

DER HEUTIGE STAND DER PHYSIOLOGIE DES HÖHENKLIMAS

VON

PROFESSOR DR. A. LOEWY

IN DAVOS

MIT 13 ABBILDUNGEN



Springer-Verlag
Berlin Heidelberg GmbH
1926

DER HEUTIGE STAND DER PHYSIOLOGIE DES HÖHENKLIMAS

VON

PROFESSOR DR. A. LOEWY

IN DAVOS

MIT 13 ABBILDUNGEN



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH
1926

AUS DEM
SCHWEIZERISCHEN INSTITUT FÜR HOCHGEBIRGS-
PHYSIOLOGIE UND TUBERKULOSEFORSCHUNG
IN DAVOS.

SONDERABDRUCK AUS
ERGEBNISSE DER HYGIENE, BD. VIII.
HERAUSGEGEBEN VON
PROFESSOR DR. WOLFGANG WEICHARDT.

ALLE RECHTE, INSBESONDERE DAS DER ÜBERSETZUNG
IN FREMDE SPRACHEN, VORBEHALTEN.

COPYRIGHT 1926 BY SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG
URSPRÜNGLICH ERSCHIENEN BEI JULIUS SPRINGER IN BERLIN 1926

ISBN 978-3-662-31445-6 ISBN 978-3-662-31652-8 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-31652-8

Vorwort.

Die hier gegebene Zusammenfassung über den heutigen Stand der Hochgebirgsphysiologie ist auf einen Wunsch der Schriftleitung der: „Ergebnisse der Hygiene“ zurückzuführen. Sie erscheint im achten Bande dieser Ergebnisse. Wenn sie zudem in Form einer Einzelschrift herausgegeben wird, so liegt der Grund darin, daß trotz der zu manchen Fragen der Hygiene bestehenden Beziehungen doch der wesentliche Inhalt physiologische Probleme betrifft, und daß diese in manchen Punkten in nahe Berührung zur Pathologie und auch zur Klinik treten.

Daher schien es gerechtfertigt, die Schrift gesondert zu veröffentlichen, um sie einem größeren Leserkreise zugänglich zu machen, der dem Orte ihres ursprünglichen Erscheinens ferner steht.

Davos, im Oktober 1926.

A. Loewy.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Einleitung	6
II. Klimatische Bemerkungen	7
1. Der Wassergehalt der Höhenluft	7
2. Erfassung der Gesamtwärmefaktoren	9
3. Klimatypen	11
4. Höhenstrahlung	12
5. Strahlenwirkung auf die Wärmeverhältnisse des Körpers	13
6. Strahlenwirkung auf das Sehorgan	15
7. Die Lufterlektrizität im Hochgebirge	16
8. Keimgehalt	18
III. Physiologische Wirkungen	19
1. Verhalten des Blutes	19
2. Der Kreislauf	22
Der Blutdruck	22
Capillarblutströmung	25
3. Das Verhalten des Herzens	26
4. Die Atmung	28
Die Atemgröße	28
Die Erregbarkeit des Atemzentrums	29
Die alveolare Kohlensäurespannung	30
5. Sauerstoffmangel und Acidose	31
6. Der Gesamtstoffwechsel	34
7. Der Eiweißstoffwechsel	37
Verhalten des Harns	38
Verhalten der Gewebe	39
Der Nucleinstoffwechsel	40
7a. Der Kohlenhydratstoffwechsel	41
8. Der Mineralstoffwechsel	41
9. Weitere Wirkungen der Bestrahlung	42
10. Zustandekommen der Bestrahlungswirkungen	43
11. Beeinflussung des vegetativen Systems	44
12. Beeinflussung des Nervensystems	44
13. Pharmakologisches	46
14. Mechanische Wirkungen des Höhenklimas	48
15. Anthropologisches	50
16. Anpassungserscheinungen an das Höhenklima	51
17. Bergkrankheit	54
18. Auffassung der Höhenklimawirkung	57
Literatur	57

I. Einleitung.

Wenn ich, einem Wunsche der Schriftleitung dieser „Ergebnisse“ nachkommend, im folgenden über die neueren Untersuchungen kurz zusammenfassend berichte, die die Kenntnisse über die Höhenklimawirkungen bereichert und die Auffassungen über sie an manchen Punkten verändert haben, so geschieht dies mit einigen Bedenken, denn wenn auch die Physiologie der Höhenklimawirkung gefördert wurde, so haben sich doch nur für einige Punkte dadurch Beziehungen zur Hygiene ergeben, Beziehungen allerdings, die sowohl ihre theoretische wie praktische Seite betreffen. Das mag die Mitteilung an dieser Stelle in etwas rechtfertigen.

Die Untersuchungen, über die ich berichten möchte, sind in den letzten drei Jahren ausgeführt worden. Auf die früheren werde ich nur, soweit der Zusammenhang es erfordert, eingehen; denn sie sind von mir in Dietrich-Kaminers „Handbuch der Balneologie und Klimatologie usw.“ zusammengestellt worden (1). Allerdings wird ein Vergleich der dort ausgesprochenen Ansichten mit den jetzigen zeigen, daß erstere an manchen und nicht unwesentlichen Stellen überholt sind und nicht mehr als zutreffend anerkannt werden können. —

Die Hochgebirgsphysiologie nahm früher eine Art Sonderstellung ein in Betracht der Natur der Wirkungen, die das Höhenklima auslöste. Als ein wesentliches Ergebnis der neueren Forschungen möchte ich den Gedanken voranstellen, daß diese Sonderstellung allmählich schwindet. Sie war dadurch bedingt, daß man schon in mittleren Höhen Wirkungen fand, für deren Entstehung man eine zutreffende Erklärung nicht geben konnte, funktionssteigernde Wirkungen, für die eine klare Ursache nicht zu finden war. — Funktionssteigerungen waren ja in verschiedenen Klimaten gefunden worden. Aber da kannte man ihre Ursachen; man wußte aus Laboratoriumsversuchen, daß Kälte und Luftbewegungen, die ja in fast allen Klimaten als Klimafaktoren enthalten sind, anregend auf eine ganze Reihe von Funktionen wirken. Im Höhenklima fand man Funktionssteigerungen jedoch auch unter Ausschluß aller bekannten erregend wirkenden Klimafaktoren. Dieser Effekt war zunächst um so unerklärlicher, als er in Versuchen in der verdünnten Luft pneumatischer Kabinette [Loewy (2) und spätere] nicht oder doch nur in viel geringerem Ausmaße gefunden werden konnte.

