfung Velo fährt, wettrudert oder wettläuft, wird genau dieselben Symptome der sog. Bergkrankheit zeigen, selbst wenn auf Meilen kein Berg in der Nähe ist.“

Der letzte Satz ist unzweifelhaft richtig! Die Symptome nach bis zur Erschöpfung getriebenen Sportleistungen sind denen der Bergkrankheit analog und auch die



Dufour- und Zumsteinspitze vom Lysjoch.

Phot. Vittorio Sella, Biella.

letzte Ursache ist in beiden Fällen die gleiche. Es ist beide Male der Sauerstoffmangel das wirksame Moment. Und doch besteht ein gewaltiger Unterschied: im Tieflande ist es die enorme Steigerung der körperlichen Arbeit, die zu Erschöpfungssymptomen führt. Der Herzmuskel, zum Teil wohl auch, wie beim Rudern, die Atemmuskeln können die an sie gestellten Ansprüche nicht mehr bewältigen, sie versagen, und was man beobachtet, sind die Erscheinungen der Herzschwäche. Die Folge ist ein mangelhafter Blutumlauf und damit eine ungenügende Sauerstoffversorgung im Körper. Von solchen Schwächezuständen erholt sich das Herz nur langsam und darum werden die Erscheinungen nur langsam rückgängig. Im Hochgebirge aber setzen die Beschwerden schon bei mäßigen Leistungen ein, bei Anstrengungen, die in tieferen Regionen noch kaum als solche empfunden werden. Herz und Körpermuskeln werden arbeitsunfähig nicht durch die Überanstrengung, vielmehr durch ihre infolge der Sauerstoffarmut des Blutes mangelhafte Ernährung. Daher erholen sie sich schnell, wenn mit dem Aufhören der Arbeit der Verbrauch an Sauerstoff sinkt und der Sauerstoffgehalt des Blutes nunmehr genügt, den geringeren Bedarf zu decken.

Der Unterschied in den Vorgängen, die zum Sauerstoffmangel führen, drückt sich insbesondere in dem der Arbeit folgenden Ruhestadium derart deutlich aus, daß gute Beobachter stets darauf aufmerksam wurden. So insbesondere Saussure, dessen Angaben wir oben mitgeteilt haben, so auch in neuerer Zeit Conway und Freshfield.⁶⁾

Muskelarbeit vermag demnach im Hochgebirge wohl den Eintritt der Bergkrankheit zu beschleunigen, aber sie ist niemals deren ausschließliche Ursache.

Natürlich kommen auch im Hochgebirge Fälle von wirklicher Überanstrengung mit folgender Erschöpfung und Herzschwäche zur Beobachtung. Diese bieten aber nicht das eigentümliche Bild der Bergkrankheit, sondern unterscheiden sich in ihrem Verlaufe nicht von dem im Tieflande sich ausbildenden Symptomenkomplexe. Die Erschöpfung wird bei der verminderten Sauerstoffzufuhr in der Höhe schneller zustande kommen und die Erholung eine schwerere und langsamere sein. Darauf beruht es, daß gerade im Hochgebirge häufiger als sonst die Überanstrengung einen tödlichen Ausgang nimmt. Wir sind darauf bereits in Kapitel XII eingegangen. Dem dort erwähnten Tode der Brüder Zoja reißen sich viele andere, in alpinistischen Journalen und in den Tageszeitungen beschriebene an.

Die körperliche Überanstrengung spielt eine ursächliche Rolle besonders für die Erschöpfungszustände, die in mittleren Höhen unterhalb der eigentlichen Bergkrankheitszone zustande kommen.

Akapnie und Bergkrankheit. Einen ganz neuen Weg zur Erklärung der Erscheinungen beschrift Mosso.²¹⁾ Nicht nur einen neuen Begriff, sondern auch ein neues Wort brachte er in die Diskussion der Frage; die Akapnie sollte die Ursache der Bergkrankheit sein. Wir haben bereits in Kapitel X und besonders eingehend in Kapitel XI das Wesen der Akapnie besprochen und können uns hier kurz fassen.

Mit Akapnie bezeichnet Mosso eine Verminderung der Kohlensäuremenge des Blutes. Diese sollte im Hochgebirge dadurch zustande kommen, daß in der verdünnten Luft mehr Kohlensäure aus dem Blute abdunstet als in dichterem. Da die Kohlensäure den wesentlichsten Reiz für die Tätigkeit des Atemzentrums ab-

gibt und auch auf die Herzfunktion Einfluß hat, müßte ihre abnorme Verminderung auf beide eine schädigende Wirkung üben und daraus sollten die Beschwerden der Bergkrankheit sich herleiten.

Wir haben schon auseinandergesetzt, warum Mossos Anschauung nicht zutreffen kann. Wir sahen, daß die Höhe an sich einen Einfluß auf die Menge der Kohlensäure im Blute nicht hat. Aber wenn selbst eine Änderung der Kohlensäuremenge des Blutes einträte, so brauchte das noch keinen Einfluß auf die nervösen Zentra zu haben. Denn für den Reiz, den die Kohlensäure auf die Zentra ausübt, kommt nicht ihre Menge im Blute, vielmehr ihre sog. Spannung in Frage. Und diese kann bei wechselnder Menge gleich bleiben und umgekehrt bei gleicher Menge wechseln. Nur unter sonst gleichen Bedingungen besteht zwischen beiden eine bestimmte Beziehung.

Für die Spannung der Kohlensäure des arteriellen Blutes gibt uns die aus der Zusammensetzung der Atmungsluft zu berechnende Kohlensäurespannung in den Lungenbläschen einen Anhalt. Diese sog. alveolare Kohlensäurespannung verhält sich nun, wie aus den in Kapitel XI mitgeteilten Tabellen hervorgeht, im Hochgebirge wechselnd: sie kann der im Tieflande gleich, sie kann mehr oder weniger geringer als diese sein.

Dabei ist ein Parallelismus zwischen Kohlensäurespannung und Bergkrankheitsbeschwerden nicht zu entdecken, eher besteht ein gegensätzliches Verhalten. Bei konstant bleibender Kohlensäurespannung fanden wir im pneumatischen Kabinett wie auf dem Monte Rosa deutliche, zum Teil erhebliche Beschwerden, bei sehr erniedrigter ein leidliches, zum Teil volles Wohlbefinden. Besonders beachtenswert ist, wie die gleiche Person (z. B. N. Zuntz) bei geringerer Kohlensäurespannung sich besser fühlte als bei höherer. Erstere ging mit erheblicher, letztere mit einer weniger verstärkten Atmung einher, und dementsprechend war auch die Sauerstoffzufuhr im ersteren Falle reichlicher als im letzteren.

Nun bezieht sich Mosso darauf, daß wie Loewy¹⁷⁾ und Mosso²¹⁾ selbst zeigen konnten, Kohlensäureeinatmung in gewissem Maße die Beschwerden aufzuheben vermag. Da bei Einatmung von Kohlensäure die Atmung stark anwächst, wird mehr Sauerstoff in die Lunge geführt, und zugleich steigt, wie Bohr zeigte, mit der Zunahme der Kohlensäure im Blute die Spannung seines Sauerstoffes, d. h. die Gewebe erhalten die Möglichkeit mehr Sauerstoff aus dem Blute aufzunehmen. Kohlensäuremangel im Blute wirkt also auch in dieser Hinsicht schließlich wieder durch verminderte Sauerstoffversorgung der Zellen.

In jüngster Zeit veröffentlichte Mosso^{21b)} neue Versuche an Affen, die er erheblichen Luftverdünnungen aussetzte, jedoch derart, daß dabei der Sauerstoffdruck durch Zufuhr reinen Sauerstoffes so hoch gehalten wurde, daß Sauerstoffmangel nicht entstehen konnte. Mosso gibt an, bei diesen Affen Mattigkeit und Schläfrigkeit, sowie bei schnellerer Verdünnung Erbrechen beobachtet zu haben. Kohlensäurezufuhr besserte diese Beschwerden. Mosso schließt aus seinen sehr auffallenden Ergebnissen, daß die Luftverdünnung als solche schädlich wirke. Er rückt also wiederum das mechanische Moment gegenüber dem chemischen in den Vordergrund. — Diese Versuche verdienen bei ihrer Wichtigkeit eine genaue Nachprüfung; sie widersprechen allen bisherigen Erfahrungen. Jedenfalls darf man allein aus der Tatsache, daß die Affen in der Glocke still zusammengeschockt dasaßen und sich an die Wand der Glocke lehnten, kaum so weitgehende Schlußfolgerungen ziehen. — Dem Ergebnisse widersprechen auch die schon angeführten Erfahrungen, nach denen bei Sauerstoffatmung gleiche Verdünnungen von Mosso selbst, von P. Bert und wiederholt auch von Luftschiffen anstandslos ertragen wurden.

Wir können danach Mossos Theorie, so geistvoll und ansprechend sie erscheint, nicht für zutreffend halten, meinen vielmehr, daß die von Jourdanet¹⁴⁾ zuerst ausgesprochene, von Paul Bert²⁾ experimentell begründete Annahme, daß Sauerstoffmangel das ursächliche Moment der Bergkrankheit sei, vollkommen zu Recht besteht.

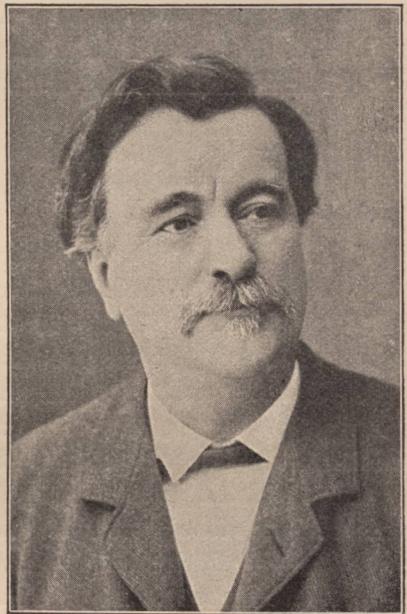
Ursachen der verschiedenen Widerstandsfähigkeit. Von diesem Standpunkte aus lassen sich nun eine Reihe von zum Teil eigentümlichen und sonst schwer zu deutenden Beobachtungen gut erklären.

Am einleuchtendsten ist die Tatsache, daß bei körperlicher Arbeit die Krankheit soviel früher einsetzt als bei Muskelruhe. Wir haben gesehen, wie gewaltig der Sauerstoffverbrauch bei der Arbeit ansteigt; der Körper verlangt beim gewöhnlichen Bergaufstieg schon das 4—5fache des Ruhebedarfs, bei schwierigeren Partien und Stufenschlagen noch erheblich mehr. Trotz stärkerer Ausnutzung des Blutsauerstoffes, trotz Beschleunigung des Blutumlaufes wird dabei die Sauerstoffzufuhr zu den arbeitenden Muskeln unzureichend werden, schon bei relativ geringer Sauerstoffverarmung des arteriellen zu den Geweben hinströmenden Blutes. Sauerstoffmangel und damit ausgesprochene Muskelschwäche werden also schon bei den Luftverdünnungen mäßiger Höhen eintreten.

Die mit dem Sauerstoffmangel sich allmählich bildenden krankhaften Stoffwechselprodukte und Schädigungen der Körperzellen sind auch die Ursache dafür, daß bei Körperruhe sich die Beschwerden erst nach und nach im Laufe von Stunden auszubilden pflegen. Ebenso erklärt sich hieraus wohl die zunächst überraschende Beobachtung, daß nach bedeutenden Aufstiegen eine verminderte Resistenz gegen die Luftverdünnung sich geltend macht, indem nun Höhen nicht mehr vertragen werden, die man beim Aufstiege selbst anstandslos passierte. Darüber berichten, wie oben zitiert, Middendorf¹⁹⁾ und Conway.⁴⁾

Ferner aber können wir auch die Differenzen in der individuellen Widerstandsfähigkeit gegen die Bergkrankheit und die Gewöhnung an den Höhengaufenthalt verstehen.

Wir betonten bereits, wie außerordentlich verschieden die Höhe ist, in der sich die ersten Beschwerden geltend machen. Bei einzelnen gesunden Menschen können sie schon in 3000 m Höhe einsetzen, bei der Mehrzahl zwischen 3000 und 4000 m, relativ wenige bleiben über 4000 m frei; es gibt aber Übermenschen, die 5000, 6000 m, vereinzelt auch noch bedeutendere Höhen ohne erhebliche Beschwerden ertragen können.



Paul Bert.

Bei letzteren muß die Sauerstoffversorgung der Gewebe eine besonders vorzügliche sein. Wir haben eine Reihe von Hochtouristen und Luftfahrern untersucht und fanden, daß sie eine Atemform besaßen, die für die Sauerstoffzufuhr zur Lunge sehr günstig war; sie atmeten langsam und sehr tief. — Durch dieses Moment wird eine reichliche Sauerstoffzufuhr zum Blute gewährleistet. Bei oberflächlicher Atmung gelangt, wie in Kapitel XI dargelegt wurde, viel weniger Sauerstoff in die Lunge. Daher ist die Verschiedenheit der Atmungsform, wie schon betont, ein sehr wichtiger Faktor zur Erklärung der verschiedenen Resistenzfähigkeit gegen Luftverdünnung. — Einige bezeichnende Beispiele hierfür haben wir auf Seite 322 gebracht.

Aber der Sauerstoffzustrom zu den Geweben, und das ist ja das Wesentliche, hängt noch von anderen Faktoren ab. Das Blut muß fähig sein, den ihm in den Lungen gebotenen Sauerstoff aufzunehmen. Es muß also reich an Blutfarbstoff sein. Blutarme Personen werden daher leichter von Beschwerden befallen als blutreiche. Der geringere Gehalt des Blutes an Farbstoff kann allerdings durch einen anderen Vorgang ausgeglichen werden, nämlich durch einen schnelleren Blutumlauf oder durch größere Weite der Blutkapillaren. Dadurch wird ja in einem gleichen Zeitabschnitt den Geweben mehr Sauerstoff zur Verfügung gestellt als bei langsamem Blutstrom und engen Kapillaren.

Hiermit haben wir also neue Faktoren, die uns die individuellen Unterschiede erklären können. Vielleicht kommt dazu noch ein weiterer, über den aber bisher nur wenig bekannt ist. Das ist der Unterschied, den der Blutfarbstoff verschiedener Personen hinsichtlich der Sauerstoffbindung besitzt.

Endlich spielt natürlich auch der Sauerstoffverbrauch durch die Gewebe eine Rolle. Je geringer er ist, um so eher kann ein verringerter Zustrom ertragen werden, je größer, um so schlechter. Der Sauerstoffverbrauch schwankt aber bei gesunden, leistungsfähigen Menschen in solch engen Grenzen, daß dieses Moment eine weniger wichtige Rolle spielt.

Da wir die Atmungsfunktion, den Gehalt des Blutes an Farbstoff und den Sauerstoffverbrauch leicht bestimmen können, vermögen wir uns im voraus schon ein im ganzen zutreffendes Bild von der Fähigkeit, Höhengaufenthalt zu ertragen, zu machen. Würden wir außerdem wissen, wie stark die Atmung durch den Höhengaufenthalt angeregt wird, und wie sich die Blutversorgung der einzelnen Organe gestaltet, so wären wir imstande, annähernd die Höhe anzugeben, bis zu der der einzelne sich ungestraft empowagen kann.

Jedenfalls genügen die vorstehend aufgezählten Momente, um die Grenzen, innerhalb deren die Widerstandskraft gegen die Luftverdünnung schwankt, verständlich erscheinen zu lassen. So sahen wir in Kapitel XI, daß die bei uns selbst beobachteten Differenzen in der Atemmechanik ausreichten, um eine so verschiedene Sauerstoffzufuhr zur Lunge zustande zu bringen, daß Höhendifferenzen von mehr als 1600 m dadurch ausgeglichen wurden. Die Sauerstoffspannung in den Lungenbläschen lag ja bei ungünstiger Atmung in 2900 m Höhe auf demselben Niveau, wie bei günstiger in 4560 m. — Dazu kommt, daß der Gehalt an Blutfarbstoff nach oben wie unten um mindestens 10% vom normalen Mittel abweichen kann. Wir können

also einer Differenz von 20% zwischen zwei gesunden Personen begegnen. Das bedeutet aber, daß auch der Sauerstoffvorrat des Blutes um 20% differieren muß.

Gesellen sich dazu nun Unterschiede in der Blutströmung, so ist es nicht mehr auffallend, daß bei einer Häufung der verschiedenen Faktoren im günstigen oder ungünstigen Sinne die Sauerstoffzufuhr zu den Geweben bei dem einen in einer Höhe von 6000 m noch ebenso reichlich ist, wie bei dem anderen in 3000 m.

Gewöhnung an die Höhe. Auch sie ist leicht zu erklären. Wir haben erfahren, daß beim Höhengaufenthalt Vorgänge Platz greifen, durch die eine gesteigerte Sauerstoffversorgung eintritt. So wirkt in erster Linie die Zunahme an Blutfarbstoff und damit an Sauerstoffvorrat im Blute. Auch die Atemform ändert sich, wie wir sahen, allmählich in zweckmäßiger Weise, ebenso weist das Verhalten des Pulses darauf hin, daß Änderungen in der Blutströmung zustande kommen, die gleichfalls einer gesteigerten Sauerstoffzufuhr dienen dürften. Durch all das zusammen kann sehr gut die Anpassung an die Luftverdünnung innerhalb der Grenzen, in denen sie beobachtet wird, erzielt werden. — Diese Grenzen scheinen aber ziemlich enge zu sein. Denn, wie schon die älteren Berichte aus den Anden ergeben und wie neuere Mitteilungen von Conway,⁴⁾ und besonders von Sven Hedin¹⁰⁾ bestätigen, erkranken die im Hochlande geborenen und in 3000—4000 m Höhe dauernd lebenden Träger, wenn sie zu 5000—6000 m Höhe aufsteigen. Ihre Funktionen haben sich also, wie es scheint, wesentlich nur den Höhen angepaßt, in denen sie sich dauernd aufhalten. Conway sowie neuestens Jacot Guillarmod⁸⁾ konnten trotz monatelangen ununterbrochenen Aufenthaltes sich gleichfalls nicht an Höhen von 6000 m akklimatisieren, ihre Widerstandskraft wurde vielmehr deutlich geringer. Die Kompensationseinrichtungen des Körpers sind also relativ schnell erschöpft, man erreicht bald die Grenze, die v. Schrötter²⁶⁾ als die der absoluten Anoxyhämie bezeichnet hat, und bei der durch keine Regulation mehr eine genügende Sauerstoffzufuhr erreicht werden kann.

Einfluß äußerer Momente. Nur wenig geklärt sind bisher die Beziehungen, welche zwischen dem Ausbruch der Bergkrankheit und äußeren, besonders klimatischen Momenten bestehen. Es wäre aber falsch, jeden Einfluß klimatischer Faktoren auf den Ausbruch der Krankheit leugnen zu wollen, weil uns noch die Einsicht in den ursächlichen Zusammenhang fehlt. Dazu liegen zu viele Angaben zuverlässiger und sonst gut beobachtender Forscher vor.

So wird angegeben, daß intensive Kälte, trockene Luft und pralle Sonne gefährlich sind (Conway, Guillarmod), während bedeckter Himmel, Nebel (Huc, Tschudi) und Wind sich als weniger gefährlich erweisen. Saussure und Lortet behaupten direkt, daß der letzte Teil ihres Montblancanstieges bei scharfer Brise relativ leicht von statten gegangen sei. Allerdings finden sich auch gegenteilige Angaben. Die Gebrüder Schlagintweit fühlten sich, wie schon erwähnt, krank beim Wehen des Abendwindes, besser des Morgens bei Windstille. — Eigentümlich ist die fast stets wiederkehrende Angabe, daß in der Nacht die Bergkrankheitserscheinungen an Heftigkeit zunehmen und besonders starke Atmungsbeschwerden bis zu asthmatischen Anfällen auftreten. Wir haben vorstehend bezeichnende

Äußerungen von Moorcroft,²⁰⁾ Pöppig,²³⁾ Middendorf,¹⁹⁾ Sven Hedin¹⁰⁾ angeführt. Gleiche finden sich noch bei vielen anderen Forschern. — Die Erklärung liegt wohl darin, daß, wie wir im Kapitel XI sahen, nachts die Atmung unregelmäßig und flach wird und somit die Sauerstoffzufuhr zum Körper leidet.

Unter den klimatischen Faktoren, welche man für das Auftreten der Bergkrankheit verantwortlich gemacht hat, sind auch früh bereits die elektrischen Verhältnisse mit herangezogen worden, so von Govan bei seiner Reise im Himalaja 1817, von Cunningham 1834, von Heusinger 1855 u. a. Paul Bert geht mit sehr schnöden Bemerkungen über diese Bestrebungen hinweg, indem er sagt: „Quand les gens ne savent plus que dire, il y a grande chance pour les voir mettre en cause et invoquer l'électricité“ (S. 351). Fast will es aber scheinen, als ob die Mißachtung des großen französischen Gelehrten gegen diese Theorien nicht ganz gerechtfertigt ist.

Das eine natürlich muß mit Nachdruck betont werden, um jedem Mißverständnis vorzubeugen: die grundlegende und schwerwiegendste Ursache der Bergkrankheit ist der Sauerstoffmangel. Daß aber bei den akzidentellen Momenten, welche den Ausbruch der Bergkrankheit zwar nicht hervorrufen, aber begünstigen, die feineren elektrischen Vorgänge in der Luft, speziell die hohe Ionisation und die unipolare Leitfähigkeit, eine gewisse Rolle spielen, erscheint heute nicht unwahrscheinlich. Schon die Erfahrungstatsachen, welche im historischen Teil dieses Kapitels erwähnt worden sind, gaben mannigfaltige Fingerzeige nach dieser Richtung.

Es ist erwiesen, daß der Ausbruch der Bergkrankheit häufig an bestimmten Orten erfolgt, während weit höher gelegene Gegenden, in denen sie also naturgemäß weit stärker hervortreten müßte, sich als weniger schädlich erweisen. Die Eingeborenen in den Andes brachten diese Erscheinungen mit gewissen Bodenarten, diejenigen des Himalaja mit den Ausdünstungen gewisser Pflanzen in Verbindung. Es mag hier so gehen, wie dies oft der Fall ist, wenn das Volk für eine auffällige Tatsache eine Erklärung sucht. Die Deutung ist falsch, aber die Beobachtung, welche dieser Deutung zugrunde liegt, ist eine richtige. Es ist keineswegs ausgeschlossen, daß in der Tat ein gewisser Zusammenhang zwischen der Art des Bodens und dem Ausbruch der Bergkrankheit besteht. In Kapitel II wurde auseinandergesetzt, daß die Ionisation der Luft zum Teil durch radioaktive Emanation herbeigeführt wird. Das Radium kommt aber am häufigsten mit Uran vergesellschaftet in ganz bestimmten Bodenarten (Pechblende) vor. Daß ein derartiger Boden andererseits eine bestimmte Flora begünstigt, ist ebenfalls nicht ganz von der Hand zu weisen. Eine weitere bemerkenswerte Tatsache ist die, daß solche Prädilektionsstellen für den Ausbruch der Bergkrankheit häufig enge Couloirs sind, muldenförmige Vertiefungen des Terrains u. dergl., kurz Orte, in denen eine geringe Ventilation stattfindet. Wir haben aber in Kapitel II gesehen, daß nach den Feststellungen der Herren Elster und Geitel an derartigen Orten, am ausgesprochensten in Höhlen, Ionisation und Radioaktivität der Luft besonders stark sind.

Nach derselben Richtung deutet folgende Überlegung. Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß die Autoren, welche sich längere Zeit in den Andes aufhielten (Pöppig, Tschudi, Middendorf u. a.) übereinstimmend angeben, daß

die Leiden der Bergkrankheit am stärksten und lästigsten empfunden werden bei klarer, kalter Luft und wolkenlosem Himmel, viel weniger dagegen, wenn die Luft mit Dunst und atmosphärischen Niederschlägen erfüllt ist. Dies ist doch entschieden auffällig, denn im allgemeinen wird sich jeder Mensch bei gutem, klarem Wetter wohler fühlen, als wenn die Luft mit Feuchtigkeit erfüllt ist. Luftionisation und unipolare Leitfähigkeit sind nun aber bei feuchter Witterung herabgesetzt, weil die Ionen als Konzentrationskerne der Wassertröpfchen dienen (vgl. S. 76).

Angeregt durch unseren Freund, Herrn Dr. Aschkinass, welcher zuerst in Gemeinschaft mit Caspari^{1b)} auf die eventuelle Bedeutung dieser klimatischen Vorgänge hingewiesen hat, beschlossen wir, das Studium der Elektrizitätszerstreuung mit in das Programm der beiden letzten Expeditionen aufzunehmen. Wir taten dies um so lieber, als vor dem Jahre 1901 Bestimmungen der Luftionisation in Höhen, wie der Monte Rosa-Gipfel, überhaupt noch nicht vorgenommen worden waren, und wir daher hoffen durften, selbst für den Fall, daß eine Einwirkung auf den Organismus sich nicht herausstellen sollte, doch für den Physiker und Meteorologen nicht unwichtige Resultate auf unserer Expedition zu sammeln. Allerdings fanden wir bei unserer Ankunft auf der Capanna Regina Margherita den Professor Sella aus Rom bereits mit derartigen Untersuchungen beschäftigt. — Herrn Dr. Aschkinass sind wir nicht nur für seine mannigfaltigen Anregungen, sondern auch dafür zu besonderem Danke verpflichtet, daß er uns in die Methoden der Untersuchung eingeführt hat.

Aus den Resultaten unserer Beobachtungen im Jahre 1901 haben wir einiges bereits in Kapitel II angeführt. Zur Unterstützung der Annahme, daß die Bergkrankheit mit diesen elektrischen Vorgängen der Atmosphäre in Verbindung steht, konnten wir nur eine allerdings bemerkenswerte Tatsache beibringen. Auf dem Wege unseres Aufstieges zur Capanna Regina Margherita passiert man dicht oberhalb des Lysjoches in etwa 4000 m Höhe eine Stelle, welche einen der bekannten Orte darstellt, an denen die Bergkrankheit einzusetzen pflegt. Es ist dies eine „Sasso del diavolo“ genannte, muldenförmige Bodensenkung am Rande einer ungeheueren Eiskluft.*) Nur nach Westen ist diese Stelle frei gelegen, sonst rings von überragenden Eiswänden abgeschlossen. Die Ventilation muß dort zweifellos eine geringe sein. Es ergaben sich nun hier sehr hohe Werte der Ionisation, vor allem aber eine ausgesprochene Unipolarität:

a_-	a_+	q
19.74	4.65	4.25

Auch Durig und Zuntz untersuchten die Ionisation auf ihrer Expedition im Jahre 1903. Des außerordentlich bemerkenswerten Befundes, welchen sie am 6. September feststellten, ist bereits S. 76 gedacht worden. Auch am 27. August wurde auf der Plattform der Capanna Regina Margherita eine sehr hohe Ionisation, vor allem aber eine ausgesprochene unipolare Leitfähigkeit festgestellt. Es wurden gefunden:

a_-	a_+	q
9.96	1.47	6.78

*) Die Stelle liegt ganz nahe dem Orte, der auf dem Bild S. 240 dargestellt ist.

Die Bestimmungen wurden am Vormittag ausgeführt bei klarem, wolkenlosem Himmel. Im Anschluß an diese Feststellungen wurden Respirationsversuche in Ruhe auf der Plattform selbst angestellt, und es ergab sich das sehr beachtenswerte Resultat, daß die Daten dieser Versuche bei Zuntz sowohl wie bei Durig deutlich abweichen von denjenigen Werten, welche sonst unter gleichen Bedingungen gewonnen wurden. Es fanden sich:

	Atemgröße	Sauerstoff- verbrauch ccm	Kohlensäure- produktion ccm	Respirat. Quotient
Zuntz:				
27. VIII.	9.500	253.6	186.4	0.735
27. VIII.	10.183	263.5	195.6	0.742
Im Mittel der übrigen Versuche	8.890	280.9	195.6	0.687
Durig:				
27. VIII.	8.100	265.4	194.2	0.732
27. VIII.	8.067	270.3	198.2	0.733
Im Mittel der übrigen Versuche	7.604	247.3	182.0	0.737

Es ergibt sich also, daß bei Durig am 27. August die Atemgröße, Sauerstoffverbrauch und Kohlensäureausscheidung deutlich gesteigert sind. Bei Zuntz ist nur die Mechanik der Atmung verändert, während der Atemchemismus keine wesentlichere Veränderung zeigt. Wir haben aber gesehen, daß gerade die Atemmechanik eines der Momente ist, welche für ein früheres oder späteres Einsetzen der Bergkrankheit als wesentlich in Betracht kommen.

Am Nachmittage desselben Tages wurden ferner Versuche auf dem Schneefeld zwischen Gnifetti- und Zumsteinspitze angestellt. Auch hier sind die Werte für die Atemgröße bei Zuntz und bei Durig, ebenso gleichzeitig in auffallender Weise Sauerstoffverbrauch und Kohlensäureausscheidung wesentlich höher als bei den übrigen, unter gleichen Bedingungen angestellten Untersuchungen. Schon Zuntz und Durig fielen die abnormen Werte auf dem Schneefelde auf und sie suchten nach einer Erklärung (vergl. S. 242). Sie glaubten sie für Zuntz in der Wirkung der Verdauungsarbeit, für Durig in einer vorhergegangenen starken körperlichen Anstrengung zu finden. Es muß natürlich dahingestellt bleiben, ob für den Versuch auf dem Schneefelde diese Momente ausschlaggebend gewesen sind, oder ob die genannten elektrischen Zustände der Atmosphäre dabei mitgewirkt haben. Eine Diskussion darüber ist um so weniger aussichtsreich, als ja keineswegs erwiesen ist, daß nachmittags derselbe Zustand in der Atmosphäre bestanden hat, wie am Vormittage. Am vorhergehenden Tage, dem 26. August, waren vormittags auf der Plattform der Gipfelhütte, während Durig und Zuntz sich daselbst aufhielten, ähnlich hohe Werte für die Unipolarität gefunden worden:

a_-	a_+	q
4.47	0.67	6.67

Im Freien wurden am 26. August keine Versuche ausgeführt. Wohl aber wurden unmittelbar nach Verlassen der Plattform in der Hütte Respirationsversuche in Ruhe vorgenommen. Hierbei zeigte sich eine deutliche Nachwirkung der vorangegangenen klimatischen Einwirkungen. Wir finden in dem ersten Versuche nach dem Aufenthalte auf dem Dache bei Zuntz ebenso wie bei Durig eine deutliche Steigerung der Atemmechanik, aber diesmal bei beiden auch eine geringe Steigerung des Sauerstoffverbrauches und der Kohlensäureausscheidung. Folgende kleine Tabelle mag das Gesagte illustrieren:

	Atemgröße	Sauerstoff- verbrauch ccm	Kohlensäure- ausscheidung ccm	Respirat. Quotient
Zuntz:				
26. VIII. Erster Versuch nach 1 $\frac{3}{4}$ Stunden Aufent- halt auf der Plattform	9.050	299.7	217.6	0.726
Im Mittel aller übrigen Res- pirationsversuche nach längerem Aufenthalt im Freien	8.509	282.6	199.7	0.707
Durig:				
26. VIII. Erster Versuch	8.013	283.7	211.4	0.738
Mittel der übrigen gleich- artigen Versuche	7.715	272.3	190.6	0.699

Es ist ganz naturgemäß, daß bei der außerordentlichen Jugend dieses Zweiges der Wissenschaft ein umfangreicheres Material über die Einwirkung der Luftelektrizität auf den Organismus noch nicht besteht. Immerhin sind die genannten Befunde auffällig und fordern zu weiterer Prüfung auf.

Unterstützt wird der Gedanke an eine Wirksamkeit der Ionisationszustände endlich durch eine Bemerkung im Protokollbuche von Zuntz am 6. September. Wir hatten gesehen, daß an diesem Tage auf dem Gipfel des Monte Rosa die höchste unipolare Leitfähigkeit herrschte, welche bisher jemals beobachtet werden konnte. Leider sind Respirationsversuche nicht mehr vorgenommen worden. Es war der letzte Tag des dreiwöchentlichen Aufenthalts von Zuntz und Durig in der Capanna. Beide waren völlig akklimatisiert und hatten keinerlei Beschwerden. Zudem war das Wetter an diesem Tage klar, das Barometer stand hoch. Als nun Zuntz nach den angestellten Beobachtungen das Dach der Capanna verließ, stellten sich Atembeschwerden bei ihm ein. Es war ihm das so auffällig, daß er nicht unterließ, es protokollarisch zu vermerken, obgleich er diesem Befunde damals eine besondere Bedeutung nicht zugesprochen hat.

Wir können aber in unserer Anschauung, daß diese Zustände für den Organismus von Bedeutung sind, noch einen Schritt weiter gehen. Wenn es sich bewahrheitet, was für das Hochgebirge, wie wir ja gesehen haben, noch nicht erwiesen ist, daß die Zustände der Ionisation im Zusammenhange stehen mit radioaktiver Emanation, so würde es geradezu eine logische Forderung sein, ihnen auch eine

physiologische Bedeutung beizumessen. Wir wissen, daß radioaktive Emanation auf lebende Organismen sehr energisch einwirkt. Bakterienkulturen lassen sich abtöten, Tiere, wie Frösche und Mäuse, gehen nach etwa vierzehntägigem Aufenthalt in stark emanationshaltiger Luft zugrunde. Wenn es sich hier auch um unverhältnismäßig größere Quantitäten handelt, so sind die Emanationsmengen, welche an manchen Orten im Hochgebirge, z. B. in Arosa und Davos, gewonnen wurden, doch immerhin nicht ganz unbedeutend.

Einfluß des körperlichen Verhaltens. Auch das körperliche und seelische Verhalten des Bergsteigers sind für das Einsetzen der Bergkrankheit von Bedeutung; zunächst schon die körperliche Kraft und Leistungsfähigkeit. — Daß ferner die Ermüdung eine hervorragende Rolle spielt, kann angesichts der mit ihr verbundenen Schädigung der Atmungs- und Herzmuskulatur nicht wundernehmen; daher wohl die gesteigerte Disposition zur Erkrankung nach schlaflosen Nächten. Ungünstig wirken aber auch mangelhafte Ernährung, ungünstig auch reichlicher Alkoholgenuß. — Wie sehr weiterhin der psychische Zustand von Einfluß sein muß, braucht nur angedeutet zu werden: die Furcht vor der Überwindung ungewohnter Schwierigkeiten und beim Passieren gefährlicher Stellen, der Mangel an Selbstvertrauen wirken lähmend; umgekehrt fördert das Bewußtsein der eigenen Kraft, und selbst schon der Gedanke, bald dem Ziele nahe zu sein, läßt die Strapazen leichter ertragen und erhöht die Kräfte.

Wenn wir nun bedenken, daß alle genannten Momente zusammenwirken, daß die wechselnden klimatischen Bedingungen Individuen treffen, deren körperlicher Zustand — besonders der Grad der Ermüdung — von Fall zu Fall ein ganz verschiedener sein kann, so wird die Schwierigkeit klar, aus der Fülle der wirksamen Faktoren die im Einzelfalle im Betracht kommenden herauszuheben, speziell anzugeben, ob mehr die klimatischen oder mehr die persönlichen Bedingungen an dem Ausbruch der Krankheit beteiligt sind. Vorläufig ist es unmöglich, die Bedeutung der einzelnen Klimafaktoren genügend zu erkennen. Die ungünstige Wirkung direkter Sonnenbestrahlung und andererseits die günstige mäßigen Windes können wir uns durch ihren Einfluß auf die Wärmeregulation unseres Körpers erklären. Erstere hemmt die Wärmeabgabe vom Körper und führt leicht zur Überhitzung; letztere umgekehrt hält unsere Körpertemperatur mehr konstant; sie fördert so unsere Leistungsfähigkeit durch Steigerung der Wärmeausfuhr.

Selbst für die anscheinend sichere Tatsache, daß in den verschiedenen Gebirgen der Erde die Bergkrankheit in verschiedenen hohen Regionen einsetzt, sind uns die Ursachen nicht klar. Am frühesten treten die Beschwerden in den Alpen und im Kaukasus (schon von 3000 m an) auf, später in den Anden (von ca. 4000 m), am spätesten im Himalaja (meist erst von 5000 m an). Vielleicht spielen hier die Temperaturverhältnisse der Luft eine besondere Rolle.

Fassen wir alle vorstehenden Betrachtungen und Erwägungen zusammen, so müssen wir sagen: die Theorie, welche die Bergkrankheit aus dem Sauerstoffmangel ableitet, ist die am besten begründete. Alle wesentlichen Tatsachen werden durch sie erklärt und keine anerkannte Beobachtung steht mit ihr in Wider-

spruch. — Die Annahme, daß eine Überanstrengung stets der Erkrankung zugrunde liege, entspricht nicht der Wirklichkeit; dafür, daß Blutstauungen sie erzeugen, liegt kein Anhaltspunkt vor, und auch die Akapnie kann nicht als ursächliches Moment in Betracht kommen, da Bergkrankheit ohne Akapnie und Akapnie ohne Bergkrankheit bestehen kann. — Die Wirkungsweise einer großen Reihe zur Bergkrankheit prädisponierender Momente können wir verstehen, es bleiben aber einzelne, deren Einwirkung erst noch genauer erforscht werden muß.

Verhütung und Heilung der Bergkrankheit. Bei dem von uns eingenommenen Standpunkte ist der Weg zur Verhütung und Behandlung der Bergkrankheit theoretisch klar vorgezeichnet: wir müssen in jeder Hinsicht dahin streben, daß die Sauerstoffversorgung unserer Organe so gut wie möglich gestaltet wird. Das erfordert in praxi eine ganze Reihe von Maßnahmen. Zunächst empfiehlt es sich, zur Verhütung der Krankheit nicht direkt bis zu der kritischen Grenze aufzusteigen. Atmung und Herzstätigkeit sollen erst in geringeren Höhen einige Tage geübt und gewöhnt werden. Dann wird ein passives Emporkommen — sei es reitend oder im Tragsessel — eher schützen als ein mit Anstrengung verbundenes. — Eine Ausnahmestellung nehmen die Bergbahnen ein. Die schnelle Auffahrt in einer Tour, wie sie durch diese ermöglicht wird, ist eher ein Nachteil. Der Körper hat keine Möglichkeit, sich der dünnen Luft zu akkommodieren und die Regulationen, über die er verfügt, in Tätigkeit treten zu lassen. Hier dürften die Erscheinungen der Bergkrankheit in ihren ersten Anfängen schon in tieferen Regionen zum Ausbruch kommen, als nach langsamem, ohne Überanstrengung der Kräfte zu Fuße durchgeführtem Aufstiege.

Die Anstrengung beim Aufstiege selbst wird je nach dem körperlichen Verhalten verschieden ertragen werden: die Atmung soll beim Bergaufmarsche tief und ruhig sein, Sprechen sollte vermieden werden. Durch gutes Training erworbene körperliche Leistungsfähigkeit macht widerstandsfähiger, mangelnde Übung und körperliche Schwäche disponieren zur Erkrankung. Jeder Hochgebirgswanderung sollte deshalb ein Training in mittleren Höhen vorangehen. Die Wanderung in ermüdetem Zustande nach mangelhafter Nachtruhe auszuführen, ist gefährlich. Ebenso ist für genügende und zweckmäßige Nahrung zu sorgen: bei unzureichender Kost leidet die körperliche Kraft, bei allzu reichlicher und unzureichend gewählter, besonders wenn sie zu Auftreibungen des Magens und Darmes führt, leidet die Fähigkeit, tief und ausgiebig zu atmen. Das Nähere findet sich im Kapitel: Ernährung des Bergsteigers. — Endlich wird auf die klimatischen Verhältnisse Rücksicht zu nehmen sein. Beim Aufstiege sollte man, wenn möglich, pralle Sonne und schwüles Wetter zu vermeiden suchen, bei Körperruhe muß man die andringende Kälte fernhalten. — Das sicherste Vorbeugungsmittel, den Sauerstoff, wird man allenfalls bei Bergbahnen in ausreichender Menge mit sich führen können, wie das bei den Luftfahrern heute allgemein üblich ist.

Ist die Krankheit zum Ausbruch gekommen, so wird zunächst schon körperliche Ruhe die Beschwerden wesentlich mildern oder ganz beseitigen; dazu käme häufigere und tiefe Atmung, die die Sauerstoffzufuhr zu den Lungen steigert

und durch Beschleunigung des Blutlaufes die Sauerstoffversorgung der Gewebe weiter erhöht. Noch besser wirkt zeitweilige Sauerstoffatmung. Doch auch diese hat nur vorübergehenden Effekt. — Einatmung von Gemischen von Luft und Kohlensäure ist unzweckmäßig. Es tritt zwar durch letztere eine starke Steigerung der Atmung und damit der Sauerstoffzufuhr zur Lunge ein, ihre Wirkung wird aber dadurch aufgehoben, daß, wie wiederholt erwähnt, bei dem niedrigen Sauerstoffdrucke, der im Hochgebirge in den Lungenbläschen sich ausbildet, durch Kohlensäurebeimischung die Sauerstoffaufnahme durch den Blutfarbstoff leidet. Ratsam dagegen ist, Gemische von reinem Sauerstoff und einigen Prozenten Kohlensäure einzuatmen, wie Mosso^{21a)} empfohlen hat, da bei dem hierbei herrschenden hohen Sauerstoffdruck die Sauerstoffbindung an das Hämoglobin durch die beigemengte Kohlensäure nicht beeinträchtigt wird. — Natürlich wird die wohltätige Wirkung im wesentlichen nicht viel länger dauern als die Einatmung selbst, aber häufiger wiederholte Einatmungen werden wenigstens die stärksten Beschwerden der ersten Tage mildern können.

Bleiben die Beschwerden unerträglich oder sind sie gefahrdrohend, so gibt es nur noch ein Behandlungsmittel: Abstieg in niedrigere Höhenlagen. Ihm kann nach einiger Zeit der Versuch eines erneuten Aufstieges folgen.

Außer der im Vorstehenden geschilderten rationellen Behandlung gibt es nun eine ganze Reihe von Mitteln, die gegen die Bergkrankheit an sich oder gegen einzelne Beschwerden empfohlen worden sind. Sie entstammen der praktischen Erfahrung der Hochgebirgsbewohner und sind demnach in den verschiedenen Gebirgen der Erde verschieden.

Als Vorbeugungsmittel gilt nach Tschudi²⁷⁾ in den peruanischen Anden das Kauen von Kokablättern oder der Genuß von Kokatee. Dadurch sollen auch die Atemnot und die Übelkeiten bei bereits ausgebrochener Krankheit beseitigt werden. Kaffee, Tee, Schokolade und besonders alkoholische Getränke werden nach Pöppig von den Eingeborenen für schädlich gehalten. Ferner bedienen sich die Indianer zur Behebung der Krankheit kalter Limonaden, des Weinstein, auch Einreibungen des Mundes, der Nase und Ohren mit Knoblauch. — Im Himalaja werden gleichfalls säuerliche Früchte und Zwiebeln benutzt. Überhaupt scheinen scharfe und anregende Mittel von Wert zu sein. Tschudi hat bei schweren Fällen, wie er angibt mit gutem Erfolge, Aderlässe gemacht, die auch Archibald Smith empfiehlt. Ihre günstige Wirkung ist nicht recht erklärlich. Sie werden auch vielfach bei Pferden und Maultieren vorgenommen, wenn diese an der Bergkrankheit zu leiden beginnen. Man macht entweder einen Schnitt unter der Zunge oder schneidet ihnen ein Stück vom Schwanz oder den Ohren ab, oder schlitzt ihnen, und das soll das Beste sein, die Nasenlöcher auf. Der Erfolg scheint allerdings manchmal ein überraschender zu sein.

Gegen einzelne Symptome, namentlich gegen den oft unerträglichen Kopfschmerz, kommen die neueren Migränemittel (Phenacetin, Antipyrin usw.) mit Nutzen zur Anwendung.

Literatur.

¹⁾ G. di Acosta: „Historia naturale e morale delle Indie“. Italienische Übersetzung. Venedig 1596.

^{1b)} Aschkinass und Caspari: „Wirkung dissoziierender Strahlen usw.“. Pflügers Archiv Bd. 86.

^{1a)} Berson und Süring: „Illustrierte aeronautische Mitteilungen“. 1901.

²⁾ Paul Bert: „La pression barométrique“. Paris 1878.

^{2a)} Bullock-Workman: Jahresber. der Sekt. Berlin des D.Ö.A.V. 1900.

- ³⁾ Boussingault: cf. Al. v. Humboldts kleine Schriften. I.
- ⁴⁾ W. M. Conway: „Climbing and exploration in the Karakoram Himalayas“. London 1884.
- ^{4a)} Derselbe: Alpine journal. Vol XX. 1899.
- ⁵⁾ Cunningham: Zitiert bei Meyer-Ahrens und P. Bert.
- ^{5a)} Dufour: „Sur le mal des montagnes“. Bull. de la soc. med. de la Suisse romande. 1874.
- ^{5b)} Egli-Sinclair: Jahrb. d. Schweizer Alpenklubs. 1892.
- ⁶⁾ D. W. Freshfield: „The highest climbs on record“. 1898.
- ⁷⁾ E. A. Fitz-Gerald: „The highest Andes“.
- ^{7a)} G. Guglielminetti: „Trois semaines au Mont-Blanc“. 1894; Progrès médical 1901; L'écho des Alpes 1904.
- ⁸⁾ Jacot Guillarmod: „Six mois dans l'Himalaya“. Neuchâtel.
- ⁹⁾ Gübelfeld: „Reise in den Andes von Chile und Argentinien“. Berlin 1888.
- ¹⁰⁾ Sven Hedin: „Durch Asiens Wüsten“. Leipzig 1899.
- ¹¹⁾ Mrs Hervey: „The adventures of a Lady in Tartary“. London 1813.
- ¹²⁾ Huuc: „Souvenirs d'un voyage dans la Tartarie, le Thibet et la Chine“. Auszug in Cannstatts Jahresbericht für 1850.
- ^{12a)} A. v. Haller: „Grundriß der Physiologie“. Berlin 1788.
- ¹³⁾ A. v. Humboldt: „Voyage aux régions équinoxiales du nouveau continent, fait en 1799—1804“. Paris 1814.
- ¹⁴⁾ Jourdanet: „Influence de la pression de l'air sur la vie de l'homme“. Paris 1875.
- ¹⁵⁾ H. Kronecker: „Die Bergkrankheit“. Berlin u. Wien 1903.
- ¹⁶⁾ G. v. Liebig: „Der Luftdruck in den pneumatischen Kammern und auf Höhen“. Braunschweig 1898.
- ¹⁷⁾ A. Loewy: „Die Respiration und Zirkulation bei Änderung des Druckes usw.“. Berlin 1895.
- ^{17a)} Lortet: Physiol. du mal des montagnes. Rev. des cours scientifiques etc. 1876.
- ¹⁸⁾ C. Meyer-Ahrens: „Die Bergkrankheit“. Leipzig 1854.
- ¹⁹⁾ Middendorf: „Peru“. Bd. III: „Das Hochland von Peru“. Berlin 1895.
- ²⁰⁾ Moorcroft: „A journey to lake Manasarovara in Ü-n-dés, a province of little Thibet. Asiatic researches. T. XII. Kalkutta 1816.
- ²¹⁾ A. Mosso: „Der Mensch auf den Hoehalpen“. Leipzig 1897.
- ^{21a)} Derselbe: „Differenze individuali nella resistenza alla pressione parziale dell'ossigeno“. Rendiconti della regia accad. dei Lincei. Vol. XIV, 1905.
- ^{21b)} Derselbe: ebenda.
- ²²⁾ d'Orbigny: „Voyage dans l'Amérique méridionale 1826—33“. IV. Paris 1839.
- ²³⁾ E. Pöppig: „Reisen in Chile, Peru und auf dem Amazonenstrom“. Leipzig 1836.
- ²⁴⁾ H. B. de Saussure: „Voyages dans les Alpes“. T. IV. Neuchâtel 1796.
- ²⁵⁾ Adolf und Robert v. Schlagintweit: „Results of a scientific mission to India and high Asia 1854—58“. Leipzig und London 1861—66.
- ²⁶⁾ H. v. Schrötter: „Zur Kenntnis der Bergkrankheit“. Wien und Leipzig 1899.
- ^{26a)} Derselbe: „Der Sauerstoff in Prophylaxe und Therapie der Luftdruckerkrankungen“. Berlin, Hirschwald, 1904.
- ^{26b)} Archibald Smith: Edinb. med. and surg. journ. referiert in Cannstatts Jahresber. 1842.
- ²⁷⁾ Tschudi: „Peru“. Reiseskizzen aus den Jahren 1838—42. Bd. II. St. Gallen 1846.
- ²⁸⁾ Don Antoine d'Ulloa: „Mémoires philosophiques, historiques, physiques concernant la découverte d'Amérique“. Trad. française. T. I, 1787.
- ²⁹⁾ Webb: Zitiert bei Meyer-Ahrens, S. 29.
- ³⁰⁾ Whymper: „Travels amongst the great Andes of the Equator“. London 1892.



Gressoney la Trinité.

Kapitel XX.

Heilwirkungen und Gefahren des Höhenklimas.

Im vorhergehenden Kapitel haben wir die Wirkungen zu schildern versucht, welche der Aufstieg zu Höhen herbeiführt, denen die Konstitution nicht mehr gewachsen ist. — Wir haben ein Bild der Leiden gegeben, die diejenigen befallen, welche über ihre Kraft hinaus sich in Regionen vorwagen, in denen das zum Leben notwendige Element, der Sauerstoff der Luft, für sie unzureichend wird.

Eine solche Höhengrenze gibt es, wie schon erörtert, schließlich für jedes lebende Wesen, wenn auch für das eine früher, für das andere später. Auch der Gesündeste und selbst an bedeutende Höhen Akklimatisierte entgeht diesen Wirkungen nicht, die auf der Grundorganisation aller belebten Wesen beruhen: Sie alle bedürfen des Sauerstoffs für den Ablauf ihrer Lebensprozesse.