Jetzt beginnt sich das Höhenklima in die Reihe der übrigen Klimata einzufügen. Es hat nur die eine Besonderheit, daß alle primär körperlichen Wirkungen der übrigen Klimata ihren Ausgangspunkt von der Haut aus nehmen, und — soweit sie nicht die Haut selbst betreffen — reflektorisch vor sich gehen, abgesehen von einigen Strahlenwirkungen. Beim Höhenklima jedoch werden die durch die Luftdruckerniedrigung veranlaßten Wirkungen in einer Reihe von

Zentren des Nervensystems — und zwar kommen gerade lebenswichtige Zentren in Betracht — oder in inkretorischen Drüsen ausgelöst oder sie gehen direkt vom Erfolgsorgan selbst aus. —

Man kann die physiologischen Höhenklimawirkungen in unspezifische und spezifische scheiden. Die ersten sind diejenigen, die man auch in allen anderen Klimaten bei entsprechender Wetterlage findet. Die letzteren kommen dem Höhenklima allein zu. Nur diese sollen uns hier beschäftigen. Sie müssen ihre Ursache haben in den dem Höhenklima spezifischen Klimafaktoren, die in der mit der Höhe fortschreitenden Luftverdünnung, in den Besonderheiten der Sonnenstrahlung, in den elektrischen Verhältnissen der Höhenluft bestehen.

II. Klimatische Bemerkungen.

1. **Der Wassergehalt der Höhenluft.** Neben diesen drei spezifischen zeigen aber auch einige unspezifische Klimafaktoren Besonderheiten gegenüber anderen Klimaten, die physiologisch und hygienisch von Bedeutung werden können. Zunächst der Wassergehalt der Höhenluft. Mit zunehmender Höhe nimmt ceteris paribus der Wassergehalt der Luft mehr und mehr ab, und zwar erheblich schneller als der Luftdruck. Die bestehenden Beziehungen zeigt am besten die von Hann angegebene Tabelle.

Tabelle 1.

Seehöhe m	Abnahme des Dampfdruckes der Atmosphäre mit der Höhe	Abnahme des Luftdruckes der Atmosphäre mit der Höhe
	Wasserdampf	Luftdruck
0	1,00	1,00
1000	0,73	0,88
2000	0,49	0,78
3000	0,35	0,69
4000	0,24	0,61
5000	0,17	0,54
6000	0,12	0,47
7000	0,08	0,42
8000	0,06	0,37

Aus der Tabelle ergibt sich, daß, wenn Wasserdampfspannung bzw. Wasserdampfmenge in Meereshöhe gleich 1 gesetzt werden, in 1000 m Höhe die Wasserdampfmenge nur noch $\frac{3}{4}$ der ursprünglichen beträgt, der Luftdruck aber fast noch 90%. In 2000 m ist erstere schon auf die Hälfte, letzterer noch nicht auf $\frac{3}{4}$ gesunken. In 4000 m Höhe enthält die Luft nur noch $\frac{1}{4}$ ihrer Wassermenge, aber der Luftdruck ist noch nicht um 40% gesunken.

Die ältere ärztliche Klimatologie legte ihren Betrachtungen über den Einfluß des Wassergehaltes der Atmosphäre die sog. relative Feuchtigkeit derselben zugrunde, die mit Hann als der zweckmäßigste Ausdruck für den Grad der Luftfeuchtigkeit angesehen wurde. In den letzten Jahren hat man diesen Standpunkt mehr und mehr verlassen. Einerseits hat man, was früher schon Flügge, Denecke, H. Meyer befürwortet hatten, an Stelle der relativen Feuchtigkeit das Sättigungsdefizit gesetzt, sodann baute man nach dem Vor-

gange von Carl Spengler den Begriff der „physiologischen“ relativen Feuchtigkeit bzw. des „physiologischen“ Sättigungsdefizites weiter aus, um ihn den physiologischen Betrachtungen zugrunde zu legen. Man nahm also die Körpertemperatur des Menschen als Nullpunkt und berechnete aus dem absoluten Wassergehalt der Atmosphäre das Sättigungsdefizit bzw. die relative Feuchtigkeit für eine Lufttemperatur von $36,5^{\circ}$.

Was zunächst die Ersetzung der relativen Feuchtigkeit durch das Sättigungsdefizit betrifft, so scheint mir die uneingeschränkte Empfehlung dieses Vorgehens nicht gerechtfertigt. Berechtigt ist sie sicher für die Bestimmung der Wasserabgabe seitens der Lungen; denn für diese kommt es auf die absoluten Wassermengen an, die bei der Einatmung in die Lungen geführt werden, um festzustellen, wieviel von ihnen abgegeben werden muß, um die geatmete Luftmenge für die Temperatur von 37° , auf die sie erwärmt wird, mit Wasser zu sättigen. Hier ist auch die Einführung des „physiologischen“ Sättigungsdefizites durchaus eindeutig, denn für die Wassermengen, die die Lungen abgeben können, und für die Frage, ob die Einatemluft überhaupt noch wasseraufnahmefähig ist, kommt es ja darauf an, wieviel an ihrer vollkommenen Sättigung nicht bei ihrer eigenen Temperatur, sondern nach ihrer Erwärmung auf 37° noch fehlt. Sie kann an sich vollkommen mit Wasserdampf gesättigt sein und doch in den Lungen noch reichliche Mengen aufnehmen.

Um einige Beispiele zu geben, die sich bei Knoll finden:

Physiologisches Sättigungsdefizit i. M. Januar bis März:

Arosa 44,7. Davos 44,3, Clarens 42,7, Lugano 42,5.

Diese Zahlen geben angenähert die Milligramm Wasser, die pro Liter Atemluft von den Lungen abgegeben werden.

Berechtigt ist diese Betrachtung auch für den Umfang der von der Haut des menschlichen Körpers erfolgenden Ausstrahlung.

Zweifelhaft scheint mir aber der Ausgang vom physiologischen Sättigungsdefizit für die Wasserabgabe von der Haut, die ja hinsichtlich des Wasser- und Wärmehaushaltes die größere Rolle spielt als die Wasserabgabe von den Lungen, da sie den drei- bis vierfachen Betrag dieser ausmacht. Hier steht die Frage im Vordergrund, wieviel Wasser die die Haut begrenzenden Luftschichten bei ihrer doch weit niedrigeren und in gewissen Grenzen schwankenden Temperatur aufnehmen können. Dafür ist, abgesehen von der Verschiedenheit der klimatischen Elemente, besonders von der Stärke der Luftbewegungen, die Art und der Umfang der Bekleidung von wesentlicher Bedeutung.