Betrachten wir gegenüber den exzessiven Höhen, deren krankmachende Wirkung genügend geschildert wurde, diejenigen, in denen der Gehalt der Atmosphäre an Sauerstoff noch zureicht, also mittlere Höhen bis zu etwa 2000 m, so wissen wir nun, daß sie vielfache günstige Wirkungen auszuüben vermögen, Wirkungen, welche es uns nahelegen müssen, das Höhenklima als Heilpotenz zu benutzen.

Wir sahen, daß alle wesentlichen Funktionen des menschlichen Organismus durch das Höhenklima beeinflusst werden. Der Stoffumsatz, insbesondere bei körperlicher Betätigung, wird gesteigert, der Ansatz eiweißartigen Materials

befördert. Die Herztätigkeit wird angeregt, die Atmung verstärkt, beides infolge stärkerer Erregungen, die durch Vermittlung des Nervensystems auf Herz und Atemorgane wirken. Die Blutbildung ist vermehrt, die Haut wird zu energischerer Tätigkeit trainiert.

Fassen wir alle Wirkungen, von deren Einzelheiten die früheren Kapitel berichteten, unter einem allgemeinen Gesichtspunkte zusammen, so müssen wir sagen: das Höhenklima regt die lebenswichtigsten Organsysteme unseres Körpers zu erhöhter Tätigkeit an, es veranlaßt sie zu energischerer Arbeit.

Je mehr ein Organ zur Arbeit gezwungen wird, um so mehr gewöhnt es sich, die Arbeit zu leisten; die stetige Übung führt zu größerer Leistungsfähigkeit, zur Kräftigung.

Die wissenschaftliche Ergründung der Höhenklimawirkungen liefert uns somit ein Ergebnis, welches die praktische Erfahrung seit langem gelehrt hat. Aber sie gibt nicht nur eine Bestätigung dieser Erfahrung, sie vertieft sie zugleich und wirkt klärend, indem sie zeigt, in welcher Weise die einzelnen Organe an der allgemeinen Kräftigung teilnehmen, und wie diese zustande kommt.

Die wohltätigen Folgen, welche der Aufenthalt im Hochgebirge mit sich bringt, haben den Blick der Ärzte schon lange auf sich gelenkt, und sie veranlaßt, die von der Natur dargebotenen Kräfte in den Dienst der Heilkunde zu stellen. Man versuchte sie zur Verbesserung der Konstitution und zur Behebung bestimmter Krankheiten zu verwerten. Das geschah schon zu einer Zeit, wo streng wissenschaftliche Untersuchungen über die physiologischen Effekte des Höhenklimas noch nicht vorlagen. Insbesondere waren es einige scharfsinnige Ärzte an vielbesuchten Höhenorten, die es auf Grund ihrer Beobachtungen unternahmen, bestimmte Anzeigen für den kurgemäßen Gebrauch des Hochgebirges aufzustellen.

Die Morbiditätsstatistik hatte bestätigt, was schon den großen Ärzten des Altertums bekannt war, daß im Hochgebirge eine Reihe im Tieflande häufiger Krankheiten selten oder gar nicht vorkommen, andere, im Tieflande seltenere, dagegen in gehäufter Zahl beobachtet werden. Man sah sich infolgedessen veranlaßt, Höhenaufenthalt für erstere zu empfehlen, für letztere zu widerraten.

In die erste Gruppe gehört die Lungenschwindsucht,^{1) 3) 5)} ferner Skrofulose, Blutarmut, die sog. englische Krankheit der Kinder, allgemeine körperliche Schwäche, chronische Katarrhe des Magendarmkanals, Blutstockungen in den Bauchorganen mit ihren Folgen, Wechselfieber. Die an diesen Affektionen Leidenden wurden ins Hochgebirge gesendet, und die günstigen Erfolge zeigten, daß die auf Beobachtung gegründete Maßnahme das Richtige getroffen hatte.

Demgegenüber suchte man Kranke mit akuten Katarrhen der Respirationsorgane, mit Lungen- und Brustfellentzündungen oder deren Folgen, mit Gelenkrheumatismus oder Affektionen des Herzens vom Hochgebirge fernzuhalten. Die statistischen Erhebungen aus der Schweiz³⁾, aus dem Gasteiner Tal⁴⁾ wie aus den peruanischen Anden⁵⁾ haben übereinstimmend die Häufigkeit und den wenig günstigen Verlauf dieser Krankheiten im Hochgebirge nachgewiesen, und in den Totenlisten der höheren Schweizer Täler nehmen sie als Todesursache einen verhältnismäßig breiten Raum ein.

Trotz der Kenntnisse, die wir auf Grund der zahlreichen in den vorstehenden

Kapiteln besprochenen Arbeiten über die physiologischen Wirkungen des Höhenklimas gewonnen haben, sind wir auch heute noch nicht imstande, bei allen oben genannten Krankheiten, die im Höhenklima eine Besserung erfahren, eine physiologische Begründung für die günstigen Erfolge zu geben. Bei vielen müssen wir uns auch jetzt noch mit der empirisch gewonnenen Tatsache begnügen, daß das Höhenklima bei ihnen heilend wirkt, während wir für die Erklärung zu mehr oder weniger unsicheren Hypothesen unsere Zuflucht nehmen müssen.

So ist es gerade bei derjenigen Erkrankung, die den Ausgangspunkt der modernen Höhenluftbehandlung abgegeben hat, bei der Lungentuberkulose. Seitdem Brehmer¹⁾ in Görbersdorf (Schlesien) zuerst mit genialem Blick den hohen Wert dieser Behandlung erkannt und sie praktisch durchgeführt hat, haben Tuberkulöse stets das größte Kontingent der in den Höhenorten Heilung Suchenden gestellt, speziell für Winterkuren. Und gerade der Winter ist ja, wie in Kapitel II ausgeführt wurde, für das Hochgebirge die Jahreszeit der gleichmäßig heiteren und klaren Witterung, in der die Sonne am anhaltendsten ihre belebende und wärmende Wirkung entfalten kann.

Insbesondere die Schweiz ist reich an Höhenkurorten, von denen auf Seite 28 bereits die wichtigsten genannt wurden.

Brehmer war von der Anschauung ausgegangen, daß das Höhenklima eine Art Immunität gegen Lungentuberkulose verleihe. Er stützte sich dabei auf die vermeintliche Tatsache, daß diese Krankheit im Hochlande nicht vorkomme. Das ist nun, wie neuere Erfahrungen erwiesen haben, nicht zutreffend. Unbekannt ist die Tuberkulose im Hochlande nicht, nur ist sie allerdings auffällig selten. Daß die Beschaffenheit des Höhenklimas auf dieses seltene Vorkommen von Einfluß sei, wird angesichts der erzielten Heilwirkungen nicht gelehnet werden können.

Verlassen die Bewohner von Davos ihren Heimatsort und wandern ins Tiefland, um dort Beschäftigung zu suchen, so werden sie nicht selten von der Tuberkulose befallen. Sie pflegen dann, wie Spengler angibt, nach Davos zurückzukehren, um wieder zu genesen. Ähnliches wird aus den südamerikanischen Anden von Smith⁵⁾ berichtet. Die Hochlandbewohner erkranken leicht an ihren Lungen, wenn sie zur Küste hinabsteigen; sie kehren in ihre Heimat zurück und gesunden wieder. Auch die Lungenkranken des peruanischen Küstenlandes, in dem die Tuberkulose sehr verbreitet ist, werden mit Erfolg in Höhen von 2000—3000 m zu längerem Aufenthalt gesandt, und in Nordamerika wird die in 2000 m liegende Hochebene am östlichen Rande der Rocky mountains (Colorado) mit Vorliebe von Lungenkranken aufgesucht; die beiden hauptsächlichsten Kurorte sind hier Denver (1500 m) und Colorado-Springs (1800 m). Ebenso wird im Tafellande der englischen Kapkolonie Kimberley (1350 m) viel empfohlen.

So günstig die Erfolge einer Höhenkur bei Lungentuberkulose auch sind und so dankbar sie von zahlreichen Kranken anerkannt werden, so sind ihre Ursachen doch noch in Dunkel gehüllt, und von einer Besprechung der in Betracht kommenden Möglichkeiten glauben wir absehen zu sollen.

Wie mit der Tuberkulose, verhält es sich mit der Skrofulose und der englischen Krankheit. Sie werden günstig beeinflusst, aber auch hier kennen wir noch nicht die zur Heilung führenden Momente.

Dagegen sind wir auf Grund der in den vorstehenden Kapiteln zusammengefaßten Ergebnisse des physiologischen Experiments in der Lage, für eine Reihe anderer Krankheitszustände uns ein klares Bild davon zu machen, auf welchem Wege das Höhenklima seine wohltätigen Wirkungen entfaltet.

Am klarsten ist der Zusammenhang zu erkennen für die Besserung, die alle Zustände von Blut- oder Blutfarbstoffmangel im Hochgebirge erfahren. Wir sahen, daß die Zahl der Blutzellen und die Menge des Blutfarbstoffs in der Höhe zunehmen, und konnten die Zunahme auf eine erhöhte Tätigkeit des Knochenmarkes, der Hauptblutbildungsstätte, zurückführen. Als wirksamer Faktor erwies sich dabei die Luftverdünnung. Daher ist die Empfehlung des Höhenklimas bei der als Bleichsucht bekannten Erkrankung des jugendlichen Alters berechtigt, ferner zur schnelleren Bluterneuerung nach Blutverlusten und bei den Zuständen von Blutarmut, wie sie im Anschluß an schwere Infektionskrankheiten, besonders nach Malaria, zur Beobachtung kommen.

Allerdings heißt es hier mit Vorsicht verfahren, wenn man nicht bei den Blutarmen durch den Übergang ins Hochgebirge erhebliche Beschwerden und direkte Schädigungen hervorrufen will.

Wie schon in den Kapiteln X und XIX ausgeführt, nimmt die Sauerstoffmenge, die der Blutfarbstoff aufnehmen kann, mit fortschreitender Verdünnung der Luft, also mit zunehmender Höhe, ab. Es wird immer weniger Sauerstoff zu den Geweben unseres Körpers geführt, und es kommt schließlich der Moment, wo die Sauerstoffmenge unzureichend wird und die Beschwerden des Sauerstoffmangels sich einstellen. Diese treten bei blutreichen, gesunden Personen in relativ großen Höhen ein. Nehmen wir demgegenüber einen blutarmen Menschen, der — sagen wir — nur drei Viertel oder gar nur die Hälfte der normalen Blutfarbstoffmenge besitzt und dementsprechend weniger Sauerstoff ins Blut aufnehmen kann. Begibt sich dieser ins Gebirge, so muß sehr bald der Augenblick kommen, wo die in seinem Blute enthaltene Sauerstoffmenge unzureichend wird. Schon in relativ geringen Erhebungen werden sich also Beschwerden einstellen, die ihrer Natur nach richtige Bergkrankheitsbeschwerden sind, wenn man sie auch nicht als solche bezeichnet. Man spricht hier von Akklimatisationserscheinungen. Das sind jedoch nicht, wie meist geglaubt wird, Erscheinungen, die durch die vor sich gehende Akklimatisation ausgelöst werden, vielmehr solche, zu deren Behebung eine Akklimatisation notwendig ist.

Eine weitere rationelle Verwendung des Höhenklimas gründet sich auf seine Wirkung auf Atmung und Herz.

Die Steigerung der Atemtätigkeit im Hochlande, die schon bei körperlicher Ruhe, mehr noch bei Muskeltätigkeit sich einstellt, führt zu einer Kräftigung der Atmungsmuskulatur, zu einer besseren Ausbildung des Brustkorbes. Sie ist also angezeigt in allen Fällen, wo die Atemmuskeln schwach entwickelt sind, der Brustkorb eng und flach ist — Zustände, von denen man weiß, daß sie Erkrankungen der Lungen Vorschub leisten.

Ebenso dient ein Höhengaufenthalt zur Stärkung des Herzmuskels und damit zur Verbesserung des Blutumlaufs im Körper. Jedoch auch hier ist Vorsicht geboten. Schon das gesunde Herz des an körperliche Arbeit nicht Gewöhnten

merkt die Mehrarbeit, die es im Gebirge zu leisten hat. Ein schwaches Herz kann leicht durch Überanstrengung Schaden nehmen. Daher ist die Vorschrift, die schwächlichen Personen erteilt zu werden pflegt, vollkommen berechtigt, in den ersten Tagen sich ruhig zu verhalten und später erst die durch die Muskelarbeit erzeugten Reize neben denen des Höhenklimas auf das Herz wirken zu lassen. Kranke mit nicht intaktem Herzen sollten sich überhaupt nicht ins Hochgebirge wagen.

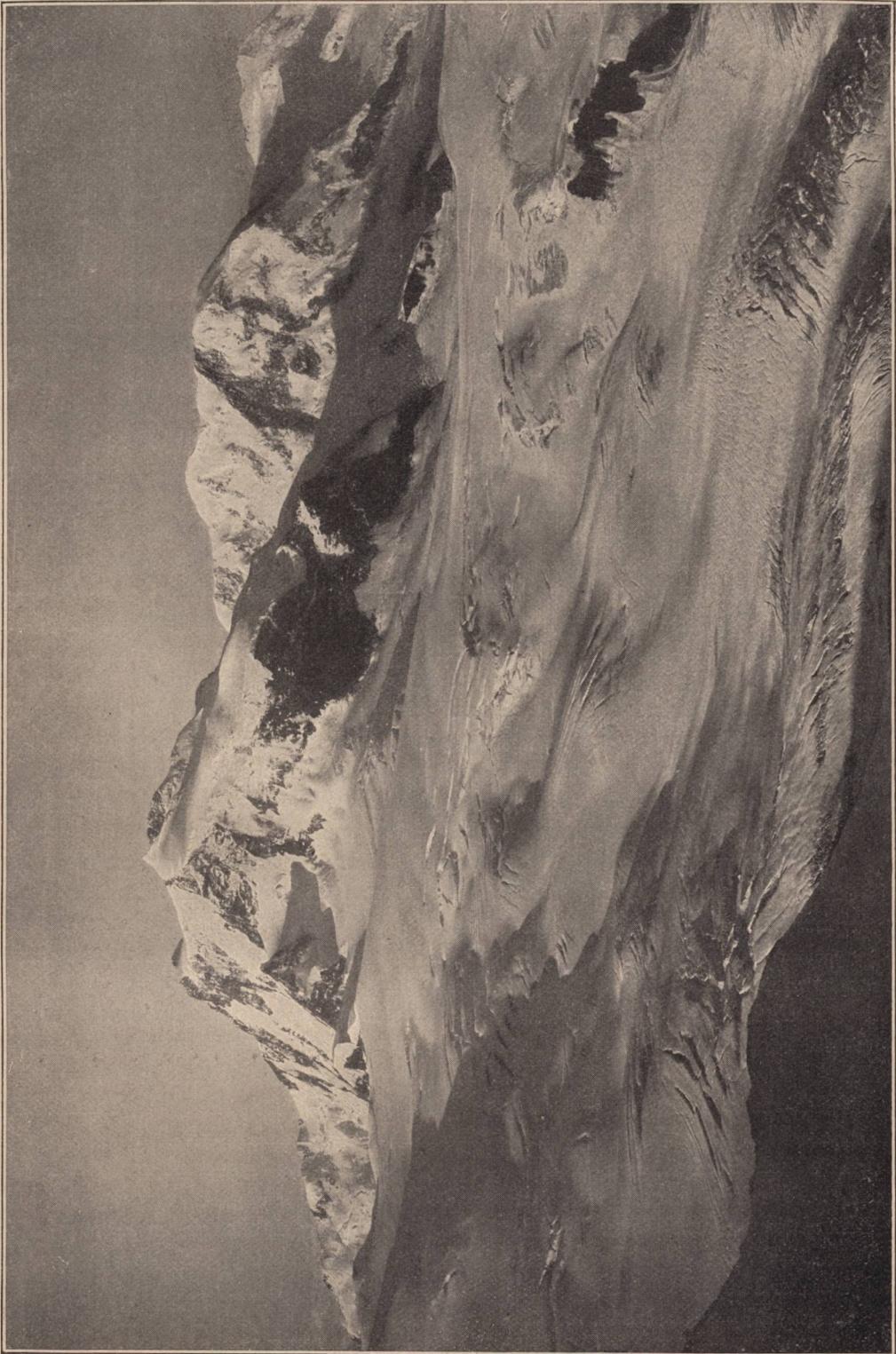
Die Wärmebedingungen des Höhenklimas und die energischere Luftbewegung mit ihren Einflüssen auf das Hautorgan führen zu einer Kräftigung der Hautmuskulatur und damit zu einer gesteigerten Widerstandsfähigkeit gegen Witterungseinflüsse. Das Höhenklima bewirkt in dieser Beziehung das, was wir in unserem weniger eingreifenden Niederungsklima durch hydriatrische Prozeduren, wie Brausen, Duschen, kalte Bäder, zu erreichen suchen. Dabei wirkt es milder und kann im Effekt besser abgestuft werden als die genannten Momentreize.

So eignet sich das Höhenklima vorzüglich als Abhärtungsmittel bei verweichlichten Naturen. Es ist erstaunlich, wie sehr man im Höhenklima unempfindlich gegen die Eingriffe der Witterung wird. Man erträgt, ohne Schaden zu nehmen, Hitze und Frost in schnellem Wechsel, stundenlanges Wandern mit nassen Kleidern in Nebel und Regen, Durchnässungen der Füße beim Stapfen im Schnee, beim Durchwaten von Bächen, selbst wenn man sonst leicht anfällig ist und mit Erkältungskrankheiten verschiedenster Art auf Abkühlungen reagiert.

Auch die Steigerung des Stoffumsatzes im Höhenklima kommt für Heilzwecke in Betracht. Für das mehrverbrennende Material sucht der Körper instinktiv Ersatz zu schaffen. Das Verlangen nach Nahrung steigt, der Appetit wird angeregt, damit die Nahrungszufuhr gesteigert und der allgemeine Ernährungszustand verbessert.

Bei einem Höhengaufenthalt spielen aber nicht nur die dem Klima zukommenden Reizwirkungen eine Rolle, vielmehr summieren sich zu ihnen die mit der gesteigerten körperlichen Bewegung verbundenen. Sie wirken zum Teil in demselben Sinne wie die klimatischen und verstärken diese. So verhält es sich mit der Anregung der Atmungs- und Herztätigkeit, des allgemeinen Stoffumsatzes und des Eiweißansatzes. Anderenteils kommt ihnen eine spezielle Bedeutung zu. Diese liegt, soweit es sich um Heilwirkungen handelt, in erster Linie in der Beförderung der Blutzirkulation, in der Beseitigung von Blutstockungen. Vor allem gilt dies für den Blutumlauf in den Unterleibsgefäßen. Unter diesen nehmen die des Darmes und der großen Verdauungsdrüsen (Leber, Bauchspeicheldrüse) eine besonders bedeutungsvolle Stellung ein. Ihre bessere Durchblutung führt zu einer verstärkten Abscheidung der Verdauungssekrete, auch kommt es zu ausgiebigeren Bewegungen des Darms. Die Folge ist eine bessere Verarbeitung der Nahrung und eine erleichterte Ausscheidung der Nahrungsreste. Was eine, sei es durch Bequemlichkeit veranlaßte, sei es durch den Beruf erzwungene sitzende Beschäftigungsart verschuldet, das macht eine ausgiebige Bewegung in den Bergen wieder gut.

Wie sehr das Bergsteigen zur allgemeinen Kräftigung des Körpers, zur Ausbildung der Muskulatur beiträgt, ist bereits im Kapitel XIII geschildert worden und braucht an dieser Stelle nicht wiederholt zu werden. Erwähnt sei nur die daraus zu ziehende Folgerung, daß der Aufenthalt und die vorsichtige Betätigung



Monte Rosa und Lyskamm.

sportlicher Leistungen im Hochgebirge sich außerordentlich gut für schwächliche Individuen mit mangelhaft entwickelter Muskulatur, insbesondere auch für Rekonvaleszenten nach langer Krankheit eignen! —

Der Hochgebirgsaufenthalt kann aber nicht nur gegen körperliche Leiden mit Nutzen verwendet werden, auch bei Störungen des psychischen Gleichgewichts ist er häufig von Erfolg. Daß schon der psychisch Normale Vorteil für seine geistigen Funktionen aus dem Bergwandern zu ziehen vermag, ist im Kapitel XVII beleuchtet worden. Die notwendige Steigerung der Aufmerksamkeit rüttelt den Geist aus den gewohnten Bahnen, die Überwindung von Schwierigkeiten und Gefahren stählt den Mut und das Selbstvertrauen, es erzieht zur Überlegung und zur Kaltblütigkeit.

Aber auch ein großer Teil der geistig Abgearbeiteten, der Nervösen und Neurastheniker wandert in die Berge. Sie wollen die Mühen des Berufs, die Sorgen des Alltags vergessen, den Geist von den gewohnten Erregungen ablenken und zur Ruhe kommen lassen. — Sie stellen es nur gar zu häufig falsch an und erreichen das Gegenteil von dem, was sie suchten. Anstatt der Beruhigung tritt ein gesteigerter Erregungszustand auf, der sich in Schlaflosigkeit, Unruhe, Herzklopfen äußert und die Beschwerden der Kranken vermehrt, statt sie zu beheben.

Das tritt ein, wenn man unvermittelt aus dem Tieflande heraus sogleich größere Höhen aufsucht. Der labile Zustand des Nervensystems ist derartigen plötzlichen Änderungen des Milieus nicht gewachsen. Das Höhenklima verhält sich hier wie jedes wirkliche Heilmittel: in zu großen Dosen wirkt es schädlich. Wir haben eben, auch wenn wir sinnlich nichts davon wahrnehmen können, doch in den im Höhenklima wirkenden Agentien durchaus kein unschädliches Mittel, das jeder nach Belieben auf sich wirken lassen kann. Hier heißt es: prüfen, wie weit man ihm gewachsen ist, tastend und schrittweise vorgehen, zunächst geringe Höhen aufsuchen und sich an diese gewöhnen, dann allmählich weiter vordringen, bis man endlich der vollen Wirkung des eigentlichen Hochgebirges sich aussetzt.²⁾

Wie unsere in den früheren Kapiteln niedergelegten Erfahrungen Hinweise darauf lieferten, welche Affektionen eine Besserung im Höhenklima erfahren und einen Höhengaufenthalt angezeigt erscheinen lassen, so können sie uns auch ein Wegweiser sein durch das Gebiet jener Leiden, für welche die Höhe nicht geraten ist, auf die sie schädlich, unter Umständen gefährlich wirken kann.

Auch in dieser Richtung dient uns das einleitend gegebene Resümee, wonach das Höhenklima gesteigerte Anforderungen an unseren Organismus stellt, fast von allen Organsystemen vermehrte Arbeitsleistung fordert, als allgemeiner Wegweiser. Soll eine gesteigerte Arbeit geleistet werden, so muß ein gewisser Fond vorhanden sein, ein Vorrat, mit dessen Hilfe die Mehrarbeit vollbracht werden kann. Darum eignet sich das Höhenklima nicht für Personen mit abnorm schwacher Herz-tätigkeit oder gar mit Herzfehlern, die sich durch Beschwerden bemerklich machen, nicht für hochgradig Geschwächte, auch nicht für hochgradig Blutarme.

Die Gefahr droht bei allen diesen Zuständen von seiten des Herzens. Mit allgemeiner Körperschwäche geht stets auch eine Schwäche des Herzens einher, und bei hochgradiger Blutarmut leidet es gleichfalls, da es infolge der mangelhaften Beschaffenheit des Blutes unzureichend ernährt wird. Wieviel schon dem normalen

Herzen im Höhenklima zugemutet wird, wie leicht es durch Übermüdung gefährdet werden kann, haben wir ja in Kapitel XII ausführlich besprochen. Und weit leichter drohen solche Zufälle dem von vornherein schon wenig leistungsfähigen!

Ebenso ist es verständlich, daß Personen mit Erkrankungen der Blutgefäße das Hochgebirge meiden sollten. Jede körperliche Arbeit führt zur Erhöhung des Blutdrucks und bei erkrankten, wenig nachgiebigen Gefäßen ist diese für gleiche Arbeit weit bedeutender als bei gesunden, dehnbaren. Die Steigerung des Blutdrucks beim Bergsteigen kann so bedeutend werden, daß die erkrankten Blutgefäße ihr nicht standhalten. Es kann zu Zerreißen der Gefäße mit oft lebensbedrohenden Folgen kommen.

Im Alter werden nun die Blutgefäße immer starrer und zerreißenlicher; daher sollte man mit der Empfehlung des Hochgebirges bei älteren Leuten überhaupt vorsichtig sein und besonders anstrengende Bergpartien untersagen. — Dasselbe Verhalten zeigen die Blutgefäße häufig bei Gichtikern und Nierenkranken; auch für diese gilt also die Mahnung zur Vorsicht bezüglich eines Höhengaufenthaltes.

Endlich wäre eine Krankheit zu nennen, die gleichfalls mit zunehmendem Alter eintritt oder sich stärker ausbildet, das sog. Lungenemphysem. Man versteht darunter eine Ausweitung der Lunge, mit der sich ein Elastizitätsverlust des Lungengewebes und eine verminderte Beweglichkeit des Brustkorbes verbindet. Hierdurch leidet die Atmungstätigkeit erheblich, der Blutkreislauf geht langsamer vor sich und besonders die Möglichkeit, große Luftvolumina zu atmen, ist bedeutend beschränkt. So kommt es leicht zu einer mangelhaften Sauerstoffversorgung des Körpers mit ihren Folgen, die sich subjektiv in Atemnot, Herzklopfen und in körperlicher Schwäche äußern. — Auch dieses Leiden gibt daher eine Gegenanzeige gegen einen Höhengaufenthalt ab. Immerhin braucht man hier weniger besorgt zu sein als bei den vorstehend genannten Erkrankungen der Gefäße. Denn die Lungenerweiterung führt durch die Beschwerden, die sie hervorruft, von selbst zum Maßhalten, die Gefäßerkrankungen aber sind tückische Zustände, die ohne Vorboten zu schweren Erscheinungen führen können.

Wir sehen also, daß für den Gebrauch des Höhenklimas als Heilmittel sich eine Reihe ganz präziser Anzeigen und Gegenanzeigen aufstellen läßt. Wie das Höhenklima sich einerseits als ausgezeichnetes Heil- und Kräftigungsmittel erweist, so kann es in anderen Fällen körperliche Schädigungen im Gefolge haben und direkt gefahrvoll werden.

Literatur.

¹⁾ H. Brehmer: „Die chronische Lungenschwindsucht, ihre Ursachen und ihre Heilung“. Berlin 1859. 2. Auflage.

²⁾ B. Laquer: „Über Höhenkuren für Nervenleidende“. Halle 1903.

³⁾ Lombard: „Des climats de montagne“. Biblioth. univers. de Genève 1865.

⁴⁾ A. Mühry: „Klimatologische Untersuchungen“. Leipzig und Heidelberg 1858.

⁵⁾ A. Smith: Edinb. med. and surg. journ. Vol. 56—58. Referiert in Cannstatts Jahresbericht 1842 II.

Außerdem die Lehrbücher der medizinischen Klimatologie.



Kapitel XXI.

Ernährung des Bergsteigers.

Die Untersuchungen über den Stoffverbrauch des Bergsteigers und über die Einwirkungen, welche die Höhe an sich auf den Stoffwechsel hat, geben uns die Grundlage zur Berechnung des Nahrungsbedarfs und damit zur Aufstellung von Regeln über die Anpassung der Nahrungszufuhr an die Bedürfnisse des im Hochgebirge lebenden Menschen.

Wir haben in Kapitel III besprochen, welche Kraftmengen, ausgedrückt in Wärmeeinheiten, aus der Umsetzung der Nährstoffe im Körper frei werden. Auf diese Kenntnis gestützt, kann man für den Energieverbrauch des ruhenden wie des bestimmte Arbeit leistenden Menschen die zum Ersatz nötige Nahrung leicht berechnen. Eine gewisse Unsicherheit kommt in diese Rechnung nur dadurch, daß die im Laufe des Tages ausgeführten kleinen Bewegungen in ihrer Einwirkung auf den Stoffwechsel sehr schwer abzuschätzen sind. Meist schlägt man die Wirkung dieser Bewegungen viel zu gering an. Ein seinem Behagen überlassener wachender Mensch braucht sehr viel mehr Stoff als ein schlafender oder ein wachender, der bewußt in bequemer Lage alle Bewegungen vermeidet. Des letzteren Verbrauch ist nicht größer als der eines Schlafenden. Wir haben dies bereits S. 228 näher ausgeführt. Der Mehrverbrauch gegenüber dem Zustand absoluter Ruhe ist einerseits durch die Verdauungsarbeit bedingt und andererseits durch die Muskelspannung, welche mit der aufrechten Haltung, dem Sitzen und Gehen verknüpft ist, und durch die Bewegungen, welche der Mensch, auch wenn er keine nutzbare Arbeit leistet, fortwährend ausführt.

Berechnung des Nährstoffbedarfs. Den Verbrauch im Zustande absoluter Ruhe haben wir durch die Respirationsversuche, welche morgens nüchtern im Bette ausgeführt wurden, bei uns allen scharf bestimmt. Er stellt, wie wir gesehen haben, eine individuell recht konstante Größe dar, die nur durch den Aufenthalt in sehr erheblichen Höhen eine Steigerung erfährt. Es wird ferner dieser Ruheverbrauch gesteigert durch das Bedürfnis der Erwärmung des Körpers, wenn wir uns in sehr kalter Umgebung befinden, ein Fall, der ebenfalls im Hochgebirge häufig eintritt. Diese Steigerung des Verbrauchs in der Kälte ist zwar eigentlich auch durch Muskelbewegungen bedingt — wer seine Muskeln vollkommen in der Gewalt hat, kann diese Steigerung ganz verhindern. Wenn wir aber ohne besondere Selbstkontrolle uns in kalter Umgebung aufhalten, finden wir stets eine Steigerung des Verbrauchs, bedingt durch Muskelspannung und Bewegungen verschiedenster Art, die bei stärkerer Kältewirkung sich in Form des bekannten Zitterns und Zähneklapperns äußern. So kommt es denn, daß man, namentlich bei Menschen, die in zimmerartigen Respirationsapparaten untersucht werden und dort sich frei bewegen können, ein

regelmäßiges Wachsen der Verbrennungsprozesse bei Abkühlung des Raumes beobachtet.

Die Steigerung, die der Stoffverbrauch des ruhenden Menschen durch die Verdauungstätigkeit erfährt, beträgt, wie wir S. 115 gesehen haben

für jedes Gramm Stickstoff der Nahrung . . .	4.7	W. E.
„ „ „ Kohlehydrate	0.40	„
„ „ „ Fett	0.21	„

Das gilt für die in üblicher Weise zubereitete Nahrung des Menschen. Ist sie aber besonders reich an unverdaulichen Substanzen, besonders an Zellulose, so steigt der Verbrauch für die Verdauungsarbeit nicht unerheblich.

Eine gute Stütze für die Richtigkeit der eben genannten Zahlen liefern neuere Respirationsversuche von Atwater und Benedict¹⁾. Diese bestimmten die gesamte Wärmeproduktion ruhender Menschen in dem Seite 115 erwähnten Respirations-Kalorimeter.

Sie fanden die Wärmeproduktion im Mittel von 4 Tagen bei ausreichender Nahrung zu	2397	W. E.
Im Mittel von 5 Fasttagen zu	2187	„
Die Verarbeitung der Nahrung bedingte also eine Steigerung des Verbrauchs um	210	„

Nach unseren eben gegebenen Zahlen berechnet sich die Verdauungsarbeit der genau analysierten Nahrung der Versuchspersonen wie folgt:

Für 16 g Stickstoff	à 4.7	W. E. =	75.2	W. E.
„ 278 g Kohlehydrate	à 0.4	„ =	111.2	„
„ 85.6 g Fett	à 0.21	„ =	18.0	„
In Summa berechnet sich also die Verdauungsarbeit zu: 204.4 W. E.				

Das steht mit dem Mehrverbrauch von 210 W. E. gegenüber den Fasttagen in befriedigender Übereinstimmung.

Wir können nun für jede unserer Versuchspersonen aus den Respirationsversuchen den Verbrauch in absoluter Ruhe berechnen. Die Zahlen finden sich bereits in Tabelle 2, S. 235. Durch Multiplikation derselben mit 1440, der Minutenzahl des Tages, ergibt sich der 24stündige Energieverbrauch in absoluter Ruhe. Die Steigerung dieses Verbrauchs durch die Verdauungsarbeit berechnen wir in derselben Weise, wie es eben für die Versuche von Atwater und Benedict geschehen ist. Wir finden, daß sie bei der von uns aufgenommenen Nahrung zwischen 190 und 251 Wärmeeinheiten schwankt. Sie steht natürlich in naher Beziehung zur absoluten Menge der Nahrung und beträgt zwischen 6.9 und 8.8% ihres Brennwertes. Diese Unterschiede hängen hauptsächlich von dem verschiedenen Eiweißreichtum der Kost ab, da ja das Eiweiß die größte Verdauungsarbeit erfordert.

Wenn wir von dem gesamten Brennwert der aufgenommenen Nahrung, vermindert um die mit dem Kot und Harn entleerten brennbaren Stoffe, den Energieverbrauch in Ruhe und für Verdauungsarbeit abziehen, bleibt diejenige Energiemenge der Nahrung, welche für Muskelarbeit verfügbar ist. Sie betrug bei unseren Versuchspersonen in den Perioden geringerer Arbeitsleistungen 26.1—44.4% der gesamten zur Verfügung stehenden Energie. In der Periode der großen Marsche am Rothorn stieg sie auf 42.3—47.1%. Bei den großen Marschleistungen gleichen

sich also die durch das Temperament bedingten individuellen Unterschiede der Beweglichkeit aus. Ein Teil des Mehrverbrauchs auf den Märschen wird durch größere Ruhe in den übrigen Tagesstunden kompensiert.

Ob der für Arbeit zur Verfügung stehende Anteil der Nahrung zur Bestreitung der wirklich geleisteten Arbeit ausreichte, läßt sich durch Betrachtung der Änderungen des Körpergewichts erkennen. Dasselbe ist während der Brienzer Versuchszeit vom 5.—28. August bei uns allen, mit Ausnahme von Kolmer, gesunken; ein Beweis, daß Körpersubstanz für die Bestreitung der Arbeitsleistungen herangezogen wurde. Die Gewichtsabnahme läßt aber, wie S. 112 ausgeführt, noch nicht ohne weiteres die Größe des Nahrungsdefizits erkennen. Dazu ist vielmehr nötig, daß wir uns über die Natur der vom Körper abgegebenen Stoffe klar werden. Es handelt sich hauptsächlich darum, welche Änderungen der Eiweiß- resp. Fleischvorrat des Körpers einerseits und sein Fettvorrat andererseits erfahren hat. Die Änderungen des Fleischvorrats ergeben sich aus der Stickstoffbilanz (vgl. Kapitel IX). Jedes Gramm vom Körper abgegebenen Stickstoffs entspricht einem Verlust von 30 g Fleisch, aus dessen Umsetzung 27 W.E. disponibel werden. Kommt es umgekehrt, wie das bei der Mehrzahl von uns in allen Versuchsperioden der Fall war, zu einem Eiweißansatz, so bedeutet die Zurückhaltung von 1 g Stickstoff eine Gewichtszunahme des Körpers durch Fleischansatz um 30 g und einen Nichtverbrauch von 34 W.E.*)

Ein Beispiel wird die Art der Berechnung klarlegen:

Das Körpergewicht von Waldenburg betrug am 6. VIII. . .	57.00 kg
Im Mittel des 27. und 28.	56.64 „

Es hat also eine Abnahme um 360 g in 22 Tagen stattgefunden, die tägliche Gewichtsabnahme war 16 g. Stickstoff wurde in allen Versuchsperioden am Körper angesetzt, im Mittel pro Tag 1.75 g, entsprechend einem Fleischansatz von 52.5 g. Wenn der Körper trotz des Fleischansatzes leichter wurde, muß eine entsprechende Menge anderer Substanz, die, wie früher ausgeführt, kaum etwas anderes als Fett sein kann, abgegeben worden sein. Die Gewichtsabnahme ist also so zu deuten, daß der Körper täglich $52.5 + 16 = 68.5$ g Fett abgegeben hat.

Der Ansatz von 1.75 g Stickstoff bei Waldenburg entspricht einer Ersparung von 60 W.E. Der Verbrauch von 68.5 g Fett liefert 582 W.E., so daß Waldenburg täglich $582 - 60 = 522$ W.E. mehr brauchte, als er mit der Nahrung erhielt. Die verdaute Nahrung entsprach laut Tabelle III im Mittel 58.4 W.E. pro Körperkilogramm. Die vom Organismus entnommenen 522 W.E. ergeben pro Kilogramm 9.19, so daß der Verbrauch pro Kilogramm 67.6 W.E. betrug.

So wie hier stellt sich die Bilanz bei uns allen, mit Ausnahme von Zuntz, der allein einen geringen Stickstoffverlust, entsprechend 6.9 g Fleisch pro Tag, erlitten hat. Fettverlust weisen unsere Versuchspersonen ausnahmslos auf, so daß wir es hier mit der schon in Kapitel IX gewürdigten interessanten Tatsache zu tun haben, daß der Körper gleichzeitig reicher an Muskelfleisch und ärmer an Fett wurde. Wir haben dort schon ausgeführt, daß sonst bei ungenügender Ernährung Körperfleisch und -Fett sich in die Deckung des Bedarfs teilen. Das gegensätzliche Verhalten beider Körperbestandteile ist in unserem Falle aus der spezifischen Wirkung der Höhe auf den Eiweißansatz und aus der starken Beanspruchung der Muskeln

*) 30 g Fleisch liefern bei ihrer Verbrennung 34 W.E., während bei der Umsetzung im Körper nur 27 W.E. entstehen. Der Rest findet sich im Harn wieder.

zu erklären, welche trotz der nicht ganz genügenden Nahrungszufuhr ein Wachstum derselben bewirkte.

Auf Grund der oben dargelegten Berechnung stellt sich der Energieverbrauch pro Körperkilo für

Waldenburg	zu 67.6 W. E.
Kolmer	„ 54.2 „
Caspari	„ 55.7 „
Müller	„ 48.5 „
Loewy	„ 55.9 „
Zuntz	„ 51.9 „

Es fällt zunächst auf, daß von den 6 in gleicher Weise lebenden Personen der längste und zugleich jüngste, Waldenburg, den größten Verbrauch pro Körperkilo aufwies. Bekannt ist, daß kleinere Individuen pro Kilogramm Körpergewicht einen größeren Verbrauch haben, und daß dieser sich annähernd der Körperoberfläche, nicht dem Gewicht, proportional gestaltet. Das gilt speziell für den Verbrauch in Ruhe und beim horizontalen Gehen. Der Verbrauch beim Bergaufgehen ist, wie Zuntz früher nachgewiesen hat, dem Gewicht proportional.

In Zeiten, in denen nur Ruhe und horizontales Gehen in Betracht kommen, werden wir daher den Verbrauch der verschiedenen Personen auf die Einheit der Körperoberfläche reduzieren müssen. Aus diesen Gründen haben wir in derselben Weise, wie es hier für die ganze Versuchszeit geschehen ist, auch noch den Verbrauch für die ersten 6 Tage in Brienz, in denen nur ganz wenig bergauf gegangen wurde, berechnet. Diese Rechnung ist, da in den wenigen Tagen Zufälligkeiten der Wägung das Resultat leicht fälschen können, weniger sicher als die vorige, welche die ganze Versuchsreihe umfaßt. Das Resultat ist wiederum auf 1 kg Körpergewicht und außerdem auf 1 qm Oberfläche berechnet. Kolmer fällt hier aus, wegen Unsicherheit einer wichtigen Wägung am 11. VIII.

	Wärmeproduktion in W. E.	
	pro kg Körpergewicht	pro qm Körperoberfläche*)
Waldenburg	61.8	1915
Caspari	51.9	1682
Müller	48.3	1623
Loewy	54.7	1733
Zuntz	46.6	1532

Die Zahlen sind entsprechend der geringeren Arbeit in dieser Periode niedriger als im Durchschnitt der ganzen Versuchsreihe. Man sieht aus ihnen, daß auch nach Reduktion auf gleiche Oberfläche der Verbrauch von Waldenburg den der übrigen erheblich übertrifft, daß also auch hier sich die von Tigerstedt und Magnus-Levy gefundene Tatsache bestätigt, daß das jugendliche Alter an sich einen größeren Stoffverbrauch unter sonst gleichen Bedingungen aufweist.

Bei Caspari, Müller und Loewy zeigt der auf gleiche Körperoberfläche berechnete Verbrauch nur geringe Unterschiede. Er ist bei Loewy am größten, entsprechend der Tatsache, daß er der lebhafteste und beweglichste unter den dreien ist. Zuntz als der Älteste zeigt geringeren Verbrauch. Hervorzuheben ist noch, daß der hohe Verbrauch, welcher bei Loewy nicht nur in den 6 ersten Tagen, sondern auch im Durchschnitt der gesamten Versuchsreihe zutage

*) Auf Grund von Ausmessungen der Körperoberfläche des Menschen, welche Meeh und Hecker ausgeführt haben, kann man dieselbe berechnen, indem man die dritte Wurzel des Quadrates des Gewichts mit 0.124 multipliziert.

tritt, nur durch Bewegungen und Muskeltätigkeit bedingt ist. Sein Verbrauch in absoluter Ruhe ist nicht höher als bei den übrigen. Er beträgt pro Kilogramm und 24 Stunden 23.46 W. E., gegenüber 23.52 bei Zuntz, 21.14 bei Müller und 23.79 bei Caspari. Nur Kolmer und Waldenburg haben ihrer Jugend entsprechend einen viel höheren Ruheverbrauch: Kolmer 26.06, Waldenburg 31.34 W. E.

Im Anschluß an die mitgeteilten Daten erscheint es nun von Interesse, den Verbrauch während der ganzen Versuchszeit auf die einzelnen Leistungen zu verteilen. Am genauesten durchführbar ist dies bei Müller und Zuntz, für welche wir durch exakte Bestimmungen der täglich gemachten Wege unter Zuhilfenahme von Schrittzählern die besten Unterlagen haben. Dabei ergibt sich, daß die gesamte, im Körper umgesetzte Energie, welche bei Müller 3550, bei Zuntz 3375 W. E. betrug, sich prozentisch wie folgt verteilt:

	Umsatz des ruhenden Körpers	Verdauungs- arbeit	Gemessene äußere Arbeit	Unkontrollierte Bewegungen
Müller . . .	43.4	6.1	18.1	32.3
Zuntz . . .	47.5	6.3	15.8	30.4

Das Überraschende an diesen Zahlen ist, daß eine so große Energiemenge, fast ein Drittel der ganzen im Körper umgesetzten, auf die zahlenmäßig nicht ausdrückbaren, im Laufe des Tages ausgeführten kleinen Leistungen entfällt. Ähnliche Resultate hatten früher schon Schumburg und Zuntz erhalten, indem sie an den Tagen, an welchen keine Märsche ausgeführt wurden, den faktischen Tagesverbrauch des einen von ihnen untersuchten jungen Mannes um 46⁰/₀, den des anderen gar um 73⁰/₀ höher fanden als den Ruheverbrauch mit Einschluß der Verdauungsarbeit. Die Untersuchungen in zimmerartigen Respirationsapparaten, namentlich die von Tigerstedt und seinem Mitarbeiter Johansson ausgeführten, sowie die von Atwater und Benedict, ergaben eine ähnliche Steigerung des Verbrauchs im 24stündigen Durchschnitt gegenüber dem Minimum, welches während der Schlafstunden im Bett beobachtet wurde.

Alle Versuche stimmen also darin überein, daß der Verbrauch des keine gröbere Arbeit verrichtenden Menschen den Verbrauch in absoluter Ruhe sehr erheblich übersteigt. Dies muß besonders betont werden angesichts der in neuerer Zeit hervorgetretenen Auffassung, als ob die Nahrungsaufnahme der meisten Menschen eine zu reichliche, unnötig große sei. Im Anschluß an eigentümliche Spekulationen und Beobachtungen von Fletcher und van Someren hat Chittenden²⁾ in umfassenden Untersuchungen den Stoffverbrauch des Menschen bei verschiedenen schweren Arbeitsleistungen untersucht und dabei den sicheren Nachweis geführt, daß man mit sehr viel geringeren Stickstoffmengen in der Nahrung auskommen kann, als gewöhnlich genossen und für nötig gehalten werden. Er glaubt aber auch, daß die meisten Menschen zu viel Nahrung aufnehmen, daß man bei knapper Ernährung mit einem geringeren Energiequantum, als in den gangbaren diätetischen Vorschriften gefordert wird, auskommen könne. Unsere Versuche liefern den Beweis, daß der für die Bewegungen und Arbeitsleistungen nötige Energiebedarf bei knapper Kost sich nicht mindert, daß vielmehr, wenn die Kost

nicht ausreicht, Körperfett zur Bestreitung der Ausgaben erhalten muß. Die von uns aufgenommenen Nahrungsmengen, welche auf Grund des in den Vorversuchen ermittelten Bedürfnisses bemessen waren, erwiesen sich bei den nicht übermäßig großen Anstrengungen, denen wir uns im Gebirge unterzogen, als unzureichend. Während Chittenden annimmt, daß bei mäßiger körperlicher Tätigkeit 35 W.E. pro Kilogramm und Tag ausreichen, ergab sich der Bedarf bei unseren Versuchspersonen in den Grenzen von 48.5 als Minimum bei Müller und 67.6 als Maximum bei Waldenburg. Wir kommen so für einen 70 kg wiegenden Menschen bei mäßiger körperlicher Tätigkeit im Gebirge zu einem Bedarf von 3500 W.E. pro Tag. Das ist mehr als Voit und Rubner für einen Arbeiter bei mittelschwerer Arbeit fordern.

Nahrungsbedarf für Marschleistungen. Nicht ohne Interesse ist es wohl, wenn wir den durch unsere Respirationsversuche gefundenen Mehrverbrauch bei den wichtigsten Arbeitsleistungen im Gebirge hier auf die entsprechende Menge Nährstoff umrechnen. Wir wollen die Betrachtung für einen Menschen, der mit Kleidung und Gepäck 75 kg wiegt, durchführen.

Bei der Rechnung müssen wir berücksichtigen, daß von der Energie der für die Arbeit zugelegten Nahrung der Seite 479 angegebene Anteil für die Verdauung verbraucht wird. Was für Arbeitsleistungen des Körpers disponibel bleibt, ist der verdaute Anteil nach Abzug des Energieverbrauchs für die Verdauungsarbeit. Es liefert daher zur Verfügung der tätigen Muskeln:

1 g Eiweiß	3.2 W. E.
1 g Butterfett	8.7 „
1 g Kohlehydrate (vorwiegend Stärke)	3.6 „

Hiernach berechnen sich nachfolgende Zulagen für die wichtigsten Arbeitsleistungen des Bergwanderers:

Für Körperarbeit erforderliche Nahrungszulage.

Art der Arbeitsleistung	Verbrauch an Energie W. E.	Zur Deckung erforderliche Nährstoffmenge		
		Eiweiß g	Fett g	Kohlehydrat g
1) Horizontalmarsch 20 km ¹⁾	900	281	103	250
2) Ersteigung einer Höhe von 1000 m auf gutem Wege von 25 % Steigung in mittlerer Höhenlage ²⁾	717	224	82	199
3) Dieselbe Leistung auf Schneefeldern in 3500 bis 4500 m Höhe ³⁾	1095	342	126	304
4) Abstieg von 1000 m Höhe ⁴⁾ (Weg wie sub 2)	176	55	20	49

¹⁾ Vgl. Tabelle 5 S. 249. ²⁾ Vgl. Tabelle 8 S. 253 und Tabelle 10 S. 254.

³⁾ Vgl. Tabelle 12 S. 255 und Tabelle 16 S. 259. ⁴⁾ Vgl. Tabelle 17 S. 262.

An der Hand vielverbreiteter Tabellen³⁾ über die Zusammensetzung der Nahrungsmittel kann man mit Hilfe vorstehender Zusammenstellung die zur Deckung einer bestimmten Arbeitsleistung erforderliche Menge irgendeines Nahrungsmittels berechnen. Auch unsere Anhangstabellen I und IX^c können hierzu benutzt werden.



Monte Rosa vom Fallerhorn gesehen.

Phot. Vittorio Sella, Biella.

Wir entnehmen z. B. der Tabelle IX^c die Angabe, daß feines Weizenbrot 6.81% Eiweiß, 0.54% Fett, 57.8% Kohlehydrate enthält.

Wenn wir davon absehen, daß dieses Brot etwas schlechter verdaulich ist, als unsere Nahrung im Durchschnitt war, können wir folgende Rechnung anstellen. Die in 100 g Brot enthaltenen Nährstoffe liefern an Energie:

aus Eiweiß	6.81 × 3.2 =	21.8 W.E.
„ Fett	0.54 × 8.7 =	4.7 „
„ Kohlehydraten	57.8 × 3.6 =	208.1 „
		Im ganzen: 234.6 W.E.

Für die erste der in vorstehender Tabelle aufgeführten Marschleistungen wären also erforderlich: $\frac{900}{234.6} = 384$ g eines solchen Brotes.

Zusammensetzung der Nahrung. Die Zusammensetzung der Nahrung, welche unsere Bedürfnisse deckt, kann in weiten Grenzen schwanken. Voit⁴⁾ fordert als Nahrung eines mittleren Arbeiters:

118 g Eiweiß, 56 g Fett, 500 g Kohlehydrate.

Das entspricht 3066 W.E. in der aufgenommenen Nahrung, wovon nur etwa 2700 W.E. als verdaulich dem Körper zugute kommen. Es reicht also der Durchschnittssatz von Voit für die Ernährung bei Wanderungen im Gebirge nicht aus. Andererseits können wir auf Grund unserer Erfahrungen sagen, daß die Eiweißmenge erheblich geringer sein darf, als sie Voit fordert. Wir finden bei dem 72 kg wiegenden Müller bei einer täglichen Stickstoffaufnahme von $16\frac{1}{2}$ g = 103 g Eiweiß noch einen geringen Eiweißansatz. Im Berliner Vorversuch hatte er aber auch noch mit 13 g Stickstoff, entsprechend 81 g Eiweiß, bei einer gerade zur Erhaltung des Körpergewichts ausreichenden Nahrung täglich fast $\frac{1}{2}$ g Stickstoff angesetzt. Wir waren keineswegs bestrebt, das Minimum des nötigen Stickstoffs in unseren Versuchen auszuprobieren, aber wir können doch aus ihnen mit Sicherheit schließen, daß es auch bei der Tätigkeit des Bergsteigers durchaus unnötig ist, den Eiweißgehalt über das bei gewohnter gemischter Kost sich ergebende Maß zu steigern. Gewiß erscheint es rationell, die bei Märschen im Gebirge sich entwickelnde Neigung unserer Muskeln zum Wachsen durch entsprechend reichliche Eiweißzufuhr ausgiebig zu unterstützen. Unsere Versuche haben aber ergeben, daß hierzu ein besonders großer Eiweißreichtum der Kost nicht erforderlich ist.