Die Zugrundelegung des physiologischen Sättigungsdefizites führt für das Höhenklima rechnerisch zu Werten für die Wasserabgabe, die mit den Tatsachen nicht in Einklang stehen. So soll nach Dorno (1) in 2000 m Höhe, wo die Luft nur noch halb so feucht und um 22% dünner ist als in Meereshöhe, die Wasserabgabe vom Körper um 52% vermehrt sein. Wäre das der Fall, so müßte dementsprechend die Wasserzufuhr vermehrt, der Durst gesteigert sein, was vielleicht für die ersten Tage des Höhengaufenthaltes, weiterhin aber nicht zutrifft. Direkte, später zu veröffentlichende Versuche zeigten mir, daß die Wasserabgabe in Davos gegenüber Berlin nicht deutlich vermehrt ist.

Für die Hautwasserabgabe kann man zwar in vielen Fällen, wenn auch nicht in allen, das Sättigungsdefizit, allerdings nicht das physiologische Sättigungsdefizit, an Stelle der relativen Feuchtigkeit zum Maßstabe nehmen. Aber für andere Vorgänge dürfte selbst dies nicht richtig sein, und der Begriff der relativen Feuchtigkeit seinen Wert behalten. So schon für das Gefühl feuchter oder trockener Luft; dieses richtet sich nach der relativen Feuchtigkeit und nicht nach dem Sättigungsdefizit. Ferner hängt die Beeinflussung der Hornschicht der Haut und ihrer Anhangsgebilde — Haare, Nägel — von dem Werte der relativen Feuchtigkeit ab, wie auch alle hygroskopischen organischen Gebilde, soweit die Luftfeuchtigkeit in Betracht kommt, entsprechend der relativen Feuchtigkeit verändert werden.

2. Erfassung der Gesamtwärmefaktoren. Weiterhin ging das Streben der modernen medizinischen Klimatologie dahin, die Einwirkung der Wärmefaktoren des Klimas in ihrer Ganzheit zu erfassen und auf möglichst einfache Weise zum Ausdruck zu bringen.

Die hierauf bezüglichen Bestrebungen finden sich zusammengestellt bei Loewy [(1) S. 87 ff.] und bei Dorno (2). — Ein besonderes Interesse und besondere Verbreitung hat neuerdings ein von L. Hill angegebenes und „Kathermometer“ genanntes Instrument gewonnen. Es ist ein Alkoholthermometer, das zwischen 100 und 95° F in ein Zehntel Grad geteilt ist. Es wird über 100° erwärmt und mit Stoppuhr die Zeit festgestellt, in der es sich auf 95° abkühlt. Es wird teils trocken benutzt, wobei Leitung und Strahlung die Abkühlung bewirken, teils mit feuchtem Stoff überzogen, wobei auch die Verdunstung mitwirkt. Ein Eichfaktor ergibt aus der Abkühlungszeit die Abkühlungsgröße in $\frac{1}{1000}$ geal pro Quadratcentimeter und Sekunde. Die Eichung ist ausgeführt unter wechselnden Temperaturen, Luftfeuchtigkeiten und Luftgeschwindigkeiten. Daraus konnte Hill eine Formel aufstellen, in die Lufttemperatur und Luftbewegung eingehen, und mittels derer die Abkühlungsgröße bei Kenntnis dieser Faktoren berechnet werden kann. Die gefundene Wärmeabgabe in Mikrocalorien ist natürlich nicht der von der menschlichen Haut gleichzusetzen.

Dabei fanden sich z. B. folgende Werte für den Monat Januar (vgl. Knoll a. a. O.):

	Trockenes Thermometer	Feuchtes Thermometer
Arosa	24,6	48,8
Davos	22,5	40,1
Agra (Lugano) . .	21,6	36,6
Potsdam	52,4	89,9

(berechnet von Dorno).

Am günstigsten steht demnach das am Südfuß der Alpen gelegene Agra; nicht viel ungünstiger verhalten sich die beiden bündnerischen Orte Arosa und Davos. Viel ungünstiger steht Potsdam. Beim feuchten Thermometer verhält sich in ihm die Abkühlung wie 1,86 und 2,2 : 1 gegenüber den letzteren beiden Orten, wie 2,5 : 1 gegenüber Agra.

Jüngstens ist nun von Thilenius und Dorno ein neues Instrument konstruiert und von Dorno (3) beschrieben worden, das demselben Zwecke dient, aber vollkommener ist: das Frigorimeter [vgl. darüber Dorno (3)]. Eine massive, geschwärzte Kupferkugel wird auf elektrischem Wege auf 33° erwärmt. Bei Abkühlung schaltet sich automatisch ein Heizstrom ein, der bei Erreichung

von 33° unterbrochen wird. Je stärker die Abkühlung, um so länger dauert die Zuführung von Heizstrom, so daß die Heizzeit einen Maßstab für den Umfang der Abkühlung ergibt. Ein Eichfaktor gestattet aus der Heizzeit im Verhältnis zur Beobachtungszeit die Abkühlung in $\frac{1}{1000}$ geal pro Quadratcentimeter und Sekunde abzulesen.

Zweck und Ziel des Apparates können also auch hier ebenso wie bei Hills Katathermometer und bei seinen weniger vollkommenen Vorgängern nur sein, die physikalische Abkühlungsgröße zu messen. — Das Instrument soll aber bestimmt sein, die physiologische Abkühlungsgröße erkennen zu lassen. Physiologische Abkühlungsgröße ist nun kein wohldefinierter, vielmehr ein mehrdeutiger Begriff, und deshalb in der Physiologie nicht gebräuchlich. Der Ausdruck kann bedeuten die Abkühlungsgröße der Haut und Unterhaut oder die des Gesamtkörpers. In Analogie zu dem, was das Frigorimeter an leblosen Körpern mißt, sollte man letzteres annehmen, jedoch ist dies am Menschen natürlich unmöglich. Denn selbst bei erheblichen Kälteeinwirkungen bleibt die Körpertemperatur zunächst ungeändert, kann sogar um einige Zehntel Grade steigen. Es kann also nur die Abkühlung von Haut und Unterhaut in Betracht kommen, das Sinken der Hauttemperatur festgestellt werden. In der Tat ist ja schon von Vincent, später von Dorno gezeigt worden, daß Beziehungen zwischen Abkühlung lebloser Körper und Hauttemperatur bestehen.

Nun darf man beim leblosen Körper Abkühlung gleich Wärmeentziehung setzen, nicht aber bei dem mit Regulationseinrichtungen versehenen Menschen, so daß das Frigorimeter bei diesem nichts über die Wärmeentziehung auszusagen vermag. Bei jeder Kälteeinwirkung wird die Wärmeabgabe herabgesetzt, nicht selten so stark, daß die Binnentemperatur steigen kann, ohne daß dabei — und das ist wesentlich — die Wärmeproduktion gesteigert ist. Diese spielt ja für die Wärmeregulierung des Menschen eine sekundäre Rolle. Es trifft also nicht zu, was wiederholt angegeben wurde, daß Klimata mit geringer, am Katathermometer oder Frigorimeter abgelesener Abkühlungsgröße einen geringen Anspruch an die Wärmeproduktion stellen, solche mit starker Abkühlung *einen* erheblichen.