Es folgt aus dieser Erfahrung ohne weiteres die Entbehrlichkeit jener Nährpräparate, welche bestimmt sind, den Eiweißgehalt der Kost einseitig zu erhöhen. Wir erinnern nur an die so viel empfohlenen Mittel wie Tropon, Plasmon, Aleuronat, Roborat und ähnliche, die man vielfach, auch in die Kost des Bergsteigers als Kräftigungs- und Stärkungsmittel einführen wollte. Mehr berechtigt wären jene Präparate, welche nicht den Eiweißbestand des Körpers heben, vielmehr durch ihren Geschmack oder durch besondere Wirkungen den Appetit anregen, den ermatteten Körper beleben sollen. Diese Stoffe gehören aber weniger zu den Nahrungsmitteln im engeren Sinne, als in die gesondert zu besprechende Gruppe der für den Bergsteiger höchst wichtigen Anregungsmittel.

Die Art, wie in der Voitschen Vorschrift der Anteil des Fettes und der Kohlehydrate verteilt ist, entspricht nur dem Ergebnis statistischer Aufnahmen über die

übliche Kost im Kreise der besser situierten Arbeiterbevölkerung, stellt aber durchaus nicht eine, unter allen Umständen geltende Norm dar. Wenn die Nahrung überhaupt ein mäßiges Quantum von Kohlehydraten enthält, ist es in weiten Grenzen gleichgültig, ob der Energiebedarf durch diese oder durch eine Fettmenge, welche die gleiche Verbrennungswärme erzielt, gedeckt wird. Das Fett besitzt aber dem Kohlehydrat gegenüber gerade für die Ernährung des intensiver arbeitenden Menschen erhebliche Vorzüge. Einen derselben haben wir bereits genannt: es ist das geringe von ihm erforderte Maß an Verdauungsarbeit. Ein weiterer Vorteil ist, daß das Fett in gleichem Gewicht $2\frac{1}{2}$ mal mehr Energie liefert, als die Kohlehydrate. Es ist also ausreichende Nahrungszufuhr mit viel geringerer Füllung des Verdauungsapparates möglich, und man kann einen genügenden Vorrat an Nährmaterial in Form von Fett viel bequemer transportieren, als in Form von kohlehydrathaltigen Nahrungsmitteln, die meist auch sehr wasserreich sind und dadurch noch mehr ins Gewicht fallen. Das Brot z. B., der Hauptrepräsentant der kohlehydratreichen Nährstoffe, enthält durchschnittlich 40% seines Gewichts an Wasser. Es erscheint deshalb durchaus rationell, wenn die Holzarbeiter im Gebirge als hauptsächlichste Nahrung Speck und Schmalz verwenden. Auch wir haben fast dreimal soviel Fett genossen als der Voitschen Vorschrift entspricht und haben unsern Mehrbedarf an Energie während der Marschversuche zu einem großen Teile durch eine weitere Zugabe von Fett bestritten. Die aufgenommenen Fettmengen betragen

bei Waldenburg	143—200 g
„ Kolmer	165—181 „
„ Müller	132—172 „
„ Caspari	135—158 „
„ Loewy	144—173 „
„ Zuntz	106—154 „

Bei keinem von uns machten diese Fettmengen irgendwelche Beschwerden, keiner hatte die Empfindung, es würde ihm irgendwie Schwierigkeiten machen, noch mehr davon zu genießen. Trotzdem läßt sich gerade in bezug auf die Fettaufnahme keine allgemeine Regel geben. Wenn infolge von Überanstrengungen oder unter der Einwirkung sehr bedeutender Höhen die Verdauung anfängt Not zu leiden, ist bei manchem gerade die Fähigkeit, Fett zu verarbeiten, in hohem Maße geschädigt. Wir hatten Belege hierfür während unseres Aufenthaltes auf dem Monte Rosa, wo einige von uns in den ersten Tagen der Bergkrankheit gerade gegen Fett einen unüberwindlichen Widerwillen hatten, und wo auch bei Caspari z. B. die Untersuchung eine erheblich schlechtere Verdauung des Fettes ergab.

Besprechung einzelner Nahrungsmittel. Touren in höheren Bergregionen und besonders in unwirtlicheren Gegenden bedingen die Notwendigkeit sich für eine Reihe von Tagen mit Proviant zu versorgen. Hierbei sind die eben entwickelten Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Man wird wegen des bequemeren Transports die fettreichen Konserven bevorzugen: geräucherter Speck, Ölsardinen, Butterschmalz,

fettreiche Würste und ähnliche Räucherwaren eignen sich neben der nötigen Menge eines haltbaren Brotes — besser noch Zwieback oder Kakes — in erster Linie als transportabler Proviant.

Wegen seines Reichtums an Eiweiß und Fett und wegen seiner Haltbarkeit ist auch Käse, besonders die festeren Sorten, sehr geeignet.

Die bei den Führern beliebten, stark gewürzten Fleischkonserven, Salami und ähnliches, sind von dem daran nicht Gewöhnten nur mit äußerster Vorsicht zu genießen.

Im Bereiche der Alpenweiden bietet sich häufig Gelegenheit zum Genuß frischer Milch. Auch wer sonst den Milchgenuß nur als Kindheitserinnerung kennt, wird hier leicht wieder zum begeisterten Anhänger dieses Nahrungsmittels, und die Neigung, reichlich Milch zu genießen, wird durch den Durst nach angestrengtem Marsche gefördert. Aber auch dieser Genuß hat seine Gefahren. Wir erwähnten schon, daß Erwachsene die Milch meist schlechter verdauen als Kinder. Vielen macht reichlicher Milchgenuß Beschwerden, welche die Marschfähigkeit ganz außerordentlich schädigen können. Hier muß jeder seinen eigenen Körper erproben.

Besonders kalte Milch erzeugt, bei erhitztem Körper genossen, oft heftige kolikartige Leibschmerzen mit Durchfällen. Die Gefahren der ungekochten Milch mögen wohl auf den Alpenweiden geringer sein als sonst; sicher ist man aber vor ihnen nicht. Auch hier finden sich gelegentlich die auf den Menschen übertragbaren Ansteckungskeime, besonders die der Tuberkulose und der Maul- und Klauenseuche.

Als ein Nahrungsmittel, welches Fett und Kohlehydrate in sehr reichlicher Menge beherbergt und dabei äußerst bequem unterzubringen ist, empfiehlt sich die Schokolade. Die meisten Menschen können sie ohne Nachteil in Mengen von 100 bis 200 g genießen; besonders als Zusatz zum Brot ist Schokolade sehr angenehm, und sie ersetzt durch ihren hohen Fettgehalt bis zu einem gewissen Grade die Butter.

In neuerer Zeit hat man sich vielfach bestrebt, den Nährwert der Schokolade durch Zusatz von Eiweißpräparaten, Milch, Salze zu erhöhen. Da die Schokolade niemals alleinige Nahrung sein kann, da sie immer nur als Beikost in Betracht kommt, haben diese Bestrebungen für den Bergsteiger wenig Bedeutung. Jeder mag nach Geschmack reine Schokolade oder derartige Präparate wählen. Wer die graziöse Beschreibung einer Montblancbesteigung, bei der schließlich alle Hindernisse und Gefahren durch den Genuß von Gala Peter überwunden wurden, gelesen hat, wird vielleicht in Erinnerung der ihm durch diese Reklame bereiteten vergnügten Viertelstunde auch einmal Milkschokolade benutzen. In neuerer Zeit ist vielfach der Zucker empfohlen worden.

Er belastet den Magen nur wenig und kann deshalb auch während großer körperlicher Anstrengungen häufig in kleinen Mengen genossen werden. Man empfiehlt ihm als Belebungsmittel der ermatteten Muskeln, wobei man von der Tatsache ausgeht, daß gerade bei den am ausdauerndsten arbeitenden Tieren, den großen Pflanzenfressern, der teils als solcher aufgenommene, teils im Darmkanal aus der Stärke gebildete Zucker das vorwiegende Nährmaterial der Muskeln darstellt. Irrtümlicherweise hat man dabei den Zucker als das einzige bei der Krafterzeugung in den Muskeln direkt verwertbare Material hingestellt und angenommen, die anderen

Nährstoffe, speziell das Fett, müßten erst im Organismus in Zucker umgewandelt werden, ehe sie den Muskeln als Kraftquelle dienen könnten. Diese Annahme ist freilich mit Sicherheit widerlegt (vgl. S. 100). Zweifellos hat der Zucker den Fetten gegenüber den Vorzug, daß er in den Körpersäften in beträchtlichen Mengen löslich ist, daß er sehr viel leichter als die Fette durch die Gefäßwände und Hüllen der Zellen hindurchwandert, und daß er infolgedessen auch sehr schnell nach seiner Aufnahme in den Körper den arbeitenden Muskeln zugute kommen kann. Man hat vielfach, wie in Kapitel XIII schon besprochen, die belebende Wirkung des Zuckers und anderer Stoffe auf die ermatteten Muskeln studiert. Es ist leicht, bei derartigen Versuchen, welche Ugolino Mosso zuerst ausgeführt hat, darzutun, daß die Kraft erschöpfter Muskeln schon wenige Minuten nach Aufnahme von Zucker zunimmt. Aber diese Wirkung kommt nicht dem Zucker allein zu. Jedes Nahrungsmittel, Eiweißkörper wie Fette, haben eine ähnliche Wirkung, wenn sie auch nicht ganz so prompt wie beim Zucker ist. — Man wird daher aus jenen Versuchen vor allen Dingen die Lehre ziehen, bei anstrengenden Märschen und besonders bei Klettertouren, kleine Mengen von leichtverdaulichen Nahrungsmitteln in Bereitschaft zu halten, um der Ermüdung der Muskeln entgegenzuwirken. Ob man hierzu Zucker, Schokolade, Kakes, Backpflaumen oder irgendein anderes, bequem zu transportierendes Nahrungsmittel wählt, ist von nebensächlicher Bedeutung.

Verhalten auf und nach größeren Touren. So nötig aber die öftere Zufuhr von Nahrung bei angestrenzter Arbeit, so bedenklich ist jede stärkere Belastung des Magens. Bei der Verdauung einer größeren Mahlzeit verlangt der Darmkanal soviel Blut, daß die arbeitenden Muskeln zu kurz kommen. Es ist aber auch durchaus nicht nötig, daß während angestrenzter Arbeit den Muskeln vom Darmkanal soviel Nahrung, wie ihrem Bedarf entspricht, ständig zufließt. Unser Körper hat Reservematerial genug, um selbst tagelang von demselben zehren zu können. Das Gefühl von Mattigkeit, welches bei fehlender Nahrung eintritt, beruht keineswegs auf Erschöpfung der Vorräte des Körpers, es kommt vielmehr als Teilerscheinung des Hungergefühls, das sich bei leerem Magen einstellt, zustande. Da es sich um eine durch das Nervensystem vermittelte Empfindung handelt, wird es uns nicht wundernehmen, daß diese Mattigkeit sich in individuell ganz verschiedenem Maße geltend macht. Es gibt Menschen, welche von früh bis spät intensiv arbeiten können, ohne durch das Hungergefühl gestört zu werden, während sich bei anderen um die Stunde der gewohnten Mahlzeit eine solche Schwäche einstellt, daß dadurch die Arbeitsfähigkeit ganz außerordentlich herabgesetzt wird. Dieser auf nervösen Wege vom Verdauungskanal her zustande kommenden Störung helfen auch kleine Mengen Nahrung genügend ab. Hier eignen sich jene vorher genannten Nahrungsmittel. Aber auch Stoffe, welche wenig oder gar keinen Nährwert haben, können den bellenden Magen beruhigen und behagliche Empfindungen und Kraftgefühl wiedergeben. So wirken Fleischbrühe und Fleischextrakt, so kleine Mengen alkoholischer Getränke, so bei vielen auch der Tabak.

Anregungsmittel. Angesichts dessen wäre kurz die Frage zu erörtern, in welchem Umfang die Leistungsfähigkeit des Bergsteigers durch An-

regungsmittel erhöht werden kann, und ob man solche Anregungsmittel ohne Gefahr für die Gesundheit gebrauchen darf. Es kommen da zunächst die Mittel in Betracht, welche wir auch im täglichen Leben zur Überwindung des Müdigkeitsgefühls zu verwenden pflegen. Das sind in erster Linie Kaffee und Tee. Beide Anregungsmittel haben vor den alkoholischen Getränken den Vorzug, daß die durch sie bewirkte Erfrischung bei mäßigem Genuß nicht in Ermattung umschlägt. Man darf sie deshalb in mäßigen Mengen unbedenklich genießen, und die Mehrzahl der Bergsteiger hat von ihnen entschieden nur Förderung zu erwarten. Warm genossen sind diese Getränke ja besonders wohltuend nach Durchnässung und langem Aufenthalt in Kälte und Sturm, doch wird man sie so erst nach Erreichung der Schutzhütte zur Verfügung haben. Von außerordentlichem Vorteil aber auf langen Wanderungen ist kalter Kaffee und noch mehr kalter Tee. Die Feldflasche mit diesen zu füllen, ist entschieden empfehlenswerter als die Mitnahme von Wein oder gar von stärkeren alkoholischen Getränken. Sehr zweckmäßig ist eine Methode der Bereitung kalten Tees, welche wir von A. Durig gelernt haben. Man bringt in die Feldflasche eine kleine Teebüchse aus Drahtnetz von einer Form, daß sie durch den Hals der Flasche hindurchgeht, die nötige Menge Zucker und füllt die Flasche mit kaltem Wasser. Die Bitterstoffe des Tees werden von diesem nicht gelöst, und man erzielt nach einigen Stunden ein äußerst erfrischendes und aromatisches Getränk, das auch nach 24stündigem Verweilen des Tees in der Flasche seinen angenehmen Geschmack bewahrt hat, nur etwas kräftiger geworden ist. Das wesentliche Anregungsmittel im Kaffee und Tee ist das Alkaloid Koffein. Dasselbe ist auch in der Kolanuß enthalten und ihm verdanken die in verschiedener Form in den Handel gebrachten Kolapräparate ihre anregende Wirkung. Es ist nichts gegen ihre Benutzung einzuwenden, sie haben vor Kaffee und Tee den Vorzug, daß sie in der bequem transportablen Form von Pastillen mitgeführt werden können.

Am meisten diskutiert worden ist wohl die Frage, ob und in welchem Umfange die alkoholischen Getränke als Anregungsmittel bei Bergwanderungen gebraucht werden können. Wir hatten schon früher bei Besprechung der Muskelarbeit und des Sports der zum Teil mit Fanatismus geführten Diskussionen für und wider den Alkohol gedacht. Hier möchten wir unsere Meinung noch einmal dahin festlegen, daß der Alkohol keinesfalls ein so unbedingt verwerfliches Mittel ist, wie seine eingeschworenen Gegner behaupten. Aber auch wir sind der Meinung, daß ein Mittel, welches soviel Unheil in der menschlichen Gesellschaft angerichtet hat und fortwährend noch anrichtet, auch für den Bergsteiger nur mit Vorsicht zu gebrauchen sei. Viele hervorragende Touristen und Führer nehmen ja kleine Mengen Wein und Branntwein von Beginn der Tour an. Wer an den regelmäßigen Genuß dieser Mittel gewöhnt ist, dürfte durch sie in seiner Leistungsfähigkeit kaum geschädigt werden. Jedes Übermaß aber erzeugt in kurzer Zeit Erschlaffung, und ganz besonders zu warnen ist vor irgend reichlicherem Kneipen am Vorabend einer größeren alpinen Leistung. Die Erfahrungen, welche auf Truppenmärschen gemacht worden sind, zeigen so unwiderleglich die verminderte Leistungsfähigkeit aller derer, welche am Vorabend Bier oder Wein in größeren Mengen genossen haben, daß man diese Erfahrungen unbedenklich auf Bergtouren übertragen kann.

Sehr gefährlich ist es auch, bei den ersten Zeichen von Ermüdung den Alkohol als Anregungsmittel in Gebrauch zu nehmen. Die anregende Wirkung ist nach längstens $\frac{1}{2}$ Stunde verflogen und die Erschlaffung dann um so größer. Nicht zu verwerfen ist eine kleine Menge Wein oder Kognak gegen Ende größerer Märsche, wenn es gilt, die erlöschende Kraft für eine letzte Anstrengung anzufachen. Hier wirkt der Alkohol wirklich als „Peitsche“, wie Liebig dies so treffend bezeichnet hat.

In dieser Gruppe der Anregungsmittel muß auch noch des Arsens Erwähnung geschehen. Dieses schwere mineralische Gift wird bekanntlich von den Bewohnern der steirischen Alpen als Kräftigungsmittel genommen, und die sog. „Arsenesser“ haben durch vieljährigen Gebrauch des Mittels ihren Organismus derart an dasselbe gewöhnt, daß sie Mengen vertragen, welche für jeden anderen Menschen tödlich wären. Man hat die Arsenesser vielfach wissenschaftlich untersucht, ohne über die Ursache der Gewöhnung und den Grad derselben bisher volle Klarheit gewonnen zu haben. In sehr kleinen Mengen wird das Arsen auch von Ärzten mit Erfolg als Kräftigungsmittel, namentlich zur Unterstützung von Eisenkuren, verordnet. Die Angaben der Arsenesser, daß sie durch das Mittel zu größeren Leistungen im Gebirge befähigt werden, daß speziell das Atmen beim Bergsteigen ein freieres wäre, können danach wohl glaublich erscheinen. Dennoch muß man vom Gebrauch dieses Giftes aufs dringendste abraten.

Das von Weichardt entdeckte „Antitoxin“ gegen das in den arbeitenden Muskeln erzeugte, S. 366 erwähnte, spezifische Ermüdungsgift könnte auch noch als Belebungsmittel auf erschöpfenden Touren in Frage kommen. Wir kennen bis jetzt die Wirkungen dieses interessanten Stoffes auf den Menschen zu wenig, als daß wir ihn empfehlen könnten. Man wird aber gewiß in den nächsten Jahren, wenn erst das Antitoxin bequem zugänglich ist, Erfahrungen über seine Wirkung sammeln.

Stillung des Durstes. Neben der Bekämpfung des Müdigkeitsgefühls ist die des Durstes für den Bergsteiger bedeutungsvoll. Bei langen Wanderungen in trockener Luft und brennender Sonne, also besonders auf Gletschern und Schneefeldern, wird der Durst oft außerordentlich quälend. Der wirklichen Wasserverarmung des Körpers und den aus ihr drohenden Gefahren des Hitzschlags, welche wir in Kapitel XV besprochen haben, kann natürlich nur Zufuhr größerer Mengen von Wasser entgegenwirken. Bei Wanderungen auf Eis und Schnee ist ja dieses, wenn auch in der hier weniger angenehmen festen Form, stets zur Verfügung, und man sollte sich, solange man in Bewegung bleibt, durchaus nicht scheuen, häufig kleine Mengen Eis und Schnee zu genießen, eventuell unter Zusatz weniger Tropfen Brantwein.

In der Margherita-Hütte nahmen wir wochenlang recht erhebliche Mengen geschmolzenen Schnees, ohne irgendwelchen Nachteil davon zu beobachten. Der Geschmack ließ sich durch Zusatz einer Prise Kochsalz verbessern.

Die kleinen Mittel, welche man gegen den Durst empfohlen hat, Pfefferminzplätzchen, Fruchtdrops, Pastillen von Weinsäure oder Äpfelsäure, Kauen eines Strohhalmes oder eines Stückchens Holz, mindern das Durstgefühl durch Anregung der Speichelabsonderung, ohne natürlich dem Wasserbedürfnis des Körpers abzu-

helfen. Bei vielen ist in der Tat dieses quälende Durstgefühl vorhanden, ohne daß der Körper hochgradig an Wasser verarmt ist, und da sind natürlich die eben empfohlenen Mittel am Platze. Eine häufige Ursache des Durstes beim Bergsteigen ist das Atmen durch den Mund, wobei die eingeatmete kalte Luft sich auf Kosten der Mundfeuchtigkeit mit Wasserdampf sättigt und dadurch die Schleimhaut des Mundes und des Schlundes austrocknet. Bei vielen ist das Nasenatmen durch Schwellungen der Schleimhaut und ähnliche Ursachen so erschwert, daß die Mundatmung unentbehrlich ist. Bei anderen ist sie mehr eine üble Gewohnheit oder stellt sich dann ein, wenn die Anforderungen an die Atmung eine gewisse Grenze überschreiten. Bei einiger Aufmerksamkeit können solche Personen die Mundatmung ausschalten und dadurch die quälende Austrocknung vermeiden.

Wer sich gewöhnt, nur durch die Nase zu atmen, ist dadurch vor bedenklicher Überhastung des Schrittes bewahrt. Wer bei normalen Luftwegen einige Zeit so rasch geht, daß er die Mundatmung nicht entbehren kann, wird bald erschöpft sein, und es liegt daher in der Gewöhnung an die Nasenatmung ein gutes Vorbeugungsmittel gegen Überanstrengung. Übrigens hat die Nasenatmung auch noch den Vorteil, daß bei ihr, weil der Eintritt der Luft in die Lunge nicht ganz so leicht erfolgt, die Luftverdünnung beim Ansaugen der Luft und damit der früher besprochene negative Druck im Brustkasten stärker wird; dies aber fördert den Strom des Venenblutes zum Herzen und damit den gesamten Kreislauf des Blutes.

Es wurde schon gesagt, daß vor und während größerer Marschleistungen nur mäßige Mengen Nahrung aufgenommen werden sollen. Die Hauptmahlzeit wird der Bergsteiger stets nach vollendetem Tagewerk einnehmen. Unmittelbar nach beendeter Anstrengung ist der Magen meist noch wenig für eine größere Mahlzeit disponiert. Die Erhitzung des Körpers muß erst vorüber sein, ehe der Verdauungsapparat ordentlich funktionieren kann. Man tut deshalb gut, gleich nach dem Einrücken ins Quartier nur eine kleine Menge Nahrung, ähnlich wie auf dem Marsche, zu genießen. Falls der Appetit infolge der Anstrengung vollkommen darniederliegt, sind kleine Mengen konzentrierter alkoholischer Getränke als Anregungsmittel oft von großem Nutzen. Früher oder später, je nach dem Maß der Ermüdung, wird sich im allgemeinen kräftiger Appetit einstellen und dieser soll durch eine reichliche, dem vorangegangenen Konsum von Körpersubstanz entsprechende Nahrungsaufnahme gestillt werden.

Abgesehen von der durch übergroße Anstrengungen bedingten Appetitlosigkeit bringt die Höhe an sich, wie bereits wiederholt erwähnt, Störungen der EBlust mit sich. Der Wanderer in mittleren Höhen wird besonderer Anregungsmittel zur Verdauung nicht bedürfen. Befindet man sich jedoch bereits in der Region der Bergkrankheit, also in Höhen über 3500 m, so ist größere Vorsicht in der Ernährung am Platze. Hier wird man als Anregungsmittel die Würzen, Pfeffer, Senf, Ingwer, Zwiebeln usw. etwas reichlicher als gewöhnlich anwenden. Der Bedarf an derartigen scharfen Mitteln läßt sich besonders bequem durch Mitnahme der in Zinntuben enthaltenen Zuspeisen befriedigen. Man erhält in dieser Form Senf, Sardellenbutter und ähnliche anregende Präparate, die so beliebig lange haltbar und in kleinsten Mengen jederzeit zum Gebrauche bereit sind. Die bequemen Zinntuben sollten für pastenförmige Präparate (Pains) und Marmeladen vielleicht in größerem Umfange, als das bisher geschehen ist, eingeführt werden.

Dem Gesagten zufolge erscheint es ganz rationell, daß man in den Hochhütten die schärfer gewürzten Speisen (Gulasch, Pichelsteiner Fleisch, Irish Stew, Erbsuppe) bevorzugt. Nur wer schon längere Zeit an größere Höhen gewöhnt ist, wird imstande sein, ohne Appetitreize hier soviel Nahrung aufzunehmen, wie dem Körperbedarf entspricht. Übrigens ist, wie unsere Erfahrungen auf dem Monte Rosa gezeigt haben, unter solchen Umständen eine Unterernährung durchaus unbedenklich. Manchem dürfte solche Einbuße an Körpergewicht sogar erwünscht erscheinen.

Konserven. Soweit man selbst den Proviant mitzuführen hat, spielt sein Gewicht eine erhebliche Rolle. Hier wird man deshalb die bei wenig Nährwert viel Raum einnehmenden Büchsengemüse, sowie die sehr wasserhaltigen Gemische verschiedener Fleischarten mit Gemüsen und Kartoffeln zu scheuen haben, andererseits besitzen gerade diese Präparate den Vorzug, allen Bedürfnissen des Körpers gerecht zu werden und namentlich auch die Bewegungen des Darmkanals genügend anzuregen. Leichter kann man sich den nötigen Vorrat an Gemüsen in der in neuerer Zeit eingeführten Form der Trockenpräparate, wie wir solche während unseres Stoffwechselversuchs auch angewendet haben, sichern. Ein Nachteil ist dabei nur die lange Kochzeit, welche diese Präparate erfordern, und der dadurch gegebene große Konsum des auf den Hütten kostbaren Feuerungsmaterials. Meist wird es auch nicht möglich sein, die Gemüse in Wasser genügend quellen zu lassen, da man 1—2 Stunden nach Ankunft auf der Hütte die Mahlzeit genießen möchte. In großen Höhen kommt hinzu, daß infolge der niedrigen Siedetemperatur des Wassers ein Garkochen nicht mehr möglich ist.

Bei manchen Konserven, sowohl Fleischpräparaten wie sterilisierter Milch, besteht noch ein Nachteil darin, daß sie zum Zweck der Sterilisierung sehr lange Temperaturen über 100° ausgesetzt werden. Dabei verändern sich die Eiweißkörper in der Art, daß sie in Spaltungsprodukte zerlegt werden, welche den Verdauungsapparat reizen und nur unvollkommen zur Aufsaugung gelangen. Bei den neueren Präparaten der besseren Fabriken besteht dieser Nachteil im allgemeinen nicht.

Die Leser der Publikationen des Deutsch-Österreichischen Alpenvereins wissen, daß die Hütten dieses Vereins unter der verdienstvollen Leitung von Professor Pott, München, jetzt in systematischer Weise mit Proviant versorgt werden, so daß man auch in unbewirtschafteten wenigstens die Garantie hat, den besten Fabriken entstammende, rationell zubereitete Nahrungsmittel zu finden. Der Vorrat an Konserven auf den Hochhütten ist heute ein so reichhaltiger und mannigfacher, daß selbst ein verwöhnter Gaumen befriedigt werden kann.

Wir erwähnten schon, daß die Bereitung warmer Speisen, namentlich auf unbewirtschafteten Hütten, einigermaßen mühsam ist, sie erfordert auch Geschicklichkeiten und Erfahrungen, die wenigstens unter der Mehrzahl der männlichen Touristen wenig verbreitet sind. Es verdient deshalb noch erörtert zu werden, wie weit es nötig ist, die Hauptmahlzeit warm zu genießen. Hierbei spielt sicher in erheblichem Umfange die Gewohnheit eine Rolle. Bei vielen Menschen trägt die höhere Temperatur der Speisen wesentlich zur Anregung der Tätigkeit des Magens bei. Sie verdauen daher eine größere kalte Mahlzeit weniger gut, sie nehmen auch geringere Mengen Speise

auf, wenn diese ihnen in kalter Form geboten wird. Charakteristisch ist in dieser Hinsicht, daß in Deutschland schon verschiedene Landesteile in der Bevorzugung kalter Speisen sich unterscheiden. In Norddeutschland ist die kalte Abendmahlzeit sehr üblich, während man in Süddeutschland die warme Suppe und wenn möglich, einen zweiten warmen Gang beim Abendbrot nicht entbehren will. Diesen Gewohnheiten entsprechend, wird auch der Bergsteiger bald die Mühe der Bereitung einer warmen Mahlzeit in der Hütte scheuen, bald dieselbe als wesentlich für sein Wohlbefinden ansehen.

Literatur.

- 1) Atwater und Benedict: U. St. A. Experiment Stations Bullet. Nr. 136, S. 47 und 175.
- 2) Chittenden: Physiological Economy in Nutrition. New York 1904.
- 3) König: „Chemie der menschlichen Nahrungs- und Genußmittel“. Berlin 1904.
- 4) Voit: „Physiologie des Stoffwechsels und der Ernährung“. Leipzig 1881.
- 5) Zuntz: „Stoffverbrauch bei Muskelarbeit“. Pflügers Archiv 68, S. 191.

Schlußwort.

Ein Blick auf das durchwanderte Gebiet läßt uns erkennen, daß es kaum ein Organsystem unseres Körpers gibt, das nicht in seiner Funktion durch das Höhenklima an sich, mehr noch durch Wanderungen in der Höhe beeinflusst würde. — Gerade bei den lebenswichtigsten Funktionen: der Atmung, dem Kreislauf, dem Stoffumsatze, der Wärmeregulation, zeigten sich die weitestgehenden Änderungen. Sie alle stellten sich als zweckmäßig heraus, geeignet, den Menschen für das Leben im Hochgebirge fähiger zu machen, ihn den neuen Lebensbedingungen anzupassen, und Störungen, die etwa anfänglich durch die Höhe bewirkt wurden, zu beseitigen. Wir sahen, daß diese Änderungen schon in sehr geringen Höhen sich bemerkbar machen, daß sie sich in relativ kurzer Zeit ausbilden, daß sie um so vollkommener werden und um so unmerklicher zustande kommen, je langsamer der Übergang aus dem Tieflande in die Höhe erfolgt.

Angesichts dieser Erfahrung liegt die Frage nahe, ob sich analog den Veränderungen, die unter unseren Augen sich beim Übergang ins Gebirge ausbilden, eine zweckmäßige Anpassung der Konstitution der Höhenbewohner entwickelt hat und worin diese besteht. — Damit wird die Frage aus einer physiologischen zu einer anthropologischen und ethnologischen. — Es wäre ferner zu erforschen, ob die Anpassung an die Höhe zu Rassenmerkmalen geführt hat, die so dauerhaft sind, daß sie, im Gegensatz zum Verhalten des Tiefländers, der die in der Höhe erworbenen Eigenschaften sehr rasch nach der Rückkehr wieder einbüßt, beim Verpflanzen in niedere Klimata bestehen bleiben.

Von einzelnen Höhenmerkmalen, wie der gewölbten und dabei beweglichen Gestalt des Brustkastens, ist das wahrscheinlich. Es für alle Organe zu erforschen, erscheint als lohnende Aufgabe, die, wie die ganze anthropologische Seite des Problems, bisher überhaupt noch kaum in Angriff genommen ist. Hier bietet sich ein reiches Feld der Forschung, dessen Bedeutung in dem Maße wachsen wird, wie es vom Menschen hinübergeleitet wird auf die gesamte Tierwelt, ja auf die Gesamtheit der Lebewesen. Dann kann die biologische Forschung in der Höhe beitragen zur Lösung der großen Probleme der Umwandlung der Form der Lebewesen und damit der Artbildung. Angesichts dieser bedeutungsvollen Aufgabe erscheint die von Mosso inaugurierte Gründung eines internationalen, allen Zweigen der Naturbeobachtung gewidmeten Höhenlaboratoriums auf dem Col d'Olen als ein überaus glücklicher und vielversprechender Gedanke.

Anhang.

Zahlenmäßige Ergebnisse unserer Versuche in Tabellenform.



Tabelle I.

Zusammensetzung der von uns benutzten Nahrungsmittel.

1	2	3	4	5
Hauptversuch August-September 1901	Stickstoff	W. E.	Fett	Bemerkungen
Bezeichnung des Nahrungsmittels	in %	in 100 g	in %	
Schoten	4.678	391.08	0.6	
Karotten	1.101	451.90	1.29	
Spinat	4.70	354.28	3.96	
Kakes (Hildebrandt)	1.456	465.78	13.3	
„ (Thiele)	1.636	455.89	10.95	
Reis	1.32	387.25	1.3	
Schokolade	0.921	576.00	27.3	
Marmelade	0.066	187.70	—	
Fleischbüchse	7.661 g	561.07	33.125 g	Gehalt einer ganzen Büchse
Brot, I	1.676	366.8	8.00	Benutzt vom 5.—7. VIII.
frisch II	1.606	294.4	0.25	„ „ 8.—28. „
Bier	0.086	56.95	—	
Wem	0.014	61.42	—	
Kaffeeaufguß	0.027	—	—	
Teeaufguß	0.012	—	—	
Roborat (11.9% Wasser)	13.27	511.4	2.91	
Rohrzucker	—	396.00	—	
Käse I	4.511	447.52	31.50	Benutzt vom 5.—11. VIII.
„ II	4.348	441.39	31.42	„ „ 12.—17. „
„ III	4.625	457.91	32.37	„ „ 18.—22. „
„ IV	4.432	453.09	31.75	„ „ 21.—22. „ auf Rothorn
„ V	4.640	437.68	30.46	„ „ 23.—26. „
„ Va	4.083	479.9	36.03	„ „ 26.—27. „ „ „
„ VI	5.295	580.38	40.51	„ „ 27.—28. „
„ VII	3.622	348.44	22.56	„ „ 1.—9. IX.
Butter I	0.1115	817.2	89.80	„ „ 5.—11. VIII. in Brienz
„ II	0.121	755.05	85.17	„ „ 12.—13. „ „
„ III	0.083	778.8	85.58	„ „ 12.—15. „ auf Rothorn
„ IV	0.097	790.6	86.89	„ „ 13.—18. „ in Brienz
„ V	0.135	759.5	83.46	„ „ 15.—17. „ auf Rothorn
„ VI	0.141	785.0	86.26	„ „ 19.—22. „ in Brienz
„ VII	0.118	784.6	86.22	„ „ 18.—22. „ auf Rothorn
				„ „ 18.—21. „ „ „
				„ „ 23.—29. „
				„ „ 1.—9. IX. am Monte Rosa

1	2	3	4	1	2	3	4
Vorversuch Dezember 1900	Stickstoff	W. E.	Fett	Vorversuch April 1901	Stickstoff	W. E.	Fett
Bezeichnung des Nahrungsmittels	in %	in 100 g	in %	Bezeichnung des Nahrungsmittels	in %	in 100 g	in %
Hackfleisch	2.970	139.93	4.0	Hackfleisch	2.720	127.4	4.0
Lachsschinken	3.835	155.43	2.5	Lachsschinken	3.463	140.4	3.0
Schrippen, lufttrocken	1.866	284.25	0.25	Schrippen, frisch	1.623	305.3	0.36
Kakes	1.240	437.64	13.3	Kakes	1.290	455.3	13.3
Butter	0.195	789.3	85.2	Butter	0.141	776.5	85.2
Reis	1.272	387.25	1.3	Reis	1.32	387.25	1.3
Schokolade	0.911	536.00	27.3	Schokolade	0.921	576.0	27.3
Kaffee	0.050	—	—	Tee	0.025	—	—
Tee	0.008	—	—	Käse (Schweizer)	4.723	570.3	40.0
Bier (Hochschulbräu)	0.076	61.2	—				

Tabelle I^a.

Während der Stoffwechselfersuche täglich eingenommene Kost in Gramm.

Bezeichnung des Nahrungsmittels	Waldenburg						Kolmer					
	Vorversuch		Hauptversuch				Vorversuch		Hauptversuch			
	Periode I	II	Brienz I	II	Rothorn III	Col d'Olen IV	Periode I	II	Brienz I	Rothorn II	Brienz III	Monte Rosa IV
Reis	60	60	50	50	50	50	60	60	50	50	50	0—50
Grünes Gemüse	—	—	30	23	23	25	—	—	30	23	23	0—20
Fleisch	250	250	eine Büchse				125	125	eine Büchse			
Schinken	100	100	—	—	—	—	50	50	—	—	—	$\frac{1}{2}$ -1 Büchse
Weißbrot	160	170	50	50	50	—	225	225	40	50	50	—
Kakes	50	50	150	140	150	180	100	100	200	200	200	200
Käse	100	100	100	100	100	125	—	—	100	100	100	0—125
Schokolade	—	50	50	115	50	50	130	180	30	67	44	0—100
Marmelade	—	—	—	—	—	—	—	—	50	90	65	0—120
Rohrzucker	30	60	75	90	75	75	50	80	50	60	52	50—130
Bier oder Wein	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0—10
Butter	70	110	55	70	55	55	60	100	80	80	80	0—80

Bezeichnung des Nahrungsmittels	Caspari						Müller					
	Vorversuch		Hauptversuch				Vorversuch		Hauptversuch			
	Periode I	II	Brienz I	II	Rothorn III	Monte Rosa IV	Periode I	II	Brienz I	Rothorn II	Brienz III	Col d'Olen IV
Reis	60	60	50	50	50	0—50	100	100	50	50	50	50
Grünes Gemüse	—	—	30	23	23	0—20	—	—	30	23	23	25
Fleisch	125	125	eine Büchse				125	125	eine Büchse			
Schinken	100	—	—	—	—	$\frac{1}{2}$ Büchse	100	75	—	—	—	—
Weißbrot	200	200	50	50	50	—	250	250	50	50	50	—
Kakes	100	145	150	150	150	0—98	40	75	170	170—190	170	170
Käse	—	—	80	80	80	0—85	—	—	70	70	70	70
Schokolade	—	—	—	0—55	0—45	0—65	—	64	—	0—70	—	—
			Himbeersaft									
Marmelade	—	—	30	0—70	0—70	0—30	30	30	100	100	100	100
Rohrzucker	15	15	20	20—70	20—40	0—80	15	15	30	30—80	30	30
Bier oder Wein	1080	1080	570	580—1100	540—650	0—570	—	—	—	—	—	—
			3 Fl. Bier									
Butter	125	125	40	40—60	40	0—30	150	150	65	65—88	65	65

Bezeichnung des Nahrungsmittels	Loewy						Zuntz					
	Vorversuch		Hauptversuch				Vorversuch		Hauptversuch			
	Periode I	II	Brienz I	II	Brienz III	Monte Rosa IV	Periode I	II	Brienz I	II	Rothorn III	Monte Rosa IV
Reis	60	60	50	50	50	0—27	60	60	50	50	50	0—50
Grünes Gemüse	—	—	30	23	23	13—39	—	—	30	23	23	0—38
Fleisch	125	125	eine Büchse				125	125	eine Büchse			
Schinken	100	100	—	—	—	$\frac{1}{2}$ Büchse	100	33	—	—	—	$\frac{1}{2}$ -1 Büchse
			Somatose									
Weißbrot	180	180	50	50	50	—	240	240	50	50	50	—
Kakes	100	100	100	140	100	100	50	50	175	175—200	175	150—230
Käse	—	—	80	80	80	0—63	—	—	50	50	50	19—65
Schokolade	—	65	—	—	—	35	50	50	25	50—55	25	0—97
Marmelade	—	—	50	100	50	100	—	—	30	30—80	30—80	0—80
Rohrzucker	—	—	—	—	—	50—60	30	30	30	30—90	30—50	30—90
Bier oder Wein	360	1080	475	475—600	475—620	ca. 250	—	—	—	—	—	0—220
			Bier									
Butter	150	150	85	100—113	85	50—60	90	94	51—55	51—75	51—65	0—60

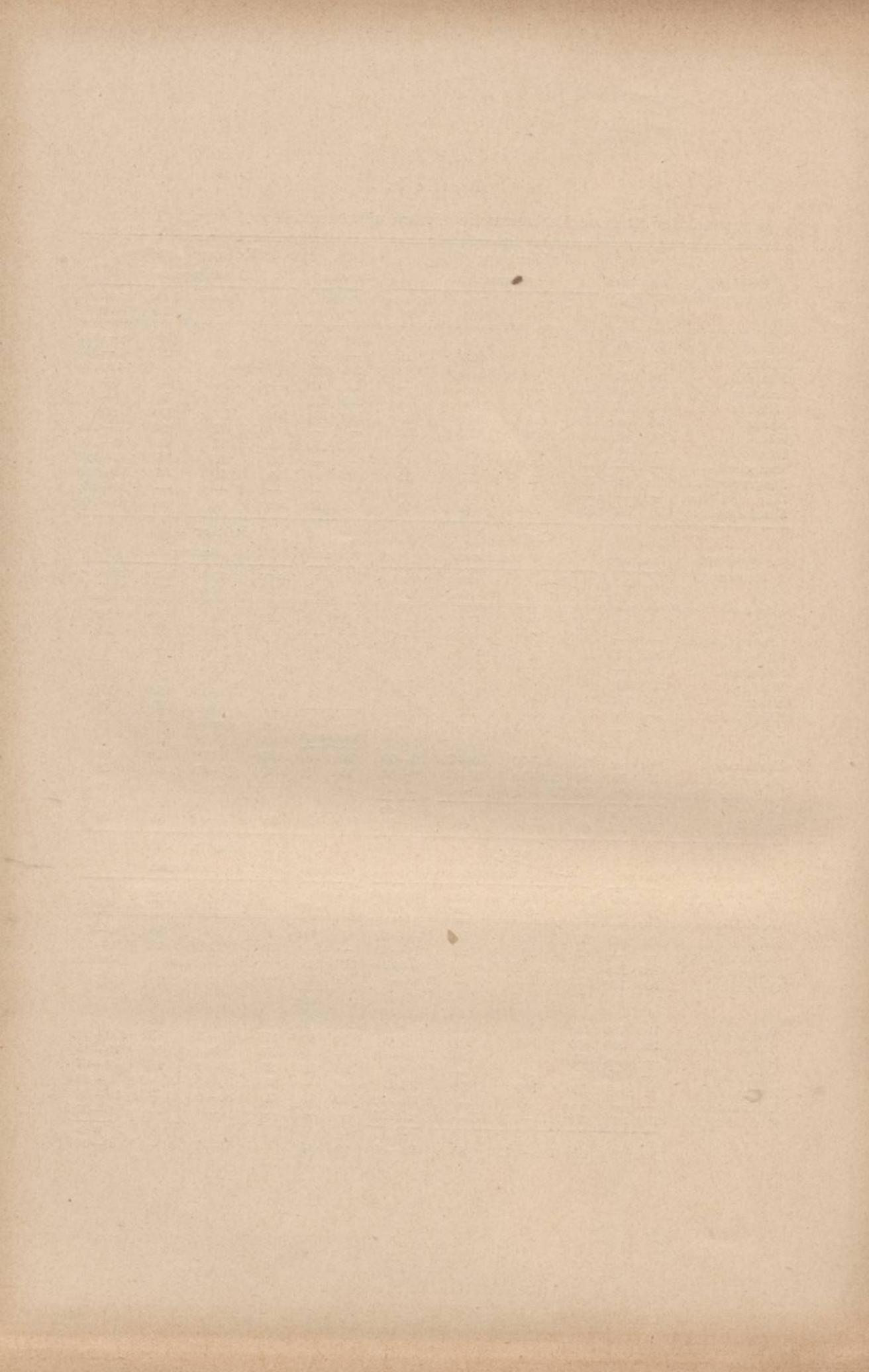


Tabelle II.

Küchennahrung pro Kopf.

1	2	3	4	5	6	
Datum	Art der Nahrung	Menge	Stickstoff g	Fett g	Wärmemenge W. E.	
5. VIII.	Reis	50 g	0.66	0.65 22.45 1.19 33.13	57.4	1065.3
	Butter	25 "	0.03			
	Spinat	30 "	1.41			
	Fleisch	1 Büchse	7.661			
	Kaffeeaufguß	200 ccm	0.055			
	Teeaufguß	200 ccm	0.025			
			9.84			
6. VIII.	Reis	50 g	0.66	56.4	1089.4	
	Butter	25 "	0.03			
	Schoten	30 "	1.40			
	Fleisch	1 Büchse	7.661			
	Kaffeeaufguß	200 ccm	0.055			
	Teeaufguß	200 ccm	0.025			
			9.83			
7. VIII.	Reis	50 g	0.66	56.8	1071.7	
	Butter	20 "	0.02			
	Karotten	25 "	0.275			
	Roborat	8 "	1.28			
	Kaffee, Tee } Fleisch . . . }	wie oben	7.74			
						9.97
8. VIII.	Wie 5. VIII., aber nur Spinat	25 g	9.60	57.2	1047.6	
9. VIII.	Wie 6. VIII., aber nur Schoten	25 g	9.60	56.4	1056.8	
10. VIII.	Reis . . } Fleisch } wie oben . . Kaffee } Tee . . }	21.2 g 6.83 "	9.58	56.7	1049.1	
	Butter	20 "				
	Roborat	8 "				
	Karotten	20 "				
11. VIII.	wie 8. VIII.		9.60	57.2	1047.6	
12. "	" 9. "		9.60	55.2	1041.2	
13. "	" 10. "		9.58	55.5	1030.6	
14. "	" 8. "		9.60	56.2	1038.0	
15. "	" 9. "		9.60	55.3	1047.2	
16. "	" 10. "		9.58	55.6	1035.4	
17. "	" 8. "		9.60	56.2	1038.0	
18. "	" 9. "		9.60	55.3	1047.2	
19. "	" 10. "		9.73 ¹⁾	56.7 ¹⁾	1047.7 ¹⁾	
20. "	" 8. "		9.60	56.5	1040.9	
21. "	" 9. "		9.60	55.7	1050.1	
22. "	" 10. "		9.58	56.0	1047.7	
23. "	" 8. "		9.60	56.3	1039.5	
24. "	" 9. "		9.60	55.5	1048.7	
25. "	" 10. "		9.58	55.8	1036.6	
26. "	" 8. "		9.60	56.3	1039.5	
27. "	" 9. "		9.60	55.5	1048.7	
28. "	" 10. "		9.58	55.8	1036.6	

1) Diese Zahlen gelten für das Rothorn, in Brienz lauten sie: 9.43, 55.0, 1021.6.

Erklärung zu Tabelle III—VIII.

Unsere Stoffwechselfersuche sollten die Grundlage zur Berechnung des Stoffbedarfs unseres Organismus unter den wechselnden Versuchsbedingungen liefern. Die für die Rechnung nötigen Daten sind in Tabelle III—VIII zusammengestellt. Jede Tabelle gibt für eine der Versuchspersonen zuerst die Zahlen des Vorversuches in Berlin, sodann die des Hauptversuches vom 5. August bis 10. September 1901.

Stab 3: (Beschäftigung und Wetter) enthält in Stichworten Art und Maß der Körperanstrengung und die für den Versuch bedeutungsvollen klimatischen Einflüsse. Näheres Kapitel IV.

Stab 4—10: liefern die Bilanz des Stickstoffes, also des Eiweißumsatzes (siehe S. 102 u. Kapitel IX). Die Stickstoffaufnahme (**Stab 4**) resultiert aus der Nahrungsaufnahme (Tabelle Ia und II) und der Analyse der Nahrungsmittel (Tabelle I). Der Kotstickstoff (**Stab 5**) berechnet sich aus den Angaben von Tabelle IXa u. b. Der verdaute (resorbierte) Stickstoff (**Stab 6**) ergibt sich durch Abzug des Kotstickstoffes (5) von der Stickstoffaufnahme (4). Die täglichen Wägungen des Körpers (**Stab 2**), kombiniert mit denen aller Einnahmen und dem Gewicht von Harn und Kot, führen zur Feststellung der Abgabe flüchtiger Stoffe seitens des Körpers, der Perspiration insensibilis (**Stab 7**, vergl. Kapitel XIV). In Kapitel XIV ist dargelegt, wie man aus der Perspiration auf Grundlage des Stickstoffgehaltes in 1 kg Schweiß (Tabelle XXX) die Stickstoffabgabe durch die Haut berechnet (**Stab 8**). Durch Abzug dieser und des während 24 Stunden im Harn abgeschiedenen Stickstoffs (**Stab 9**) von dem verdauten Stickstoff (**Stab 6**) kommt man zur Stickstoffbilanz (**Stab 10**). Das Vorzeichen + oder – vor den Zahlen bedeutet: Ansatz von Stickstoff oder Abgabe desselben aus den Vorräten des Körpers.

Stab 11—13: zeigen die Einnahme von Fett, seine Abgabe durch den Kot und als Differenz beider die verdaute, also im Körper verwertete Fettmenge.

Die dritte Gruppe organischer Nährstoffe, die Kohlehydrate, haben wir nicht direkt bestimmt. Ihre Menge ergibt sich gemäß der im Kapitel XIV an einem Beispiel erläuterten Rechnung, aus ihrem Brennwert, indem vom Brennwert der Nahrung (**Stab 14**) der ihrer Stickstoffsubstanz und ihres Fettes (**Stab 4** u. **11**) in Abzug gebracht wird. Die Angaben des Stab 14 lassen sich mit Hilfe der in Tabelle I enthaltenen Angaben des Brennwertes unserer Nahrungsmittel und der in Tabelle Ia zusammengestellten täglichen Nahrungsaufnahme kontrollieren.

Der Brennwert der Nahrung (**Stab 14**) repräsentiert die dem Körper für seine Leistungen dargebotene Energie, von welcher ein in **Stab 15** und **17** angegebener Anteil dem Körper mit den im Kot und Harn ausgeschiedenen brennbaren Stoffen verloren geht.

Der Brennwert des Harns wurde nicht für jeden Tag bestimmt, sondern in Mischproben, welche zwei- bis viertägigen Perioden ganz gleicher Ernährung und gleicher Lebensweise entsprachen. Dem Stickstoffgehalt des Harns jedes Tages proportional wurde dann der gefundene Brennwert auf die einzelnen Tage repartiert.

Die dem Körper für seine Leistungen zur Verfügung stehende „die physiologisch verwertete Energie der Nahrung“ (**Stab 18**) ergibt sich durch Abzug des Brennwertes der Ausscheidungen von dem der Nahrung.

Um den Energiebedarf der einzelnen Personen besser vergleichen zu können, haben wir den Brennwert der verdauten Nahrung (**Stab 16**) durch das Körpergewicht dividiert. Diese Zahlen (**Stab 19**) sind bei Beurteilung des Nahrungsbedarfs des Bergsteigers (Kapitel XXI) verwertet.

Tabelle III.

Waldenburg, Übersichtstabelle des Stoffwechsels.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19											
Ort und Datum	Körpergewicht 6 ^h früh kg	Beschäftigung und Wetter	Stickstoffeinnahme g	Kotstickstoff pro Tag g	Verdauter Stickstoff g	Perspiration insensibilis in 24 Std. g	Stickstoffabgabe durch die Haut ¹⁾ g	Harnstickstoff g	Stickstoffbilanz g	Fetteinnahme g	Fett im Kot pro Tag g	Fett verdaut g	Brennwert der Nahrung W. E.	Brennwert des Kotes pro Tag W. E.	Brennwert der verdauten Nahrung W. E.	Brennwert des Harns W. E.	Physiolog. verwertete Energie d. Nahrung W. E.	Brennwert der resorbierten Nahrung pro Kilo W. E.											
Berlin 10. IV. 1901	57.400	Laboratoriumsarbeit	18.86	0.91	17.95	1768	0.35 ²⁾	16.69	+0.91	120.6	3.8	116.7	2795.6	44.9	2750.7														
11. "	56.645		19.12																18.19	0.41	18.04	-0.26	120.5	2844.5	2765.6				
12. "	56.250		19.12																18.19	0.35 ²⁾	19.00	-1.16	120.5	2844.5	2765.6				
13. "	56.156		18.97																18.04	0.35 ²⁾	18.45	-0.76	120.5	2827.0	2748.1				
Mittelwert 11.—13. IV.	56.35		19.07																18.14	0.35	18.50	-0.73	120.5	116.7	2839	2760	49.0		
Berlin 14. IV.	56.120	Kotabgrenzung. Marsch 20 Kilom. 4 Std. 44 Min. Marsch 10 Kilometer 2 Std. " 18 " 4 " 17 Min. " 20 " 3 " 18 " " ca. 3 Stunden " 20 Kilometer " 3 Std. 15 Min. Kotabgrenzung	19.76	1.21	18.55	1640	0.35 ²⁾	verloren	—	168.3	4.3	164.0	3593.7	102.3	3491.4														
15. "	56.093		19.76																18.55	0.35 ²⁾	18.02	+0.18	168.3	3593.7	3491.4				
16. "	56.043		19.83																18.62	0.35 ²⁾	17.98	+0.29	168.3	3605.9	3503.6				
17. "	56.014		19.99																18.78	0.35 ²⁾	18.03	+0.40	168.3	3636.4	3534.1				
18. "	55.970		19.63																18.42	0.35 ²⁾	17.32	+0.75	168.3	3569.3	3467.0				
19. "	55.460		19.88																18.67	0.29	16.64	+1.74	168.3	3615.1	3512.8				
20. "	55.680		19.70																18.49	0.35 ²⁾	16.76	+1.48	168.3	3581.5	3479.2				
21. "	56.200																												
Mittelwert 15.—20. IV.	55.92		19.80																18.59	0.35	17.46	+0.81	168.3	164.0	3600	3498	62.6		
Brienz 5. VIII. 01	(11 ^h)		Laboratoriumsarbeit Ruheversuche Sehr heißes Wetter																16.80	1.71	15.09	1611	0.13 ³⁾	14.74	+0.22	114.3	5.0	109.3	2850.1
6. "	57.000	17.73		16.02	0.13	14.22	+1.67	150.0	145.0	3257.9	3126.1	127.4	2998.7																
7. "	57.100	17.76		16.05	0.24	12.69	+3.12	150.6	145.6	3251.9	3120.1	88.8	3031.3																
8. "	57.180	17.60		15.89	0.22	13.20	+2.47	147.5	142.5	3209.2	3077.4	102.4	2975.0																
9. "	56.977	17.50		15.79	0.23	14.06	+1.50	146.7	141.7	3191.7	3059.9	109.2	2950.7																
10. "	56.822	17.58		15.87	0.24	13.92	+1.71	147.0	142.0	3210.7	3078.9	108.0	2970.9																
Mittelwert Periode I 5.—10. VIII.	57.02	17.49	15.78	0.20	13.60	+1.78	142.7	137.7	3162	3030.1	107.2	2985	53.1																
Brienz 11. VIII. 01	56.939	Laboratoriumsarbeit. Kotabgrenzung Marschversuche bergauf " " " " Kältes " " " " Regen Bergaufmarsch 1000 m 3 Stunden Marsch bis Hausstadt, Marschversuche ohne " " " " Anstrengung Fahrt bis Meiringen. Marsch: Reichenbachfall, Rosenlauri, Aareschlucht; ca. 4 Stunden Weg, und 700 Meter Steigung	17.55	2.02	15.53	1507	0.25 ³⁾	12.50	+2.78	147.5	4.4	143.1	3200.4	158.7	3041.7	107.9	2933.8												
12. "	56.430		17.92																15.90	0.26	13.48	+2.16	174.7	170.3	3632.4	3473.7	116.4	3357.3	
13. "	56.340		17.88																15.86	0.35 ³⁾	13.75	+1.76	175.0	170.6	3615.8	3457.1	118.7	3338.4	
14. "	56.605		17.94																15.92	0.45	14.11	+1.36	175.7	171.3	3635.1	3476.4	121.8	3354.6	
15. "	56.785		17.89																15.87	0.45	14.17	+1.25	175.1	170.7	3647.3	3488.6	122.4	3366.2	
16. "	56.670		17.90																15.88	0.31	14.31	+1.26	175.4	171.0	3641.4	3482.7	123.5	3359.2	
17. "	56.730		17.92																15.90	0.45	13.78	+1.67	175.9	171.5	3644.0	3485.3	119.0	3366.3	
18. "	56.330		18.23																16.21	0.48	14.71	+1.02	176.0	171.6	3675.6	3516.9	127.0	3389.9	
Mittelwert Periode IIa Kleine Märsche 11.—18. VII.	56.60		17.90																15.90	0.38	13.85	+1.66	171.9	167.5	3586	3428	119.6	3308	60.5
Brienz 19. VIII. 01	56.260		Schönes warmes Wetter, täglich Märsche 3—5 Std. bis Rothorn—Kulm, nicht anstrengend																18.29	2.02	16.27	3405	0.62	14.41	+1.24	199.2	4.4	194.8	3912.1
20. "	56.625	18.51		16.49	0.57	14.40	+1.52	200.7	196.3	3914.1	3755.4	132.0	3623.4																
21. "	56.500	18.25		16.23	0.64	13.41	+2.18	199.3	194.9	3903.6	3744.9	123.0	3621.9																
22. "	56.580	18.28		16.26	0.48	13.055	+2.73	199.6	195.2	3913.1	3754.4	119.7	3634.7																
Mittelwert Periode IIb 19—22. VIII.	56.49	18.33		16.31	0.58	13.544	+1.92	199.7	195.3	3911	3752	126.7	3625	66.4															
Brienz 29. VIII. 01 Rothorn	(4 ^h 45')	Kotabgrenzung. Warmes Wetter Auffahrt. Lab.-Arb. Ruheversuche. Warm. Wetter Sehr schwüles Wetter. Gewitter. Marschversuche Lab.-Arb. Marschversuche. —1° Kälte. Schneesturm Stärkerer Schneesturm. Kälte Klar. Schnee und Kälte Kotabgrenzung	17.685	1.65	16.035	1856	0.29	13.64	+2.10	144.5	5.2	139.3	3172.9	141.9	3031.0	116.8	2914.2												
24. VIII. 01	56.760		17.705																16.055	0.16	13.09	+2.80	143.7	138.5	3185.0	3043.1	112.1	2931.0	
25. "	56.850		17.665																16.015	0.29	13.45	+2.36	144.0	138.8	3170.0	3028.1	115.2	2912.9	
26. "	56.750		17.15																15.50	0.21	13.70	+1.59	150.1	144.9	3215.1	3073.2	117.4	2955.8	
27. "	56.735		17.16																15.51	0.21	14.78	+0.52	149.3	144.1	3232.1	3090.2	126.6	2963.6	
28. "	56.550		18.34																15.69	0.15	14.55	+0.99	154.1	148.9	3312.7	3170.8	124.6	3046.2	
Mittelwert Periode III 23—28. VIII.	56.70		17.62																15.96	0.22	13.87	+1.73	147.6	142.4	3215	3073	118.8	2954	54.2
29. VIII. 01 Gressoney	56.990		Rückk. n. Brienz. Kotabgrenzung. Abf. n. Novara																18.47							155.2		3319.3	
1. IX. 1901	55.500	Aufstieg von Gressoney bis Col d'Olen, sehr heiß	16.53					14.92		158.6		3347.6																	
Col d'Olen 2. IX. 1902	(4 ^h 15')	Kotabgrenzung. Kühl, feuchtes Wetter Wetter wie am 2. IX. Marschversuche. Kalt, neblig Wetter Klareres Wetter Kotabgrenzung	15.91	1.64	14.27	—	0.11 ³⁾	12.35	+1.81	136.3	6.3	130.0	2946.8	158.7	2788.1	96.6	2691.5												
3. "	55.890		15.40																13.76	0.13	13.16	+0.47	140.5	134.2	3046.5	2887.8	101.6	2786.2	
4. "	56.380		15.42																13.78	0.11	13.51	+0.16	140.4	134.1	3086.4	2927.7	106.7	2821.0	
5. "	56.000		16.26																14.62	0.10	13.93	+0.59	163.1	156.8	3551.2	3392.5	110.7	3281.8	
6. "	55.820		16.14																14.50	0.11	13.93	+0.46	168.1	161.8	3598.6	3439.9	110.4	3329.5	
7. "	55.380																												
Mittelwert Periode IV 2—6. IX.	56.02		15.83																14.19	0.11	13.38	+0.70	149.7	143.4	3246	3087	105.2	2982	55.1

¹⁾ Mittelwert aus 4 Bestimmungen: Pro kg Schweiß 0.2265 g Stickstoff. ²⁾ Perspiration nicht bestimmt, das Mittel vom 11. u. 19. IV. angenommen. ³⁾ Perspiration nicht bestimmt. Am 5. VIII. der Wert des 6., am 11. u. 13. VIII. das Mittel der vorausgehenden und folgenden Tage mit gleicher Arbeitsleistung und ähnlicher Witterung zugrunde gelegt. Am 2. IX. Mittel aller Tage auf Col d'Olen eingesetzt.

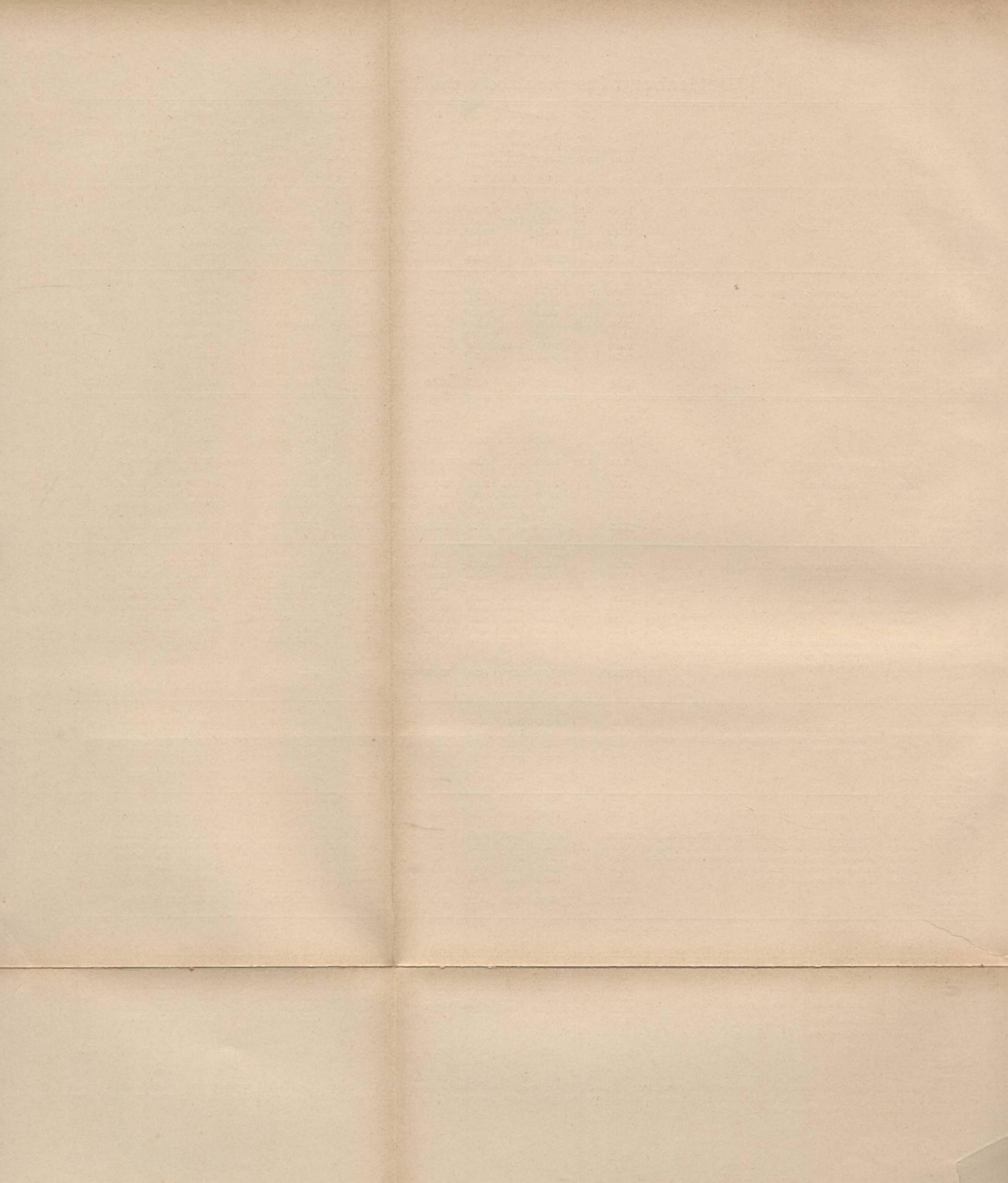


Tabelle IV

Kolmer, Übersichtstabelle des Stoffwechsels.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19											
Ort und Datum	Körpergewicht 6 ^h früh kg	Beschäftigung und Wetter	Stickstoffeinnahme g	Kotstickstoff pro Tag g	Verdauter Stickstoff g	Perspiration insensibilis in 24 Std. g	Stickstoffabgabe durch die Haut ¹⁾ g	Harnstickstoff g	Stickstoffbilanz g	Fetteinnahme g	Fett im Kot pro Tag g	Fett verdaut g	Brennwert der Nahrung W. E.	Brennwert des Kotes pro Tag W. E.	Brennwert der verdauten Nahrung W. E.	Brennwert des Harns W. E.	Physiolog. verwertete Energie d. Nahrung W. E.	Brennwert der resorbierten Nahrung pro Kilo W. E.											
Berlin 10. IV. 1901	70.775	Laboratoriumsarbeit	11.88	0.46	11.43		0.22 ²⁾	12.94	-1.73	107.0	2.45	104.6	2973.7	124.8	2864.8														
11. "	71.290		12.06		10.21	1043	0.23	10.69	-0.71				2989.6																
12. "	71.585		12.04	1.86	10.18	1040	0.22	9.47	+0.49				2978.8																
13. "	71.695		12.17		10.32	950	0.21	9.18	+0.79				3002.6																
Mittelwert 12. u. 13. IV.	71.69		12.21		10.25	1011	0.21	9.28	+0.64				107.0						104.6	2991		2866			40.0				
Berlin 14. IV. 01	71.700	Kotabgrenzung. Marsch 20 km 4 Std. 44 Min. Marsch 10 km 2 Std. Abends 5 km Tretbahnversuch, dann Marsch 18 km 4 Std. 17 Min. Marsch 3 Stunden 18 Minuten Radfahrt im Ganzen 75.9 km, i. Mittel 15 km. d. Std. Marsch ca. 20 Kilometer. Radfahrt. Marsch 3 Std. 15 Min. 1/2 Std. Pause. Tretbahnvers. Kotabgrenzung	12.75	2.82	9.93	1218	0.26			155.0	3.71	151.4	3750.2	201.2	3549.0														
15. "	71.195		12.76		9.94	1541	0.33	10.00	-0.39				3753.2																
16. "	71.103		12.67		9.85	0.46 ³⁾	10.32	-0.93	3734.9																				
17. "	70.965		12.65		9.83	0.46 ³⁾	9.58	-0.21	3741.0																				
18. "	71.588		12.76		10.10	2095	0.45	11.24	-1.59				3753.2																
19. "	71.103		12.83		10.17	2175	0.47	11.61	-1.91				3739.3																
20. "	71.345		12.51		9.84	2440	0.53	11.24	-1.93				3707.5																
21. "	71.790																												
Mittelwert der Periode 14.—20. IV.	71.47		12.70			9.95	1894	0.42	10.66				-1.16						155.0	151.4	3740		3549			49.7			
Brienz 5. VIII. 01	68.022		Kisten ausgepackt. Labor.-Arb. Kühles Wetter Laboratoriumsarbeit. Ruheversuche. Schwimmen Schwimmv., danach stark. Fröst., müde; Spazierg. Radfahrt Brienz—Meiringen. Schwimmversuch Marschversuche. Warmes Wetter Marschversuche. Sehr ermüdet. Warmes Wetter Kühl. Nebel. Kotabgrenzung. Leichte Arbeit		18.43	1.14	17.29		0.31 ³⁾				18.72						-1.74	160.1	3.89	164.2	156.2	105.8	3479.1	147.9	3373.3	142.4	3230.9
6. "	68.022				18.59		17.45	0.31 ³⁾	16.62				+0.52						171.5				167.6		3432.4				
7. "	68.165	18.75		17.60	967		0.23 ⁴⁾	17.73	-0.36	172.0	168.1	3508.4																	
8. "	68.522	18.38		17.23	1730		0.40	13.77	+3.06	168.8	164.9	3456.9																	
9. "	68.075	18.41		17.27	2038		0.48	16.33	+0.46	168.1	164.2	3472.0																	
10. "	67.949	18.39		17.25	1228		0.29	17.31	-0.35	168.4	164.5	3464.3																	
11. "	68.417	18.34		17.71	1663		0.15	16.71	-0.23	168.8	164.1	3451.0																	
Mittelwert Periode I 5.—11. VIII.	68.29	18.47			17.25		1322	0.31	16.74	+0.20	168.2	164.2	3466		3354	128	3223	49.1											
Rothorn 12. VIII. 01	68.610	Auffahrt. Kühl. Nebel. Laborator.-Einrichtung Kühl. Nebel. Ruheversuche. Marschversuche Kühl. Nebel. Marschversuche		18.24	1.71		16.52	1414	0.21	17.37	-1.06	164.3	4.67	159.6	3414.4	147.9	3266.5	138.1	3128.4										
13. "	67.750			18.10			16.38	525	0.08	16.67	-0.47				164.6		159.9		3381.7										
14. "	68.780			18.13			16.41	1343	0.90	15.13	+1.08				165.3		160.6		3390.5										
Mittelwert Periode IIa Ruhezeit 12.—14. VIII.	68.05		18.16			16.44	1094	0.16	16.39	-0.45	164.7				160.0		3395			3247	130.3	3117	47.7						
Rothorn 15. VIII. 01	67.970	Klar, später Nebel u. kühl. Marsch bergauf 3 Std. Nebel. Reif. Kaltes Wetter. Bergauf 2 1/2 Std. Oben Wind, kalt. Unten wärm. Bergauf 2 3/4 Std. Sonne. Ost-Wind. Nur Marschversuche, ermüdend	18.87	1.71	17.15	1728	0.39	15.47	+1.29	183.0	4.67	178.3	4021.5	147.9	3873.6	124.4	3749.2												
16. "	68.150		18.76		17.04	1858	0.42	15.14	+1.48				183.5		178.8		4022.2												
17. "	68.530		18.86		17.15	1964	0.44	14.13	+2.58				184.1		179.4		4027.8												
18. "	68.220		18.47		16.76	994	0.22	14.87	+1.67				166.3		161.6		3449.8												
Mittelwert Periode IIb Kleine Märsche 15.—18. VIII.	68.22		18.74			17.00	1636	0.37	14.83				+1.75		179.2		174.5	3880		3732	119.8	3613	54.8						
Rothorn 19. VIII. 01	68.440	Sehr warm. Bergauf 3 Stunden Bergauf 3 Std.; dann Spaziergang ca. 2 Std. Warm. Bergauf 3 1/2 Stunden Sehr warm. Bergauf 4 Stunden Sehr warm. 5 Stunden Marschversuche	19.26	1.71	17.55	2776	0.81	16.65	+0.09	186.2	4.67	181.5	4057.3	147.9	3909.4	133.9	3775.5												
20. "	68.240		19.11		17.40	2796	0.82	15.61	+0.97				186.0		181.3		4047.6												
21. "	68.150		18.90		17.19	2601	0.76	14.60	+1.83				184.6		179.9		4048.0												
22. "	68.015		18.92		17.20	2846	0.83	17.22	+0.85				184.9		180.2		4052.5												
23. "	67.995		18.52		16.81	1205	0.35	15.91	+0.55				165.0		160.3		3421.9												
Mittelwert Periode IIc Grosse Märsche 19.—23. VIII.	68.17		18.94			17.23	2445	0.71	16.0				+0.86		181.3		176.6	3926		3778	128.6	3649	55.4						
Brienz 24. VIII. 01	68.500	Schwül. Kotabgrenzung. Marschversuche Spaziergang nach Gießbach Kühl, regnerisch. Marschversuche Marschversuche. Kühl Kühl. Nur Ruheversuche. Einpacken	18.54	1.44	17.10	1230	0.19	16.57	+0.34	164.2	4.64	159.6	3434.0	132.7	3301.3	129.1	3172.2												
25. "	68.430		19.15		17.71	1362	0.21	13.37	+4.13				183.1		178.5		4023.0												
26. "	68.660		18.52		17.08	1672	0.25	16.44	+0.39				165.0		160.4		3421.9												
27. "	68.425		19.21		17.77	943	0.14	15.36	+2.27				174.3		169.7		3579.6												
28. "	68.090		19.08		17.64	798	0.12	16.01	+1.51				174.6		170.0		3546.8												
Mittelwert Periode III 24.—28. VIII.	68.42		18.90			17.46	1201	0.18	15.55				+1.73		172.2		167.6	3600		3588	121.2	3467	52.4						
Monte Rosa 1. IX. 01	67.300	Kotabgrenzung; bis Abmarsch ständige Hast. In Sonnenglut bis Col d'Olen Nach Gnifetihütte Von Gnifetti auf Margheritahütte. Bergkrankheit	16.26	1.20	15.06	2992 ⁵⁾	0.51	14.928	-0.37	169.2	5.05	80.6	3520.6	117.4	3403.2														
2. "	—		15.20		14.00	1590 ⁵⁾	0.27	14.285	-0.56				143.1		3109.7														
3. "	—		15.42		14.22	1537 ⁵⁾	0.26	— ⁶⁾	—				85.6		2463.5														
Monte Rosa 4. IX. 01	65.840	Leichte Arbeit in der Hütte. Bergkrankheit Laboratoriumsarbeit " " " " Marschversuche auf Gletscher " " " " " "	10.91	1.20	9.71	741	0.13	13.18	-3.60	57.4	5.05	52.4	2103.0	117.4	1985.6	118.1	1867.5												
5. "	66.317		10.76		9.56	985	0.17	13.13	-3.74				147.8		142.0		2282.9												
6. "	66.140		7.36		6.16	772	0.13	11.78	-5.75				77.7		72.7		1929.4												
7. "	65.790		8.70		7.50	863	0.15	11.69	-4.34				113.1		108.1		2418.7												
8. "	65.580		7.71		6.51	1086	0.19	9.32	-3.00				87.3		82.3		2130.0												
9. "	65.330		8.47		7.27	676	0.12	10.20	-3.05				79.2		74.2		2045.0												
Mittelwert Periode IV 4.—9. IX.	65.83		8.99			7.79	854	0.15	11.55				-3.91		93.7		88.7	2151		2034	105.1	1929	31.0						

¹⁾ Eine Bestimmung am 19. IV. ergab 0.22 g Stickstoff pro kg Perspiration und 0.30 pro kg Schweiß. ²⁾ Geschätzt. ³⁾ Mittel aus den Werten vom 7. und 8. VIII.
⁴⁾ 1000 g Schweiß enthielten am 10. VIII: 0.438 g Stickstoff, 20. VIII: 0.409 g Stickstoff, daraus der Mittelwert 0.424 g. ⁵⁾ Täglicher Gewichtsverlust geschätzt aus Differenz der Körpergewichte am 1. u. 4. IX. Entsprechend der Kalorienzufuhr auf 1. u. 2. IX. je 1/4, auf 3. IX. 1/2 des Gewichtsverlustes gerechnet. ⁶⁾ Verloren.

Tabelle V.

Caspari, Übersichtstabelle des Stoffwechsels.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19																		
Ort und Datum	Körpergewicht 6 ^h früh kg	Beschäftigung und Wetter	Stickstoffeinnahme g	Kotstickstoff pro Tag g	Verdauter Stickstoff g	Perspiration insensibilis in 24 Std. g	Stickstoffabgabe durch die Haut ³⁾ g	Harnstickstoff g	Stickstoffbilanz g	Fetteinnahme g	Fett im Kot pro Tag g	Fett verdaut g	Brennwert der Nahrung W. E.	Brennwert des Kotes pro Tag W. E.	Brennwert der verdauten Nahrung W. E.	Brennwert des Harns W. E.	Physiolog. verwertete Energie d. Nahrung W. E.	Brennwert der resorbierten Nahrung pro Kilo W. E.																		
Berlin 14. XII. 1900	66.25	Sehr anstrengende Laboratoriumsarbeit. Nur kurze Zeit im Freien. Kurze Nachtruhe. Allgemeinbefinden gut	13.26	1.16	12.10					13.36	-1.51	128.5	4.13	124.4	3186.9	82.8	3104.1	115.8	2988.3																	
15. "	66.12																																			
16. "	66.12																																			
17. "	66.025																																			
18. "	65.918																																			
Mittelwert 14.-18. XII.	66.08		13.26		12.10					11.85	+0.26			3187		3104		2988	46.99																	
Berlin 19. XII. 00	66.05	Sehr anstrengende Laboratoriumsarbeit. Nur kurze Zeit im Freien. Kurze Nachtruhe. Allgemeinbefinden gut	10.114	1.19	8.92					10.82	-1.92	132.0	4.90	127.1	3263.5	104.1	3159.4	75.55																		
20. "	65.40																																			
21. "	65.318																																			
22. "	65.075																																			
23. "	64.970																																			
Mittelwert 19.-23. XII.	65.36		10.11		8.92					9.75	-0.82			3263		3159		3084	48.47																	
Brienz 5. VIII. 01	—	Laboratoriumsarbeit. Kühles Wetter	16.85	1.03	15.82	1616.5 ¹⁾	0.64 ¹⁾	14.65	+0.53	140.30	5.01	135.29	3027.7	111.0	2916.7	131.6	2785.1																			
6. "	65.015																																			
7. "	64.785																																			
8. "	64.711																																			
9. "	64.900																																			
Mittelwert 5.-10. VIII. Periode I	64.70		16.89		15.86	1754.5	0.69	14.30	+0.87	138.40	4.92	133.48	3070		2959	128.4	2831		45.74																	
Brienz 11. VIII. 01	64.895	Kotabgrenzung. 1 Std. Rudern. Nachts Zahnschmerzen, schlecht geschlafen	16.81	1.33	15.48	1294	0.52	15.02	-0.04	137.22	4.89	132.33	3063.9	144.1	2919.8	137.2	2782.6																			
12. "	64.710																																			
13. "	64.500																																			
14. "	64.607																																			
Mittelwert 11./14. VIII. Periode IIa	64.68																			16.68		15.35	1701	0.68	13.68	+1.0	134.65	4.81	129.84	3049		2905	124.9	2780		44.91
Brienz 15. VIII. 01	64.640	Marsch 5 ¹ / ₄ Std. Regen, dann Nebel und Sonne	17.13	1.33	15.80	2481	1.02	12.95	+1.83	145.86	5.20	140.66	3433.9	144.1	3289.8	140.3	3149.5																			
16. "	64.840																																			
17. "	64.428																																			
18. "	65.085																																			
Mittelwert 15./18. VIII. Periode IIb	64.75																			17.20		15.87	2172	0.89	13.89	+1.06	146.35	5.22	141.13	3442		3298	150.6	3147		50.93
Brienz 19. VIII. 01	65.130	Marsch b. Rothorn-Kulm, v. Geltried b. Hausstadt. per Bahn. Vorher Marsch. Rückfahrt p. Bahn	17.75	1.33	16.42	2950	1.25	13.19	+1.98	162.64	5.96	156.68	3971.4	144.1	3827.3	142.9	3684.4																			
20. "	65.285																																			
21. "	65.265																																			
22. "	64.835																																			
Mittelwert 19./22. VIII. Periode IIc	65.13																			17.62		16.29	2407	1.02	14.36	+0.91	158.57	5.69	152.88	3699		3555	155.7	3399		54.58
Brienz 23. VIII. 01	64.140	Kotabgrenzung. Nachm. Auffahrt auf Rothorn	16.86	1.12	15.74	1568	0.43	15.25	+0.06	134.07	3.83	130.24	2920.4	106.5	2813.9	165.3	2648.6																			
24. VIII. 01	64.343																																			
25. "	64.365																																			
26. "	64.100																																			
Mittelwert 23./28. VIII. Periode III	64.13																			17.02		15.90	1276	0.35	15.38	+0.23	140.64	4.05	136.59	3154		3047	136.4	2911		47.51
29. VIII. 01	63.996	Rückkehr nach Brienz. Kotabgrenzung	17.83	—	—	—	—	—	—	154.39	—	—	3110.7	—	—	—	—	—																		
30. "	—																																			
31. "	—																																			
Monte Rosa 1. IX. 01	64.025	Abgrenzung. Vor Abmarsch hastige Arbeit. Aufstieg bis Col d'Olen. Große Hitze.	15.33	—	—	1190	—	12.84	—	144.03	—	—	3526.3	—	—	—	—	—																		
2. "	—																																			
3. "	—																																			
Margherita-Hütte 4. IX. 01	62.830	Dyspnoe u. Kopfschmerz geringer. Nachmitt. 2 Std. Schlaf. Appetitlos. Sturm, Nebel Bessrg. Ger. Appet. Abds. klar. Nachts s. kalt. Analysenarbeit, Kälte. Geringer Appetit Dasselbe. Herrl. Wetter, später Schnee u. Nebel Marschvers. auf Gletsch. i. Sonne, sehr anstr.: 4 St. Befinden leidlich, doch gering. Appetit. Marschversuche. Rückkehr mit kleiner Kletterei	3.91	1.06	2.85	702	— ²⁾	11.93	-9.08	16.57	2.12	14.45	820.5	99.5	721.0	118.7	602.3																			
5. "	62.380																																			
6. "	61.350																																			
7. "	60.850																																			
8. "	60.250																																			
9. "	60.270																																			
Mittelwert 4.-9. IX. Periode IV.	61.32																			6.52	1.77	4.75	1305	—	10.38	-5.63	59.53	7.59	51.94	1450	174.5	1275	96.1	1275		20.79

¹⁾ Mittelwerte geschätzt aus den Zahlen des 7. und 8. August (bei gleicher Arbeit und Witterung). ²⁾ Schweißstickstoff hier nicht berechnet, da kein Stickstoffgleichgewicht bestand und Berechnung bedeutungslos wäre. ³⁾ Eine Bestimmung am 17. VIII. in Brienz: Pro kg Schweiß 0.574 g Stickstoff.

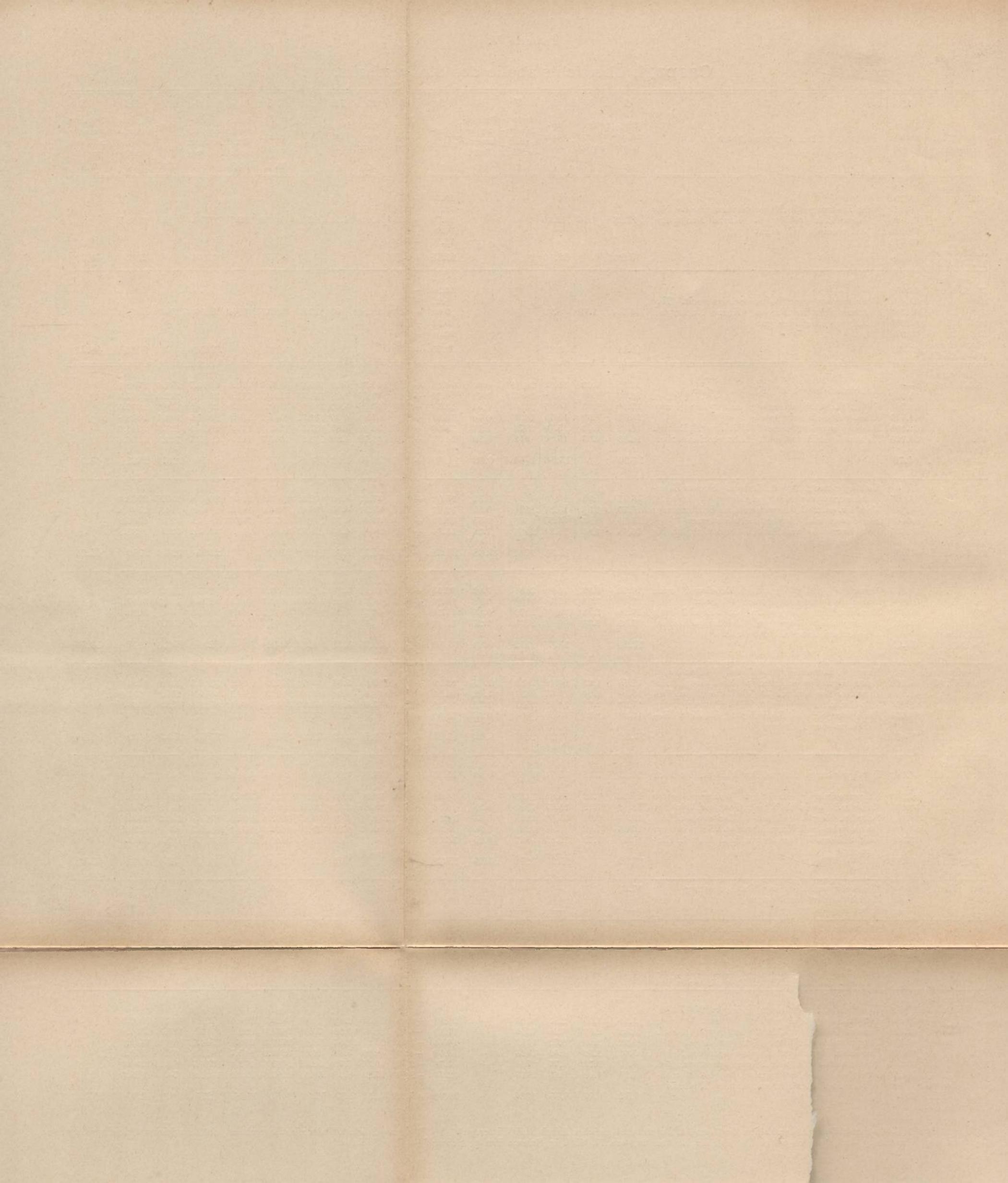


Tabelle VI.

Müller, Übersichtstabelle des Stoffwechsels.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19								
Ort und Datum	Körpergewicht 6 ^h früh kg	Beschäftigung und Wetter	Stickstoffaufnahme g	Kotstickstoff pro Tag g	Verdauter Stickstoff g	Perspiration insensibilis in 24 Std. g	Stickstoffabgabe durch die Haut ¹⁾ g	Harnstickstoff g	Stickstoffbilanz g	Fettein-nahme g	Fett im Kot pro Tag g	Fett verdaut g	Brennwert der Nahrung W. E.	Brennwert des Kotes pro Tag W. E.	Brennwert der verdauten Nahrung W. E.	Brennwert des Harns W. E.	Physiolog. verwertete Energie d. Nahrung W. E.	Brennwert der resorbierten Nahrung pro Kilo W. E.								
Berlin 14. XII. 1900	73.772	Kotabgrenzung. Lab.-Arb. Schritte am Tage: 8976	13.20	1.797	11.40	1070	0.15 ⁴⁾	14.24 ²⁾	-2.99	142.4	2.27	140.1	2829.5	149.5	2680.0	122.0	2558.8	35.7								
15. "	73.692		13.17		11.38		0.16	12.56	-1.34				2794.6		2645.1	107.6	2537.5									
16. "	73.730		13.14		11.35		0.15 ⁴⁾	11.77	-0.57				2764.9		2615.4	100.9	2514.5									
17. "	73.426		13.15		11.36		0.15	10.73	+0.48				2771.6		2622.1	92.0	2530.1									
Wert vom 17. XII.	73.43		13.15		11.36		0.15	10.73	+0.48				142.4		140.1	2772	2622		92.0	2530						
Berlin 18. XII. 00	73.500	Kotabgrenz. 3 ^{1/3} Std. Marsch. Schritte a. Tg.: 33455	13.17	1.498	11.67	1095	0.17	10.80	+0.70	171.8	3.20	168.6	3201.1	109.8	3091.3	92.6	2998.7	41.7								
19. "	73.407		13.14		11.64		0.30	11.14	+0.20				3233.5		3123.7	94.25 ³⁾	3029.5									
20. "	73.844		13.15		11.65		0.34	10.86	+0.45				3235.7		3125.9	94.25 ³⁾	3031.7									
21. "	74.041		13.01		11.51		0.43	10.80	+0.28				3214.4		3104.6	92.6	3012.0									
22. "	73.725		13.29		11.79		0.24	10.37	+1.18				3261.7		3151.9	88.9	3063.0									
23. "	73.903	12.94	11.44	0.43	10.92	+0.09	2989.0	2879.2	93.6	2785.6																
24. "	73.535	Kotabgrenzung																								
Mittelwert der Periode 18-23. XII.	73.78		13.12		11.62	1567	0.32	10.81	+0.48	171.8		168.6	3189		3079	92.7	2987	41.7								
Brienz 5. VIII. 01		Kotabgrenzung. Regnerisch. Auspacken d. Kisten Laboratoriumsarbeit. Rudern Bedeckt. Regen Schönes, kühles Wetter Sehr warm. Marschversuche anstrengend. Bad Marschversuche bequemer. Warm. Bad Kotabgrenzung. Kühl. Einpacken der Kisten. Sehr anstrengend	16.36	1.59	14.77	1735	0.36 ⁴⁾	13.67	+0.74	136.8	5.12	137.3	2828.5	130.34	2698.2	134.6	2563.6	38.7								
6. "	72.400		16.30		14.71		0.36	13.31	+1.04				137.7		132.6	2978.6	2848.3		131.0	2717.3						
7. "	72.780		16.74		15.15		1848.0	0.40	13.02				+1.73		138.4	133.3	2975.6		2845.3	128.3	2717.0					
8. "	72.537		16.23		14.64		1536.0	0.33	14.33				-0.02		135.1	130.0	2899.0		2768.7	141.1	2627.6					
9. "	72.415		16.28		14.69		2544.0	0.55	12.06				+2.08		134.3	129.2	2917.1		2786.8	102.7	2684.1					
10. "	71.619	16.34	14.75	2071.2	0.45	13.49	+0.81	134.6	129.5	2924.1	2793.8	114.9	2678.9													
11. "	71.707	16.31	15.26	676.8	0.15	14.97	+0.14	135.1	132.8	2913.8	2817.8	127.5	2690.3													
Mittelwert Periode I 5.-11. VIII.	72.24		16.37		14.78	1735	0.37	13.55	+0.93	136.8		131.9	2918		2794	125.7	2668	38.7								
Rothorn 12. VIII. 01	72.065	Kühl, Nebel. Auffahrt. Auspacken Kühl, Nebel. Marschversuche Kühl, Nebel. Marschversuche	16.25	1.07	15.18	1287	0.11	15.42	-0.35	131.6	3.70	127.5	2878.2	95.96	2782.2	123.7	2658.5	37.8								
13. "	71.822		16.12		15.05		1096.8	0.15	15.03				-0.13		131.5	127.8	2767.9		2671.9	120.5	2551.4					
14. "	71.290		16.19		15.12		1956.0	0.26	15.03				-0.17		132.2	128.5	2784.1		2688.1	120.5	2567.6					
Mittelwert Periode IIa Ruhezeit 12.-14. VIII.	71.73				16.18			15.12	1287				0.17		15.16	-0.22	131.6			127.9	2810		2714	121.6	2592	37.8
Rothorn 15. VIII. 01	71.260		3 ^h bergauf, halber Berg. Kühl 2 ^{1/2} ^h bergauf. Reif. Kalt 2 ^{3/4} ^h Marsch bergauf. Ob. kalt. Nebel. Unt. schwül Sehr warm. Marschversuche		16.91		1.07	15.84	2021				0.37		14.90	+0.57	154.7		3.70	155.2	3537.1	95.96	3441.1	120.5	3320.6	45.8
16. "	71.222	16.80		15.73	1574.4	0.29		14.86		+0.58	164.1	160.4	3509.2	3413.2	120.2	3293.0										
17. "	71.680	16.87		15.80	2688.0	0.50		14.85		+0.45	164.7	161.0	3517.7	3421.7	120.1	3301.6										
18. "	71.470	16.45		15.38	1797.6	0.33		15.18		-0.13	131.2	127.5	2906.4	2810.4	122.8	2687.6										
Mittelwert Periode IIb Kleine Märsche 15.-18. VIII.	71.41			16.76		15.69		2021		0.37	14.95	+0.37	154.7		151.0	3363					3272		120.9	3151	45.8	
Rothorn 19. VIII. 01	71.450	S. heiß. Brienz-Kulm ^{4h} , dabei 1 ^h Paus., kurze Bahnf. 3 ^h Marsch vormitt., 1 ^{1/2} ^h Spazierg. nachmitt. Kühl. Heiß. 3 ^{1/2} ^h bergauf 4 ^h bergauf. Warm Sehr warm. Marschversuche	17.18	1.07	16.11	3096	0.83	14.03	+1.25	157.2	3.70	160.6	3519.0	95.96	3423.0	113.5	3309.5	46.2								
20. "	71.550		17.10		16.03		3264.0	0.76	16.87				-1.60		164.2	160.5	3521.1		3425.0	136.5	3288.5					
21. "	71.350		16.92		15.85		3098.4	0.72	15.87				-0.74		162.6	158.9	3523.9		3427.9	128.3	3299.6					
22. "	71.420		16.92		15.85		3504.0	0.82	14.49				+0.54		162.9	159.2	3524.5		3428.5	117.2	3311.3					
23. "	71.420		16.40		15.33		2060.5 ⁵⁾	0.48	16.43				-1.58		132.0	128.3	2885.9		2789.9	132.9	2657.0					
Mittelwert Periode IIc Große Märsche 19.-23. VIII.	71.44		16.90		15.83	3096	0.72	15.54	-0.43	157.2		153.5	3395		3299	125.7	3173	46.2								
Brienz 24. VIII. 01		Kotabgrenzung. Schwül. Marschversuche Angenehm warm. Spaziergang nach Gießbach Kühl. Regen. Marschversuche Kühl. Nebel. Marschversuche Kühl. Halbbedeckt. Laboratoriumsarbeit	16.40	0.91	15.49	1878	0.41	14.83	+0.25	134.3	3.05	128.2	2892.2	75.65	2816.6	114.9	2701.7	40.1								
25. "	71.450		16.41		15.50		2076.0	0.41	14.69				+0.40		131.5	128.5	2885.9		2810.3	113.8	2696.5					
26. "	71.437		16.42		15.51		1699.2	0.34	14.26				+0.91		132.0	129.0	2885.9		2810.3	110.5	2699.8					
27. "	71.550		16.89		15.98		1605.6	0.32	14.46				+1.20		138.3	135.3	2997.9		2922.3	112.0	2810.3					
28. "	70.780		16.93		16.03		1951.2	0.39	17.43				-1.79		138.6	135.6	2997.6		2922.0	135.1	2786.9					
Mittelw. d. III. Periode 24.-28. VIII.	71.30		16.61		15.70	1878	0.37	15.13	+0.19	134.3		131.3	2932		2856	117.5	2739	40.1								
Col d'Olen 1. IX. 01	70.026	Früh gehetzte Tätigkeit. Aufstieg: Gressoney bis Col d'Olen. Heiß Kühl. Kotabgrenzung Früh Gewitter mit Hagel, dann Nebel, kühl Kalt, feucht, Nebel. Marschversuche Kalt. Nebel u. Sonne wechselnd. Marschversuche Kopfschmerz. Magenbeschwerden Kotabgrenzung		1.18	1708.8	1173	0.07	10.74		132.1	3.59	94.3	3601.1	93.76	3507.3	93.1	3414.2	46.4								
2. "			15.04		13.86		1708.8	0.07	15.42				-1.63		132.3	128.7	3359.6		3265.8	133.6	3132.2					
3. "	70.260		14.09		12.91		391.2	0.02	14.03				-1.14		132.4	128.8	3352.3		3258.5	121.6	3136.9					
4. "	70.940		15.04		13.86		950.4	0.04	13.29				+0.53		132.3	128.7	3359.6		3265.8	115.2	3150.6					
5. "	70.840		15.04		13.86		1180.8	0.05	14.05				-0.24		132.3	128.7	3359.6		3265.8	101.0	3164.8					
6. "	69.960	15.04	13.86	1096.8	0.04	12.26	+0.56	131.1	127.5	3354.7	3260.9	88.2	3172.7													
7. "	69.640	Kotabgrenzung																								
Mittelw. d. IV. Periode 2.-6. IX.	70.28		14.85		13.67	1173	0.05	13.81	-0.38	132.1		128.5	3357		3263	110.9	3151	46.4								

1) Mittelwert aus 3 Versuchen 0.321 g Stickstoff in 1 kg Schweiß.

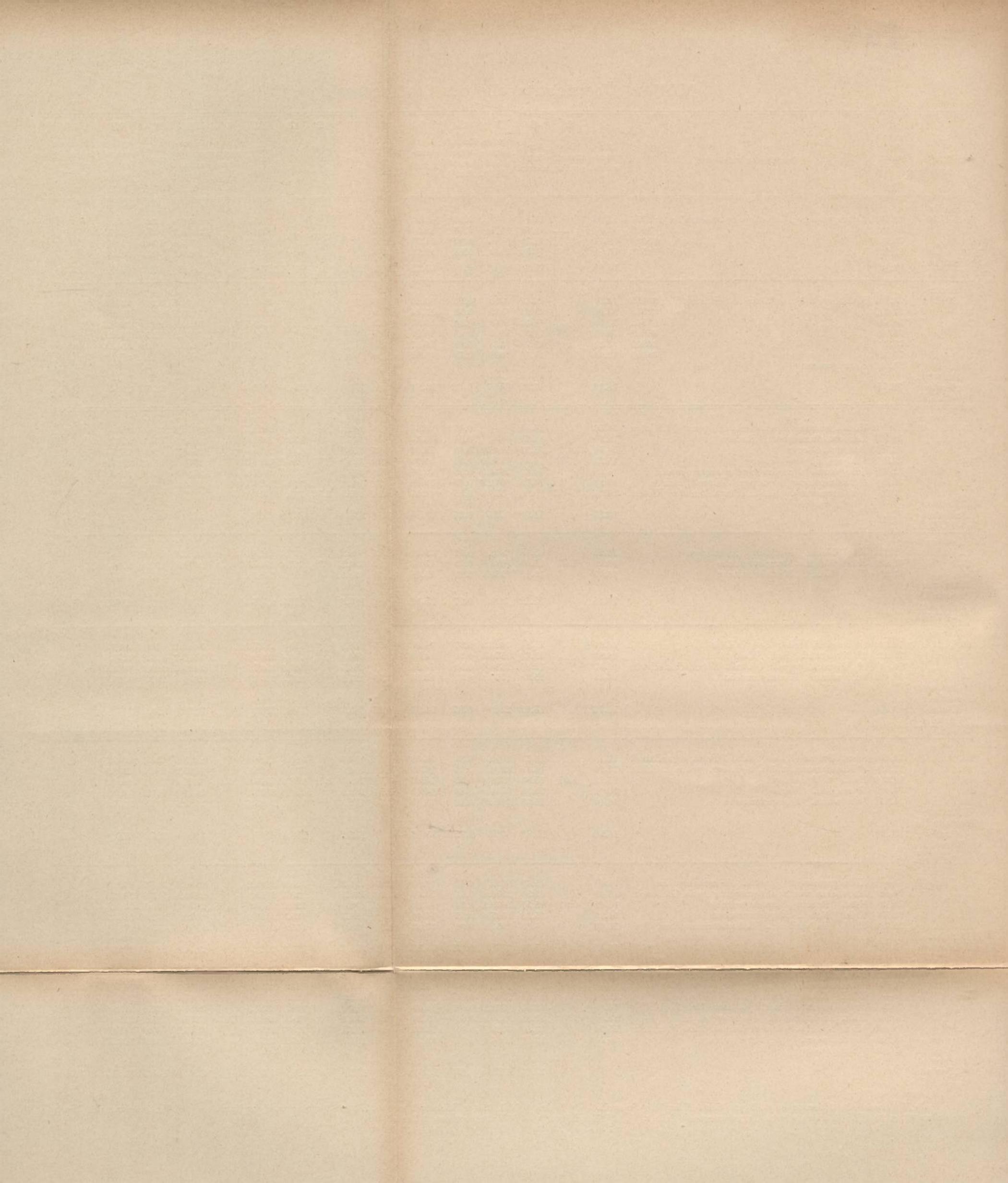
2) Am 9. XII. 15.4 g Stickstoff, am 10. XII. 18.2 g Stickstoff im Harn.

3) Verbrennung des Misch-

harns vom 19. u. 20. XII. 00, den anderen Tagen zugrunde gelegt.

4) Geschätzt.