Das Frigorimeter kann nur die Ansprüche angeben, die an unsere Wärmeregulation gestellt werden, und das sind im wesentlichen die der Verminderung der Wärmeabgabe dienenden Vorgänge, die energetisch nicht ins Gewicht fallen.

Nur in diesem Sinne können die 5 Typen betrachtet werden, die Dorno (2) aus den Hillschen Formeln für die Abkühlungsgröße bestimmt hat, nicht in dem Sinne differenten Wärmeumsatzes, differenter Wärmeproduktion, was behauptet wird. — Zum Schluß möchte ich der Meinung Ausdruck geben, daß für physiologische Betrachtungen und ebenso für praktisch hygienische und klinische die Bestimmung der Abkühlungsgröße, d. h. die summarische Ermittlung der klimatischen Ansprüche an unsere Wärmeregulierung nicht in jeder Hinsicht von Vorteil ist. Sie orientiert uns gut und besser als bisher über den Umfang der wärmeregelnden Ansprüche, aber nicht, woraus diese hervorgehen, was zu wissen wichtig ist. Denn um z. B. eine am Frigorimeter gefundene zu starke Abkühlung zu vermindern, müßte man feststellen, durch welchen Klimafaktor sie vorzugsweise bewirkt wird, und somit die Abkühlungsgröße doch wieder analytisch zerlegen.

3. Klimatypen. Dorno hat für die 5 von ihm unter Zugrundelegung der Abkühlungsgröße bestimmten Klimatypen — Seeklima (Borkum), Flachland (Potsdam), geschütztes Hochtal (Davos), geschützter Winterkurort (Lugano), Wüstengrenze (Assuan) — eine graphische Darstellung gegeben, die er „spezifisch medizinisches Klimogramm“ nennt [(1) S. 55, (2) S. 404]. Hier kann nur kurz darauf hingewiesen werden. Es erlaubt, die Abkühlungsgröße des Kathermometers direkt abzulesen und zugleich den Einfluß, den Lufttemperatur und Wind darauf haben, zu entnehmen.

Aus ihm, wie aus den zugleich beigebrachten Tabellen [(2) S. 410ff.] ergibt sich nun die besonders hygienisch wichtige Tatsache, daß es im Höhenklima Orte gibt, an denen trotz extremer Temperaturschwankungen der Tages- und Jahresgang der Abkühlung nur wenig voneinander verschiedene Grenzwerte aufweisen. Die Abkühlungsgröße ist hier also nicht in erster Linie von der Temperatur abhängig. Das zeigen die Werte von Tab. 2, auf denen die Verhältnisse von Davos und Potsdam einander gegenübergestellt sind.

Tabelle 2. Abkühlungsgröße (trockener Apparat), Davos, Schattenwerte.

Stunde	Januar	März	Mai	Juli	September	November	Jahr
für Davos							
7 Uhr 30 Min. vorm. . .	23,3	19,8	16,6	14,3	15,6	19,2	18,1
1 Uhr nachm.	22,5	21,7	19,3	15,5	18,2	21,7	19,8
6 Uhr 30 Min. nachm.	21,8	23,6	19,8	14,4	15,9	20,8	19,4
Mittel	22,5	21,7	18,6	14,7	16,6	20,6	19,1
für Potsdam:							
7 Uhr 30 Min. vorm. . .	57,4	45,4	30,1	23,9	34,4	52,1	40,1
1 Uhr nachm.	50,6	36,9	23,7	19,0	27,2	43,0	33,4
6 Uhr 30 Min. nachm.	52,3	38,8	24,5	20,1	29,6	49,4	35,8
Mittel	52,4	40,4	26,1	21,0	30,4	48,2	36,1

Zunächst sind die Potsdamer Abkühlungswerte doppelt so groß wie die Davoser, sodann sind die Tages- und Jahresschwankungen doppelt bis dreifach so groß, obwohl die Temperaturschwankungen geringer sind als in Davos. Demgegenüber ist an letzterem Orte eine Tagesschwankung im Januar und Juli kaum vorhanden, was sich nach Dorno im Winter durch die bestehende Windstille, im Sommer durch die am Mittag die Lufttemperatur erniedrigende Luftbewegung erklärt.

So zeigen die Werte für die Abkühlungsgröße, daß in Hinsicht auf die Beanspruchung unserer Wärmeregulierung das Klima eines windstillen Hochtales ein sehr ausgeglichenes ist. Es ist das dieselbe Eigenschaft, die auch für die Sonnen- und Himmelsstrahlung, besonders auch für die Ultraviolettstrahlung, für die Luftfeuchtigkeit und für die luftelektrischen Elemente besteht. Auch für diese Klimafaktoren sind die Schwankungen im täglichen wie im Jahresverlauf viel geringer als im Tieflande.

Erwähnt sei hier, daß W. Knoche (2) vor einigen Jahren den „Austrocknungswert“ in die klimatologische Betrachtung eingeführt hat. Aus zahlreichen Verdunstungsmessungen aus verschiedenen Teilen Nordamerikas, die Bigelow formelmäßig dargestellt hat, berechnet Knoche neben geoklimatischen auch anthropoklimatische „Austrocknungswerte“, wobei er für letztere die Hauttemperatur des Menschen, nach den Formeln von Vincent berechnet,

zugrunde legt. Er stellt nach den Austrocknungswerten 8 Klassen auf, und — nach Dornos Berechnung — würde das windgeschützte Hochtal von Davos in einer der obersten, trockensten Klasse (Klasse 6) stehen.

4. Höhenstrahlung. Auf die Verhältnisse der Höhenstrahlung glaube ich nach der physikalischen Seite hin nicht näher eingehen zu sollen. Die Eigentümlichkeiten der Wärmestrahlung im Höhenklima, der Helligkeit, die Beziehungen von Sonnen- zu Himmelsstrahlung, die Ultraviolettstrahlung und die Schwankungen, die diese Größen im Tages- und Jahresgange erfahren, sind in den *letzten* Jahren wiederholt dargestellt worden, auch in für die Zwecke des Mediziners geeigneten Darstellungen [z. B. Dorno (1) und (5)]. Nur auf einige von meteorologischer Seite stammende Untersuchungen, die, außer in Fachkreisen, weniger bekannt sein dürften, und doch ärztliches Interesse haben, und auf einige neuere physiologische Befunde möchte ich hinweisen. Sie sind in ihren bisherigen Ergebnissen zusammenfassend dargestellt worden auf der 1925 in Davos abgehaltenen klimatologischen Tagung und in deren Verhandlungsbericht mitgeteilt.