5) Mittelwert von 2 Tagen.



Loewy, Übersichtstabelle des Stoffwechsels.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19																		
Ort und Datum	Körpergewicht 3 ^h früh kg	Beschäftigung und Wetter	Stickstoffeinnahme g	Kotstickstoff pro Tag g	Verdauter Stickstoff g	Perspiration insensibilis in 24 Std. g	Stickstoffabgabe durch die Haut ⁴⁾ g	Harnstickstoff g	Stickstoffbilanz g	Fetteinnahme g	Fett im Kot pro Tag g	Fett verdaut g	Brennwert der Nahrung W. E.	Brennwert des Kotes pro Tag W. E.	Brennwert der verdauten Nahrung W. E.	Brennwert des Harns W. E.	Physiolog. verwertete Energie d. Nahrung W. E.	Brennwert der resorbierten Nahrung pro Kilo W. E.																		
Berlin 14. XII. 1900	59.965	Laboratoriumsarbeit	12.94	2.529	11.41	}	0.06 ³⁾	13.77	-2.42	149.8	-	-	2916.2	195.5	2720.7	101.0 ¹⁾	2619.7	45.5																		
15. "	59.805		12.94		11.41			11.52	-0.17				2916.2				2636.2																			
16. "	59.615		12.94		11.41			11.03	+0.32				2916.2				2639.8																			
17. "	59.780		12.94		11.41			10.31	+1.04				2916.2				2645.1																			
Wert vom 17. XII.	59.78		12.94		11.41			11.66	+1.04				2916				2645																			
Berlin 18. XII. 01	59.785	Kotabgrenzung; 3 ^{1/2} Stunden-Marsch	15.04	1.437	13.60	}	0.06 ³⁾	10.52	+2.06	167.3	-	-	3705.3	124.5	3580.8	86.4 ²⁾	3494.4	59.9																		
19. "	59.445	4 ^h 20 Minuten Marsch	15.04					11.11	+2.43				3705.3				3489.5																			
20. "	59.710	4 ^h "	15.04					11.47	+2.07				3705.3				3486.6																			
21. "	59.850	4 ^h "	15.04					11.29	+2.25				3705.3				3488.0																			
22. "	60.010	4 ^h "	15.04					11.29	+2.25				3705.3				3488.1																			
23. "	59.995	4 ^h "	15.04					11.00	+2.54				3705.3				3490.5																			
24. "	59.380	Kotabgrenzung	15.04					11.11	+2.27				3705				3489																			
Mittelwert der Periode 18.-23. XII.	59.74		15.04		13.60		0.16	13.66	+0.83	147.6		141.5	2869		2740	119.4	2614	45.2																		
Brienz 5. VIII. 01		Kotabgrenzung. Laboratorium eingerichtet	16.09	1.73	14.36	}	0.14 ⁴⁾	15.34	-0.84	6.12	-	-	145.0	128.4	2736.5	139.9	2596.6	45.2																		
6. "	60.820	Laboratorium eingerichtet	16.78					15.05	962				0.11				13.82		+1.34	150.6	144.4	2921.3	2792.9	126.0	2666.9											
7. "	60.695	Regen. Laboratoriumsarbeit. Schwimmbad	16.36					14.63	1517				0.17				13.82		+1.34	150.6	144.4	2921.3	2792.9	126.0	2666.9											
8. "	60.470	Kühles Wetter. Rudern. Schwimmbad	15.92					14.19	1195				0.12				13.19		+1.12	140.1	134.0	2842.1	2713.7	120.3	2593.4											
9. "	60.960	Warm. Marschversuche. Rudern	16.02					14.29	2479				0.27				13.82		+1.34	150.6	144.4	2921.3	2792.9	126.0	2666.9											
10. "	60.670	Warm. Marschversuche	16.00					14.27	1879				0.21				12.19		+2.29	145.2	139.1	2845.3	2716.9	102.0	2614.9											
11. "	60.290	Kotabgrenzung. Kühl. Rudern	15.95					14.10	1128				0.13				13.74		+0.23	148.1	141.8	2839.3	2704.6	108.6	2596.0											
Mittelwert Periode I 5.-11. VIII.	60.65		16.16						14.41				1527				0.16		13.66	+0.83	147.6		141.5	2869		2740	119.4	2614	45.2							
Rothorn 12. VIII. 01	60.510	Auffahrt. Kühl. Auspacken	15.90					1.85	14.05				}				0.07		12.68	+2.30	6.31	-	-	137.2	134.7	2661.1	101.7	2559.4	44.1							
13. "	60.470	Kühl. Marschversuche abends	15.88																14.03	1215				0.10				13.51		+0.42	143.6	137.3	2785.3	2650.6	108.3	2542.3
14. "	60.670	Kühl. Nebel. Marschversuche	15.93																14.08	1255				0.10				13.59		+0.39	144.4	138.1	2831.0	2696.3	109.0	2587.3
Mittelwert Periode IIa Ruhezeit 12./14. VIII.	60.55		15.90		14.05	1099	0.09			13.26	+1.04	143.9			137.5	2804			2669	106.3				2563				44.1								
Rothorn 15. VIII. 01	60.135	Marsch bergauf 3 Stunden. Kühl	16.57	1.85	14.72	}	0.22 ³⁾	13.78	+0.72	6.31	-	-	163.9	134.7	3167.7	119.0	3048.7	53.7																		
16. "	60.065	" " 2 " Kalt	16.55					14.70	1680				0.19				13.74		+0.77	174.5	168.2	3328.6	3193.9	118.7	3075.2											
17. "	60.100	" " 2 ^{3/4} " Unten schwül	16.73					14.88	2256				0.25				13.88		+0.75	175.1	168.7	3397.9	3263.2	119.9	3143.3											
18. "	59.985	Marschversuche. Warm	16.84					14.99	2023				0.22				13.71		+1.06	173.9	167.6	3415.6	3280.9	118.4	3162.5											
Mittelwert Periode IIb Kleine Märsche 15./18. VIII.	60.07		16.67						14.82				1986				0.22		13.78	+0.82	173.4		167.1	3381		3229	119.0	3117	53.7							
Rothorn 19. VIII. 01	60.000	Heiß. 4 Stunden bergauf mit 1 ^h Pause	17.00	1.85	15.15	}	0.32	13.71	+1.12	6.31	-	-	167.6	134.7	3319.7	118.4	3201.3	55.8																		
20. "	60.120	Früh 3 ^{1/2} St. bergan, kühl; nachm. 1 ^{1/2} St. Spazierg.	16.92					15.07	2734				0.33				15.00		-0.26	174.0	167.4	3464.9	3330.2	129.6	3200.6											
21. "	60.030	Heiß. 3 ^{1/2} h bergauf	17.25					15.40	2633				0.32				15.00		+0.08	172.8	166.5	3792.9	3658.2	129.5	3528.7											
22. "	60.120	Warm. 4 ^h bergauf	17.32					15.47	—				0.32 ³⁾				14.00		+1.15	173.2	166.9	3793.7	3659.0	121.0	3538.0											
23. "	60.070	Anstrengende Marschversuche	15.80					14.95	1661				0.20				15.92		-1.17	145.1	138.8	2894.6	2759.9	137.5	2622.4											
Mittelwert Periode IIc Grosse Märsche 19./23. VIII.	60.07		16.86						15.21				2421				0.30		14.73	+0.18	167.7		161.4	3480		3345	127.2	3218	55.8							
Brienz 24. VIII. 01	59.735	Kotabgrenzung. Schwül. Marschversuche	15.72	1.20	14.52	}	0.15	13.40	+0.97	4.83	-	-	139.0	95.7	2783.3	113.5	2669.8	47.2																		
25. "	59.941	Warm. Weg nach Gießbach	15.77					14.57	1973				0.21				14.12		+0.24	144.2	139.3	2873.5	2777.8	119.6	2658.2											
26. "	60.205	Kühl. Regen. Marschversuche	15.85					14.65	1210				0.13				13.65		+0.87	150.1	145.3	2905.4	2809.7	115.6	2694.1											
27. "	60.280	Kühl. Nebel. Marschversuche	15.86					14.66	1493				0.16				14.44		+0.06	143.9	139.0	3035.8	2940.1	122.3	2817.8											
28. "	59.685	Kühl. Laboratoriumsarbeit	15.70					14.50	—				0.13 ³⁾				13.40		+0.97	144.2	139.3	2934.1	2838.4	113.5	2724.9											
29. "	60.100	Kotabgrenzung	15.83					—	—				—				—		—	150.1	—	—	—	—	—											
Mittelwert Periode III 24./28. VIII.	59.99		15.78						14.58				1530				0.16		13.80	+0.62	145.2		140.4	2925		2829	116.9	2713	47.2							
Gressoney 1. IX. 01		Früh gehetzte Arbeit. Kotabgrenzung	14.01	1.29	12.72	}	0.4 ³⁾	12.17	+0.15	2.68	-	-	145.5	91.0	2826.3	118.2	2708.1	20.3																		
2. "		Von Gressoney nach Col d'Olen	13.89					12.60	—				0.2 ³⁾				13.78		-1.38	152.5	149.8	3104.4	3013.4	133.9	2879.5											
Monte Rosa 3. IX. 01		Von Gnifetti bis Margheritahütte. Bergkrankheit	3.66	1.29	2.37	}	0.06 ³⁾	13.04	-10.73	2.68	-	-	21.8	91.0	1058.3	126.7	931.6	29.9																		
4. "		Bergkrankheit	1.74					0.45	—				0.06 ³⁾				8.54		-8.15	12.1	9.4	1380.3	1289.3	80.4	1208.9											
Mittelwert Periode IVa 3. u. 4. IX.	etwa 58.0	Periode der starken Bergkrankheit	2.70						1.41								0.06		10.79	-9.44	18.3		15.6	1265		1174	103.5	1070	20.3							
Monte Rosa 5. IX. 01	57.507	Befinden bessert sich	6.21	1.29	4.92	}	0.08	7.80	-2.96	2.68	-	-	24.0	91.0	1753.9	73.6	1680.3	29.9																		
6. "	57.877	" besser	7.64					6.35	701				0.05				8.82		-2.52	78.1	75.5	1719.7	1628.7	83.1	1545.6											
7. "	57.902	" leidlich	6.59					5.30	1116				0.08				9.48		-4.26	84.4	81.7	1992.1	1901.1	89.4	1811.7											
8. "	57.742	" normal	6.25					4.96	1042				0.07				8.13		-3.24	71.8	69.1	1649.1	1558.1	76.7	1481.4											
9. "	57.932	(10. IX. früh Kotabgrenzung)	8.23					6.94	653				0.05				8.77		-1.88	80.8	78.1	1904.7	1813.7	82.7	1731.0											
Mittelwert Periode IVb 5.-9. IX.	57.79		6.98						5.69				934				0.07		8.60	-2.97	68.4		65.7	1820		1729	81.1	1650	29.9							

¹⁾ Verbrennung eines Gemisches der 4 Tage: 85.5 W. E. pro Tag; W. E. dem Stickstoffgehalt entsprechend verteilt. ²⁾ Verbrennung eines Gemisches der 3 ersten Tage; W. E. dem Stickstoffgehalt entsprechend verteilt. ³⁾ Geschätzt aus den Zahlen der Tage mit gleicher Beschäftigung und gleicher Witterung. ⁴⁾ Im Mittel von 3 Versuchen enthielt 1 kg Schweißwasser 0.1654 g Stickstoff. ⁵⁾ Verloren.

Tabelle VIII.

Zuntz, Übersichtstabelle des Stoffwechsels.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19							
Ort und Datum	Körpergewicht 6 ^h früh kg	Beschäftigung und Wetter	Stickstoffaufnahme g	Kotstickstoff pro Tag g	Verdauter Stickstoff g	Perspiration insensibilis in 24 Std. g	Stickstoffabgabe durch die Haut ¹⁾ g	Harnstickstoff g	Stickstoffbilanz g	Fettein-nahme g	Fett im Kot pro Tag g	Fett verdaut g	Brennwert der Nahrung W. E.	Brennwert des Kotes pro Tag W. E.	Brennwert der verdauten Nahrung W. E.	Brennwert des Harns W. E.	Physiolog. verwertete Energie d. Nahrung W. E.	Brennwert der resorbierten Nahrung pro Kilo W. E.							
Berlin																									
14. XII. 1900	68.327	Anstrengende Laboratoriumsarbeit. Viel herumgelaufen. Kurze Nachtruhe. Ziemlich angespannt	14.08	1.48	12.60	1575	0.35 ²⁾	12.58	-0.33	106.1	3.35	102.8	2810	103.8	2706	110.9	2595	36.4							
15. "	68.310		13.31		11.83		0.44	12.04	-0.65				2583		2479	106.1	2373								
16. "	68.170		13.23		11.75		0.29	11.95	-0.49				2562		2458	105.3	2353								
17. "	68.489		13.20		11.72		0.42	10.87	+0.43				2563		2459	95.8	2363								
18. "	68.109		13.18		11.70		0.26	10.43	+1.01				2558		2454	91.57	2363								
19. "	67.944		13.14		11.66		1439	0.40	10.35				+0.91		2549		2445		2354						
20. "	68.139		13.13		11.65		906	0.25	11.49				-0.09		2546	2442	101.3		2341						
Mittelwert 14.-20. XII.	68.21		13.32		11.82	1239	0.34	11.39	+0.11	106.1		102.8	2596		2490	100.4	2392								
Berlin																									
21. XII. 00	67.940	Ersatz von einem Teil des Fleisches durch Somatose	13.22	2.42	10.80	1204	0.33	10.49	-0.02	107.1	2.52	104.6	2563	138.1	2425										
22. "	67.819		13.26		10.84	1077	0.30	10.10	+0.44				2572		2434										
23. "	67.850		13.21		10.79	1177	0.33	10.28	+0.16				2560		2422										
24. "	67.771																								
Mittelwert 21.-24. XII.	67.84		13.23		10.81	1153	0.32	10.29	+0.19	107.1		104.6	2565		2427			35.77							
Brienz																									
5. VIII. 1901		Kotabgrenzung; Einrichten des Laboratoriums Wenig Bewegung (3900 Schritte) Schwimmbad; ⁵ / ₄ Std. bergauf (219 m) Schwimmen Marschversuche; Hitze, recht anstrengend 4 1/2 Stunden Marschversuche, sehr heiß! Dann Gewitter	15.63	1.42	14.21	1835	0.18 ⁴⁾	14.91		130.4	4.6	125.8	2776.0	124.2	2651.8	130.0	2521.8	39.2							
6. "	68.520 ³⁾		15.74		14.32			—	130.7				126.1		2835.4	2711.2	—								
7. "	68.197		15.97		14.55			0.36	12.80				+1.39		131.1	126.5	2826.3		2702.1	114.6	2587.5				
8. "	68.094		15.54		14.12			0.26	13.52				+0.34		128.3	123.7	2775.7		2651.5		2436.9				
9. "	68.380		15.57		14.15			2095	0.57				13.98		-0.40	127.5	122.9		2782.0	2657.8	121.9	2535.9			
10. "	67.965		15.59		14.17			2431	0.66				14.67		-1.16	127.5	122.9		2789.0	2664.8	127.9	2536.9			
Mittelwert 5.-10. VIII.	68.23				15.68				14.25				1502		0.41	13.98	+0.04		129.3		124.7	2797.4		2673.2	121.4
Brienz																									
11. VIII. 01	67.960	Kotabgrenzung. Regen. Lab.-Arbeit. 30' Rudern. Marschversuche Kühl, regnerisch Heiß. Bergauf 3 Std. bis 1500 m, recht ermüdend, zeitweise starker Schweiß	15.68	1.68	14.00	1533	0.44	16.19	-2.63	127.8	4.41	123.4	2790.9	129.4	2661.5	146.4	2515.1	38.8							
12. "	68.110		15.51		13.83	1429	0.41	13.30	+0.12				124.9		120.5	2756.4	127.8		2628.6 ⁵⁾	120.3	2508.3				
13. "	67.598		15.52		13.84	1241	0.36	14.22	-0.74				124.6		120.2	2740.4	127.0		2613.4	128.6	2484.8				
14. "	67.480		15.44		13.75	2392	0.68	12.21 ⁶⁾	+0.86				126.0		121.6	2749.0	127.4		2621.6	110.4	2511.2				
Mittelwert 11./14. VIII. Periode IIa	67.79				15.54		13.85	1649	0.47				13.98		-0.585	125.8			121.4	2759.2	127.9	2631.3	126.4	2504.9	
Brienz																									
15. VIII. 01	67.162	Marschversuche, zum Teil Regen, Nebel. Marsch bis Hausstadt 2 Std. Früh Rückenschmerzen. Marsch bis Hausstadt ⁷⁾ Laboratoriumsarb. weg. Rückenschm. u. wund. Fuß. Ausflug nach Meiringen, Rosenlani, Reichenbachfall, 700 m Steigung, ca. 4 Std. Marsch Abends: 7 1/2' Schwimmen.	16.13	1.84	14.29	2416	0.69	13.50	+0.10	134.7	4.41	130.3	3196.8	148.2	3048.6	122.1	2926.5	43.8							
16. "	67.240		16.05		14.22	1594	0.46	13.85	-0.09				135.0		130.6	3228.4	149.6		3078.8	125.3	2953.5				
17. "	67.558		16.13		14.30	1586	0.45	15.54	-1.70				109.9		105.5	2708.5	125.5		2583.0	140.5	2442.5				
18. "	67.525		16.33		14.50	2294	0.66	14.81	-0.97				135.2		130.8	3249.4	150.6		3098.8	133.9	2964.9				
Mittelwert 15./18. VIII. Periode IIb	67.37				16.16		14.33	1973	0.56				14.42		-0.665	128.7			124.3	3095.8	143.5	2952.3	130.4	2821.9	
Brienz																									
19. VIII. 01	67.610	Aufstieg 4 Std. bis Kulm, vorher Marschvers. Kühl, Wie gestern. Von Geltried bis Hausstadt Fahrt Wie gestern. Abstieg zu Fuß von Geltried ab Aufstieg zum Kulm ohne Bahn 5 1/2 Std. Abstieg zu Fuß von Geltried	16.13	1.85	14.28	3140	0.98	13.51 ⁸⁾	-0.21	154.7	4.41	145.5	3516.5	163.0	3353.5	122.2	3231.3	50.0							
20. "	67.345		16.34		14.49	2683	0.84	13.35	+0.30				154.5		150.1	3542.7	164.2		3378.5	125.5	3253.0				
21. "	67.393		16.34		14.49	2960	0.93	14.10	-0.54				153.7		149.3	3551.9	164.6		3387.3	125.5	3261.8				
22. "	67.650		16.37		14.52	2967	0.93	13.44	+0.15				154.0		149.6	3558.4	164.9		3393.5	125.5	3268.0				
Mittelwert 19./22. VIII. Periode IIc	67.50				16.30		14.44	2938	0.92				13.60		-0.05	154.2			148.6	3542.4	164.2	3378.2	124.7	3253.5	
Brienz																									
23. VIII. 01	67.510 ⁹⁾	Laboratoriumsarbeit. Kotabgrenzung. Auffahrt auf Rothorn	15.65	1.42	14.23	772	0.19	15.63	-1.59	125.8	4.57	121.2	2761.9	124.2	2637.7	134.1	2503.6	40.9							
24. VIII. 01	67.560		15.67		14.25	1003	0.25	13.01	+0.99				125.0		120.4	2771.1	124.2		2646.9	112.0	2534.9				
25. "	67.560		15.63		14.21	2019	0.50	12.30	+1.42				125.4		120.8	2759.0	124.2		2634.8	105.5	2529.3				
26. "	66.890		15.67		14.25	1054	0.26	13.48	+0.50				125.8		121.2	2764.9	124.2		2640.7	115.6	2525.1				
27. "	66.730		15.45		14.03	907	0.23	14.53	-0.73				136.5		131.9	3049.8	124.2		2925.6	124.7	2800.9				
28. "	66.605 ¹⁰⁾		16.00		14.58	797	0.20	14.72	-0.34				139.0		134.4	3082.0	124.2		2957.8	126.3	2831.5				
Mittelwert 23./28. VIII.	67.02				15.68		14.26	1092	0.27				13.95		+0.04	129.6			125.0	2864.8	124.2	2740.6	119.7	2620.9	
Rothorn																									
29. VIII. 01	66.828	Kotabgrenzung. 30.-31. VIII. Fahrt n. Gressoney Kotabgrenz. S. gehetzt, v. Gressoney b. Cold'Olen ¹¹⁾ Zur Gnifetthütte, geringe Anstrengung Zur Margheritahütte, Bergkrankheit	15.99	1.57	13.39	1339	0.90 ¹²⁾	10.75	+1.74	134.0	3.34	134.9	2991.0	141.0	2952.3	101.7	2850.6	40.6							
1. IX. 01	65.300		14.82		13.26		0.25 ¹³⁾	13.78	-0.77				134.8		131.5	3108.1	141.6		2966.5	130.4	2836.1				
2. "			8.74		1.15		7.59	0.25 ¹³⁾	—				—		93.2	89.9	2101.0		95.7	2005.3					
3. "																									
Mittelwert 1./3. IX.																									
Monte Rosa																									
4. IX. 01	63.560	Bergkrankheit. Sturm, Nebel. Nacht schlecht Klarer. Befinden besser Klares Wetter. Befinden fast normal. Nachtr. schl. Laboratoriumsarbeit Marschversuche auf Schneefeld. Nacht schlecht Kotabgrenzung	6.93	1.01	5.92	1100	0.15	—	—	39.7	3.34	36.4	1551.3	70.7	1480.6	131.3	2128.7	38.5							
5. "	64.100		9.81		1.45	8.37	1252	0.17	13.01				-4.81		91.3		88.0		2367.9	107.9	2260.0				
6. "	63.090		10.85		1.69	9.16	601	0.00	11.31				-2.15		109.5		106.2		2546.0	116.0	2430.0				
7. "	63.790		9.59		1.44	8.15	1135	0.17	9.30				-1.32		109.6		106.3		2539.1	115.7	2423.4				
8. "	63.710		11.02		1.32	9.70	480	0.00	10.41				-0.71		134.2		130.9		2730.4	124.4	2606.0				
9. "	64.300		12.37		1.56	10.81	1601	0.26	10.23				+0.32		128.5		125.2		2707.0	123.4	2583.6				
10. "	63.710																								
Mittelwert 4.-9. IX.	63.88				10.10	1.42	8.68	1029	0.12				10.85		-1.73		102.1			98.8	2406.9	109.7	2297.3	106.3	2354.3

1) Auf 1000 g Schweiß im Mittel von 3 Bestimmungen in Berlin: 0,352 g Stickstoff gefunden. Diese Zahl für Berlin zugrunde gelegt. 2) Geschätzt. 3) Wägung 10^h 45 reduziert auf 6^h = ca. 68.555 g, also kaum merkliche Korrektur! 4) 3 Bestimmungen in Brienz: 1000 g Schweiß enthielten 0,396 g Stickstoff, diese Zahl zugrunde gelegt. 5) Der geringere Brennwert der Butter II bedingt das Minus an Fett und Kalorien. 6) Diarrhöe 13. VIII., Polyurie: 1111 g Harn. 7) Vorher Versuche sehr anstrengend, auch wegen wunden Fußes. 8) Diarrhöe. 9) Wägung 1 1/2^h; Klystiere; 1295 g Harn! 10) Wägung 8 1/2^h = 66.605, reduziert auf 6^h = 66.685. 11) Schmerzen in der Schulter. Stiefel unbequem. Starke Hitze, sehr angestrengt. Durchfall, Mattigkeit. 12) Geschätzt.

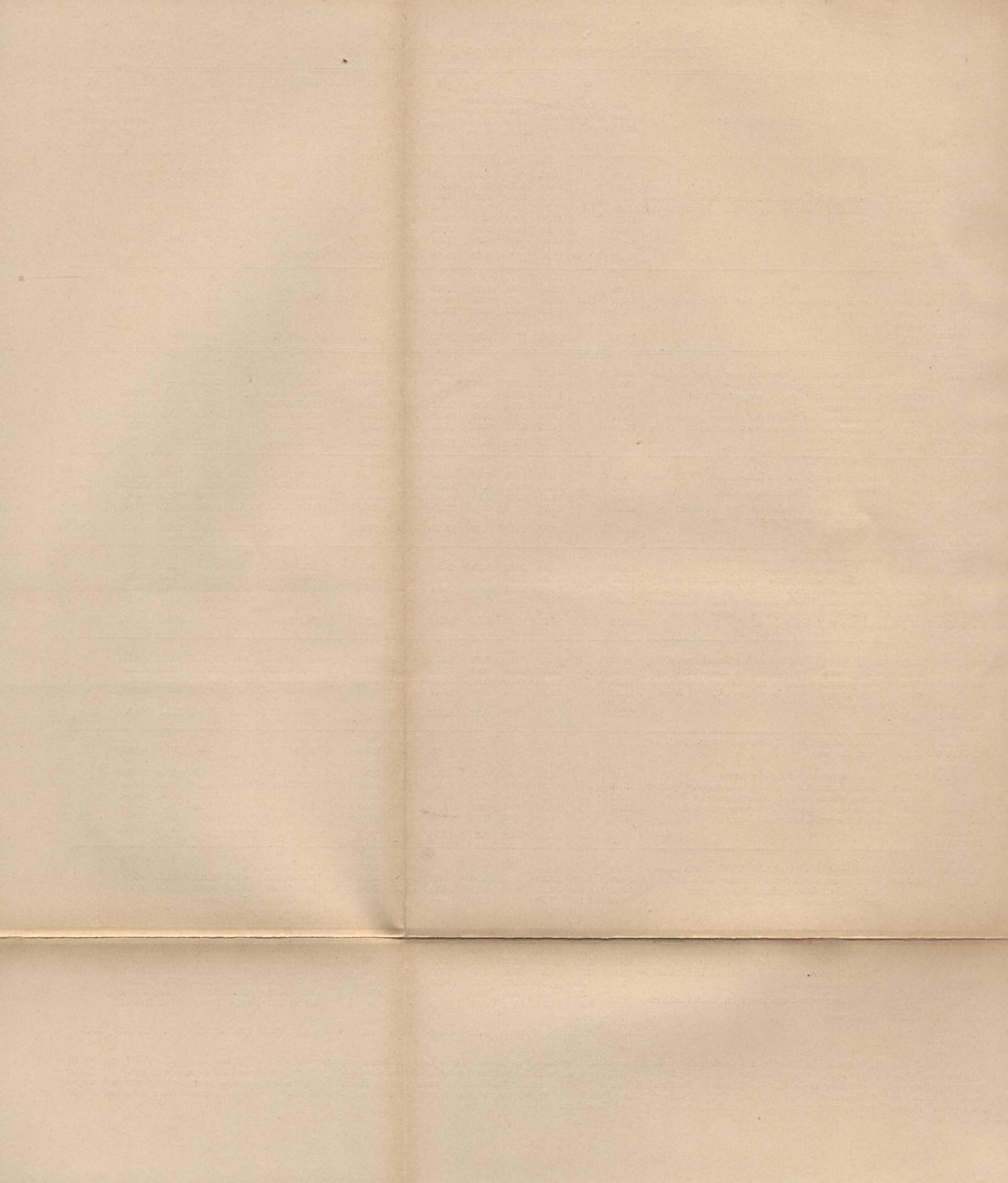


Tabelle IX^a.

Zusammensetzung des Kotes.

1 Name der Versuchsperson	2 Periode	3			4		5		6		7	
		In 100 g des lufttrockenen Kotes sind enthalten						Brennwert pro Gramm Stickstoff im				
		Stickstoff g	Rohfett g	Brennwert W. E.	fetthaltigen Kot W. E.	fettfreien Kot W. E.						
Waldenburg	Vorversuch	Ruhe	5.45	22.3	463.0	84.9	45.6					
		Märsche	5.24	18.6	441.7	84.3	50.3					
	Hauptversuch	Brienz Ruhe	6.04	17.7	465.3	77.1	49.0					
		Brienz Arbeit	6.24	13.6	490.0	78.6	57.7					
		Rothorn Ruhe	5.33	16.8	458.5	86.0	60.8					
		Col d'Olen	5.08	19.5	408.9	80.5	43.6					
Kolmer	Vorversuch	Ruhe	7.70	10.2	517.8	67.2	54.6					
		Märsche	7.03	9.2	490.1	69.7	57.2					
	Hauptversuch	Brienz Ruhe	5.72	19.4	524.0	91.6	59.0					
		Rothorn Arbeit	6.16	16.8	531.1	86.3	60.1					
		Brienz Ruhe	5.61	18.1	516.5	92.2	61.2					
		Monte Rosa	5.44	22.85	531.0	97.6	57.3					
Caspari	Vor- versuch	normale Eiweißzufuhr	7.89	28.1	563.3	71.4	37.2					
		verringerte Eiweißzufuhr	6.31	25.95	551.7	87.5	48.0					
	Hauptversuch	Brienz Ruhe	4.91	23.6	529.1	107.8	61.9					
		Brienz Arbeit	5.10	19.35	551.7	108.4	70.6					
		Rothorn Ruhe	4.96	18.0	473.9	95.1	60.4					
		Monte Rosa	8.33	35.7	821.2	98.6	57.4					
Müller	Vorversuch	Ruhe	6.08	7.7	505.6	83.2	71.1					
		Märsche	7.06	15.1	517.4	73.3	52.8					
	Hauptversuch	Brienz Ruhe	6.19	19.95	507.8	82.0	51.4					
		Rothorn Arbeit	5.47	18.9	489.9	89.6	56.5					
		Brienz Ruhe	5.63	18.9	468.9	83.1	51.0					
		Col d'Olen	6.36	19.35	505.4	79.5	66.3					
Loewy	Vorversuch	Ruhe	6.72	—	516.4	76.9	—					
		Märsche	6.53	—	565.6	86.6	—					
	Hauptversuch	Brienz Ruhe	6.35	22.45	470.8	74.2	40.3					
		Rothorn Arbeit	6.50	22.2	473.3	72.8	40.1					
		Brienz Ruhe	5.78	23.3	461.4	79.8	41.1					
		Monte Rosa	6.17	12.75	433.1	70.6	50.5					
Zuntz	Vor- versuch	normale Ernährung	7.38	16.7	517.7	70.1	48.4					
		statt Fleisch: Somatose	12.10	12.6	690.5	57.1	47.1					
	Hauptversuch	Brienz Arbeit	6.55	16.1	531.3	81.1	57.5					
		Rothorn Ruhe	6.21	19.9	541.9	87.5	56.6					
		Monte Rosa	6.07	14.3	492.3	81.1	58.6					

Tabelle IX^b.
Ausnutzung unserer Nahrung.

1 Name	2 Periode	3 Menge des luft- trockenen Kotes pro Tag g	4 Verlust durch den Kot, ausgedrückt in % der Einnahme, an:			6 Brenn- wert W. E.	7 Bemerkungen
			Stick- stoff g	Fett g			
Waldenburg	Berlin 10.—13. IV. 1901	17.04	4.88	3.15	2.78	Ruhezeit	
	„ 14.—21. IV. 01	23.16	6.13	2.56	2.84	Täglich Märsche 3—4 Stunden	
	Brienz 5.—10. VIII. 01	28.32	9.78	3.50	4.17	Laboratoriumsarbeit	
	„ 11.—22. VIII. 01	32.39	11.15	2.39	4.12	Märsche von 2—5 Stunden	
	Rothorn 23.—28. VIII. 01	30.95	9.37	3.52	4.42	Laboratoriumsarbeit, Marschversuche	
	Col d'Olen 2.—6. IX. 01	32.28	10.36	4.21	4.89	Ruhe, selten Marschversuche	
Kolmer	Berlin 10.—13. IV. 01	24.10	15.21	2.29	4.17	Ruhezeit	
	„ 14.—21. IV. 01	38.99	21.59	2.31	5.11	Ekelgefühl beim Mittagbrot, appetitlos. Märsche	
	Brienz 5.—10. VIII. 01	20.00	6.18	2.32	3.05	Marsch- und Schwimmversuche	
	Rothorn 11.—23. VIII. 01	27.85	9.19	2.69	3.95	Märsche von 2—5 Stunden	
	Brienz 24.—28. VIII. 01	25.69	7.62	2.67	3.69	Laboratoriumsarbeit, Marschversuche	
	Monte Rosa 1.—9. IX. 01	22.11	10.74	4.74	4.80	Aufstieg 1.—3., Bergkrankh. 3.—5. IX., Marschvers.	
Caspari	Berlin 14.—18. XII. 1900	14.70	8.75	3.21	2.60	Anstrengende Laboratoriumsarbeit	
	„ 19.—23. XII. 1900 Vermind. Eiweißzufuhr	18.87	11.77	3.71	3.20		
	Brienz 5.—10. VIII. 01	20.98	6.12	3.58	3.62	Laboratoriumsarbeit, Marschversuche	
	„ 11.—22. VIII. 01	26.13	7.73	3.62	4.24	Märsche von 2—5 Stunden	
	Rothorn 23.—28. VIII. 01	22.63	6.58	2.88	3.38	Laboratoriumsarbeit, Marschversuche	
	Monte Rosa 1.—9. IX. 01	21.25	20.85	9.77	9.25	Aufstieg 1.—3., Bergkrankh., dauernd appetitlos	
Müller	Berlin 14.—17. XII. 1900	29.57	13.66	1.59	5.39	Ruhezeit	
	„ 18.—23. XII. 1900	21.22	11.42	1.86	3.44	Täglich 3 ¹ / ₂ —4 Stunden Marsch	
	Brienz 5.—10. VIII. 01	25.67	9.71	3.73	4.46	Laboratoriumsarbeit, Marschversuche	
	Rothorn 11.—23. VIII. 01	19.59	6.47	2.44	2.99	Märsche von 2—5 Stunden	
	Brienz 24.—28. VIII. 01	16.13	5.47	2.27	2.58	Laboratoriumsarbeit, Marschversuche	
	Col d'Olen 2.—6. IX. 01	18.55	7.73	2.72	2.79	Bequeme Laboratoriumsarbeit, Marschversuche	
Loewy	Berlin 14.—17. XII. 1900	37.86	19.70	—	6.81	Ruhezeit	
	„ 18.—23. XII. 1900	22.01	9.60	—	3.35	Täglich 3 ¹ / ₂ —4 Stunden Marsch	
	Brienz 5.—10. VIII. 01	27.27	10.70	4.13	4.30	Laboratoriumsarbeit, Marschversuche	
	Rothorn 11.—23. VIII. 01	28.46	11.25	3.85	4.17	Märsche von 2—5 Stunden	
	Brienz 24.—28. VIII. 01	20.73	7.60	3.31	3.27	Laboratoriumsarbeit, Marschversuche	
	Monte Rosa 1.—9. IX. 01	21.00	17.02	3.55	4.64	Aufstieg 1.—3., Bergkrankheit 4. und 5. IX.	
Zuntz	Berlin 14.—20. XII. 1900	20.05	11.26	3.16	4.39	Anstrengende Laboratoriumsarbeit, wenig Schlaf	
	„ 21.—23. XII. 1900 Statt Schinken Somatose	20.00	18.29	2.36	5.38		
	Brienz 5.—10. VIII. 01	— ¹⁾	11.11	3.19	4.00	Laboratoriumsarbeit, Marschversuche	
	„ 11.—22. VIII. 01	27.33	11.20	3.24	4.64	Märsche von 2—5 Stdn., zweimal dünne Entleer.	
	Rothorn 23.—28. VIII. 01	22.92	9.08	3.53	4.34	Laboratoriumsarbeit, Marschversuche	
	Monte Rosa 1.—9. IX. 01	23.40	12.90	3.08	5.74	Aufstieg 1.—3., leichte Bergkrankheit, vom 5. IX. ab normal	

¹⁾ Kot auf Transport verloren. Werte annähernd berechnet aus Kotzahlen der I. Periode in Berlin und der Rothornperiode.

Tabelle IX^c.

Ausnutzung einiger Nahrungsmittel,
wenn sie ohne Beikost genossen werden.

(Zusammengestellt nach den in der Literatur vorhandenen Mittelwerten.)

1 Art der Nahrung	2 Rohfaser- gehalt in 100 g	3 Eiweiss		5 Fett		7 Kohlehydrate		9 Vergleiche Literaturübersicht von Kapitel VII Nr.
		3 Gehalt in 100 g	4 Verlust durch den Kot in % der Ein- nahme	5 Gehalt in 100 g	6 Verlust durch den Kot in % der Ein- nahme	7 Gehalt in 100 g	8 Verlust durch den Kot in % der Ein- nahme	
Fleisch	—	20.59	2.5	5.53	6.0	—	—	1 u. 26
Milch	—	3.36 ¹⁾	6.5 ²⁾	3.49 ³⁾	5.0	4.96 ⁴⁾	1.0 ⁵⁾	1, 3, 11, 15, 22, 26
Makkaroni	0.29	11.32	17.1	0.65	5.7	74.17	1.2	26
Feines Weizenbrot ⁶⁾ .	0.39	6.81	19.0	0.54	25.0	57.80	1.5	9, 14, 26
Grobes Roggenbrot ⁷⁾ .	0.80	6.43	30.0	1.14	—	50.44	10.0	9, 19, 22, 26
Pumpernickel	1.48	7.16	42 ³⁾	1.30	—	46.44	10.3	8, 19, 26
Kommißbrot (preuß.) .	1.55	6.04	41.3	0.40	—	51.90	8.1	19, 22
Reis	0.88	8.53	20.0	1.29	7.0	75.50	1.0	26
Kartoffeln (gekocht) .	0.98	1.99	32.2	0.15	3.7	20.86	7.6	} 5, 26
„ (Brei)	0.98	1.99	19.5	0.15	1.2	20.86	0.8	
Mais	1.41	9.62	17.0	3.14	30.0	71.70	3.5	} 13
Mais mit Käse	1.41	—	7.3	—	9.3	—	2.3	
Erbsen mit Schale . .	5.57	23.35	30.0	—	70.0	—	15.5	13
Erbsenbrei (viel) . . .	3.22	24.44	27.8	1.88	} 75.4	52.65	6.9	} 26
„ (weniger)	3.22	—	5.5	1.88		52.65	3.6	
Wirsingkohl	1.65	1.83	18.5	0.18	6.1	5.05	15.4	26
Mohrrüben	1.67	1.18	39.0	0.29	6.4	9.06	18.2	26
Schokolade	ca. 1.67	0.92	32.3	27.3	4.9	—	—	2 u. 32

¹⁾ 2.62—4.42. ²⁾ 1.0—23.0%. ³⁾ 1.76—5.76. ⁴⁾ 3.65—5.77. ⁵⁾ Kinder 2.0.
⁶⁾ Weißbrot oder Kakes. ⁷⁾ 85% Ausmahlung, 15% Kleie entfernt. ⁸⁾ 32—52.

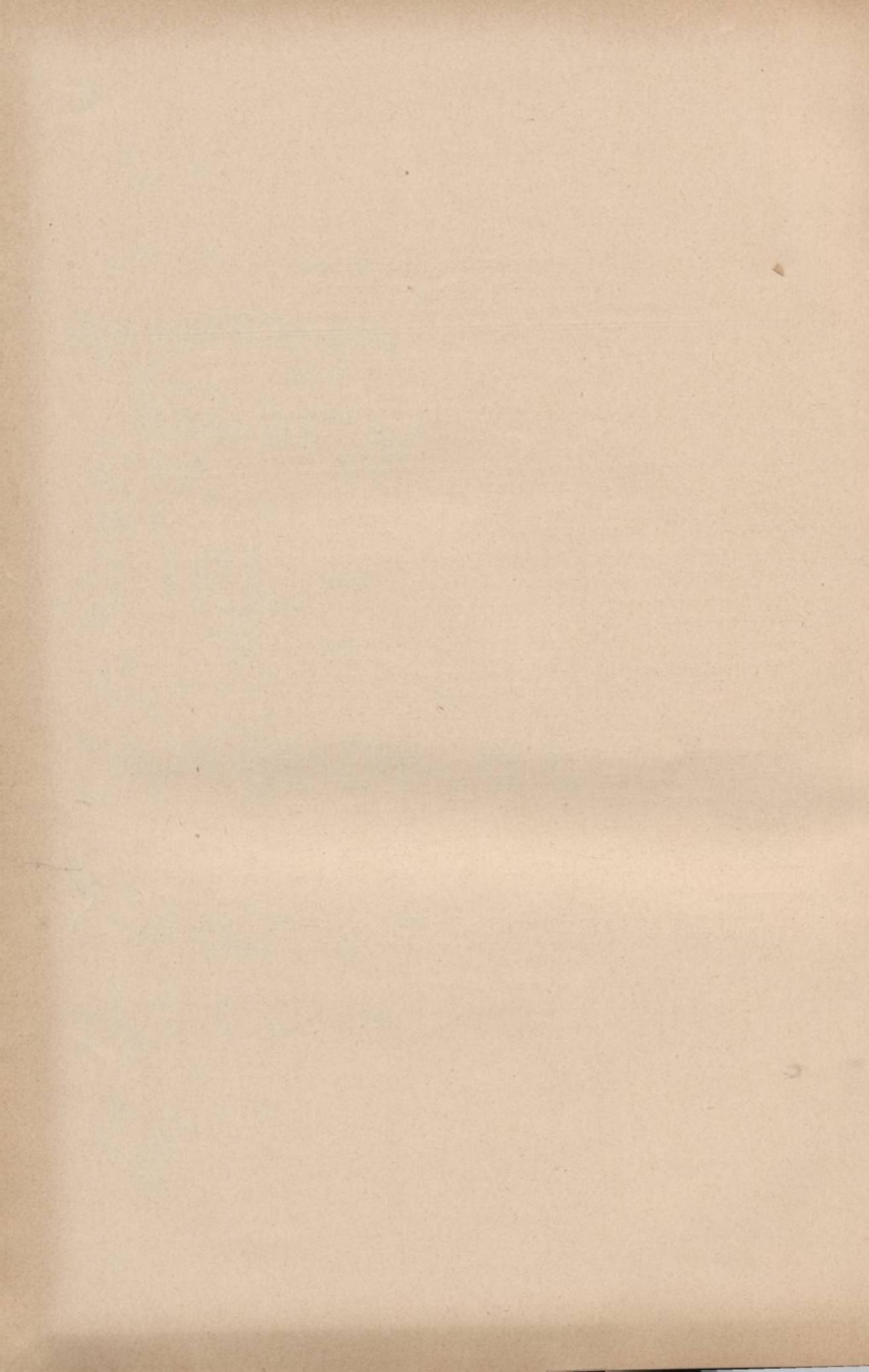


Tabelle X.

Waldenburg, Ruheversuche nüchtern.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Ort und Zeit	Atemgrösse pro Minute		Analyse der Expirationsluft			Pro Minute		Respirato- rischer Quotient	Atem- frequenz pro Minute	Atemtiefe	Alveolare Spannung		Minutenvol. pro 1 mm Kohlensäure- spannung ccm	Luftdruck mm	Bemerkungen
	beobachtet ccm	reduziert 0°, 760 mm ccm	Sauerstoff Vol. ‰	Kohlen- säure Vol. ‰	Sauerstoff- defizit in ‰	Sauerstoff- verbrauch ccm	Kohlensäure- ausscheidung ccm				des Sauer- stoffs in mm	der Kohlen- säure Quecksilber			
Berlin 28. III. 1901	5662.5	5148.0	16.38	3.51 ¹⁾	4.82	248.3	180.95	0.729	10	566.2	105.7	33.15	170.8	756	
Brienz 6. VIII. 01	4272.7	3649.7	14.06	5.79	6.84	249.6	208.8	0.836	6.5—7						
6. „	4009.1	3421.0	13.95	5.80	6.98	238.8	196.0	0.821	6.5						
Mittel	4410.9	3559.0	14.00	5.79 ²⁾	6.91	244.2	202.4	0.828	6.5						
Brienz 23. VIII. 01	6066.4	5187.4	15.54	4.63	5.28	273.9	236.5	0.864	9						
23. „	4502.9	3838.3	14.20	4.72	6.94	266.6	178.5	0.669	8						
Mittel	5284.7	4512.8	14.87	4.67 ²⁾	6.11	270.2	207.5	0.767	8.5						
Gesamtmittel	4847.8	4035.9	14.43	5.23 ²⁾	6.51	257.2	204.9	0.797	7.5	646.4	84.52	44.53	108.9	715.0	
Rothorn 24. VIII. 01	5134.5	3674.9	13.92	5.73	7.13	262.0	208.0	0.794	7						
24. „	5440.0	3894.3	14.33	5.38	6.70	261.1	206.8	0.792	8—9						
25. „	5060.0	3603.9	14.03	5.45	7.06	254.6	193.9	0.762	7						
28. „	5340.0	3892.0	15.26	4.83	5.94	231.2	185.3	0.801	8						
28. „	[5616.7 ³⁾	4099.5	13.64	6.17	7.37	302.1 ³⁾	250.1	0.828	6—7]						
Mittel von 4 Ver- suchen	5243.6	3766.3	14.38	5.45 ⁴⁾	6.71	252.2	198.5	0.787	7.6	689.9	68.49	36.09	145.3	689.9	
Col d'Olen 2. IX. 01	6832.5	4501.0	13.49	6.46	6.95	312.8	287.6	0.919	8						
2. „	6246.7	4100.5	13.46	5.71	7.18	294.4	231.3	0.786	6						
3. „	5431.4	3582.5	13.45	5.72	7.19	257.6	202.4	0.786	8						
3. „	5336.7	3505.6	13.52	5.40	7.18	251.8	186.85	0.742	11						
7. „	5352.9	3534.9	[14.16] ⁵⁾	6.07	[6.21] ⁵⁾	[219.5]	212.1		szuletzt 7						
7. „	5352.0	3586.6	[14.59] ⁵⁾	5.66	[5.77] ⁵⁾	[203.3]	196.8		6—7						
Mittel der 6 Versuche	5758.7	3801.8				219.5			7.9						
Mittel der 4 ersten Versuche	5961.2	3922.4	13.48	5.82 ⁶⁾	7.37	279.1	227.0	0.808	8.25	722.6	57.07	35.06	164.3	533.7	
Monte Rosa 9. IX. 01	5308.3	2846.8		7.47	—	211.8			6	884.8		34.82	152.4	439.3	

¹⁾ Luftkohlensäure 0.03 ‰. ²⁾ Kohlensäuregehalt der Zimmerluft auf Grund von 21 Analysen: 0.07 ‰. ³⁾ Unruhe. Im Mittel nicht berücksichtigt. ⁴⁾ Kohlen-
säuregehalt der Zimmerluft auf Grund von 8 Analysen: 0.07 ‰. ⁵⁾ Analyse wohl falsch. Ursache unklar. Zahlen nicht berücksichtigt. ⁶⁾ Luftkohlensäure 0.07 ‰.

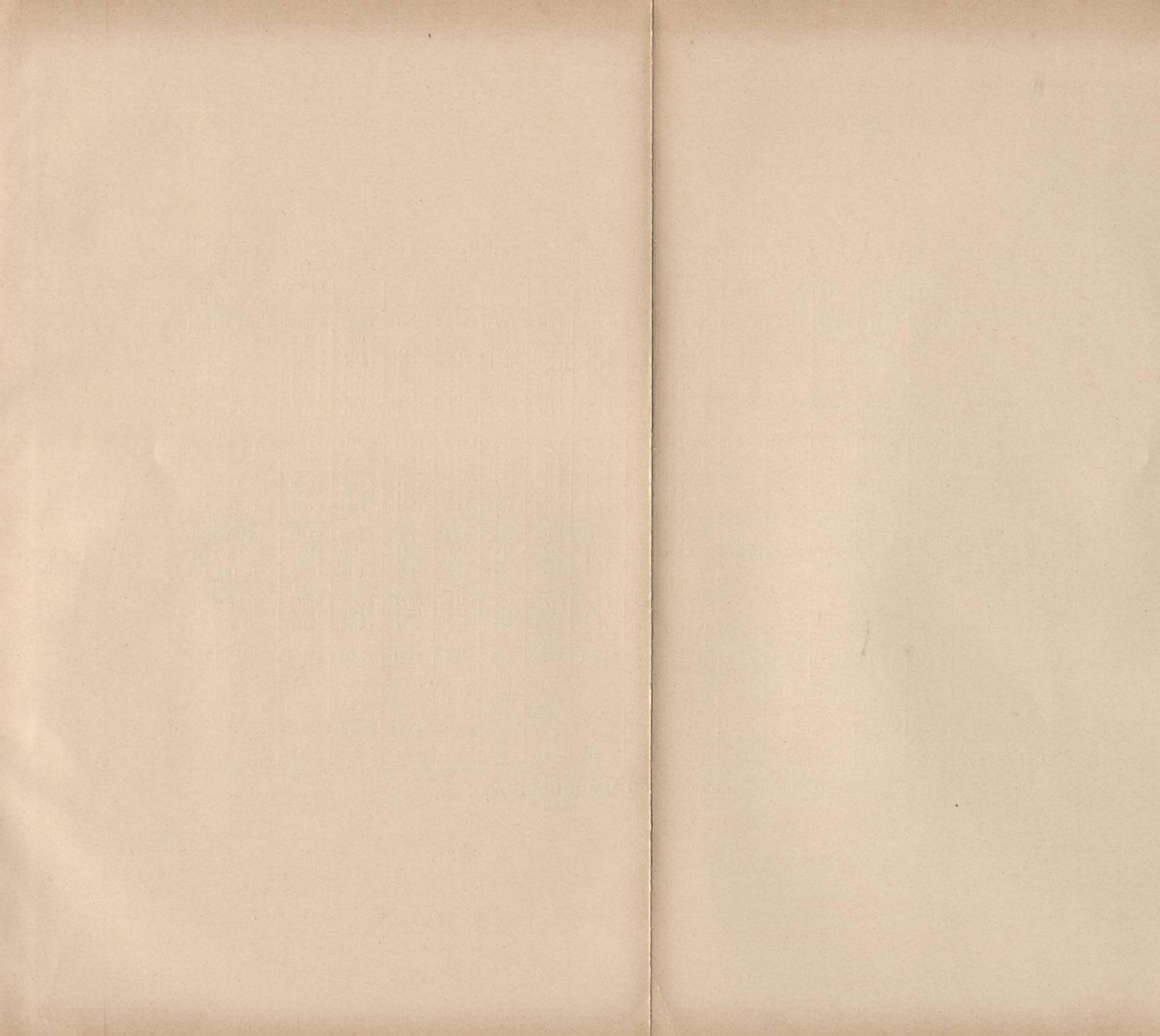


Tabelle XI.

Kolmer, Ruheversuche nüchtern.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Ort und Zeit	Atemgröße pro Minute		Analyse der Expirationsluft			Pro Minute		Respiratorischer Quotient	Atemfrequenz pro Minute	Atemtiefe	Alveolare Spannung		Minutenvol. pro 1 mm Kohlensäurespannung ccm	Luftdruck mm	Bemerkungen
	beobachtet ccm	reduziert 0°, 760 mm ccm	Sauerstoff Vol. %	Kohlensäure Vol. %	Sauerstoffdefizit in %	Sauerstoffverbrauch ccm	Kohlensäureausscheidung ccm				des Sauerstoffs in mm Quecksilber	der Kohlensäure in mm Quecksilber			
Berlin															
27. III. 1901.	6605.0	6037.8	16.52	3.60	4.63	279.5	214.9	0.769	19.5						Körpergewicht 71.890
28. "	6881.3	6245.0	16.79	3.51	4.31	269.2	217.3	0.807	17						
29. "	6225.0	5744.0	16.69	3.60	4.42	253.9	205.1	0.805	15						
31. "	6740.9	6184.4	16.71	—	4.39	271.8	—	—	15						
23. IV. 1901.	8000.0	7051.5				[365.9 ¹⁾	282.1 ¹⁾	0.753							
24. "	7400.0	6531.7				[321.4 ¹⁾	253.4 ¹⁾	0.789							
Mittel der 3 ersten Versuche	6570.7	6008.9	16.67	3.57 ²⁾	4.45	267.5	212.4	0.795	17.2	382.0	101.0	39.86	164.9	756	
Brienz															
7. VIII. 01.	6089.9	5223.9	16.36	3.90	4.44	231.9	200.1	0.863	17						
7. "	5598.3	4775.1	16.19	4.34	4.53	216.5	203.9	0.942	12.5						
7. "	7132.5	6102.9	16.61	4.06	4.08	[249.0 ³⁾	243.5 ³⁾	0.978	19.5						
9. "	6709.4	5809.9	16.30	3.88	4.52	262.6	221.3	0.843	19						
9. "	6887.5	5953.5	16.19	3.81	4.67	278.0	222.6	0.801	17.5						
9. "	7445.0	6271.6	16.50	3.61	4.33	271.6	222.0	0.818	21						
9. "	6442.2	5408.4	15.95	3.79	4.98	269.3	201.2	0.747	—						
24. "	5740.0	4934.7	15.95	3.69	5.01	247.2	178.6	0.722	12						
24. "	6350.0	5433.2	16.96	3.69	3.73	202.6	196.6	0.970	13						
28. "	6244.2	5383.7	16.15	3.90	4.70	253.0	205.7	0.813	14						
28. "	6022.3	5189.1	16.03	4.03	4.82	250.1	205.5	0.822	15.5						
Mittel der 10 Versuche	6352.9	6038.3	16.30	3.88 ⁴⁾	4.53	248.3	205.8	0.828	14.7	432.1	94.15	38.23	166.2	714.6	
Mittel der Versuche vom 7. u. 9. VIII.	6615.0	5649.3				254.0	216.4	0.852	13.6						
Mittel der Versuche vom 24. u. 28. VIII.	6089.1	5235.2				238.2	196.6	0.832	17.4						
Rothorn															
13. VIII. 01.	6806.7	4890.5	15.61	5.06	5.17	253.0	244.0	0.964	18						Analyse unsicher, nicht berücksichtigt
13. "	6815.0	4907.7	15.31	4.37	5.73	281.4	211.0	0.750	17						
14. "	6622.2	4797.9	15.30	5.04	5.57	267.2	238.5	0.893	17						
14. "	6400.0	4625.7	[15.20	5.59	5.58]	—	—	—	16						
22. "	6221.5	4394.1	14.86	4.82	6.18	271.7	208.7	0.768	12						
22. "	6644.0	4673.5	15.29	4.56	5.71	266.9	209.8	0.786	16						
Mittel der 6 Versuche	6584.9	4714.9	15.27	4.77 ⁵⁾	5.67	268.4	222.4	0.832	16.0	411.6	66.61	38.83	169.6	538.5	
Monte Rosa															
3. IX. 01.	8225.9	4425.9		5.83		—	256.7	—						435.4	12 ¹ / ₂ Uhr 1 Uhr
3. "	9083.7	4855.2				—	—	—						435.4	
7. "	8483.3	4507.8	14.50	5.40	6.70	302.0	242.1	0.802	14—20		46.70	29.15	291.0	439.3	
7. "	8497.5	4514.6	14.90	5.23	6.24	281.7	234.8	0.834	20—22		45.63	31.03	273.8	435.6	
9. "	7544.4	4152.6							17					439.3	
9. "	7988.9	4365.4	14.47	5.31	6.76	295.3	230.5	0.781	16 ⁶⁾		47.06	28.97	275.8	439.3	
Mittel von 3 Versuchen	8323.2	4462.6	14.55	5.31 ²⁾	6.57	293.0	234.3	0.806	18	462.4					

¹⁾ Werte unsicher, nicht berücksichtigt. ²⁾ Kohlensäuregehalt der Luft 0.03%. Grund von 21 Analysen 0.07%. ³⁾ Kohlensäuregehalt auf Grund von 8 Analysen 0.07%.

⁴⁾ Unruhe! Nicht im Mittel berücksichtigt.

⁵⁾ Versuch 8 Uhr früh. 2 Mal 20 Atemzüge pro Min.

⁶⁾ Kohlensäuregehalt der Luft auf

Tabelle XII.

Caspari, Ruheversuche nüchtern.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16						
Ort und Zeit	Atemgrösse pro Minute		Analyse der Expirationsluft			Pro Minute		Respiratorischer Quotient	Atemfrequenz pro Minute	Atemtiefe ccm	Alveolare Spannung		Minutenvol. pro 1 mm Kohlensäurespannung ccm	Luftdruck mm	Bemerkungen						
	beobachtet ccm	reduziert 0°, 760 mm ccm	Sauerstoff Vol. %	Kohlensäure Vol. %	Sauerstoffdefizit in %	Sauerstoffverbrauch ccm	Kohlensäureausscheidung ccm				des Sauerstoffs in mm Quecksilber	der Kohlensäure in mm Quecksilber									
Berlin																					
29. III. 1901	5310.0	4880.0				220.5	159.1	0.721	16												
2. IV. 1901	5220.0	4850.0				224.5	175.6	0.783	13												
3. VI. 1901	6360.0	5460.0	16.94	3.81	4.05	221.1	179.1	0.810	13	474.6	103.7	32.57	196.7	756	Sitzend auf Rohrstuhl, angelehnt.						
3. „	6457.1	5537.6	17.00	3.16	4.13	228.9	173.4	0.758	14												
Mittel der 4 Versuche	5836.8	5181.9				223.7	171.8	0.768	14							400.9					
Brienz																					
6. VIII. 01	4741.0	4046.1	15.55	4.55	5.29	214.0	181.3	0.847	12												
6. „	4718.2	4021.3	15.58	4.48	5.27	211.9	177.3	0.837	13												
7. „	4944.4	4235.4	15.42	3.69	5.70	241.4	153.3	0.635	15												
7. „	4036.4	3453.7	14.41	4.89	6.63	229.1	166.5	0.727	10.5												
23. „	5315.4	4620.0	15.98	4.24	4.83	223.0	192.6	0.864	13.5												
23. „	5096.8	4417.3	15.81	4.05	5.09	224.8	175.8	0.782	15.5												
Mittel der 6 Versuche	4808.7	4132.3	15.46	4.30 ¹⁾	5.47	224.0	174.5	0.782	13.25	362.9	80.71	46.61	103.2	714.6							
Mittel der ersten 4 Versuche	4610.0	3939.1				224.1	169.6	0.759	12.6												
Mittel der letzten 2 Versuche	5206.1	4518.6				223.9	184.2	0.823	14.5												
Rothorn																					
24. VIII. 01	5474.5	3931.4		4.74		—	183.6	—	15.5												
24. „	5560.0	3985.0	15.28	4.70	5.68	226.6	184.5	0.814	15												
25. „	5798.0	4105.7	15.44	4.83	5.45	223.8	195.4	0.873	14												
28. „	5438.4	3977.8	15.01		5.74	228.3	—	—	15												
28. „	6026.7	4379.4	15.78	4.27	5.17	226.4	183.9	0.812	18												
Mittel der 5 Versuche	5659.5	4075.9	15.38	4.63 ¹⁾	5.51	226.3	186.9	0.826	15.5	365.1	64.32	40.31	140.4	585.0							
Monte Rosa																					
3. IX. 01	8360.0	4474.4	14.23	5.09	7.13	319.0	226.4	0.710	8		51.32	22.83	366.2	435.4							
4. „	9312.0	4973.2	12.70	5.59	8.93	444.6	276.8	0.623	13		41.38	26.82	347.2	433.0							
7. „	8684.4	4792.1	15.00	5.41	6.07	290.9	257.8	0.886	14.5		51.30	27.40	317.0	435.2							
9. „	7509.0	4029.5	15.15	4.77	6.05	243.8	191.0	0.783	13		52.27	24.69	304.1	439.3							
Mittel der 4 Versuche	8466.5	4563.5	14.27	5.21 ²⁾	7.04	324.6	238.0	0.750	12.1	698.6											
Mittel der ersten 2 Versuche	8836.2	4726.3				381.8	251.6	0.667													
Mittel der letzten 2 Versuche	8096.7	4410.8				267.3	224.4	0.834													

1) Kohlensäuregehalt der Luft: 0.07% auf Grund von 21 Analysen.

2) Luftkohlensäure 0.03%.

1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900

Tabelle XIII.
Müller, Ruheversuche nüchtern.

1 Ort und Zeit	2 Atemgrösse pro Minute		4 Analyse der Expirationsluft			7 Pro Minute		9 Respirato- rischer Quotient	10 Atem- frequenz pro Minute	11 Atemtiefe ccm	12 Alveolare des Sauer- stoffs in mm Quecksilber	13 Spannung der Kohlen- säure in mm Quecksilber	14 Minutenvol. pro 1 mm Kohlensäure- spannung ccm	15 Luftdruck mm	16 Bemerkungen
	beobachtet ccm	reduziert 0°, 760 mm ccm	Sauerstoff Vol. %	Kohlen- säure Vol. %	Sauerstoff- defizit in %	Sauerstoff- verbrauch ccm	Kohlensäure- ausscheidung ccm								
Berlin 28. III. 1901	5770	5260	16.43	3.76	4.70	247.2	196.2	0.794	14						Körpergewicht 73.835.
31. „	5957	5482	16.56	4.04	4.53	248.2	219.8	0.885	12						
3. IV. 1901	5696	5286	16.42	3.74	4.71	249.2	196.1	0.793	13						
Mittel der 3 Ver- suche	5801	5343	16.47	3.85¹⁾	4.65	248.2	196.1	0.824	13	446.8	102.6	40.02	144.9	756.8	
Berlin Juli 1903 2 Ver- suche	5923	5189	16.23	4.46 ¹⁾	4.81	249.3	219.3	0.879	8	740.4	107.5	38.99	151.9	754.5	Werte entnommen Pflügers Archiv Bd. 103, Tab. III.
Brienz 7. VIII. 01	4763.6	4093.7	14.74	4.56	6.31	258.3	183.8	0.712	10						
9. „	4955.5	4300.7	15.33	4.42	5.60	240.8	187.1	0.777	10						
9. „	5288.9	4575.8	15.50	4.29	5.42	248.0	193.1	0.779	9.5						
9. „	5350.0	4519.1	15.22	4.48	5.68	256.7	199.3	0.776	10						
11. „	4766.7	4083.4	15.32	4.58	5.57	227.4	184.2	0.810	10						
11. „	5128.5	4390.1	15.67	4.22	5.22	229.2	182.2	0.795	12						
24. „	4927.3	4244.8	15.42	3.93	5.61	238.1	163.8	0.688	11						
24. „	5100.0	4389.1	15.76	3.96	5.18	227.9	170.7	0.749	9						
28. „	4805.5	4158.6	15.60	4.51	5.24	217.9	184.6	0.847	9						
28. „	4618.2	4001.0	15.22	4.65	5.68	227.3	183.2	0.806	9						
Mittel aller Ver- suche	4970.4	4275.6	15.38	4.36²⁾	5.55	237.2	183.2	0.772	10	502.1	88.48	40.29	115.7	714.6	
Mittel der Versuche vom 7.—11. VIII.	5042.2	4460.5				243.4	188.3	0.774	10.3						
Mittel der Versuche vom 24.—28. VIII.	4862.7	4198.4				227.8	175.6	0.771	9.5						
Rothorn 13. VIII. 01	5712.5	4096.9	14.94	4.46	6.18	253.2	179.8	0.710	15						
13. „	5287.5	3787.5	14.46	—	6.17	233.7	—	—	12						
14. „	5298.0	3854.7	—	—	—	—	—	—	10						
14. „	5280.0	3829.4	14.50	5.29	6.51	249.4	199.9	0.801	10						
22. „	5640.0	3993.5	14.71	4.51	6.45	257.7	177.3	0.688	15						
22. „	5575.0	3935.3	—	4.51	—	—	174.7	—	16						
Mittel der Versuche	5465.5	3916.2	14.65	4.67³⁾	6.44	248.5	182.9	0.736	13	420.4	62.09	37.61	145.3	585.1	
Col d'Olen 2. IX. 01	5475.3	3550.8	[13.82	4.15	7.12]	[253.0	144.9	0.573]	—						Analyse falsch. Nicht berücksichtigt.
2. „	5564.1	3608.4	—	—	—	—	—	—	11						
4. „	5571.3	3659.5	14.69	4.95	5.83	213.3	176.4	0.827	9.5						
4. „	6251.4	4089.3	14.78	4.74	5.77	235.9	191.0	0.810	8						
6. „	5580.6	3693.7	14.22	5.50	6.28	232.0	200.6	0.865	10.5						
6. „	5609.2	3690.4	14.23	4.94	6.41	236.6	179.7	0.760	9.5						
Mittel der Versuche	5675.3	3715.3	14.48	5.03⁴⁾	6.07	229.4	186.4	0.813	9.7	585.1	60.69	32.15	176.5	533.7	
Monte Rosa 9. IX. 01 ⁵⁾	9647.5	5137.1	16.73	3.91	4.28	219.7	199.3	0.907	8.5	1135.0	63.28	17.46	552.5	438.5	
10. „ ⁶⁾	8192.3	4493.0	16.05	4.18	5.06	227.6	186.5	0.819	8	1024.0	59.90	18.96	432.1	438.6	
Mittel der 2 Ver- suche	8919.9	4815.0	16.39	4.04¹⁾	4.67	223.6	192.9	0.863	8	1079.5					

¹⁾ Luftkohlensäure 0.03%. ²⁾ Kohlensäuregehalt der Luft auf Grund von 21 Analysen 0.07%. ³⁾ Kohlensäure der Luft auf Grund von 8 Analysen 0.07%. ⁴⁾ Luft-
kohlensäure 0.07%. ⁵⁾ Um 9¹/₂ Uhr früh, etwa eine Stunde nach der Ankunft. ⁶⁾ Um 7 Uhr früh.

Tabelle XIV.

Loewy, Ruheversuche nüchtern.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Ort und Zeit	Atemgröße pro Minute		Analyse der Expirationsluft			Pro Minute		Respirato- rischer Quotient	Atem- frequenz pro Minute	Atemtiefe	Alveolare Spannung		Minutenvol. pro 1 mm Kohlensäure- spannung	Luftdruck	Bemerkungen
	beobachtet	reduziert 0°, 760 mm	Sauerstoff	Kohlen- säure	Sauerstoff- defizit	Sauerstoff- verbrauch	Kohlensäure- ausscheidung				des Sauer- stoffs	der Kohlen- säure			
	ccm	ccm	Vol. %	Vol. %	in %	ccm	ccm			ccm	in mm	Quecksilber	ccm	mm	
Brienz															
8. VIII. 1901.	4188.1	3646.2	15.61	3.90	5.38	196.2	139.6	0.712	12						
8. "	4280.0	3718.6	15.48	4.30	5.44	202.3	157.3	0.778	10						
8. "	4617.3	4003.0	15.34	4.44	5.58	223.4	174.9	0.783	12.5						
11. "	4990.9	4262.6	15.98	3.90	4.91	209.3	163.3	0.780	13.5						
11. "	4580.8	3917.3	—	—	—	—	—	—	11						
24. "	4908.7	4241.4	15.67	4.14	5.24	222.2	172.6	0.777	11						
24. "	—	[5316.7] ²⁾	—	—	—	—	—	—	[12] ³⁾						
28. "	4437.1	3816.8	16.24	3.64	4.65	177.5	136.3	0.768	12						
28. "	4583.5	3955.3	16.19	3.68	4.71	186.3	142.8	0.766	11						
Mittel aller Versuche	4573.3	3945.1	15.79	4.00¹⁾	5.13	202.45	155.3	0.767	11.6	394.3	86.71	41.30	110.7	714.6	
Mittel der Versuche vom 8. u. 11. VIII.	4531.4	3909.5				207.8	158.8	0.763	11.9						
Mittel der Versuche vom 24. u. 28. VIII.	4615.2	3980.7				197.1	151.8	0.770	11.3						
Rothorn															
13. VIII. 01.	4670.0	3375.8	15.10	4.61	5.93	200.3	153.3	0.765	13						
13. "	5326.9	3840.6	15.09	5.39	5.74	220.6	204.3	0.926	13						
15. "	5545.6	3967.5	15.22	4.56	5.80	230.0	178.1	0.774	17						
15. "	5446.2	3870.3	15.90	4.40	4.98	192.7	167.6	0.869	14						
23. "	5136.2	3660.9	15.01	4.48	6.08	222.6	161.4	0.725	11.5						
23. "	5411.4	3852.4	16.52	4.24	5.24	201.9	160.6	0.796	13						
Mittel der 6 Versuche	5256.0	3761.2	15.47	4.61¹⁾	5.63	211.35	170.9	0.809	13.6	246.4	66.69	38.77	135.6	585.1	
Monte Rosa															
3. IX. 01.	7022.0	3859.9	13.08	5.77	8.40	324.2	221.6	0.683	19.5		31.50	36.62	191.7	435.4	
4. "	6508.0	3496.7	13.06	6.04	8.35	292.1	210.1	0.719	16		34.57	35.51	183.3	433.0	
7. "	5834.5	3129.3	14.03	5.55	7.26	227.2	172.7	0.760	15		39.49	33.70	173.1	435.6	
8. "	6011.4	3245.6	14.07	6.09	7.06	229.3	196.7	0.858	14		42.29	35.41	169.7	439.3	
8. "	5972.9	3201.8	13.84	5.78	7.44	238.2	184.1	0.773	14		40.81	33.72	177.2	439.3	
Mittel der 5 Versuche	6269.8	3386.7	13.62	5.85³⁾	7.70	262.2	197.0	0.755	15.7	399.4					
Mittel der 3 letzten Versuche	5939.6	3192.2				231.5	183.5	0.793	14.3						
Mittel der 2 ersten Versuche	6765.0	3678.3				308.1	215.8	0.700	17.7						
Berlin															
Juli u. August 1903 8 Versuche	5041.3	4466.9	16.05	4.02	5.09	227.0	177.7	0.763	11.5	438.4	103.4	44.49	90.0	753.4	Werte entnommen Pfügers Archiv Bd. 103. Tabelle III

¹⁾ Kohlensäuregehalt der Zimmerluft laut Analysen 0.07%.²⁾ Nicht bei der Mittelung berücksichtigt.³⁾ Kohlensäuregehalt der Inspirations-Luft 0.03%.

Tabelle XV.
Zuntz, Ruheversuche nüchtern.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Ort und Zeit	Atemgrösse pro Minute		Analyse der Expirationsluft			Pro Minute		Respiratorischer Quotient	Atemfrequenz pro Minute	Atemtiefe	Alveolare Spannung des Sauerstoffs in mm Quecksilber	Spannung der Kohlensäure in mm Quecksilber	Minutenvol. pro 1 mm Kohlensäurespannung ccm	Luftdruck mm	Bemerkungen
	beobachtet ccm	reduziert 0°, 760 mm ccm	Sauerstoff Vol. %	Kohlensäure Vol. %	Sauerstoffdefizit in %	Sauerstoffverbrauch ccm	Kohlensäureausscheidung ccm								
I. Ältere und neuere, schon veröffentlichte Zahlen.															
Berlin 1895/96 Mittel 5 Versuche	5662					227.9	186.1	0.823	6.5						Werte entnommen. Pflügers Arch. Bd. 63, S. 472.
Zermatt(1620m)1895 Mittel 5 Versuche	5452	3937				219.2	187.2	0.829	5.46		80.05	31.73	172		Ebenda, S. 472.
Bétempshütte (2990 m) 1895 Mittel 6 Versuche	6632	4255				246.0	197.9	0.800	5.87						Ebenda, S. 472.
Satteldohle d. Monte Rosa (3675 m) 1895 Mittel 2 Versuche	7256	4276				266.5	198.5	0.741	7.70						Ebenda, S. 472.
Berlin 20. VI. 1902 Mittel 2 Versuche	5124	4603	15.94	4.28	5.17	238.1	194.8	0.820	5.33						Pflügers Arch., 92, S. 508.
Berlin 1903 Mittel 21 Versuche	4877	4460				228.0	181.7	0.797			104.1 ¹⁾	36.1 ¹⁾	143.9 ¹⁾	753	Durig u. Zuntz, p. 6/7.
Col d'Olen 1903 Mittel 3 Versuche	6050	3995				231.9	171.7	0.737			68.7	24.45	247.4		
Monte Rosa 1903 Margherita-Hütte Mittel 16 Versuche	7613	4290				259.2	192.7	0.738			57.0	21.41	355.6		Durig u. Zuntz, p. 16, Tab. VIII.
Luftballon	6400 6580 8880 9670	3526 3560 4741 4792	14.19 14.76 15.61 15.11	5.12 5.26 4.90 5.45	7.15 6.40 5.42 5.90	252.1 227.9 256.9 282.7	180.7 187.3 232.3 261.2	0.72 0.82 0.90 0.92	6 6.3 9 7	1066 1043 1250 1382	61.65 58.64 57.92 50.96	27.59 25.80 22.97 21.34	232.0 255.0 386.6 453.1	514.5 471.2 442.5 399.0	Pflügers Arch. Bd. 92, S. 506/507.
II. Expedition 1901.															
Brienz 13. VIII. 1901	4303.1	3735.3	15.08	4.62	5.86	218.9	170.0	0.776	9						
13. "	5550.0	4795.8	[14.93	4.82	6.00]	[287.7	227.8]	0.792	—						Unruhe, nicht berücksichtigt.
23. "	5022.9	4387.0	15.62	4.40	5.22	229.0	190.0	0.830	6						
23. "	4847.5	4230.3	15.17	4.52	5.77	244.1	189.1	0.775	7						
Mittel aus 3 Versuchen	4724.5	4117.5	15.29	4.52 ²⁾	5.57	230.7	183.0	0.794	7.3	648	91.80	38.46	122.9	714.6	
Rothorn 24. VIII. 01	5119.2	3661.4	14.98	4.59	6.09	223.0*)	165.5*)	0.742	7						*) Der niedrige Wert wohl Folge der Abkühlung (1½ Stunden außer Bett und zum Gipfel gegangen).
24. "	5128.6	3667.0	14.38	5.11	6.71	246.2	184.8	0.751	6						
25. "	5197.5	3688.8	14.62	5.24	6.38	235.2	190.7	0.811	8						
28. "	6449.6	4687.3	14.87	4.97	6.13	287.3 ³⁾	229.7	0.799	7						
Mittel der 4 Versuche	5473.7	3926.1	14.71	4.98 ²⁾	6.33	247.9	192.7	0.777	7	782	71.93	32.62	167.8	689.9	
Mittel der ersten 3 Versuche	5148.4	3672.4				234.8	180.3	0.768	7						
Monte Rosa 3. IX. 01	8344.4	4652.9	14.64	5.34	6.54	297.8	241.7	0.812							
3. "	7977.8	4310.6	13.86	5.19	7.57	326.3	222.4	0.682							
9. "	8971.4	4862.3	13.58	6.27	7.64	371.5	303.4	0.817							
Mittel der 3 Versuche	8431.2	4608.6	14.03	5.60 ⁴⁾	7.25	331.7	255.9	0.770	6	1495	50.34	27.16	330.4	439.3	

¹⁾ Mittel aus 2 Versuchen. Durig u. Zuntz, p. 10 Tab. III.

⁴⁾ Kohlensäuregehalt der Luft: 0.03%.

²⁾ Kohlensäuregehalt der Zimmerluft laut Mittel der Luftanalysen 0.07%.

³⁾ Normaler Versuch, aber Kälte-

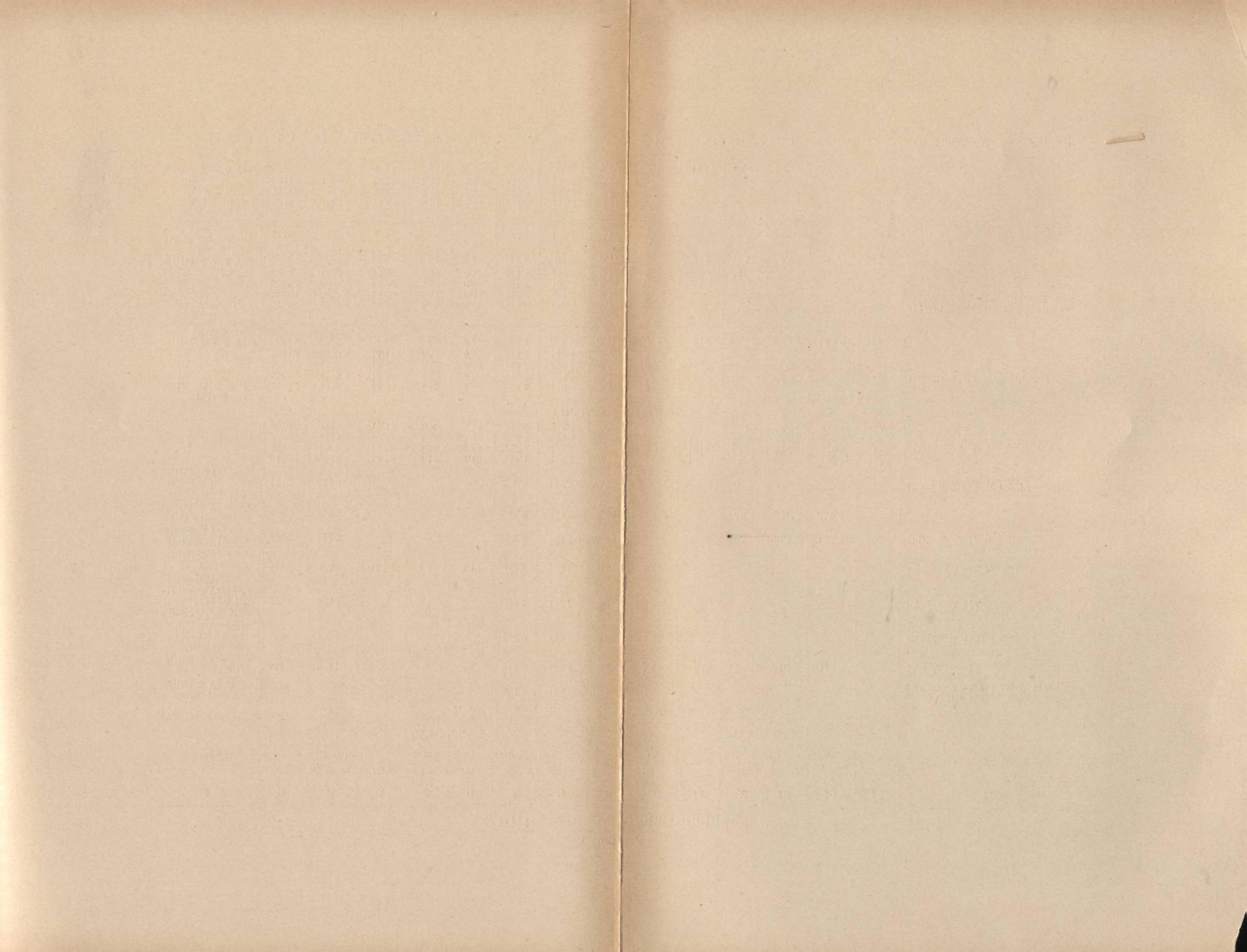


Tabelle XVI.

Versuche im pneumatischen Kabinett zu Ferlin.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Datum	Lufttemperatur	Luftdruck mm	Dauer der Probenentnahme Minuten	Atemfrequenz pro Minute	Atemvolum pro Minute beobachtet ccm	reduziert 0°, 760 mm ccm	Analyse der Expirationsluft Sauerstoff Vol. %	Kohlen- säure Vol. %	Sauerstoff- defizit in %	Respira- torischer Quotient	Pro Minute Sauer- stoffver- brauch ccm	Kohlen- säureaus- scheidung ccm	Alveolare Spannung des Sauer- stoffs mm	der Kohlen- säure mm	Atemvolum pro 1 mm Kohlensäure- spannung ccm	Bemerkungen, s. auch im Text Kap. VIII.	
Müller.																	
20. VI. 1901.	23.25	481.0	12	10	5495	3087	12.65	8.17	8.30	0.98	254.3	250.3	42.67	47.47	115.8	Minutenvolum zwischen 3.5 l u. 8.5 l " " 3.4 l u. 8.1 l " " 7.5 und 8.6 l. Atemtiefe sehr wechselnd, Cheyne-Stokes, Schlafneigung. Atmung sehr wechselnd, lange Pausen. Bei beiden Ver- suchen am 11/7 starkes Kältegefühl und Muskelzittern	
20. "	23.80	384.6	11	10	5645	2478	11.67	10.16	9.01	1.13	223.2	251.7	29.16	40.38	139.8		
11. VII. 01.	27.12	392.0	7	16—17	7731	3381	13.17	6.25	8.15	0.771	275.4	211.3	34.11	30.79	251.1		
11. "	27.32	392.0	7	15 wechselnd	9317	4067	13.04	6.62	8.23	0.81	334.2	269.2	37.15	30.25	308.0		
Caspari.																	
20. VI. 01.	22.95	484.6	10	—	4588	2582	13.06	6.80	8.14	0.835	210.2	175.6	32.82	50.87	90.2	Minutenvolum zwischen 3.8 l u. 5.6 l " " 4.25—7.65 l Wohlbefinden Dyspnoeanfall und Übelbefinden	
20. "	24.13	389.6	11 ^{1/2}	13	4467	1983	11.88	9.01	9.055	0.995	179.6	178.7	17.73	53.83	— ³⁾		
25. V. 05.	21.12	418.8	—	16	7468	3649	14.59	5.41	6.59	0.816	240.5	196.3	44.19	28.72	260.0		
25. "	22.05	418.8	—	22	9528	4513	15.71	4.74	5.39	0.881	241.5	212.6	49.21	26.02	366.2		
Waldenburg.																	
27. VI. 01.	19.25	458.6	12	11	4092	2306	12.55	5.97	8.74	0.683	201.6	139.7	30.95	39.39	103.9	Große und kleine Atemzüge wechseln Unregelmäßige, ungleich tiefe Atemzüge Wohlbefinden, Müdigkeit am Schluß des Versuches	
27. "	20.18	458.6	10	12	5290	2972	12.55	6.37	8.90	0.716	264.5	189.3	35.70	38.45	137.6		
27. "	20.40	448.6	11	10	5100	2801	11.73	7.14	9.74	0.733	272.8	200.0	33.20	39.58	128.8		
11. VII. 01.	26.72	396.0	10	13	7434	3527	11.81	8.15	9.37	0.870	330.5	287.5	30.32	38.31	194.0		
11. "	27.26	399.0	8	10.5	7388	3526	11.58	7.97	9.71	0.821	342.4	281.0	32.73	34.31	215.3		
Loewy (aus dessen Monographie: Respiration und Zirkulation. Berlin, Hirschwald 1895).																	
15. I. 1892.		552.7			4571	3097		5.44	7.52	0.721	232.9	130.4					
15. "		550.9			4429	3001		5.00	7.43	0.673	222.9	168.5					
15. "		360.4			5700	2519		6.15	7.73	0.780	197.7	150.0					
15. "		378.0			5767	2541		6.50	7.50	0.866	190.6	165.2					
29. "		584.0		13	4435	3179	15.75	4.75	5.55	0.856	176.4	151.0	65.35	42.93	103.3		
29. "		435.5		13	4350	2595	13.10	6.30	8.24	0.765	213.8	163.5	32.72	39.00	124.3		
29. "		435.5		13.5	4544	2432	12.76	6.57	8.58	0.766	208.6	159.8	27.13	43.44	104.6		
29. "		356.5		8.5	5380	2358	12.00	7.35	9.35	0.784	220.5	173.3	29.36	29.16	184.5		
Zuntz. ⁴⁾																	
3. XII. 02.	19.75	425.9	7		9149	4598	14.31	6.33	6.69	0.946 ¹⁾	307.0	290.5	49.46	28.41	322		8 ^h früh Frühstück mit Fleisch, 1 ^h Weißbrot mit Wurst, 3 ^h 37 erste Probe Ende des Versuches 4 ^h 19.
3. "	21.90	426.5	9		7222	3580	13.32	6.61	7.87	0.840 ²⁾	281.7	236.6	45.27	29.72	243		
3. "	22.15	426.7	8		8100	4110	15.45	5.12	5.57	0.919	223.4	205.4	54.89	23.03	352		
3. "	22.70	426.8	8		8950	4417	14.59	5.62	6.52	0.862	288.0	248.8	50.83	25.28	354		

¹⁾ Hoher Resp.-Quotient nicht durch die Atemmechanik erklärbar; diese ließ vielmehr eher etwas zu niedrigen Quotienten erwarten. ²⁾ Atemmechanik ließ etwas zu niedrigen Resp.-Quot. erwarten. ³⁾ Dieser Versuch ist nur für den Resp.-Quot. zu verwenden, da infolge der durch die Luftverdünnung herbeigeführten Benommenheit von C. der Mund zeitweise nicht vollkommen geschlossen gehalten wurde und daher Expirationsluft neben dem Mundstück entwich. ⁴⁾ Bei Zuntz fehlen die Angaben über Atemfrequenz; die Alveolarspannungen wurden unter der Annahme einer Atemtiefe von 900 ccm berechnet.

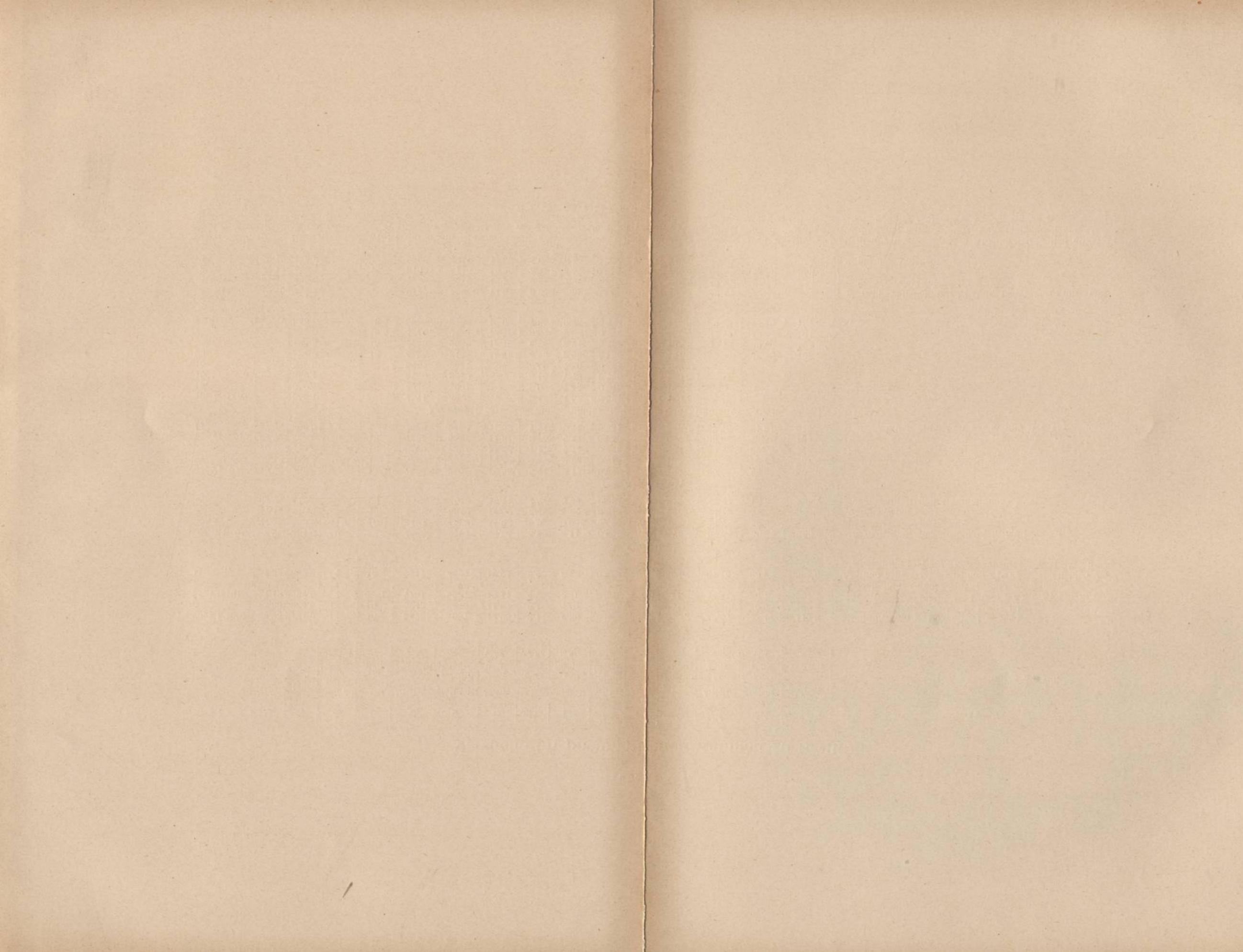


Tabelle XVII.

Waldenburg, Marschversuche.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
Ort und Tag	Lufttemperatur Grad	Barometer reduziert auf 0° mm	Dauer der Probentnahme	Atemfrequenz pro Minute	Atemvolumen pro Min.		Analyse der Expirationsluft				Gesamtverbrauch pro Minute		Arbeitsverbrauch pro Minute		Weg pro Minute m	Bewegtes Gewicht kg	Steigarbeit pro Minute in mkg	Arbeitverbrauch pro kg u. Meter Weg			Energieverbrauch pro kg u. Meter Weg W. E.	Energieverbrauch pro mkg Steigarbeit W. E.	Bemerkungen		
					beobachtet ccm	reduziert 0°, 760 mm ccm	Sauerstoff Vol. %	Kohlensäure Vol. %	Sauerstoff- defizit in %	Respira- torischer Quotient	Sauerstoff ccm	Kohlensäure ccm	Sauerstoff ccm	Kohlensäure ccm				Sauerstoff ccm	Kohlensäure ccm	Respira- torischer Quotient				W. E.	W. E.
Horizontal.																									
Berlin																									
20. IV. 1901	12.10	764.3	4' 0"		14.62	13.51	15.78	4.06	5.43	0.75	733.6	548.5	478.4	343.6	44.93	70.60		0.1502	0.1090	0.726	0.707				
20. "	11.65	764.3	3' 0"		14.10	13.05	15.20	4.38	6.08	0.72	793.7	571.8	536.5	366.9	45.72	70.60		0.1662	0.1137	0.684	0.774				
20. "	11.30	764.3	3' 0"		14.23	13.20	15.75	3.83	5.53	0.69	729.8	505.5	472.6	300.6	44.14	70.60		0.1517	0.0965	0.636	0.697 ¹⁾				
16. X. 02	15.68	747.3	4' 40"		16.20	14.80	14.33	5.40	6.91	0.78	1022.3	798.9	765.1	594.8	78.85	74.28		0.1306	0.1016	0.777	0.623				
16. "	15.45	746.8	5' 7"		15.30	13.98	14.28	5.25	7.01	0.75	980.0	733.9	722.8	529.8	75.15	74.28		0.1295	0.0949	0.733	0.611				
16. "	15.35	746.1	4' 50"		14.65	13.38	14.59	4.94	6.70	0.74	896.4	660.9	639.2	456.8	73.82	74.28		0.1166	0.0833	0.715	0.547				
16. "	15.60	745.9	5' 12"		13.56	12.37	14.69	4.92	6.58	0.75	813.7	608.4	556.5	404.3	71.97	74.28		0.1041	0.0756	0.726	0.490				
18. "	13.32	751.9	3' 54"		14.67	13.63	15.35	4.97	6.43	0.77	876.3	677.3	619.1	473.2	50.27	73.90		0.1666	0.1274	0.764	0.792				
18. "	13.45	752.0	4' 53"		13.62	12.65	14.82	5.32	6.31	0.84	798.0	672.8	540.8	468.7	55.30	73.90		0.1323	0.1147	0.867	0.646				
Mittel der Horizontalversuche	13.77	753.6	4' 17"	etwa 19	14.55	13.40	14.98	4.79	6.33	0.75	849.3	642.0	592.1	437.6	60.2	74.08		0.1386	0.1020	0.736	0.654				
																						corr. 0.636			
Bergauf 12.682% Steigung (7° 17' 10" Steigungswinkel).																									
Berlin																									
12. VII. 01	28.45	763.0	3' 20"		21.51	18.82	14.74	5.04	6.49	0.78	1221.4	948.5	964.2	744.4	42.07	70.14	374.3	0.3267	0.2616	0.773	1.558				
12. "	29.07	763.0	3' 50"		20.87	18.19	14.68	5.18	6.52	0.79	1186.2	942.4	929.0	738.3	39.95	70.00	354.7	0.3306	0.2628	0.795	1.585				
12. "	29.0	763.0	3' 30"		21.65	18.88	14.83	5.13	6.35	0.81	1198.7	968.4	941.5	764.3	42.87	69.89	380.0	0.3148	0.2551	0.812	1.513				
Mittel der Berliner Bergaufmärsche	28.84	763.0	3' 33"	etwa 11	21.34	18.63	14.75	5.12	6.45	0.79	1202.1	953.1	944.9	749.0	41.63	70.01	369.6	0.3238	0.2598	0.793	1.552	7.223			
																						corr. 1.511			
Bergauf 25% Steigung.																									
Brienz																									
12. VIII. 01 ²⁾	15	699.6	4' 37"	—	19.09	16.27	13.43	6.43	7.50	0.85	1220.5	1041.5	911.7	795.6	23.98	70.04	419.9	0.5428	0.4737	0.873	2.655				
13. " ²⁾	19	698.8	4' 30"	—	21.52	17.93	14.05	5.87	6.87	0.85	1231.2	1047.2	922.4	801.3	24.00	71.15	427.0	0.5402	0.4693	0.869	2.640				
13. " ²⁾	17	698.8	4' 04"	—	23.44	19.71	14.14	5.99	6.72	0.89	1324.2	1174.5	1015.4	928.6	27.22	71.15	484.2	0.5243	0.4795	0.915	2.591				
13. " ²⁾	16	698.8	3' 45"	—	23.49	19.85	14.01	6.17	6.84	0.90	1358.1	1219.1	1049.3	973.2	28.20	71.15	501.5	0.5230	0.4850	0.927	2.593				
17. " ²⁾	20	701.5	ca. 3' 30"	11	22.29	18.46	13.79	5.90	7.19	0.82	1327.0	1084.0	1069.8	879.1	25.97	72.81	472.7	0.5657	0.4649	0.822	2.732				
17. " ²⁾	28	701.5	3' 9"	—	26.44	21.14	13.69	5.88	7.32	0.80	1546.9	1236.6	1289.0	1031.7	30.15	72.70	548.0	0.5881	0.4707	0.800	2.824				
Mittel der Versuche Brienz Periode II	19	699.1	3' 56"	11	22.71	18.89	13.85	6.04	7.06	0.85	1334.6	1133.8	1042.9	901.6	26.59	71.50	475.5	0.5473	0.4738	0.868	2.672	7.856			
																						corr. 2.600			
Rothorn																									
25. VIII. 01	31	594.7	3' 13"	12	26.43	17.38	13.22	6.75	7.80	0.86	1355.4	1168.1	1103.2	969.6	31.61	69.76	551.4	0.5002	0.4396	0.879	2.450				
25. "	35	594.7	3' 1"	13	28.53	18.28	13.04	6.74	8.03	0.83	1467.5	1226.3	1215.3	1027.8	32.52	69.76	567.2	0.5357	0.4530	0.846	2.602				
26. "	10	591.7	3' 12"	16	28.54	21.09	—	7.01	—	—	—	1471.7	—	1273.2	37.28	70.37	655.9	—	—	—	—				
Mittel 3 Versuche	25	593.7	3' 9"	13.7	27.83	18.92	—	6.83	—	—	—	1288.7	—	1090.2	33.80	69.96	591.5	—	—	—	—				
Mittel ersten 2 Versuche auf Rothorn	33	594.7	3' 7"	12.5	27.48	17.83	13.13	6.745	7.91	0.84	1411.4	1197.2	1159.2	998.7	32.06	69.76	559.3	0.5179	0.4463	0.862	2.526	7.288			
																						corr. 2.458			
Bergauf 45% Steigung.																									
Col d'Olen																									
4. IX. 01	5	538.8	2' 30"	16	27.36	18.61	13.78	6.07	7.27	0.83	1352.8	1123.9	1096.2	904.4	16.64	72.45	542.5	0.9093	0.7501	0.825	4.394				
4. "	10	538.8	2' 28"	16	32.14	21.49	14.05	6.21	6.89	0.90	1480.7	1328.1	1224.1	1108.6	16.87	72.45	550.0	1.0015	0.9070	0.906	4.939				
5. "	17	538.0	2' 17"	14	31.21	20.05	13.51	6.09	6.60	0.92	1324.3	1215.1	1067.7	995.6	18.16	72.07	539.0	0.8158	0.7607	0.932	4.049				
5. "	19	538.0	2' 16"	16	32.37	20.67	13.60	6.26	7.45	0.84	1539.1	1287.7	1282.5	1068.2	16.38	72.07	531.2	1.0864	0.9049	0.833	5.260				
Mittel der Versuche auf Col d'Olen	13	538.4	2' 23"	15.5	30.77	20.20	13.73	6.16	7.05	0.87	1428.2	1236.2	1167.6	1019.2	17.01	72.26	553.2	0.9532	0.8307	0.874	4.600	8.676			
																						corr. 4.540			

1) Energiewert des Sauerstoffs durch Extrapolation berechnet.

2) Nach dem Mittagessen angestellt, deshalb um 25% erhöhter Ruhewert bei Berechnung des Arbeitsverbrauchs abgezogen.

Tabelle XVIII.