Zunächst über die Schwächung, die die Sonnenstrahlung beim Durchgang durch die Atmosphäre erfährt. — Sie ist abhängig vom Sonnenstande, also von der Tages- und Jahreszeit, von der Höhe über dem Meere, der geographischen Breite, dem Wasserdampf- und Dunstgehalt der Atmosphäre.

Man hat bisher zu ihrer Messung den sog. Transmissionskoeffizienten zugrunde gelegt, d. h. also das Verhältnis der beobachteten zur extraterrestrischen Strahlungsenergie. Aber der Transmissionskoeffizient ist selbst eine schwankende Größe, abhängig vom Stande der Sonne, so daß er z. B. in den verschiedenen Jahreszeiten und in verschiedenen geographischen Breiten verschieden ist. Linke hat nun an dessen Stelle den Trübungsfaktor eingeführt, der die genannten meteorologischen Faktoren, die die Strahlungsschwächung bewirken, in sich vereinigt. Linke geht von einer „idealen“ Atmosphäre aus, d. h. von einer solchen, bei der die Strahlungsschwächung allein durch Extinktion, d. h. durch diffuse Reflexion an den atmosphärischen Gasen zustande kommt. Der Trübungsfaktor besagt, „wieviele ideale Atmosphären zusammengenommen die gleiche Extinktion ergeben würden, wie die jeweilig vorhandene trübe und feuchte“.

Dabei wird also nichts gesagt darüber, wodurch die Schwächung zustande kommt, ob durch diffuse Reflexion oder durch selektive Absorption, oder durch Reflexion an größeren, in der Atmosphäre vorhandenen Teilchen. Aber die Bestimmung des Trübungsfaktors läßt die Strahlungsschwächung unter verschiedenen Sonnenständen (wenn man die Luftmasse auf 760 mm Druck reduziert), also auch unter verschiedenen geographischen Breiten, Höhenlagen, Jahreszeiten miteinander vergleichen.

Linke hat zahlreiche Messungen über den Trübungsgrad der Atmosphäre zu verschiedenen Jahres- und Tageszeiten und an verschiedenen Orten ausgeführt, die zu interessanten und auch ärztlich-klimatologisch bedeutsamen Ergebnissen führten. So konnte Linke feststellen, daß nördlich gelegene Orte (Pawlowsk, Upsala) geringere Trübungsgrade haben als die mitteleuropäischen in der Ebene, daß Hochgebirgsorte, wie Davos und Arosa, im Sommer eine geringere atmosphärische Trübung aufweisen als in mittleren Höhen (Taunus, Allgäu) gelegene Orte, daß diese aber immer noch günstiger gestellt sind als große oder mittelgroße Städte in der Ebene.

Das zeigt Tab. 3 (gekürzt nach Linke):

Tabelle 3. Trübung der Atmosphäre.
(Trübung der „idealen“ Atmosphäre = 1.)

Ort	Monatsmittel		
	Januar	August	Jahresmittel
Davos	1,49	1,92	1,85 ¹⁾
Arosa	1,34	1,72	1,57 ¹⁾
Riezlern (Allgäu)	1,55	2,33	2,09
Taunus (Observatorium)	1,38	2,56	2,10
Frankfurt a. M.	3,55	3,80	3,48
Potsdam	1,83	2,88	2,05
Upsala	1,53	1,83	1,76

Für den europäischen Kontinent nimmt Linke als Mittelwert 2,25; in den Passatzonen fand er im Winter 2,1–2,2; argentinische Anden 1,2–1,4; nahe den Capverdischen Inseln, wo die Luft vielen von der Sahara hinübergewehten Staub enthält, 4–5.

Auch die Intensität des polarisierten Himmelslichtes wird durch die atmosphärische Trübung herabgesetzt.

Aus den Werten für den Trübungsfaktor und den für die Sonnenscheindauer läßt sich das Strahlungsklima eines Ortes ableiten. — Bei Zerlegung der die Trübung herbeiführenden Faktoren ergab sich, daß weniger der Wasserdampf als der sog. Dunst, kolloide Bestandteile der Atmosphäre sie herbeiführen.

Praktisch wichtig ist, daß sich Beziehungen nicht nur zum augenblicklichen, sondern auch zum kommenden Wetter fanden, so daß man Wetterprognosen auf Regen mit ziemlicher Sicherheit schon 1–2 Tage vor seinem Einsetzen machen konnte. Biologisch erheblich ist, daß mit zunehmender Trübung die kurzwellige, also die biologisch bedeutsame Strahlung immer mehr zugunsten der langwelligen roten geschwächt wird.

5. Strahlenwirkung auf die Wärmeverhältnisse. Genauer erforscht wurden von mehreren Seiten die Wirkungen von Strahlen verschiedener Wellenlänge auf die Wärmeverhältnisse des tierischen und besonders des menschlichen Körpers. — Sonne verglich als erster die Temperaturverhältnisse der Haut und der Unterhaut bei Bestrahlung mit ultraroten und mit hellen Strahlen. Er fand, daß erstere wesentlich von der Hautoberfläche absorbiert werden, daß hier die Temperatur am höchsten ansteigt, um gegen die tieferen Schichten der Haut und die Unterhaut hin abzufallen; daß die hellen Strahlen jedoch die Oberhaut durchdringen und in der Tiefe eine größere Wärmewirkung als auf der Hautoberfläche entfalten. Bei Benutzung der stärksten noch erträglichen Strahlung (an der Beugeseite des Vorderarmes 3,11 cal. pro Quadratzentimeter und Minute für die hellen Strahlen, 1,33 cal. für die ultraroten) war z. B. die Hauttemperatur bei heller Strahlung 43,5°, bei ultraroter 45,5°. Sie nimmt bei letzterer gegen die Tiefe ab (in 0,5 cm würde sie 41,7° betragen), ist bei ersterer jedoch in 0,5 cm Tiefe auf 47,7° zu berechnen.

Praktisch bedeutet das aber, daß die Sonnenwärme ganz anders auf uns wirkt als die etwa eines Kachelofens.

¹⁾ Ihrer Höhenlage wegen ergeben sich für Davos und Arosa um 20% günstigere Verhältnisse.