Kolmer, Marschversuche.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Ort und Tag	Lufttemperatur Grad	Barometer reduziert auf 0° mm	Dauer der Probentnahme	Atemfrequenz pro Minute	Atemvolumen pro Min.		Analyse der Expirationsluft				Gesamtverbrauch pro Minute		Arbeitsverbrauch pro Minute		Weg pro Minute m	Bewegtes Gewicht kg	Steigarbeit pro Minute in mkg	Arbeitsverbrauch pro kg u. Meter Weg		Energieverbrauch pro kg u. Meter Weg W. E.	Energieverbrauch pro mkg Steigarbeit W. E.	Bemerkungen		
					beobachtet ccm	reduziert 0°, 760 mm ccm	Sauerstoff Vol. % Vol. %	Kohlen- saure Vol. % Vol. %	Sauerstoff- defizit in % in %	Respira- torischer Quotient	Sauerstoff ccm	Kohlensäure ccm	Sauerstoff ccm	Kohlensäure ccm				Sauerstoff ccm	Kohlen- saure ccm				Respira- torischer Quotient	W. E.
Horizontal.																								
Berlin 16. IV. 1901	10.50	747.1	4' 0"	23	18.02	16.39	15.22	4.38	6.05	0.72	991.6	717.9	724.1	505.5	39.64	86.36			0.2115	0.1476	0.698	0.989	} ausgeruht nach 2 1/2 stünd. Marsch	
16. "	10.00	747.1	4' 0"	23	16.15	14.72	15.43	4.24	5.83	0.73	858.1	624.1	590.6	411.7	37.00	86.36			0.1848	0.1288	0.697	0.864		
17. "	9.30	755.5	4' 0"	—	17.93	16.49	15.46	4.38	5.75	0.76	948.1	722.2	680.6	509.8	48.45	83.85			0.1702	0.1303	0.766	0.810		
17. "	10.52	755.5	4' 0"	—	17.97	16.63	15.43	4.46	5.76	0.77	958.8	741.8	691.3	529.4	47.57	83.85			0.1706	0.1278	0.749	0.808		
Mittel der Horizontalversuche	10.08	751.3	4' 0"	23	17.52	16.06	15.38	4.36	5.85	0.745	939.15	701.5	671.65	489.1	43.16	85.10			0.1843	0.1336	0.727	0.868		corr. 0.845
Bergauf 18.24% (10° 30' 35" Steigungswinkel).																								
Berlin 24. IV. 01	17.62	765.7	4'	—	29.75	26.86	15.02	5.14	6.10	0.84	1639.6	1380.1	1372.1	1167.7	48.23	75.72	666.2	0.3757	0.3197	0.851	1.827	} ohne Gasuhr marschiert		
24. "	17.35	765.7	4'	—	29.87	27.00	15.05	5.24	6.04	0.87	1630.9	1416.2	1363.4	1203.8	47.57	75.72	657.1	0.3785	0.3342	0.883	1.856			
24. "	17.17	765.7	5'	24	24.68	22.33	15.26	4.86	5.86	0.83	1309.8	1086.2	1042.3	873.8	36.47	75.72	503.8	0.3774	0.3164	0.838	1.830			
24. "	16.72	765.7	4'	—	23.35	21.17	15.15	4.94	6.00	0.82	1270.2	1045.8	1002.7	833.4	35.68	75.72	492.8	0.3711	0.3085	0.831	1.792			
24. "	18.40	765.7	3'	—	26.73	24.04	15.11	4.69	6.11	0.77	1469.9	1127.8	1202.4	915.4	37.00	84.71	571.7	0.3836	0.2920	0.761	1.823			
24. "	18.70	765.7	3'	24	25.97	23.33	15.37	4.63	5.80	0.80	1352.9	1080.0	1085.4	867.6	36.16	84.71	558.7	0.3544	0.2833	0.799	1.701			
24. "	18.52	765.7	3'	24	26.07	23.44	15.25	4.27	6.04	0.71	1416.7	1000.7	1149.2	788.2	35.23	84.71	544.4	0.3852	0.2641	0.686	1.794			
24. "	18.98	765.7	3'	25	27.17	24.37	15.05	4.42	6.26	0.71	1525.2	1077.2	1257.7	864.8	37.00	84.71	571.7	0.4013	0.2759	0.688	1.871			
Mittel: Berlinbergauf	17.93	765.7	3' 37"	24	26.70	24.07	15.16	4.77	6.03	0.79	1451.9	1151.7	1184.4	939.4	39.17	80.21	570.8	0.3784	0.2993	0.792	1.812	5.033	corr. 1.763	
Bergauf 25%.																								
Brienz 9. VIII. 01	31	699.0	1' 28"	—	44.85	35.19	15.04	4.59	5.95	0.77	2093.0	1604.0	1844.7	1398.2	47.93	81.34	974.6	0.4731	0.3586	0.758	2.247	} ohne Gasuhr marschiert		
9. "	25	699.0	2' 0"	35	39.00	31.98	15.24	4.59	5.60	0.81	1790.9	1458.3	1542.6	1252.5	38.25	81.34	777.8	0.4958	0.4025	0.812	2.388			
10. "	30	697.0	1' 40"	32	35.35	27.76	15.30	4.69	5.60	0.83	1554.5	1293.6	1306.2	1087.8	32.94	83.83	690.3	0.4730	0.3850	0.814	2.279			
10. "	32	697.0	1' 45"	40	48.83	37.57	14.99	5.15	5.87	0.87	2205.2	1923.5	1956.9	1717.7	51.43	83.83	1077.8	0.4539	0.3984	0.878	2.223			
Mittel: Brienz Periode I	29	698.0	1' 43"	35.7	42.01	33.12	15.14	4.75	5.75	0.82	1910.9	1569.8	1662.6	1364.0	42.64	82.58	880.1	0.4739	0.3861	0.815	2.284		5.508	corr. 2.222
Rothorn																								
13. VIII. 01 ²⁾	12	596.0	1' 27"	—	44.07	32.36	14.99	5.47	5.78	0.94	1872.1	1760.4	1550.0	1491.4	38.48	83.80	806.2	0.4807	0.4625	0.919	2.378	} ohne Gasuhr marschiert		
13. " ²⁾	11	596.0	2' 11"	25	33.43	24.75	14.37	5.74	6.50	0.88	1608.0	1413.2	1285.9	1144.2	27.21	83.80	570.0	0.5640	0.5019	0.890	2.771 ¹⁾			
14. " ²⁾	11	596.4	1' 0"	24	30.62	22.53	14.64	5.28	6.39	0.82	1440.0	1183.1	1117.9	914.1	29.25	84.20	615.7	0.4539	0.3715	0.818	2.189			
14. " ²⁾	11	596.4	1' 20"	34	37.44	27.66	13.86	5.60	7.29	0.76	2015.2	1540.5	1693.1	1271.5	39.15	84.20	824.1	0.5136	0.3857	0.751	2.435			
18. "	20	600.4	1' 34"	31	31.57	22.40	13.79	5.74	7.34	0.78	1644.7	1279.0	1376.3	1054.8	31.02	83.94	651.0	0.5285	0.4051	0.766	2.517			
18. "	28	600.4	1' 34"	31	40.38	27.45	14.64	5.50	6.33	0.86	1738.4	1501.6	1470.0	1277.4	45.98	83.94	964.9	0.4176	0.3629	0.869	2.041			
23. "	22	599.1	1' 35"	32	38.35	27.00	14.01	5.67	6.97	0.81	1882.0	1522.9	1613.6	1298.7	39.22	84.56	829.1	0.4865	0.3916	0.805	2.339			
23. "	24	599.1	1' 22"	39	46.76	32.44	13.95	5.72	7.03	0.81	2280.6	1845.9	2012.2	1621.7	51.36	84.56	1085.7	0.4632	0.3733	0.806	2.228			
Mittel: Rothorn von 8 bez. 7 Versuchen	17.37	597.0	1' 30"	31	37.85	27.07	14.28	5.59	6.70	0.83	1810.1	1505.8	1514.9	1259.2	37.71	84.12	793.3	0.4885	0.4068	0.828	2.304		5.588	corr. 2.242
Brienz																								
24. VIII. 01 ²⁾	23	696.8	2' 34"	33	31.81	26.01	14.59	4.61	6.51	0.70	1694.1	1191.1	1396.1	944.2	36.12	81.76	738.3	0.4728	0.3197	0.676	2.197	} Weglänge unsicher! Gasuhr nicht getragen " " " dafür gleichschwerer " " " [Rucksack]		
26. "	17	696.4	1' 29"	30	33.37	28.13	14.92	5.11	6.97	0.73	1960.5	1428.9	1712.2	1223.1	35.80	86.44	773.6	0.5533	0.3953	0.714	2.598			
26. "	17	696.4	1' 48 1/3"	—	30.72	25.86	15.19	4.22	5.86	0.71	1515.6	1083.7	1267.3	877.9	33.84	73.87	624.9	0.5069	0.3512	0.693	2.367			
27. "	15	695.5	1' 55"	29	31.72	26.92	15.25	4.36	5.75	0.75	1548.2	1165.9	1299.9	960.1	39.44	85.43	842.3	0.3858	0.2849	0.739	1.823			
27. "	20	695.5	2' 03"	40	29.73	24.58	15.02	4.83	5.91	0.81	1453.6	1179.7	1205.3	973.9	33.36	73.67	614.4	0.4903	0.3962	0.808	2.359			
Mittel: Brienz Periode III	18.40	696.1	1' 58"	33	31.47	26.30	14.99	4.63	6.20	0.74	1634.4	1209.8	1376.2	995.8	35.71	80.23	718.7	0.4818	0.3495	0.726	2.269		5.448	corr. 2.207
Bergauf auf festem Firn 21.63%.																								
Monte Rosa 8. IX. 01	12	453.8	1' 45"	42	44.24	24.66	14.66	5.08	6.58	0.77	1623.6	1245.1	1330.6	1010.8	21.83	79.07	373.4	0.7709	0.5856	0.760	3.663	12.570	corr. 3.564	
Bergauf auf festem Firn 22.4%.																								
Monte Rosa 8. IX. 01	12	453.8	2' 0"	31	38.79	21.63	14.62	5.40	6.55	0.82	1416.6	1161.4	1123.6	927.1	17.00	79.07	301.1	0.8359	0.7058	0.844	4.058	13.853	corr. 3.948	
Mittel: Monte Rosa	12	453.8	1' 52"	36	41.51	23.14	14.64	5.24	6.56	0.79	1520.1	1203.2	1227.1	968.9	19.41	79.07	337.2	0.8034	0.6457	0.802	3.756	13.211	corr. 3.948	

1) Zu langsamer Gang, im Mittel nicht berücksichtigt.

2) Nach dem Mittagessen angestellt, deshalb um 25% erhöhter Ruhewert bei Berechnung des Arbeitsverbrauchs abgezogen.

Tabelle XIX.

Caspari, Marschversuche.

1	2	3	4	5	6	7	8				10	11	12		13		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
							Analyse der Expirationsluft		Gesamtverbrauch pro Minute				Arbeitsverbrauch pro Minute		Weg pro Minute	Bewegtes Gewicht											
Ort und Tag	Lufttemperatur Grad	Barometer reduziert auf 0° mm	Dauer der Probenentnahme	Atemfrequenz pro Minute	Atemvolumen pro Min. beobachtet ccm	reduziert 0°, 760 mm ccm	Sauerstoff Vol. %	Kohlensäure Vol. %	Sauerstoffdefizit in %	Respiratorischer Quotient	Sauerstoff ccm	Kohlensäure ccm	Sauerstoff ccm	Kohlensäure ccm			m	kg	in mkg	ccm	ccm	Respiratorischer Quotient	W. E.	W. E.	W. E.	W. E.	
Horizontal.																											
Berlin																											
10. X. 1902	14.98	752.9	4' 0"		20.00	18.47	14.95	5.02	6.23	0.81	1150.9	927.4	924.9	749.2	77.53	82.63						0.1444	0.1169	0.810	0.695		
10. "	15.82	752.9	3' 0"		18.50	17.02	14.41	5.68	6.73	0.84	1145.2	966.5	919.2	788.3	79.38	82.63						0.1401	0.1202	0.858	0.683		
13. "	13.85	767.7	4' 45"		19.70	18.66	15.09	5.19	6.01	0.86	1120.6	967.7	894.6	789.5	82.69	82.13						0.1317	0.1162	0.882	0.646		
18. "	13.45	752.1	4' 2"		18.80	17.46	15.10	4.80	6.09	0.79	1063.1	838.0	837.1	659.8	76.73	81.19						0.1344	0.1059	0.788	0.643		
18. "	13.90	752.1	5' 8"		17.00	15.76	15.20	4.82	5.97	0.81	940.6	759.4	714.6	581.2	67.47	81.19						0.1335	0.1061	0.795	0.640		
Mittel der Horizontalversuche	14.40	755.5	4' 11"	17	18.80	17.47	14.95	5.10	6.21	0.82	1084.1	891.6	858.1	713.6	76.76	81.95						0.1368	0.1131	0.827	0.661	corr. 0.643	
Bergauf 12.68% (7° 17' 10" Steigungswinkel).																											
Berlin																											
31. V. 01	26.50	757.4	2'		26.55	23.80	14.99	5.67	6.00	0.945	1397.7 ¹⁾	1320.8	1171.7	1142.6	38.37	78.42	548.8	0.3893	0.3797	0.975	1.953 ¹⁾						
31. "	26.15	757.4	3'		21.60	18.99	15.22	4.63	5.99	0.773	1137.1	879.1	911.3	700.3	37.04	78.42	529.8	0.3137	0.2419	0.771	1.495						
31. "	25.82	757.5	2'		20.80	18.32	15.17	4.94	5.965	0.828	1092.7	905.5	866.7	726.8	38.37	78.42	548.8	0.2880	0.2415	0.838	1.396						
31. "	25.70	757.5	3'		21.93	19.33	14.77	5.59	6.30	0.887	1218.2	1080.4	992.2	902.2	37.91	78.42	542.3	0.3337	0.3034	0.909	1.647						
10. VI. 01	26.22	754.3	2' 30"		26.86	23.50	—	5.01	5.86	0.861	1377.3	1178.7	1151.3	1000.5	47.63	78.42	681.3	0.3082	0.2691	0.873	1.508						
10. "	26.42	754.3	3'		25.43	22.23	—	5.78	4.82	0.834	1284.3	1071.4	1058.3	893.2	44.19	78.42	632.1	0.3054	0.2578	0.844	1.483						
Mittel Bergaufversuche Berlin	26.16	756.4	2' 35"	20	23.86	20.94	15.04	5.28	5.82	0.855	1251.2	1072.6	1025.2	894.3	40.36	78.42	580.5	0.3230	0.2822	0.868	1.580	7.057				Bei Ausschaltung des Versuchs mit zu langsamem Gang Mittel corr. 1.465. Energieverbrauch pro Meterkilogramm = 6.483 W. E.	
Bergauf 25%.																											
Brienz																											
12. VIII. 01	15	699.6	2' 30"	22	32.64	27.78	14.34	5.74	6.53	0.88	1815.3	1586.1	1546.8	1376.7	37.80	81.07	766.1	0.5048	0.4493	0.890	2.480						
12. "	15	699.6	2' 20"	20	36.97	31.43	14.40	5.67	6.48	0.87	2037.0	1772.9	1768.5	1563.5	41.66	81.07	844.3	0.5237	0.4630	0.868	2.595						
12. "	15	699.6	2' 08"	23	36.83	31.36	14.41	5.55	6.50	0.85	2037.4	1731.3	1768.9	1521.9	36.70	81.07	743.8	0.5945	0.5115	0.860	[2.898] ²⁾						
16. "	13	700.8	2' 48"	15	30.05	25.81	14.55	5.44	6.35	0.85	1639.0	1396.4	1415.0	1221.9	35.36	79.29	700.9	0.5047	0.4358	0.863	2.462						
16. "	13	700.8	2' 00"	19	36.04	31.01	14.98	5.30	5.84	0.90	1811.1	1634.4	1587.1	1459.9	40.39	79.29	800.6	0.4956	0.4558	0.920	2.453						
16. "	13	700.8	2' 01"	21	[37.98] ²⁾	[32.67] ²⁾	14.96	5.35	5.85	0.91	[1912.3] ²⁾	[1737.8] ²⁾	[1688.3] ²⁾	[1563.3] ²⁾	37.15	79.29	736.4	[0.5731] ²⁾	[0.5307] ²⁾	[0.926] ²⁾	[2.840] ²⁾						
20. "	27	699.8	2' 30"	24	32.75	26.37	14.14	5.60	6.82	0.82	1799.0	1468.7	1575.0	1294.2	41.40	83.10	860.1	0.4578	0.3832	0.837	2.219 ³⁾						
Mittel aus 6 Versuchen Brienz Periode II	15.86	700.2	2' 20"	20.6	34.21	28.96	14.54	5.52	6.34	0.87	1856.5	1598.3	1610.2	1406.4	38.64	80.60	778.9	0.5135	0.4498	0.873	2.442	6.932				corr. 2.376	
Rothorn																											
26. VIII. 01 ⁴⁾	8	592.2	2' 9"	19	35.91	26.70	14.66	5.38	6.34	0.84	1693.0	1428.6	1466.7	1241.7	34.74	79.98	694.6	0.5284	0.4474	0.847	2.568						
27. "	8	594.7	2' 13"	23	36.29	27.45	14.72	5.53	6.22	0.88	1708.3	1509.6	1482.0	1322.7	37.09	78.72	730.0	0.5076	0.4530	0.892	2.495						
Mittel Rothorn Periode III	5.5	593.5	2' 11"	21	36.10	27.08	14.69	5.45	6.28	0.86	1700.6	1469.1	1474.4	1282.2	35.92	79.35	712.3	0.5180	0.4502	0.869	2.531	7.280				corr. 2.463	
Bergauf auf festem Firn 22.4%.																											
Monte Rosa																											
8. IX. 01	10	454.3	1' 39"	28.5	40.87	23.05	15.21	4.75	5.98	0.79	1378.6	1088.2	1054.0	850.2	20.61	73.81	340.8	0.6928	0.5589	0.807	3.332	11.60				Scharfer Wind	
9. "	7	454.1	1' 33"	32.3	42.37	24.11	14.92	4.75	5.65	0.835	1362.0	1137.8	1037.4	899.8	21.93	72.61	356.7	0.6513	0.5649	0.867	3.181	10.95				Sonnig, windig und kalt. Das Wasser gefriert rasch im Schatten des Marschierenden	
9. "	6	454.1	1' 33"	27.7	42.47	24.43	15.36	4.83	5.77	0.83	1409.4	1172.4	1084.8	934.4	22.58	72.61	367.3	0.6616	0.5699	0.861	3.226	11.14				corr. 3.139	
Bergauf auf festem Firn 23.42%.																											
Monte Rosa																											
8. IX. 01	12	454.3	2' 08"	22.0	34.57	19.26	15.46	4.78	5.65	0.84	1088.1	914.8	763.5	676.8	13.92	73.81	240.6	0.7431	0.6587	0.886	3.647	12.482				Ziemlich sonnig. Dyspnoë	
Mittel der Versuche auf Monte Rosa	8.75	454.2	1' 53"	27.6	40.07	22.71	15.23	4.78	5.76	0.82	1309.5	1078.3	984.9	840.3	19.76	73.21	326.3	0.6872	0.5881	0.860	3.346	11.527				Scharfer Wind	

1) Gang subjektiv als zu langsam empfunden.

2) Dyspnoë wegen schlechten Funktionierens des Ventils, unberücksichtigt im Mittel.

3) Sehr heiß, Sonne.

4) Schneeboën mit Sonnenschein wechselnd.

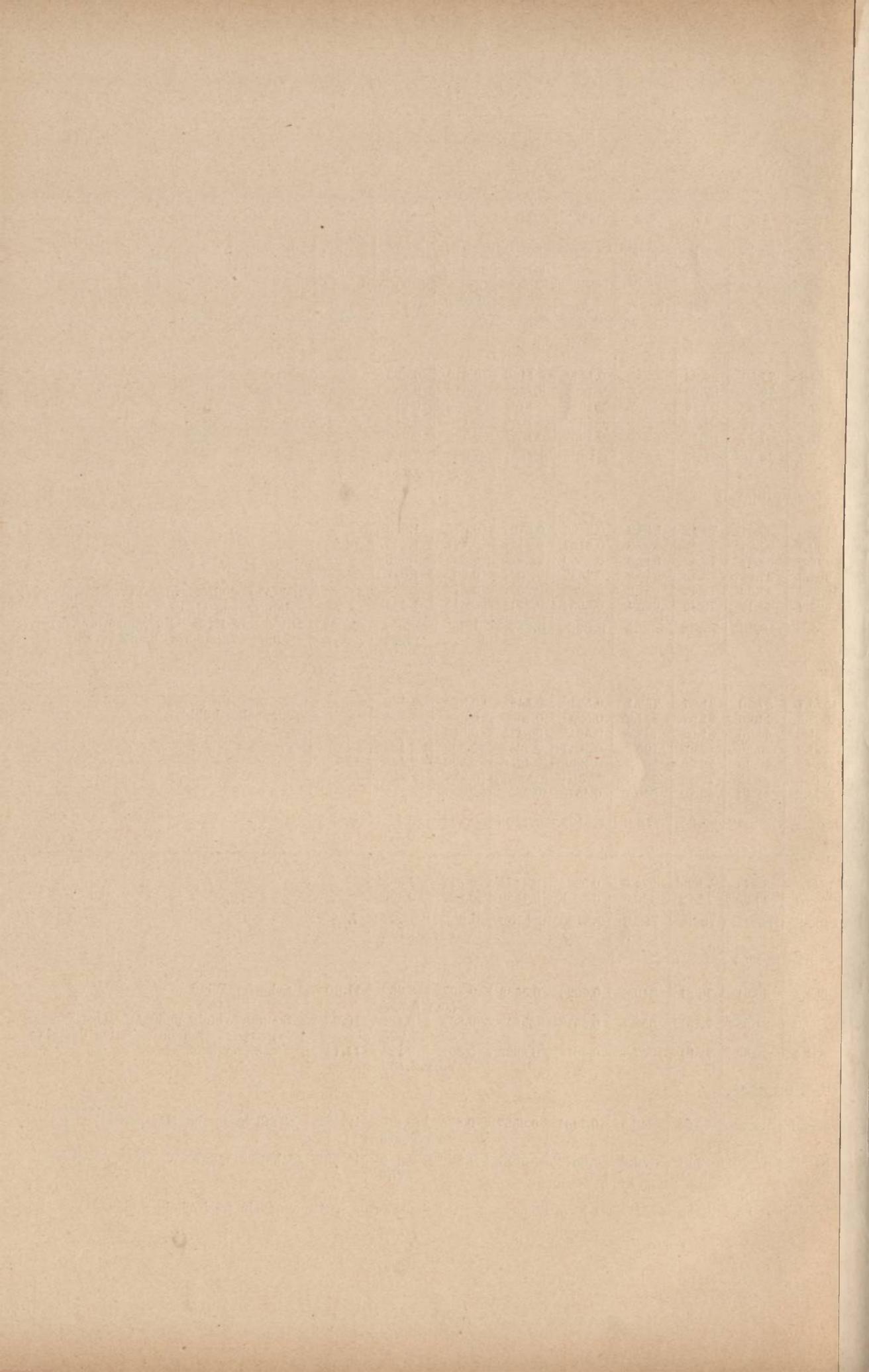
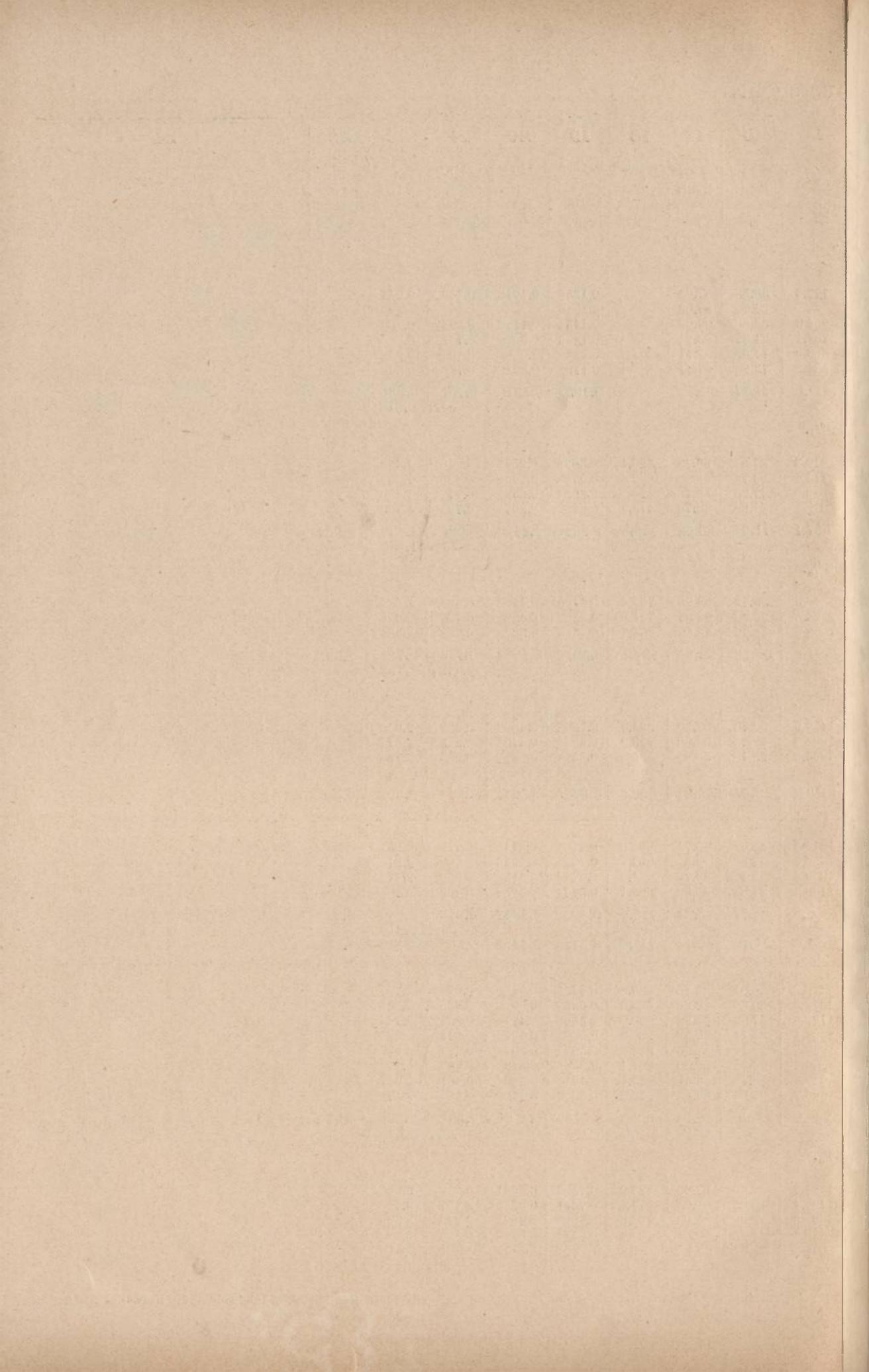


Tabelle XX.

Müller, Marschversuche.

1	2	3	4	5	6	7	8				10	11	12		13		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
							Analyse der Expirationsluft						Gesamtverbrauch pro Minute		Arbeitsverbrauch pro Minute													Weg pro Minute
Ort und Tag	Lufttemperatur Grad	Barometer reduziert auf 0° mm	Dauer der Probenentnahme	Atemfrequenz pro Minute	Atemvolumen pro Min. beobachtet ccm	reduziert 0°, 760 mm ccm	Sauerstoff Vol. %	Kohlensäure Vol. %	Sauerstoffdefizit in %	Respiratorischer Quotient	Sauerstoff ccm	Kohlensäure ccm	Sauerstoff ccm	Kohlensäure ccm	m	kg	in mkg	Sauerstoff ccm	Kohlensäure ccm	Respiratorischer Quotient	W. E.	W. E.	Bemerkungen					
Horizontal.																												
Berlin																												
10. X. 1902	17.02	752.2	3' 40"		21.14	19.32	14.63	5.02	6.63	0.76	1280.7	969.7	1032.5	773.6	86.52	87.83						0.1359	0.1018	0.749	0.644			
10. "	16.57	752.2	3' 30"		20.92	19.15	15.25	—	7.18	—	1375.3	—	1127.1	—	84.67	87.83						0.1516	—	—	—			
13. "	12.37	767.7	3' 15"		24.12	22.98	15.46	4.57	5.70	0.80	1310.1	1050.4	1061.9	854.3	83.80	86.96						0.1457	0.1172	0.804	0.700			
13. "	12.75	767.7	2' 57"		21.73	20.67	15.44	4.37	5.77	0.76	1192.6	903.2	944.4	707.1	84.67	86.96						0.1283	0.0960	0.749	0.608			
18. "	13.65	752.1	3' 41"	14	21.15	19.63	15.54	4.25	5.68	0.75	1114.7	835.0	866.5	638.9	74.09	87.41						0.1338	0.0986	0.737	0.632			
18. "	13.67	752.1	3' 57"	13	20.09	18.64	15.75	4.19	5.43	0.77	1012.2	781.0	764.0	584.9	73.29	87.41						0.1192	0.0913	0.766	0.568			
Mittel: Horizontalversuche	14.34	757.3	3' 30"	13.5	21.52	20.06	15.34	4.48	6.06	0.77	1214.3	907.9	966.1	711.8	81.17	87.40						0.1357	0.1010	0.761	0.630			
Bergauf 12.68%.																												
Berlin																												
5. VI. 1901	22.3	762.1	3' 20"		22.08	19.93	—	5.07	6.11	0.83	1217.7	1010.4	969.5	814.3	37.04	86.48	320.4	0.3026	0.2542	0.840	1.468							
5. "	22.5	762.1	4'		19.63	17.70	—	5.16	5.96	0.87	1054.8	913.2	806.6	717.1	33.74	86.48	292.4	0.2765	0.2458	0.889	1.358							
7. "	21.1	760.5	2' 30"		23.96	21.70	14.58	5.32	6.83	0.78	1482.5	1154.7	1234.3	958.6	47.63	86.76	413.2	0.2987	0.2320	0.777	1.426							
7. "	20.8	760.5	2' 50"		25.05	22.72	14.68	5.17	6.51	0.79	1480.4	1175.9	1232.2	979.8	47.63	86.76	413.2	0.2982	0.2371	0.795	1.430							
Mittel der 4 Versuche	21.7	761.3	3' 10"	etwa 20	22.68	20.51	14.63	5.18	6.35	0.82	1308.8	1063.5	1060.6	867.4	41.51	86.62	359.8	0.2940	0.2423	0.825	1.420						6.064	
Bergauf 26.23%.																												
Berlin																												
22. VII. 01	29.62	754.4	2' 0"	18	33.70	28.94	13.81	5.34	7.58	0.70	2194.0	1545.6	1945.8	1349.5	35.72	83.83	785.4	0.6498	0.4507	0.693	3.034 ¹⁾							
22. "	29.80	754.4	2' 22"	21	32.01	27.50	14.22	5.53	7.01	0.79	1927.8	1520.6	1679.6	1324.5	35.99	83.83	791.2	0.5568	0.4391	0.780	2.665							
22. "	29.65	754.4	2' 30"	20	32.21	27.66	14.13	5.08	7.24	0.70	2002.5	1405.5	1754.3	1208.9	36.78	83.83	808.7	0.5690	0.3975	0.689	2.654							
Mittel der 3 Versuche	29.69	754.4	2' 17"	20	32.64	28.03	14.05	5.32	7.28	0.73	2041.4	1490.6	1793.2	1294.3	36.16	83.83	795.1	0.5919	0.4291	0.724	2.784						7.991	
Bergauf 25%.																												
Brienz																												
9. VIII. 01	30	698.7	1' 45"	23	39.32	30.70	14.95	5.23	5.90	0.88	1811.6	1596.7	1574.4	1413.5	33.43	87.50	831.2	0.5382	0.4832	0.898	2.649							
9. "	32	698.7	1' 55"	16	29.23	22.45	15.04	5.33	5.76	0.92	1293.1	1189.8	1055.9	1006.6	22.54	87.50	493.0	0.5354	0.5104	0.953	2.671							
10. "	27	697.0	1' 54"	15	29.92	23.74	14.35	6.00	6.45	0.92	1532.2	1417.4	1295.0	1234.2	28.15	83.03	584.3	0.5540	0.5280	0.953	2.764							
10. "	31	697.0	1' 45"	15	32.21	27.66	14.13	5.08	7.24	0.70	2002.5	1405.5	1754.3	1208.9	36.78	83.83	808.7	0.5690	0.3975	0.689	2.654							
Mittel: Brienz Periode I	30	697.8	1' 51"	18	32.82	25.63	14.63	5.57	6.21	0.89	1545.6	1401.3	1308.4	1218.1	28.04	86.01	636.2	0.5425	0.5072	0.935	2.695						8.040	
Bergauf 25%.																												
Brienz																												
24. VIII. 01 ²⁾	22	696.8	1' 51"	18	35.50	29.06	14.23	4.98	6.87	0.72	1996.2	1438.2	1711.6	1218.5	42.62	83.71	892.0	0.4797	0.3415	0.712	2.251							
24. " ²⁾	21	696.8	2' 32"	19	35.26	29.03	13.96	6.13	6.91	0.88	2005.9	1770.7	1721.3	1550.3	42.63	83.71	892.2	0.4823	0.4346	0.900	2.375							
26. "	17	696.4	1' 50"	14	26.92	22.59	14.30	5.49	6.65	0.82	1502.5	1233.6	1265.3	1030.4	28.47	89.16	634.6	0.4984	0.4138	0.830	2.412							
26. "	18	696.4	1' 45"	16	32.42	27.22	14.81	5.07	6.12	0.82	1666.0	1372.0	1428.8	1188.8	31.37	88.38	693.1	0.5154	0.4288	0.832	2.495 ³⁾							
Mittel: Brienz Periode III	19	696.6	1' 59"	16.7	32.52	26.97	14.32	5.42	6.64	0.81	1792.6	1453.6	1531.7	1252.0	38.77	86.24	778.0	0.4939	0.4047	0.818	2.383						6.824	
Gesamtmittel: Brienz	25	697.2	1' 55"	17.3	32.64	26.30	14.48	5.49	6.42	0.85	1688.3	1431.2	1421.7	1235.0	34.19	86.14	717.2	0.5148	0.4486	0.868	2.449						7.345	
Bergauf 45%.																												
Rothorn																												
13. VIII. 01 ²⁾	10	596.0	2' 11"	22	32.38	24.01	14.18	6.25	6.60	0.94	1585.3	1493.4	1287.1	1273.1	25.97	90.85	589.8	0.5455	0.5400	0.990	2.747							
13. " ²⁾	10	596.0	1' 30"	28	38.73	28.75	14.23	5.65	6.70	0.84	1926.4	1615.9	1628.2	1396.4	30.60	90.85	695.0	0.5857	0.5023	0.858	2.854							
14. " ²⁾	12	596.4	1' 50"	22	36.03	26.48	14.66	5.34	6.35	0.84	1681.5	1406.1	1383.3	1186.6	27.50	90.32	620.9	0.5569	0.4778	0.858	2.714							
14. " ²⁾	12	596.4	1' 21 1/2"	19	37.59	27.71	14.08	6.25	6.84	0.91	1896.3	1723.6	1598.1	1504.1	31.11	90.32	702.3	0.5688	0.5354	0.941	2.830							
18. "	28	600.4	1' 32"	22	40.18	27.32	14.74	5.25	6.27	0.83	1713.5	1426.1	1465.0	1243.2	28.17	87.00	612.8	0.5977	0.5072	0.849	2.906							
18. "	30	600.4	1' 28"	20	38.73	26.13	14.09	5.60	7.00	0.80	1828.9	1455.3	1580.4	1272.4	32.52	87.00	707.4	0.5586	0.4497	0.805	2.740 ⁴⁾							
23. "	28	598.8	1' 47"	17	30.62	20.89	14.65	5.44	6.22	0.87	1299.7	1130.0	1051.2	947.1	28.77	86.65	623.1	0.4217	0.3800	0.901	2.077							
23. "	29	598.8	1' 40"	16	37.03	25.11	13.94	6.04	6.96	0.86	1747.6	1509.0	1499.1	1326.1	34.56	86.65	748.6	0.5006	0.4428	0.885	2.456 ⁵⁾							
Gesamtmittel: Rothorn Periode II	20	597.9	1' 37"	20.7	36.41	25.80	14.32	5.73	6.62	0.86	1709.9	1469.9	1436.5	1268.6	29.90	88.70	662.5	0.5419	0.4794	0.886	2.665						7.920	
Bergauf 45%.																												
Col d'Olen																												
4. IX. 01	13	538.8	1' 52"	20	40.58	26.82	14.26	5.74	6.21	0.92	1665.0	1531.7	1432.9	1364.7	22.29	87.95	822.2	0.7309	0.6961	0.952	3.646							
4. "	12	538.8	2' 07"	19	36.88	24.53	1																					



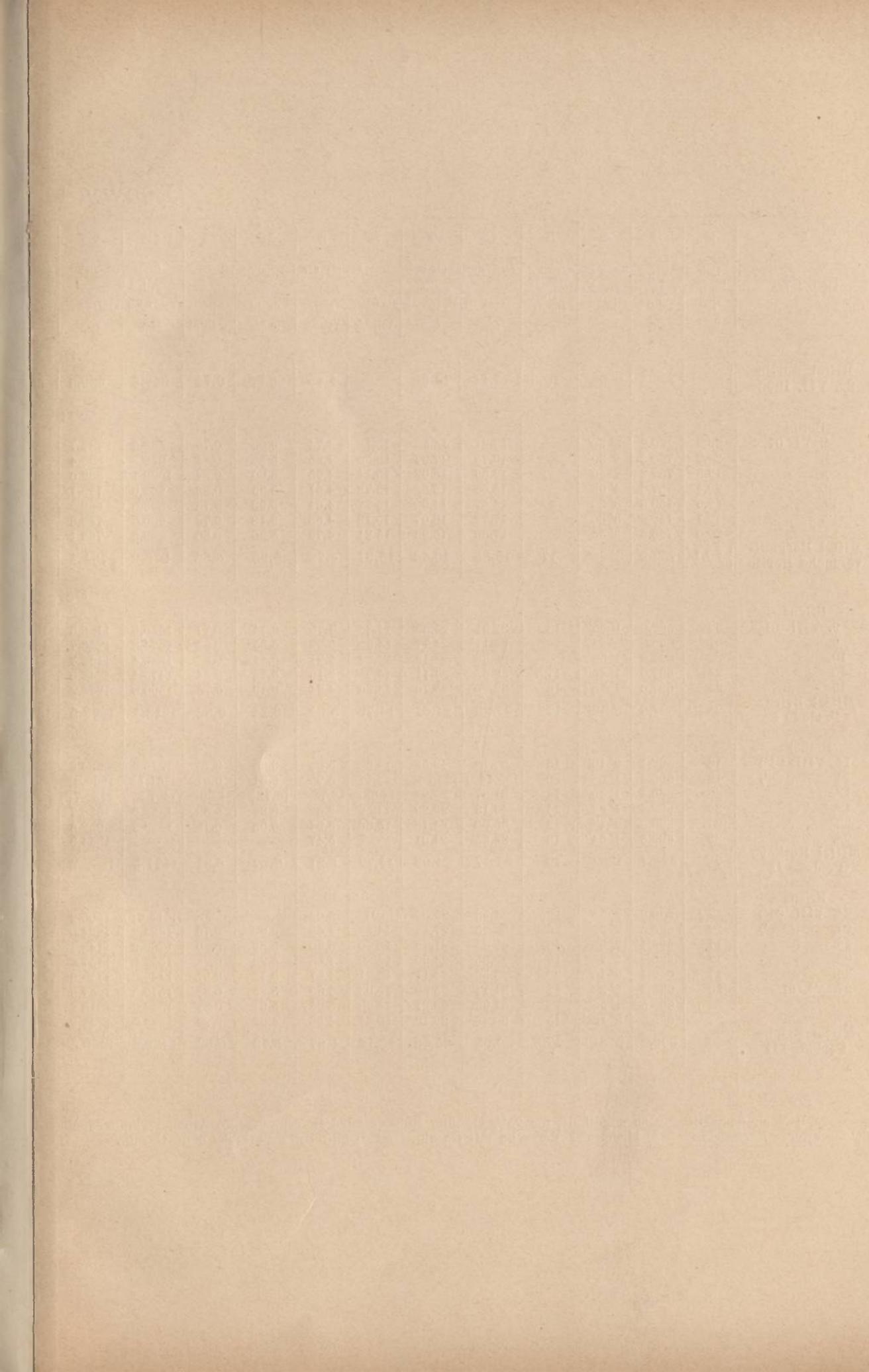


Tabelle XXI.

Loewy, Marschversuche.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
Ort und Tag	Lufttemperatur Grad	Barometer reduziert auf 0° mm	Dauer der Probentnahme	Atem- frequenz pro Minute	Atemvolumen pro Min.		Analyse der Expirationsluft				Gesamtverbrauch pro Minute		Arbeitsverbrauch pro Minute		Weg pro Minute m	Bewegtes Gewicht kg	Steigarbeit pro Minute in mkg	Arbeitverbrauch prokg u. MeterWeg			Energie- verbrauch pro kg u. Meter Weg W. E.	Energie- verbrauch pro mkg Steigarbeit W. E.	Bemerkungen		
					beobachtet ccm	reduziert 0°, 760 mm ccm	Sauerstoff Vol. %	Kohlen- säure Vol. %	Sauerstoff- defizit in %	Respira- torischer Quotient	Sauerstoff ccm	Kohlensäure ccm	Sauerstoff ccm	Kohlensäure ccm				Sauerstoff ccm	Kohlen- säure ccm	Respira- torischer Quotient					
Horizontal.																									
Mittel Berlin 22. VII. 1896		765.5	6' 26"	10.8	15.44	13.96		4.49	6.03	0.74	840.5	629.6	635.3		62.04	72.6		0.1413			0.668				
Bergauf 12.68%.																									
Berlin 4. VI. 01	20.3	760.2	3' 30"		18.21	16.56	15.16	4.74	6.03	0.79	998.3	784.7	795.9	629.4	37.84	74.89	516.9	0.2808	0.2221	0.791	1.345				
4. "	20.2	760.2	2' 30"		19.75	17.97	15.55	4.65	5.56	0.84	999.8	835.4	797.4	680.1	40.22	74.88	549.2	0.2648	0.2253	0.853	1.289				
8. "	19.5	757.2	2' 40"		19.83	18.02	15.14	4.95	6.00	0.82	1082.1	892.0	879.7	736.7	35.72	75.38	491.1	0.3267	0.2736	0.837	1.584				
8. "	20.4	757.2	4' 05"		18.65	16.88	15.73	4.61	5.35	0.86	903.0	778.1	700.6	622.8	29.16	75.38	400.9	0.3187	0.2833	0.889	1.565				
12. "	20.3	753.6	3' 30"		16.57	14.93	15.22	4.64	5.98	0.78	893.0	693.5	690.6	538.2	37.04	74.42	502.8	0.2505	0.1952	0.779	1.196				
12. "	19.7	753.6	3' 30"		17.78	16.07	15.13	4.63	6.10	0.76	980.0	743.8	777.6	588.5	35.54	74.35	481.9	0.2943	0.2227	0.757	1.397				
12. "	20.0	753.6	3' 45"		17.66	15.93	15.21	4.79	5.96	0.80	949.5	763.1	747.1	607.8	35.75	74.25	484.1	0.2815	0.2290	0.831	1.362				
Mittel Bergauf- versuche Berlin	20.1	762.2	3' 22"	17	18.35	16.62	15.31	4.72	5.85	0.82	972.2	784.4	769.8	629.1	35.90	74.79	489.6	0.2882	0.2359	0.820	1.391	5.402			
																						corr. 1.353			
Bergauf 25%.																									
Brienz 9. VIII. 01	32	699.0	1' 25"	18	32.91	25.35	14.86	4.75	6.14	0.77	1556.6	1196.6	1354.2	1041.3	33.03	76.15	628.8	0.5384	0.4140	0.769	2.565		sonnig, schwül		
9. "	31	699.0	2' 24"	16	32.17	24.77	14.59	5.22	6.35	0.82	1574.3	1285.7	1371.9	1130.4	33.46	76.15	637.0	0.5384	0.4436	0.824	2.601				
10. "	22	697.0	1' 58"	—	28.58	23.13	14.94	5.21	5.91	0.88	1368.4	1198.4	1166.0	1043.1	30.20	74.36	561.4	0.5192	0.4645	0.895	2.553		warm, Sonne		
10. "	24	697.0	1' 45"	17.5	30.03	24.11	14.78	5.19	6.12	0.84	1475.4	1244.0	1273.0	1088.7	33.94	74.36	612.4	0.5044	0.4314	0.855	2.456				
10. "	29	697.0	1' 50"	16	32.76	25.70	14.80	4.84	6.19	0.78	1590.8	1236.2	1388.4	1080.9	37.10	74.36	689.7	0.5032	0.3918	0.779	2.403				
Mittel Brienz Periode I	28	697.8	1' 52"	17	31.29	24.61	14.79	5.04	6.14	0.82	1513.1	1232.2	1310.7	1076.9	33.55	75.08	625.9	0.5207	0.4291	0.824	2.516	7.116			
																						corr. 2.447			
Rothorn 14. VIII. 01 ¹⁾	16	596.4	2' 10"	16	27.12	19.58	14.32	5.06	6.85	0.73	1340.9	984.6	1087.3	779.5	25.75	77.71	500.3	0.5434	0.3896	0.717	2.553		kühl sonnig		
14. " ¹⁾	13	596.4	1' 58"	20	[35.44] ²⁾	[25.86] ³⁾	14.17	5.95	6.81	0.87	[1761.1] ³⁾	[1530.9] ³⁾	[1507.5] ³⁾	[1325.8] ³⁾	30.66	77.71	595.6	[0.6327] ³⁾	[0.5564] ³⁾	[0.879] ³⁾	[3.099] ³⁾				
18. "	26	600.4	1' 40"	16	31.87	22.21	14.08 ³⁾	[6.72] ³⁾	[6.72] ³⁾	[1.00] ³⁾	1487.3 ³⁾	1480.7 ³⁾	1276.3 ³⁾	[1309.8] ³⁾	27.00	76.62	517.2	0.6168 ³⁾	[0.6331] ³⁾	[1.026] ³⁾	[3.134] ³⁾				
18. "	29	600.4	1' 29"	24	43.13	29.28	14.59	5.62	6.36	0.88	1863.6	1636.7	1652.3	1465.8	38.22	76.62	732.1	0.5640	0.5005	0.887	2.768		heiß		
23. "	27	600.5	2' 1"	18	35.09	24.18	15.86	3.97	5.08	0.78	1228.2	952.6	1016.9	781.7	28.11	75.51	530.6	0.4790	0.3682	0.769	2.282				
23. "	29	600.5	1' 54"	19	36.65	24.91	—	5.47	—	—	—	1354.9	—	1184.0	29.84	75.51	563.3	—	0.5255	—	—	—			
Mittel Rothorn Periode II	23	599.1	1' 52"	19	34.77	24.03	14.73	5.21	6.27	0.81	1477.5	1232.2	1251.5	1052.7	29.93	76.61	573.2	0.5288	0.4459	0.791	2.534	7.192			
																						corr. 2.466			
Brienz 24. VIII. 01 ¹⁾	22	696.8	2' 58"	19	31.58	25.85	[15.01] ²⁾	5.08	[5.86] ²⁾	[0.86] ²⁾	[1514.6] ²⁾	1305.2	[1272.6] ²⁾	1118.8	30.64	72.11	552.4	[0.5760] ²⁾	0.5064	[0.879] ²⁾	[2.829] ²⁾		im Regen, unter Schirm gegangen		
24. " ¹⁾	22	696.8	2' 39"	20	33.55	27.48	14.98	4.63	6.02	0.76	1654.2	1264.0	1412.2	1077.6	37.02	72.11 ³⁾	667.4	0.5290	0.4037	0.763	2.516 ³⁾				
26. "	17	696.4	2' 32"	15	25.85	21.79	15.00	5.30	5.82	0.90	1268.2	1148.4	1065.8	993.1	29.84	64.53 ⁴⁾	481.4	0.5535	0.5157	0.932	2.747 ⁴⁾				
26. "	17	696.4	2' 15"	16	29.55	24.90	14.80	4.68	6.23	0.75	1551.0	1157.6	1348.6	1002.3	30.80	77.27 ³⁾	595.0	0.5667	0.4211	0.743	2.681 ³⁾				
26. "	17	696.4	2' 15"	20	28.52	24.11	15.21	4.67	5.72	0.81	1449.8	1118.3	1247.4	963.0	30.40	77.53 ³⁾	589.2	0.5293	0.4086	0.772	2.523 ³⁾				
27. VI. 01	20	695.5	2' 3"	17	31.14	25.80	15.03	4.88	5.89	0.82	1519.5	1251.2	1317.1	1095.9	33.36	64.93 ⁴⁾	541.5	0.6080	0.5058	0.832	2.943 ⁴⁾		trübe, kühl		
27. "	22	695.5	1' 56"	18	31.90	26.21	14.98	5.05	5.91	0.85	1549.2	1315.8	1346.8	1160.5	35.38	76.97 ³⁾	680.8	0.4946	0.4261	0.862	2.413 ³⁾				
27. "	22	695.5	2' 10"	15	35.48	29.10	15.84	4.66	4.92	0.94	1433.0	1347.2	1230.6	1191.9	34.48	64.93 ⁴⁾	559.7	0.5497	0.5324	0.969	2.753 ⁴⁾				
Mittel Brienz Periode III	20	696.2	2' 21"	17.5	30.95	25.66	15.12	4.87	5.79	0.83	1489.3	1238.5	1281.2	1075.4	32.74	71.30	583.4	0.5473	0.4650	0.839	2.537 ³⁾	7.204 ³⁾			
																						corr. 2.469			
																						2.814 ²⁾			
																						corr. 2.738			

¹⁾ Nach dem Mittagessen angestellt, um 25% erhöhter Ruhewert bei Berechnung des Arbeitsverbrauchs abgezogen. ²⁾ Sauerstoffanalyse unsicher, nicht gemittelt. ³⁾ Mit Gasuhr. ⁴⁾ Ohne Gasuhr. ⁵⁾ Anstatt Gasuhr gleichschwerer Rucksack. ⁶⁾ Mittel der Versuche mit Gasuhr. ⁷⁾ Mittel der Versuche ohne Gasuhr. ⁸⁾ Gasuhrablesung unsicher, nicht gemittelt. ⁹⁾ Analyse unsicher, nicht gemittelt.

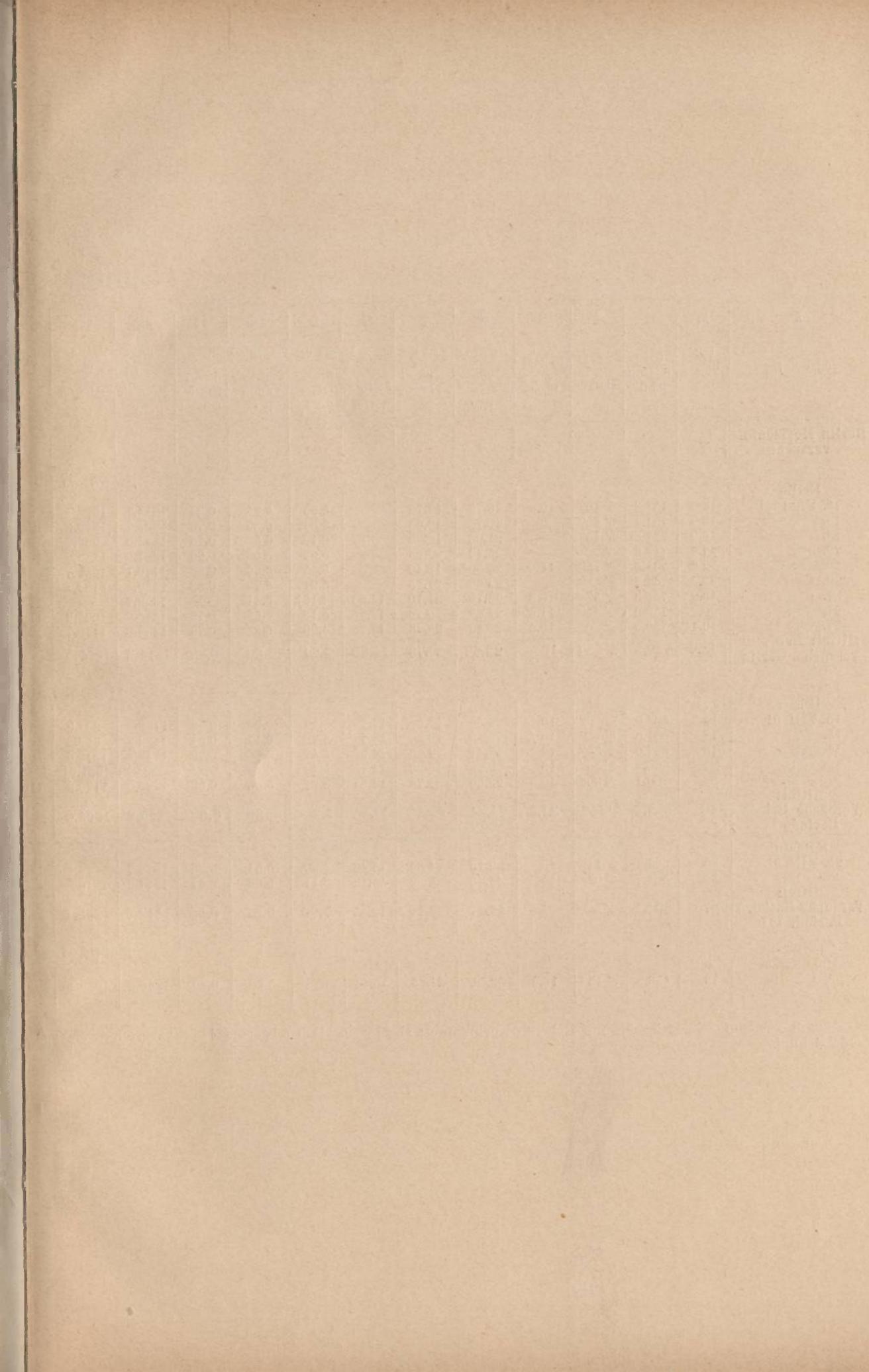


Tabelle XXII.

Zuntz, Marschversuche.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24			
Ort und Tag	Lufttemperatur Grad	Barometer reduziert auf 0° mm	Dauer der Probe- entnahme	Atem- frequenz pro Minute	Atemvolumen pro Min.		Analyse der Expirationsluft				Gesamtverbrauch pro Minute		Arbeitsverbrauch pro Minute		Weg pro Minute m	Bewegtes Gewicht kg	Steigarbeit pro Minute in mkg	Arbeitsverbrauch pro kg u. Meter Weg		Energie- verbrauch pro kg u. Meter Weg W. E.	Energie- verbrauch pro mkg Steigarbeit W. E.	Bemerkungen				
					beobachtet ccm	reduziert 0°, 760 mm ccm	Sauerstoff Vol. % Vol. %	Kohlen- säure Vol. % Vol. %	Sauerstoff- defizit in % in %	Respira- torischer Quotient	Sauerstoff ccm	Kohlensäure ccm	Sauerstoff ccm	Kohlensäure ccm				Sauerstoff ccm	Kohlen- säure ccm				Respirato- rischer Quotient			
Berlin Horizontal- versuche	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.678		
Bergauf 12.68% Steigung.																										
Berlin																										
18. VI. 1901	16.4	754.8	3' 10"	10.8	20.78	19.13		5.35	6.35	0.84	1214.7	1023.4	985.3	847.2	41.67	81.80	621.8	0.2890	0.2485	0.860	1.409					
18. "	15.9	754.8	3' 10"	8	20.70	19.08		5.34	6.80	0.78	1298.7	1019.9	1069.3	843.7	40.56	81.80	605.2	0.3223	0.2543	0.789	1.543					
18. "	16.3	754.8	3' 15"	—	21.03	19.35		5.16	6.58	0.78	1274.2	999.2	1044.8	823.0	44.61	81.80	665.6	0.2863	0.2255	0.788	1.370					
20. "	22.4	764.6	3'	—	25.73	23.28		5.02	5.59	0.90	1301.5	1168.8	1072.3 ¹⁾	992.4 ¹⁾	41.89	81.81	625.0	0.3129	0.2896	0.925	1.551 ¹⁾					
20. "	22.6	764.6	3' 15"	11	20.35 ²⁾	18.40		5.45	6.36	0.86	1170.1	1002.7	940.9	826.5	50.54	81.81	754.1	0.2286	0.1999	0.874	1.119 ²⁾					
20. "	22.4	764.6	3'	—	24.03	21.75		5.21	6.29	0.83	1368.2	1134.4	1139.0	958.2	48.50	81.81	723.7	0.2871	0.2415	0.841	1.393					
27. "	19.2	759.9	2' 5"	10.5	23.10	21.10	14.98	[4.18]	6.41	—	1352.7	—	1123.3	—	43.66	85.68	682.3	0.3003	—	—	1.439					
27. "	20.2	759.9	2' 45"	11.6	22.82	20.76	14.63	5.19	6.58	0.79	1365.7	1077.2	1136.3	901.0	44.98	85.56	702.0	0.2953	0.2341	0.793	1.415					
27. "	19.1	759.9	2' 20"	10.9	25.66	23.46	14.88	4.99	6.32	0.79	1482.8	1170.7	1253.4	994.5	47.63	85.44	742.2	0.3081	0.2444	0.793	1.477					
Mittel: Bergauf- versuche Berlin	19.4	759.8	2' 53"	10.5	22.69	20.70	14.83	5.21	6.36	0.82	1314.3	1074.5	1073.8	898.3	44.89	83.05	680.2	0.2922	0.2422	0.833	1.412	5.488				
Bergauf 25% Steigung.																										
Brienz																										
15. VIII. 01	18	697.0	ca. 3' 35"	10	22.60	19.09	14.72	5.19	6.20	0.83	1183.3	984.8	952.6	801.8	24.18	82.72	500.0	0.4763	0.4009	0.842	2.311					
15. "	17	697.0	3' 25"	10 ^{1/2}	22.95	19.33	14.74	5.20	6.17	0.84	1192.8	999.3	962.1	816.3	27.40	82.72	566.6	0.4245	0.3602	0.848	2.063					
15. "	16	697.0	2' 56"	12	26.44	22.29	14.09	5.47	6.92	0.79	1542.4	1212.6	1311.7	1029.6	30.14	82.62	622.6	0.5267	0.4134	0.785	2.519					
19. "	21	700.0	3' 45"	13	22.20	18.33	14.48	5.44	6.44	0.84	[1180.8 ³⁾	[991.9 ³⁾	[950.1 ³⁾	[808.9 ³⁾	31.08	83.17	646.2	[0.3676 ³⁾	[0.3129 ³⁾	0.851	[1.788 ³⁾					
21. "	27	700.1	2' 30"	12	28.50	22.76	14.67	5.21	6.26	0.83	1425.0	1179.2	1194.3	996.2	31.32	83.10	650.7	0.4589	0.3828	0.834	2.222					
Mittel: Versuche Brienz Periode II	20	698.2	3' 14"	11.5	24.54	20.36	14.54	5.30	6.39	0.82	1335.9	1094.0	1052.7	911.0	28.82	82.87	597.2	0.4716	0.3893	0.832	2.279	6.156				
Bergauf 28.8% Steigung.																										
Rothorn																										
25. VIII. 01	35	594.7	2' 11"	13	39.18	24.36	15.42	4.90	5.51	0.88	1372.7	1214.1	1137.9	1033.8	28.44	81.61	580.3	0.4902	0.4454	0.909	2.420					
25. "	38	594.7	2' 0"	15	41.20	25.92	15.12	5.11	5.83	0.87	1511.3	1316.8	1276.5	1136.5	30.15	81.61	615.2	0.5188	0.4619	0.890	2.548					
Mittel: Versuche Rothorn Periode III	37	594.7	2' 5"	14	40.19	25.14	15.27	5.00	5.67	0.86	1442.0	1265.4	1207.2	1085.1	29.29	81.61	597.7	0.5045	0.4566	0.899	2.484	6.956				
Monte Rosa																										
8. IX. 01	13	453.8	2' 15"	16.4	39.51	21.95	15.44	4.76	5.68	0.83	1246.9	1038.4	915.2	782.5	15.11	78.47	341.5	0.7719	0.6600	0.854	3.757	10.340				
corr. 3.656																										

¹⁾ Nachmittagsversuch, aber nur Ruhe — Nüchternwert abgezogen. Daher bedeuten die Zahlen einen Maximalwert. ²⁾ Atemgröße zu klein. Nasenklemme schloß schlecht. ³⁾ Ungenaue Probeentnahme, daher im Mittel nicht berücksichtigt.

Tabelle XXIII.

Marschversuche bergab 25% Fall.

1 Versuchsperson Ort und Tag	2 Lufttemperatur Grad	3 Barometer reduziert auf 0° mm	4 Dauer der Proben- entnahme	5 Atem- frequenz pro Minute	6 Atemvolumen pro Min.		8 Analyse der Expirationstluft				12 Gesamtverbrauch pro Minute		14 Arbeitsverbrauch pro Minute		16 Weg pro Minute m	17 Bewegtes Gewicht kg	18 Negative Steigarbeit pro Minute in mkg	19 Arbeitverbrauch pro kg u. Meter Weg			22 Energie- verbrauch pro kg u. Meter Weg W. E.	23 Bemerkungen	
					beobachtet ccm	reduziert 0°, 760 mm ccm	Sauerstoff Vol. % Vol. %	Kohlen- säure Vol. % Vol. %	Sauerstoff- defizit in % Quotient	Respira- torischer Quotient	Sauerstoff ccm	Kohlensäure ccm	Sauerstoff ccm	Kohlen- säure ccm				Sauerstoff ccm	Kohlen- säure ccm	Respirato- rischer Quotient			
Loewy																							
Brienz 26. VIII. 1901	17	696.4	2' 44"	18	19.36	16.30	15.74	4.59	5.07	0.90	826.4	743.3	624.0	588.0	48.40	76.32	923.5	0.1689	0.1592	0.943	[0.841] ¹⁾		
" 26. "	17	696.4	3' 20"	17	17.71	14.89	16.18	4.16	4.63	0.89	689.2	614.8	486.8	459.5	47.52	77.27	918.0	0.1326	0.1251	0.944	0.660		
" 27. "	23	695.5	2' 16"	15	17.21	16.66	16.03	3.90	4.88	0.78	813.8	638.2	611.4	482.9	57.57	76.97	1107.7	0.1380	0.1090	0.790	0.661		
" 27. "	20	695.5	2' 43"	16	21.57	17.88	16.55	3.99	4.20	0.94	751.6	708.0	549.2	552.7	61.95	76.97	1192.0	0.1152	0.1159	1.006	0.582		
Gesamtmittel	19	695.9		16.5	18.96	16.43	16.12	4.16	4.69	0.88	770.2	676.1	567.8	520.8	53.86	76.88	1035.3	0.1387	0.1273	0.921	0.634		
Caspari																							
Brienz 20. VIII. 01	27	699.8	2' 42"	15	25.93	20.83	15.38	4.66	5.51	0.84	1146.4	964.3	922.4	789.8	86.00	83.10	1786.6	0.1291	0.1105	0.856	0.629		
Kolmer																							
Brienz 26. VIII. 01	17	696.4	2' 30"	25	23.83	20.07	15.58	4.59	5.27	0.86	1057.4	914.9	809.1	709.1	51.48	86.44	1112.5	0.1818	0.1593	0.876	[0.890] ¹⁾		
" 27. "	17	695.5	2' 59"	24	25.51	21.93	16.08	3.18	5.01	0.63	1071.9	673.9	823.6	468.1	64.56	86.24	1391.9	0.1479	0.0841	0.569(!)	0.668(!)	(!) Kal. Wert extrapoliert	
" 27. "	25	695.5	2' 50"	25	20.71	16.72	16.62	3.50	4.24	0.81	709.6	576.8	461.3	371.0	53.36	86.24	1150.5	0.1002	0.0806	0.804	0.460		
Mittel der Brienzer Versuche	20	695.8		24.7	23.35	19.57	16.09	3.76	4.84	0.77	946.3	721.9	698.0	516.1	56.47	86.31	1218.3	0.1433	0.1080	0.750	0.564		
Rothorn 18. VIII. 01																							
" 18. "	15	600.4	2' 25"	28	21.19	15.35	15.42	4.74	5.55	0.85	851.9	723.0	583.5	498.8	70.38	83.94	1476.9	0.0988	0.0844	0.854	0.481		
" 18. "	27	600.4	1' 39"	—	26.13	17.88	18.94	6.20	4.60	0.89	1257.2	1103.4	988.8	879.2	75.27	83.94	1579.6	0.1565	0.1392	0.889	0.769		
Mittel der Rothornversuche	21	600.4		28	23.66	16.61	14.68	5.47	5.075	0.87	1054.6	913.2	786.1	689.0	72.82	83.94	1528.2	0.1277	0.1118	0.871	0.625		
Gesamtmittel																							
Müller																							
Brienz 26. VIII. 01	18	696.4	1' 49"	22	26.08	21.90	16.55	3.73	4.27	0.87	935.0	810.2	697.8	627.0	51.52	89.16	1148.3	0.1519	0.1365	0.899	[0.748] ¹⁾		
" 26. "	18	696.4	2' 52"	22	24.03	20.14	16.27	3.95	4.58	0.86	922.3	789.4	685.1	606.2	54.00	89.16	1203.7	0.1423	0.1259	0.885	0.698		
Rothorn 18. "	29	600.4	1' 57"	17	32.75	22.21	16.10	4.38	4.78	0.91	1062.6	966.2	814.1	783.3	73.38	87.00	1596.0	0.1275	0.1227	0.962	0.638		
" 18. "	29	600.4	1' 35"	30	30.85	20.88	15.98	4.16	4.99	0.83	1042.7	862.5	794.2	679.6	83.56	87.00	1817.4	0.1093	0.0935	0.855	0.532		
Gesamtmittel	23	648.4		23	28.43	21.28	16.22	4.05	4.65	0.87	990.6	857.1	747.8	674.0	65.61	88.08	1441.3	0.1327	0.1196	0.900	0.623		
Waldenburg																							
Brienz 17. VIII. 01	26	701.5	4' 13"	8.5	17.07	13.78	15.38	4.74	5.48	0.86	755.8	649.1	498.6	444.2	68.60	72.81	1248.7	0.1058	0.0941	0.890	0.520		
" 17. "	29	701.5	3' 51"	11	20.15	15.97	14.98	4.84	5.96	0.81	952.4	768.4	695.2	563.5	68.60	72.70	1246.9	0.1394	0.1132	0.812	0.671		
Gesamtmittel	27	701.5		10	18.61	14.87	15.18	4.79	5.72	0.83	854.1	708.7	596.9	503.8	68.60	72.75	1247.8	0.1226	0.1036	0.851	0.595		
Zuntz																							
Brienz 19. VIII. 01	24	700.0	2' 52"	10	28.29	22.77	16.73	3.87	4.01	0.96	913.2	874.5	682.5	691.5	76.30	83.17	1586.4	0.1075	0.1090	1.014	0.544		
" 21. "	28	700.1	3' 03"	11	24.63	19.62	16.00	4.18	4.85	0.86	951.5	814.1	720.8	631.1	75.80	83.00	1572.8	0.1145	0.1003	0.876	0.561		
Gesamtmittel	26	700.0		10.5	26.46	21.19	16.36	4.02	4.43	0.91	932.3	844.3	701.6	661.3	76.05	83.08	1579.6	0.1110	0.1046	0.945	0.552		

1) Ungeübt, im Mittel nicht berücksichtigt.

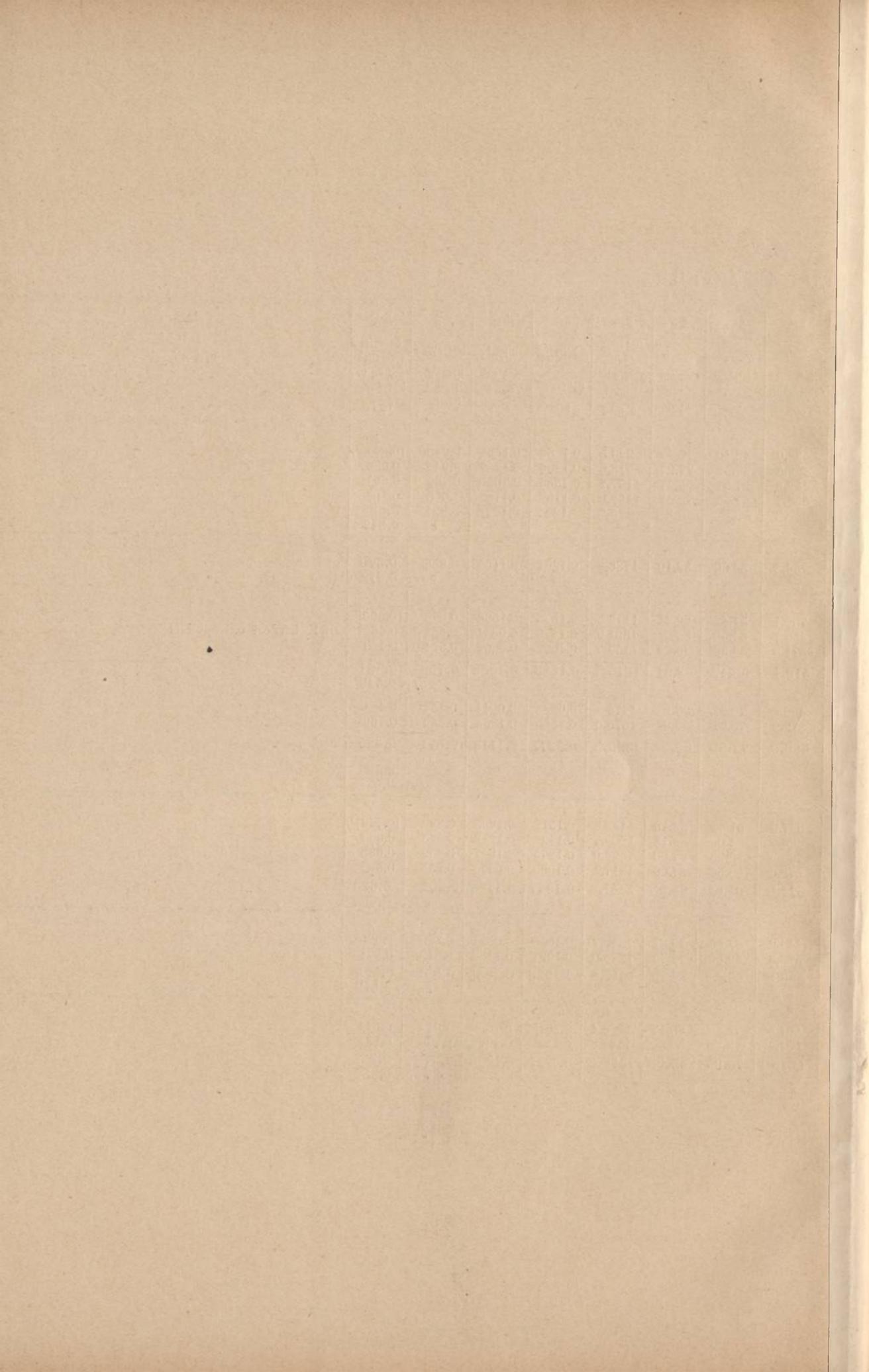


Tabelle XXIV.

Zahl der Blutkörperchen im cmm beim Menschen.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Name	Datum	Zahl der roten Blutzellen	Blut- dichte	Serum- dichte	Bemerkungen	Mittelzahlen der roten Blutkörperchen	Blutdichte	Serumdichte	
Brienz 500 m.									
Kolmer	6. VIII. 1901	6 332 000	1053.4	1026.5		}	6 332 000	1053.4	1026.5
	11. "								
Loewy	6. VIII.	6 332 000	1053.0	1024.5		}	6 332 000	1053.0	1024.5
	11. "								
Müller	6. VIII.	7 128 000 6 840 000	1053.3 1057.9 1059.0 1052.5	1024.5	vor dem Marsch nach dem Marsch	}	6 984 000	1055.7	1024.5
	10. "								
	11. "								
Waldenburg	14. VIII.	5 944 000 5 920 000	1058.8 1053.7	1026.8	nach dem Marsch vor dem Marsch	}	5 932 000	1056.2	1026.8
	23. "								
Caspari	8. VIII.	5 344 000 6 876 000 7 608 000 6 032 000 6 117 000	1052.0 1055.8 1056.0 1057.3 1054.0	1021.8 1020.6	vor dem Marsch nach dem Marsch vor dem Marsch	}	6 395 400	1055.0	1021.2
	10. "								
	13. "								
	18. "								
	23. "								
Zuntz	6. VIII.	5 164 000 6 028 000 6 000 000 5 544 000 5 260 000	1055.0 1053.1 1054.9 1054.0	1023.7 1023.2	nach dem Marsch vor dem Marsch vor dem Marsch	}	5 595 200	1054.2	1023.4
	13. "								
	17. "								
	22. "								
	23. "								
Rothorn 2152 m.									
Kolmer	12. VIII.	6 352 000	1056.7	1021 1023 1023.0		}	5 952 000	1056.6	1022.3
	14. "								
	16. "								
	21. "								
Loewy	12. VIII.	5 544 000	1049.9	1024 1027.2		}	5 456 000	1054.9	1025.6
	13. "								
	14. "								
	17. "								
Müller	12. VIII.	6 092 000 6 436 000	1055.5 1055.4	1022.6 1020.9		}	6 264 000	1055.5	1021.7
	21. "								
Waldenburg	24. VIII.	6 717 000 7 192 000	1059.8 1063.7	1024.0		}	6 854 500	1061.7	1024.0
	28. "								
Caspari	24. VIII.	6 708 000 6 928 000	1059.8 1059.9	1025.2		}	6 818 000	1059.8	1025.2
	28. "								
Zuntz	24. VIII.	6 475 000 5 236 000	1054.8 1060.5	1022.6		}	5 855 500	1057.6	1022.6
	28. "								
Brienz 500 m, nach dem Abstieg vom Rothorn.									
Kolmer	27. VIII.	6 324 000 6 620 000	1049.8 1054.3	1021.7		}	6 472 000	1052.0	1021.7
	28. "								
Loewy	27. VIII.	6 084 000 5 436 000	1061.9 1056.0	1023.6		}	5 760 000	1058.9	1023.6
	28. "								
Müller	27. VIII.	6 404 000	1059.0	1021.2		}	6 404 000	1059.0	1021.2
Monte Rosa-Gipfel 4560 m.									
Caspari	8. IX.	5 708 000	1058.5			}	5 708 000	1058.5	—
Kolmer	8. IX.	5 652 000	1058.6			}	5 652 000	1058.6	—
	9. "								
Loewy	5. IX.	5 672 000 5 496 000	1058.0 1058.0	1024.9		}	5 584 000	1058.0	1024.9
	6. "								
Zuntz	4. IX.	5 744 000 6 540 000	1059.3 1059.2 1024.6	1028.0 1028.0 1024.6		}	6 142 000	1059.2	1026.9
	5. "								
	8. "								
Ghilardi	8. IX.	6 176 000	1058.7			}			
Col d'Olen 2900 m.									
Müller	5. IX. ¹⁾	6 400 000 6 552 000	1063.0	1024.7 1024.5		}	6 476 000	1204.6	1024.6
	7. " ²⁾								

¹⁾ 1 Tag nach Ersteigung.²⁾ 10^h vormittag nüchtern im Bett.

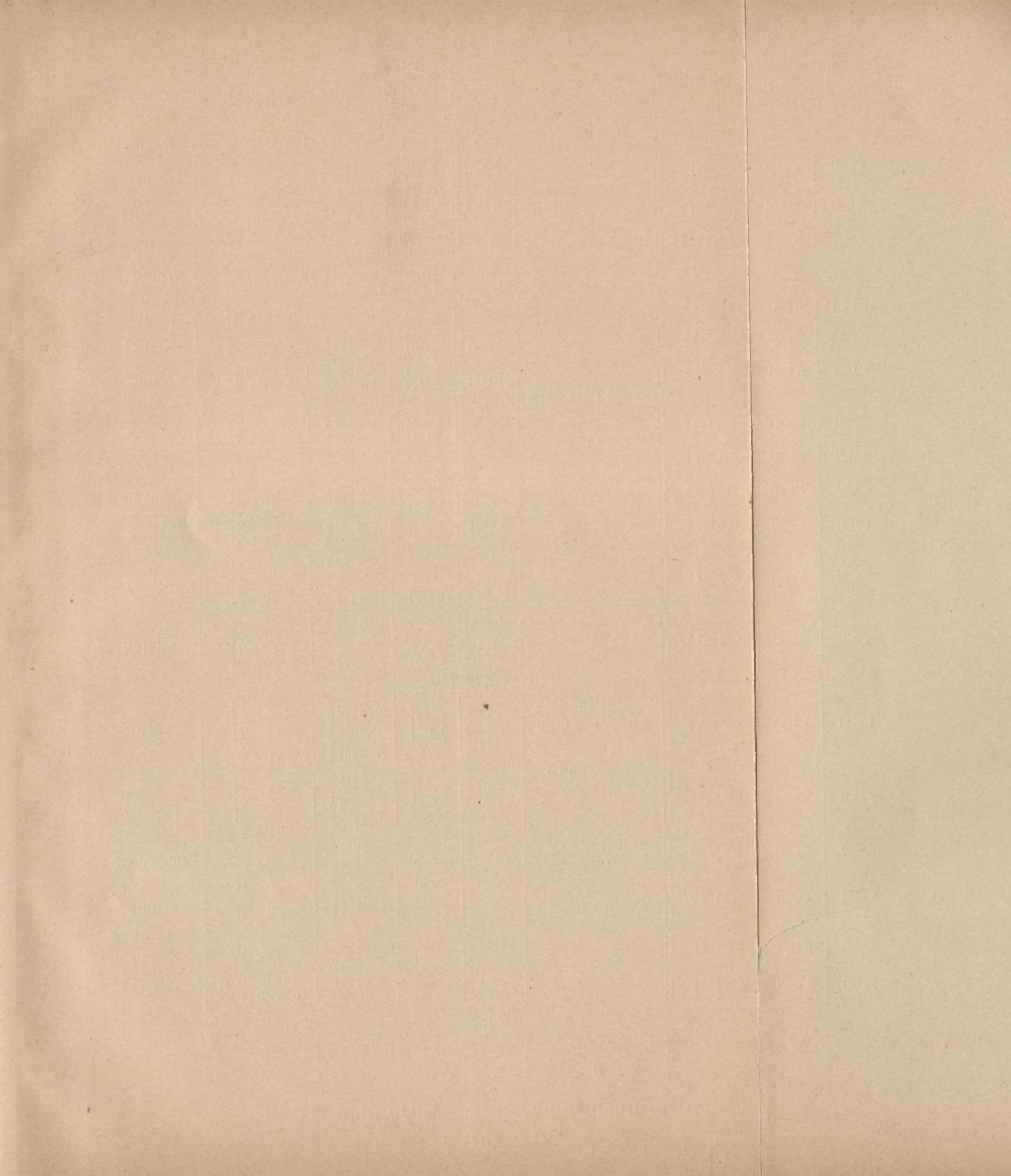


Tabelle XXV.

Beobachtungen an den Versuchshunden.

1	2	3	4	5	6	7
Hunde	Zahl der roten Blutkörperchen Mittel aus 300 □	Körpergewicht	Blutdichte	Serumdichte	Datum 1901	Bemerkungen
Bern 400 m.						
Foxterrier I	3 880 000	2 800			20. V.	Foxterrier I u. II, sowie Hund V u. VII wurden aufs Rothorn gebracht
	4 268 000				23. V.	
Foxterrier II	4 934 000	3 500			21. V.	
	4 398 000				24. V.	
Foxterrier III	5 293 000	2 800			22. V.	
Foxterrier IV	5 386 000	2 700			29. V.	
Hund V	8 140 000	7 020			22. V.	
Hund VI	9 741 300	19 500			29. V.	
Hund VII	7 440 000	18 000			23. V.	
	7 112 000				24. V.	
Hund VIII	7 360 000	7 650			31. V.	
Rothorn 2152 m.						
Foxterrier I	6 712 000	4 300			22. VI.	} Gesamthämoglobin pro kg 12.997 g
	6 806 000	5 560			15. VII.	
	7 676 000		1046.9	1020.4	16. VIII.	
		7 750			26. IX.	
Foxterrier II	7 674 000	3 800			22. VI.	
	7 568 000	5 600			15. VII.	
	7 600 000		1050.9	1013.7	16. VIII.	
		8 300			27. IX.	
Hund V	6 752 000				5. VI.	
	9 318 000	7 850			23. VI.	
	8 824 000	8 050			14. VII.	
	9 800 000		1051.9	1024.4	22. VIII.	
Hund VII	8 360 000	19 000			23. VI.	
	9 110 000	19 520			15. VII.	
	9 280 000		1052.6	1023.6	14. VIII.	
	8 192 000 (Carotis)	19 500			25. IX.	
Bern 400 m.						
Foxterrier III	6 606 000	3 700			14. VI.	} Gesamthämoglobin pro kg 10.783 g
	7 186 000	5 320			12. VII.	
		6 800			24. IX.	
Foxterrier IV	6 304 000	3 500			14. VI.	
	7 068 000	4 950			11. VII.	
		6 750			23. IX.	
Hund VI	9 630 000				13. VI.	
	9 032 000	20 550			12. VII.	
	(7 398 400 Carotis)	21 250			26. IX.	
Hund VIII	8 896 000	7 650			13. VI.	
	8 922 400	7 930			11. VII.	
		7 800			23. IX.	

Tabelle XXVI.

Verhalten der Lungenventilation im Höhenklima.

1	2	3	4	5	6	7	8
Autor und Jahr der Untersuchungen	Versuchsperson	Ort	Barometerdruck und Höhe in Metern	Atemvolumen pro Min. in Litern		Prozentische Steigerung des Atemvolumens	Bemerkungen
				unreduziert	reduziert		
Marcet 1878	Marcet	Teneriffa:					
		Puerto	760 = 0.00	6.44	5.84		
		Guajara	594 = 2161	7.62	5.47	18.3	
		Alta Vista	521 = 3261	8.07	5.14	25.3	
	sein Führer Cupelin	Fuß des Kegels	506 = 3580	8.04	4.99	24.8	
		Puerto	760 = 0.00	8.51	7.71		
Mosso 1894	U. Mosso	Gressoney	625 = 1627	6.94	5.66		
		Gnifetti-Spitze . .	425 = 4560	8.59	4.90	23.8	
	Bizzozzero	Gressoney	625 = 1627	8.75	7.13		
		Gnifetti-Spitze . .	425 = 4560	9.15	5.17	4.6	
	Camozzi	Gressoney	625 = 1627	4.90	3.83		
		Gnifetti-Spitze . .	425 = 4560	7.95	4.50	62.2	
	Sarteur	Gressoney	625 = 1627	5.62	4.58		
		Gnifetti-Spitze . .	425 = 4560	5.82	3.30	3.6	
	Solferino	Gressoney	625 = 1627	6.41	5.23		
		Gnifetti-Spitze . .	425 = 4560	5.54	3.13	— 13.6	
	Chamois	Turin	720 = 276	7.72	7.56		
		Gnifetti-Spitze . .	425 = 4560	8.98	5.23	16.3	
Oberhoffer	Turin	720 = 276	8.90	8.73			
	Gnifetti-Spitze . .	425 = 4560	9.19	5.20	3.3		
Zuntz- Schumburg 1895	N. Zuntz	Berlin	758 = 54	4.99	4.64		
		Zermatt	625 = 1600	5.45	3.94	9.0	
		Bétemps-Hütte . .	533 = 2990	6.63	4.25	35.0	
		[Monte Rosa-Sattel	479 = 3675	5.58	3.26		Versuche im Sitzen
	Schumburg	Berlin	758 = 54	5.56	5.27		
		Zermatt	625 = 1600	6.36	4.82	14.4	
Bétemps-Hütte . .		533 = 2990	7.06	4.52	27.0		
[Monte Rosa-Sattel		478 = 3675	9.74	5.58		Versuche im Sitzen	
A. u. J. Loewy und Leo Zuntz 1896	A. Loewy	Berlin	755 = 54	3.95	3.58		
		Col d'Olen	535 = 2900	5.75	3.77	45.6	
		Gnifetti-Hütte . .	482 = 3620	6.26	3.71	58.5	
	J. Loewy	Berlin	755 = 54	6.03	5.22		
		Col d'Olen	525 = 2900	5.02	3.30	—	
		Gnifetti-Hütte . .	482 = 3620	7.08	4.28	40.0	gegenüber Col d'Olen
	Leo Zuntz	Berlin	758 = 54	4.93	4.36		
		Col d'Olen	528 = 2900	5.49	3.71	11.4	
		Gnifetti-Hütte . .	483 = 3620	7.76	4.57	57.4	
		Gnifetti-Spitze . .	424 = 4560	10.55	5.70	114.0	
N. Zuntz und A. Durig 1903	N. Zuntz	Berlin	758 = 54	4.75	4.28		
		Col d'Olen	525 = 2900	6.05	3.99	27.4	
		Gnifetti-Spitze . .	425 = 4560	7.61	4.29	60.2	
	A. Durig	Wien	732 = 200	5.97	5.42		
		Col d'Olen	525 = 2900	6.15	4.07	3.0	
		Gnifetti-Spitze . .	425 = 4560	7.97	4.42	33.6	

Tabelle XXVII.

Übersicht des Sauerstoff- und Kohlensäuredruckes in den Lungen bei Körperruhe in verschiedenen Höhen.

A. Versuche während unserer Expedition 1901.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Ort	Höhe m	Barometer- druck mm	Sauerstoff- druck der Luft mm	Waldenburg		Kolmer		Caspari		Müller		Loewy		N. Zuntz	
				Sauerstoff- druck mm	Kohlensäure- druck mm										
				Berlin	56	758	157	105.7	33.1	101.0	40.0			105.0	39.5
Brienz	500	715	148	84.5	44.5	94.0	38.2	80.7	46.6	88.5	40.3	86.7	41.3	91.8	38.5
Brienzer Rothorn .	2130	585	121	68.5	36.1	66.6	38.8	64.3	40.3	62.0	37.6	66.7	38.8	71.9	32.6
Col d'Olen	2900	534	110	57.1	35.1					60.7	32.1				
Monte Rosa-Gipfel	4560	435	89	—	34.8	46.0	29.7	49.0	25.4	61.0	18.2	37.7	35.0	57.0	27.2

B. Versuche gelegentlich anderer Expeditionen.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Ort	Höhe m	Barometer- druck mm	Sauerstoff- druck der Luft mm	A. Durig 1903		N. Zuntz 1903		A. Loewy 1896		J. Loewy 1896		Leo Zuntz 1896		N. Zuntz 1895	
				Sauerstoff- druck mm	Kohlensäure- druck mm										
				Berlin	56	758	157			104.7	36.1	103.4	41.8	103.1	37.7
Wien	200	732	154	109.0	31.8										
Zermatt	1600	625	131											80.0	30.9
Col d'Olen	2900	534	110	63.7	28.9	68.7	24.4	68.1	29.8	57.1	37.7	58.5	33.9		
Bétemps-Hütte . .	2990	533	110											70.0	25.1
Gnifetti-Hütte . . .	3620	483	97					56.0	31.5	53.7	30.9	53.9	30.7		
Monte Rosa-Gipfel	4560	435	89	53.2	24.1	57.0	21.4					50.1	26.5		

Tabelle XXVIII.

Gasspannungen in den Lungenalveolen bei Körperarbeit.

1	2	3	4	5	6
Name	Ort	Art des Marsches	Atemtiefe ccm	Alveolare Spannung des Sauerstoffs mm Hg	Spannung der Kohlensäure mm Hg
Waldenburg	Berlin	Horizontal	766	101.9	37.7
	"	Bergauf 12.7 ⁰ / ₀	1940	101.3	39.2
	Brienz	" 25 "	2065	92.9	45.0
	Rothorn	" 25 "	2200	75.0	42.9
	Col d'Olen	" 45 "	1985	70.3	35.3
Kolmer	Berlin	Horizontal	762	100.4	37.9
	"	Bergauf 18.2 ⁰ / ₀	1113	101.7	38.7
	Brienz I	" 25 "	1176	99.9	37.4
	Rothorn	" 25 "	1221	79.7	37.6
	Brienz III	" 25 "	955	96.9	37.6
	Monte Rosa	" 22.4 "	1053	55.9	24.6
"	" 21.6 "	1250	56.9	23.9	
Caspari	Berlin	Horizontal	1106	100.0	41.5
	"	Bergauf 12.7 ⁰ / ₀	1193	101.2	42.9
	Brienz	" 25 "	1660	90.2	39.0
	Rothorn	" 25 "	1719	76.1	32.0
	Monte Rosa	" 22.4 "	1435	59.5	21.5
	"	" 22.4 "	1312	57.9	21.7
	"	" 22.4 "	1533	60.3	21.7
"	" 23.4 "	1571	60.9	21.4	
Müller	Berlin	Horizontal	1600	105.1	34.9
	"	Bergauf 12.7 ⁰ / ₀	1417	97.5	41.9
	"	" 26.2 "	1632	95.2	41.3
	Brienz I	" 25 "	1832	91.3	38.3
	Rothorn	" 25 "	1820	74.1	33.5
	Brienz III	" 25 "	1910	89.3	37.8
	Col d'Olen	" 45 "	1865	68.4	28.9
A. Loewy 1901	Berlin	Horizontal	1400	—	35.3
	"	Bergauf 12.7 ⁰ / ₀	1080	102.8	38.5
	Brienz I	" 25 "	1837	92.4	35.3
	Rothorn	" 25 "	1830	75.9	31.9
	Brienz III	" 25 "	1770	94.5	34.2
Zuntz 1901	Berlin	Bergauf 26.8 ⁰ / ₀	2161	102.3	39.5
	Brienz	" 25 "	2134	91.2	36.7
	Rothorn	" 25 "	2928	80.7	28.3
	Monte Rosa	" 28.8 "	2410	61.6	20.6
	A. Loewy 1896	Berlin	Bergauf 13 ⁰ 17'	1513	102.6
"		" 21 ⁰ 27'	1944	102.8	37.6
Col d'Olen		" 26-33 ⁰ / ₀	1654	69.5	28.1
Gnifetti-Hütte		" 34.6 "	1673	63.6	26.0
J. Loewy 1896		Berlin	Bergauf 13 ⁰ 22'	1772	108.1
	"	" 21 ⁰ 27'	1869	103.0	38.3
	Col d'Olen	" 26-33 ⁰ / ₀	2074	64.3	32.0
	Gnifetti-Hütte	" 34.6 "	2128	57.4	27.6
	Leo Zuntz 1896	Berlin	Bergauf 13 ⁰ 17'	2435	102.5
"		" 21 ⁰ 27'	2569	101.5	41.2
Col d'Olen		" 26-33 ⁰ / ₀	2741	64.8	32.5
Gnifetti-Hütte		" 34.6 "	2325	59.8	27.2
A. Durig 1903		Wien	Horizontal	1166	105
	"	Bergauf	1868	99	37
	Col d'Olen	Horizontal	1296	66	27
	Monte Rosa-Spitze	"	1231	55	21
	"	Bergauf	1678	55	24
N. Zuntz 1903	Berlin	Bergauf	2428	108.5	33.4
	Col d'Olen	Horizontal	2045	71.2	21.5
	Monte Rosa-Spitze	"	2257	60.0	17.0
	"	Bergauf	2639	63.0	18.0

Tabelle XXIX.

Auf je 1 Millimeter Kohlensäurespannung in den Lungen wurden pro Minute Kubikzentimeter geatmet:

1 Name	2 Ort	3 ccm pro Minute		5 Bemerkungen über die Art des Marsches
		Bei Körperruhe	Bei Muskelarbeit	
Waldenburg	Berlin	170.8	386.2	Horizontal
	"		544.4	Bergauf 12.7 %
	Brienz	108.9	504.7	" 25 "
	Rothorn	145.3	640.5	" 25 "
	Col d'Olen	164.3	871.7	" 45 "
Kolmer	Berlin	164.9	462.0	Horizontal
	"		689.0	Bergauf 18.2 %
	Brienz I	166.2 ¹⁾	1122.8	" 25 "
	Rothorn	169.6	1007.6	" 25 "
	Brienz III	166.2 ¹⁾	836.9	" 25 "
	Monte Rosa	280.2	1579.1	" 22.4 "
	"		1853.7	" 21.6 "
Caspari	Berlin	196.7	453.4	Horizontal
	"		556.5	Bergauf 12.7 %
	Brienz	103.2	887.8	" 25 "
	Rothorn	140.4	1129.0	" 25 "
	Monte Rosa	333.6	1904.0	" 22.4 "
	"		1956.0	" 22.4 "
	"		1960.0	" 22.4 "
	"		1616.0	" 23.4 "
Müller	Berlin	144.9	617.2	Horizontal
	"		540.6	Bergauf 12.7 %
	"		790.2	" 26.2 "
	Brienz I	115.7 ¹⁾	856.1	" 25 "
	Rothorn	145.3	1086.0	" 25 "
	Brienz III	115.7 ¹⁾	860.7	" 25 "
	Col d'Olen ²⁾	176.5	1291.5	" 45 "
A. Loewy	Berlin	90.0	436.9	Horizontal
	"		476.6	Bergauf 12.7 %
	Brienz I	110.7 ¹⁾	886.6	" 25 "
	Rothorn	135.6	1091.1	" 25 "
	Brienz III ³⁾	110.7 ¹⁾	904.6	" 25 "
N. Zuntz	Berlin	143.9	573.7	Bergauf 26.8 %
	Brienz	122.9	668.7	" 25 "
	Rothorn	167.8	1418.6	" 25 "
	Monte Rosa	330.4	1918.0	" 28.8 "

¹⁾ Mittelwert von Periode I und III.
Ruhe auf Monte Rosa: 179.0.

²⁾ Bei Ruhe auf Monte Rosa: 492.3.

³⁾ Bei

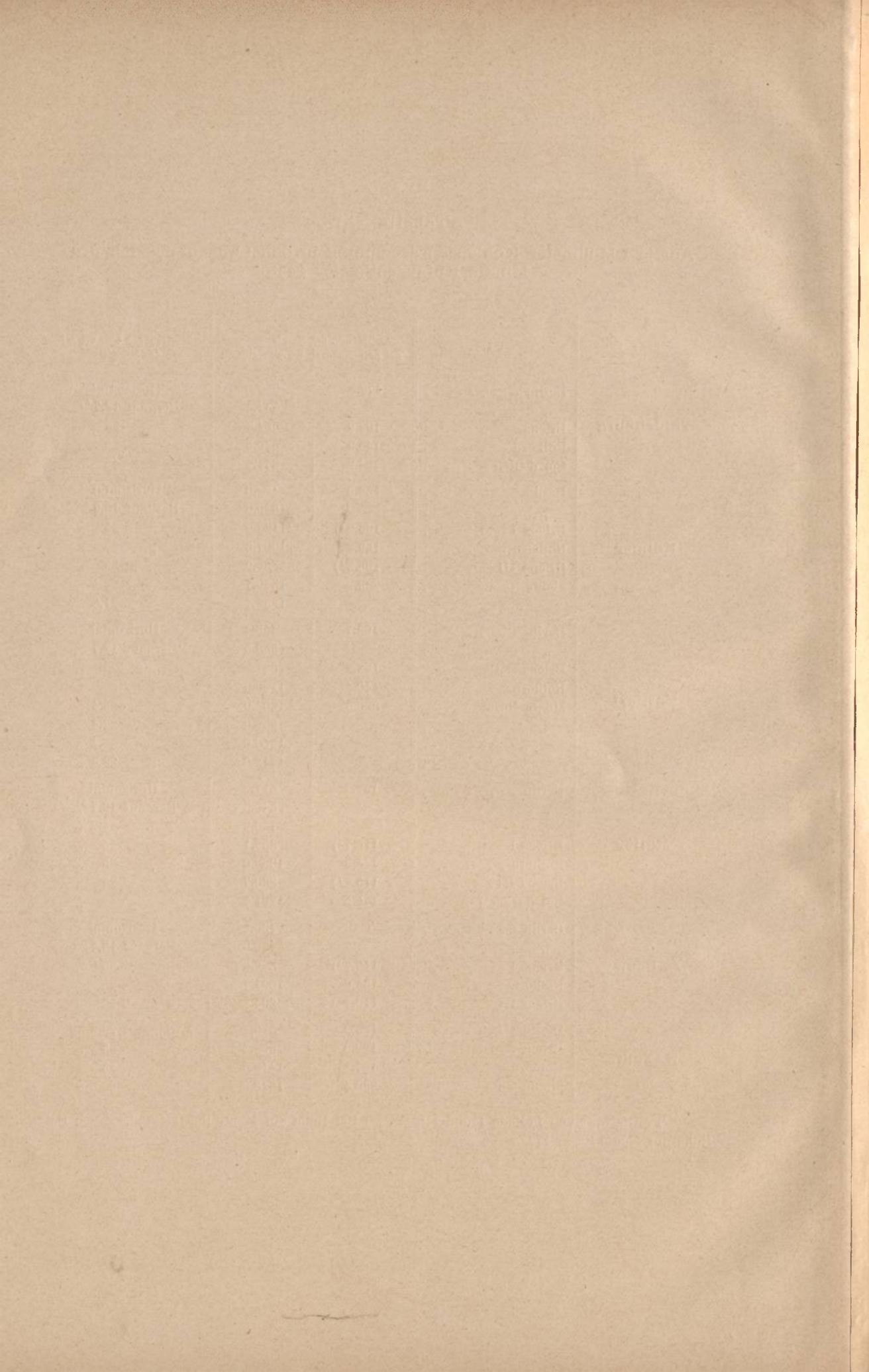


Tabelle XXX.

Versuche zur Bestimmung des im Schweiß ausgeschiedenen Stickstoffs.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Versuchsperson	Ort und Datum	Luft-Temperatur	Luft-Feuchtigkeit	Dauer des Versuchs	Verhalten während der Versuchszeit	Perspiration im ganzen	Gewichtsverlust durch Gaswechsel	Wasser-ausscheidung durch die Lungen	Schweißwasser	Schweißwasser pro Stunde	während der Versuchszeit gefunden	Stickstoff im Schweiß	
		Grad Cels.	in %	Std.		g	g	g	g	g		pro kg Schweißwasser berechnet	in Prozent des gesamten ausgeschiedenen Stickstoffs
Waldenburg	Berlin 11. IV. 1901	9.6	66	24	Laboratoriumsarbeit 8 Std. Schlaf	1768	1	351	1416	59.0	0.407	0.287	2.2
	19. IV. 01	8.0	65	24	Horizontalmarsch 3 1/2 Std. 20 km 8 Std. Schlaf, sonst Laboratoriumsarbeit	1640	1.2	367.5	1272.5	53.0	0.286	0.225	1.7
	Brienz 17. VIII. 01	18.5	78.5	7 1/2	Marsch aufwärts 3 Std. Relative Ruhe: 4 1/2 Std.	1843	48.2	187.5	1607.3	214.3	0.330	0.205	15.2
	22. VIII. 01	18	Ruhe 70 Arbeit 65	12	Marsch bergauf 237 Min. „ bergab 150 „ Relative Ruhe 333 „	2923	84.5	309.9	2528.6	210.7	0.478	0.189	7.3
Kolmer	Berlin 20. IV. 01	8.0	65	24	Ruhe, Schlaf 8 Std. = 480' „ relativ 12 Std. = 720' Marsch horizontal = 120' Radfahrt 43 km = 120'	2467	42.6	627.0	1797 ¹⁾	74.9	0.534	0.297	4.5
	Brienz 10. VIII. 01	28	63	8	Relative Ruhe 466' Bergauf 8' 40" } 14' Bergab 5' }	1050	43.75	163.6	843	105.4	0.370	0.438	6.0
	Rothorn 20. VIII. 01	18	65	6 1/2	Horizontal 354 m } 3 1/2 Std. Bergauf 4920 m } Relative Ruhe 3 Std.	1671	51.45	227.7	1392	214.2	0.570	0.409	11.9
Caspari	Berlin 19. V. 01			24	Laboratoriumsarbeit					74	0.405	0.229	—
	Brienz 17. VIII. 01	18.5	78.5	7 1/2	Marsch aufwärts 3 Std. Laboratoriumsarbeit 4 1/2 Std.	1364	72.39	249.7	1114.3	149	0.640	0.574	11.9
Müller	Berlin 19. XII. 00	Ruhe 3.4 Arbeit 3.0	88 90	24	Marsch horizontal 3 1/2 Std. 17 km Ruhe relativ 20 1/2 Std.	1519	60	517.9	941 ²⁾	39.2	0.424	0.450	3.7
	Brienz 10. VIII. 01	28	63	8 ^h 35'	Bergauf 70' = 3182 m Bergab 38' = 3182 m Ruhe relativ 407'	1525	85	207.9	1232	145.0	0.384	0.312	7.4
	Rothorn 20. VIII. 01	18	65	6 ^h 30'	Horizontalweg 354 m Bergaufweg 4920 m Ruhe relativ 3 Std.	2278	72	253.5	1952.5	300.4	0.3925	0.201	7.9
Loewy	Berlin 19. XII. 00	Ruhe 3.4 Arbeit 3.0	88 90	4	Horizontalmarsch 3 1/2 Std. 17 km	749	15	130	704	176	0.288	0.400	13.5
	14. V. 01	16.7	46	24	Laboratoriumsarbeit, Wege in der Stadt	1682	409		1273	53	0.433	0.340	—
	Brienz 10. VIII. 01	28	63	5 1/2	Bergauf, bergab und Ruhe wie Müller 10. VIII.	1142	27.9	80.6	1033.5	187.9	0.145	0.140	4.9
	Rothorn 20. VIII. 01	18	65	6	Horizontal 350 m Bergauf 4920 m Relative Ruhe 3 Std.	1533	32.7	261.6	1238.7	206.5	0.225	0.182	5.7
Zuntz	Berlin 14. V. 01	16.7	46	24	Laboratoriumsarbeit ca. 1 1/2 Stunden Gehen	918	110	336	472	19.7	0.205	0.433	1.4
	21. V. 01	11.4	42 ³⁾	24		1205	110	366	727	30.3	0.254	0.337	—
	26. V. 01			24		1568	—	—	1152	48.0	0.218	0.287	—
	Brienz 10. VIII. 01	28	63	6 ^{3/4}	4 Std. Marschversuch in starker Sonne	1641	29	91	1521	243.3	0.514	0.338	11.1
	16. VIII. 01	15.5	69	8 ^{1/4}	Kühl, Regen. Kleiner Marsch 800 m	948	47	199	702	85.1	0.413	0.588	8.0
20. VIII. 01	21	70	11 ^{1/12}	Bergauf 6000 m, bergab 2400 m	2263	515		1948	176.3	0.513	0.263	4.1	

¹⁾ Perspiration während der Radfahrt 423 g, Schweiß 280 g.²⁾ Auf Marsch 1/2 Std. Ruhe, Perspiration 696 g, Schweißwasser 515 g.³⁾ Schwüles Wetter.

KOLEKCJA
SWF UJ

4 • MONYEX • 035

A

802

Biblioteka Gl. AWF w Krakowie



1800062616