Zu den gleichen Ergebnissen kamen Hill und Campbell. An Kaninchen fanden sie, was früher schon Aron bei Affen festgestellt hatte, daß lokale Bestrahlung lokale Temperatursteigerung bewirken kann. So ging bei Bestrahlung des Kopfes mit Kohlenbogenlicht die Hauttemperatur auf 67° , die unter der Kopfhaut und im Hirn auf 42° bzw. 40° ; die Rectumtemperatur blieb ungeändert. Bei Bestrahlung von Kopf und oberer Körperhälfte mit Sonnenstrahlen, wobei die bestrahlte Haut eine Temperatur von $46,5^\circ$ annahm, sank die Temperatur der Gewebe der nichtbestrahlten Körperteile und die im Rectum.

Am Menschen fanden die Verfasser, wenn sie mittels Kohlenbogenlampe oder Gasradiator derart bestrahlten, daß die Hauttemperatur die gleiche wurde, daß in der Unterhaut die Temperatur unter ersterer um $10,5^\circ$, unter letzterem nur um $6,7^\circ$ die der nichtbestrahlten Gegenseite übertraf.

Eingehend sind endlich von Loewy und Dorno die Haut- und Tiefentemperaturen unter verschiedenen Verhältnissen gemessen worden. Die letzteren nicht thermoelektrisch, wie bei den vorgenannten Autoren, sondern mit Zondeks Tiefenthermometer. Bemerkenswert ist aus ihren Ergebnissen, daß das Maximum der Hauttemperatur sich — bei den freigetragenen Körperteilen — an der Schläfengegend befand. Von hier zur Stirn sank sie um $1,5-2^\circ$, fast unabhängig von der jeweiligen Abkühlungsgröße und der absoluten Temperatur beider Stellen. — Abkühlung einer Hautstelle durch Schnee führte nicht — wie man hätte erwarten sollen — zu einer Temperatursenkung nichtabgekühlter Stellen der Haut, vielmehr, in

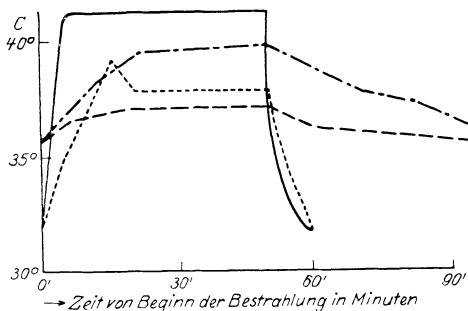


Abb. 1. Temperaturen.

..... Oberhaut während Bestrahlung mit Sonnenstrahlen. ———— Oberhaut während Bestrahlung mit dunklen ultraroten Strahlen. — · — · — 25 mm unter Oberhaut während Bestrahlung mit Sonnenstrahlen. — · — · — 25 mm unter Oberhaut während Bestrahlung mit dunklen ultraroten Strahlen. Strahlungsintensität stets annähernd $1,5 \frac{\text{gcal.}}{\text{min cm}^2}$.

Übereinstimmung mit einer alten Angabe von Buch, zitiert bei Winternitz, zu einer Steigerung der Hauttemperatur an diesen.

Bezüglich des Verhältnisses der Hauttemperatur zu der in $2-2\frac{1}{2}$ cm Tiefe wurde der Einfluß konduktiv zugeführter Wärme und Kälte und der der Strahlung verschiedener Wellenlängen untersucht. — Die Ergebnisse letzterer Beobachtungen sind auf Abb. 1 wiedergegeben.

Die Strahlungsintensität war für die verschiedenen Strahlengattungen annähernd die gleiche: $1,5 \text{ gcal. pro Minute und Quadratcentimeter}$.

Es ergab sich, daß die ultraroten Strahlen (elektrisch geheizte Metallplatte) eine rapide Steigerung der Hauttemperatur von etwa 33° auf 41° hervorriefen unter Erzeugung eines Gefühls von heftigem Brennen, während die Temperatur in der genannten Tiefe langsam auf nur 37° stieg. Die Sonnenstrahlung dagegen erwärmte die Haut allmählich auf nur 38° , aber die Tiefe — im Sommer in etwa 25 Minuten, im Frühjahr und Winter in etwa 30–35 Minuten — auf 40° .

In Abhängigkeit vom Vorhandensein der am tiefsten eindringenden roten und kurzwelligen ultraroten Strahlen fand sich ein Jahresgang derart, daß

die Tiefentemperatur im Frühjahr am höchsten stieg, daß sie im Winter noch etwas höher lag als im Sommer. — Hygienisch bemerkenswert und therapeutisch von Bedeutung ist die lange Nachwirkung der Tiefentemperatursteigerung. Beim unbedeckt bleibenden Beine (es wurde stets am Oberschenkel untersucht) war erst 50 Minuten nach Schluß der Bestrahlung die Ausgangstemperatur wieder erreicht. Bei Anlegung von Bekleidungsstücken muß also die Nachwirkung sich noch weit länger hinziehen.

Künstliche Lichtquellen wirkten der Sonnenstrahlung um so ähnlicher, je mehr sie ihr in der Beschaffenheit ihrer Strahlen glichen. Daher die Kohlenbogenlampe ähnlicher als die Nernstlampe, die hauptsächlich oberflächliche Wirkungen äußert. Erwähnenswert ist, daß mit der Strahlung kombinierte Kühlung der die bestrahlten Teile umgebenden Haut die Wirkung der Strahlung der Nernstlampe auf die tieferen Teile der Haut und auf die Unterhaut sehr erheblich steigerte, und daß auch die Tiefenschädigungen weit stärker waren. Erwärmung hatte, trotzdem die Hauttemperatur dabei höher lag, die intensive Wirkung auf die Tiefe nicht zur Folge.

Die Wärme- und Kältezufuhr mittels Kompressen hatte einen zwischen den ultraroten und leuchtenden Strahlen die Mitte haltenden Effekt, wobei zugeführte Kälte eine wesentlich stärkere Tiefenwirkung zeigte als Wärme. Erstere hatte eine Außenwirkung von 10° , eine Tiefenwirkung von $5,7^{\circ}$, letztere solche von 13° gegen nur 4° .

Die Tiefentemperatursteigerungen, die durch Bestrahlung herbeigeführt werden, sind wohl die Ursache einer von Sonne gemachten Beobachtung, die mit älteren an überwärmten Tieren gemachten übereinstimmt. Mit sonst tödlichen Dosen Diphtherietoxin vergiftete weiße Meerschweinchen überleben die Injektion, wenn sie danach ein 1stündiges Lichtbad erhalten. Auch die bakterizide Kraft von Blut, Serum und Leukocyten steigt nach Versuchen von Colebrook, Hill und Eidenow durch ein solches vorübergehend an, und zwar sind die ultravioletten und ultraroten Strahlen die dabei wirksamen, letztere, wenn es durch sie zu einer Verbrennung der Haut kam. Diese Erfahrung ist wichtig für die Deutung der Strahlenwirkungen, worauf später einzugehen ist.

6. Strahlenwirkung auf das Sehorgan. Angeschlossen seien hier neuere Untersuchungen über die Strahlenwirkung auf das Sehorgan. Im allgemeinen nimmt man schädigende Wirkungen durch ultraviolette Strahlen an. Nach Versuchen von Vogt und seinen Schülern (Bückler und Trümper) sollen diese aber nur vorübergehende Reizungen und Entzündung der Horn- und Bindehaut hervorrufen. Dagegen fand sich, daß die kurzwellige ultrarote Strahlung (von 670—1000 und mit abnehmender Stärke bis 1300—1400 $\mu\mu$) schwere Veränderungen der Iris, der Linse, Aderhaut und Netzhaut hervorrufen. Bei frisch bestrahlten Fällen fand sich starke Hyperämie der Aderhaut, Verdickung dieser und der Netzhaut, Veränderungen der Linse, Hyperämie und Verdickung der Iris, deren Pigment und Sphincter besonders stark geschädigt waren.

Aber es kam nach $\frac{1}{2}$ —1 Stunde Bestrahlung auch zu Dauerschädigungen: Es bildete sich im Laufe einiger Jahre Schichtstar aus, Aderhautatrophie am hinteren Pol mit Pigmentwucherungen um die atrophischen Teile, Umwandlung der Netzhaut in eine bindegewebige Membran. Die Hornhaut blieb unversehrt.

Die Augenschädigungen durch übermäßige Sonnenbestrahlung wären danach wesentlich auf Rechnung der kurzen ultraroten Strahlen zu setzen.

7. Die Lufterlektrizität im Hochgebirge. Über das Verhalten der Lufterlektrizität im Hochgebirge sind in den letzten Jahren weitere umfassende Untersuchungen in verschiedenen Höhenlagen ausgeführt worden. — Am besten unterrichtet über die lufterlektrischen Erscheinungen in Bodennähe sind wir durch die Jahre hindurch fortgesetzten Bestimmungen von Dorno (4) in Davos. Die neueren Untersuchungen sind vorwiegend nicht im Hochgebirge, vielmehr in der freien Atmosphäre bei Ballon-, Flugzeug- und Luftschiffahrten unternommen worden. Die lufterlektrischen Erscheinungen treten in der freien Atmosphäre reiner in Erscheinung als bei Untersuchung in Bodennähe, wo sie durch den Boden Störungen erfahren. Dabei ergab sich, daß sie in ihren Grundzügen mit den früher im Gebirge gefundenen übereinstimmen, so daß also der Höheng einfluß den Bodeneinfluß überwiegt. Sie sind zusammenfassend von Wigand kürzlich mitgeteilt worden. — Nach Untersuchungen von Linke, Gerdien, Everling und Wigand nimmt, ebenso wie es früher im Gebirge gefunden war, die elektrische Spannung in der Atmosphäre mit steigender Höhe ab, und zwar wie nebenstehende Tabelle 4 zeigt:

Also auch an der Grenze von Troposphäre zu Stratosphäre besteht noch ein, wenn auch geringes, Spannungsgefälle.

In Bodennähe, und zwar besonders im Tieflande — bis zu 1500 m Höhe hinauf — kann es durch Dunst und Wolken zu mehr oder minder starken Störungen des Spannungsgefälles kommen. Das Spannungsgefälle wird bedingt durch die negative Ladung der Erdoberfläche und die normalerweise positive Ladung der Luft. Gewöhnlich überwiegt die positive Ladung die negative. Es besteht Unipolarität. Jedoch ist bei Wolkenbildungen, besonders bei Bildung von Gewitterwolken, eine negative Ladung der Luft gefunden worden.

Bestätigt wurde auch die ältere Erfahrung, daß der Ionengehalt der Luft mit der Höhe zunimmt; von 1,5–3 km Höhe eine Zunahme um ein Mehrfaches des Tieflandwertes, dann eine langsame weitere Zunahme. Angesichts der Abnahme des Luftdruckes und der Reinheit der Höhenluft nimmt auch die Beweglichkeit der Ionen zu, und beides führt zu einer Steigerung der elektrischen Leitfähigkeit der Höhenluft. Über dem Tieflande beträgt sie $1-2 \times 10^{-4}$ elektrostatische CGS-Einheiten. Nach Ballonmessungen von Gerdien, Wigand und Koppe in 8,9 km Höhe $= 27 \times 10^{-4}$.

Wieder gefunden wurden auch die von Dorno durch fortlaufende Registrierung früher schon festgestellten täglichen und jahreszeitlichen Schwankungen des Spannungsgefälles und der Leitfähigkeit, wobei letztere dem Gange des Spannungsgefälles gegenüber sich spiegelbildlich verhält. Daher ergibt sich für das Produkt beider, den sog. Vertikalstrom, eine annähernde Konstanz. Seine Stärke berechnet sich im Mittel zu 6×10^{-7} elektrostatische CGS-Einheiten, d. h. 2×10^{-16} Amp./cm².

Tabelle 4.

Seehöhe km	Spannungsgefälle Volt/m
9	4
6	6
3	15
1,5	25
0	100

Abb. 2 gibt nach Dorno (1) das Jahresmittel des täglichen Ganges, das das gegensätzliche Verhalten von Leitfähigkeit und Spannung deutlich zum Vorschein kommen läßt. Hinsichtlich des Zustandekommens des täglichen Ganges, sowie des Einflusses der verschiedenen meteorologischen Elemente darauf, muß auf die Dornoschen Arbeiten verwiesen werden. —

Abweichend von den bei Untersuchung bodennaher Luft gefundenen Verhältnissen müssen die in der freien Atmosphäre gefundenen sich gestalten in Hinsicht auf die Ionisierung und die sie bewirkenden Faktoren. — In Erdnähe kommt die Ionisierung der Luft hauptsächlich durch die radioaktiven Stoffe des Erdbodens und der Luft zustande. Jedoch ist nach Wigand infolge Absorption seitens der Luft die radioaktive Erdstrahlung schon wenige hundert Meter über dem

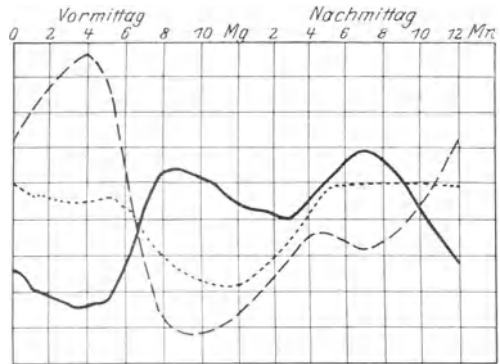


Abb. 2. Jahresmittel des täglichen Ganges des Potentialgefälles — 1 Teilstrich = 10 Voltmeter, des elektrischen Leitvermögens - - - - 1 Teilstrich = $40 \cdot 10^{-9}$ ESE, des elektrischen Vertikalstromes 1 Teilstrich = $100 \cdot 10^{-9}$ ESE.

Erdboden äußerst gering; auch nimmt die Ionisierung durch die radioaktiven Stoffe der Luft schnell mit der Höhe ab. Für den dafür maßgebenden Gehalt an Emanation gibt Wigand auf Grund seiner Versuche folgende Aufstellung:

Wie erheblich die Emanation der Bodenluft, welche bekanntlich — nach den Versuchen besonders von Elster und Geitel — selbst, je nach der Bodenart, beträchtlich schwankt (Loewy 1, S. 69), die der freien Atmosphäre überragen kann, ergibt sich aus einer Angabe von Dorno, wonach in Potsdam erstere 100 mal emanationsreicher gefunden wurde als letztere. In München war die Bodenluft 6 mal emanationsreicher als in Potsdam, in Freiburg (Schweiz) wiederum 6 mal reicher, und in Davos noch 3 mal reicher daran.

Tabelle 5. Ionisierungswirkung der Höhenstrahlung in der Freiluft.

Seehöhe (km)	Ionenpaare (cm ³ sec)
9,3	23,5
9	23
8	20,5
7	17
6	13
5	9,5
4	7
3	5
2	3,5
1	2
0	1

Dagegen tritt in der freien Höhenluft als ionisierender Faktor die sog. durchdringende Höhenstrahlung auf (Gockel, Hess, Kolhörster, Millikan). Ihre Wirkung ist bis zu 9,3 km Höhe beobachtet worden, wobei eine wenigstens bis zu 7 km Höhe zunehmende Ionisation festgestellt wurde.

Zusammengefaßt ergibt sich aus den älteren und neueren Untersuchungen, daß das „elektrische Klima“ der Hochregionen gegenüber dem des Tieflandes seine Besonderheiten hat in einem „kleineren Spannungsgefälle, größerem Ionengehalt, höherer Leitfähigkeit und stärkerer Ionisierung“. In Bodennähe gestaltet es sich etwas anders als in der freien Atmosphäre, insofern „Luft-

feuchtigkeit und Luftreinheit auf die Wiedervereinigung und Beweglichkeit der Ionen einwirken und die radioaktiven Substanzen des Bodens sowie der bodennahen Luft noch neben der in der Höhe stärkeren, durchdringenden Höhenstrahlung als Ionisatoren eine Rolle spielen“ (Wigand).

Die vorstehenden Daten habe ich mitgeteilt, weil Beziehungen zwischen Luftelektrizität und physiologischen Vorgängen, oder doch die Möglichkeit solcher, immer wieder hervorgehoben werden. Die Möglichkeit ist a priori nicht abzustreiten, aber irgendwelche Beweise für wichtigere Zusammenhänge liegen bis heute nicht vor. Die gefundenen elektrischen Werte liegen sehr niedrig, viel niedriger als die sonst therapeutisch angewendeten. Das gilt für den Emanationsgehalt der Luft, für den Ionengehalt, die Leitfähigkeit und die Stärke des Vertikalstroms. Daß trotzdem Besonderheiten im elektrischen Verhalten des Menschen wenigstens für Davos bestehen, wurde in jüngster Zeit im dortigen Forschungsinstitut festgestellt.

Wenn man schon geneigt ist, die atmosphärischen Beziehungen zu manchen — hauptsächlich nervösen — Störungen anzuerkennen, wie z. B. zu den bei Föhn auftretenden Beschwerden, den „rheumatischen“ Schmerzen oder den lancinierenden Schmerzen der Tabiker bei Gewitterneigung oder bevorstehenden Wetterumschlägen, so ist doch nicht irgendwie sichergestellt, daß gerade die elektrischen Vorgänge der Atmosphäre dabei das auslösende Moment sind. — Speziell für das Hochgebirge ist vielfach angenommen worden, daß die Bergkrankheitserscheinungen mit ihnen in Beziehung stehen. Das wurde schon vor etwa 100 Jahren von einzelnen Hochgebirgsreisenden behauptet. Zuntz, Loewy Müller, Caspari, die diese Angaben zuletzt zusammengestellt haben, haben selbst luftelektrische Messungen vorgenommen, aus denen speziell für die Ionisierung der Luft ein Parallelismus herausgelesen werden könnte, ebenso aus den von Knoche (1), der in den Anden an Stellen mit stark radioaktiver Atmosphäre bergkrank wurde, die 1000 m tiefer lagen (4500 m) als die, die er sonst ohne Beschwerden ertragen hatte (5600 m). Aber andere Beobachtungen von Durig und Zuntz, von Durig, Reichel und Kolmer zeigen nichts von diesem Zusammenhange.

Speziell auf die Wirkung der Luftelektrizität gerichtete ältere physiologische Untersuchungen — neuere liegen meines Wissens nicht vor — haben, abgesehen von vasomotorischen bzw. zirkulatorischen Beeinflussungen keine deutlichen Effekte erkennen lassen. Zuweilen fanden sich Senkungen des mittleren Blutdruckes, mehr durch Sinken des diastolischen als des systolischen Druckes bedingt, besonders bei Einatmung stark emanationshaltiger Luft (Loewy und Plesch). Änderungen der Blutverteilung zeigten sich in Erweiterung der Hirngefäße, in Verengerungen der Lungengefäße, und zwar in Versuchen an Hunden [(Loewy (3)]. Dabei trat eine Erschlaffung der Gefäßwände ein, die für die Emanationswirkung typisch sein dürfte.

8. Keimgehalt. Bekannt ist, daß der Keimgehalt der Höhenluft geringer ist als der der Luft über dem Tieflande. Der Boden jedoch beherbergt, wie vielfach, zuletzt von Kürsteiner, festgestellt wurde, noch reichlich Keime bis in Höhen von 4100 m hinauf.

Kürsteiner bestimmte sie in einem Gramm wasserhaltigen Bodens im Gelatineplattenverfahren. Einen Einblick in die Keimmenge gibt folgende Zusammenstellung:

Tabelle 5a.

Lfd. Nr.	Datum	Ort der Probenahme	Zahl der gelatinewüchsigen Mikroorganismen in 1 Gramm Erde
5	29. Juli 1911	Jungfraugipfel (Südseite)	400 000
15	6. Sept. 1919	Jungfraugipfel (Westseite)	52 000 ¹⁾
17	15. Sept. 1920	Jungfraujoch	200 000 000
18	16. Sept. 1920	Mönch-Westgrat	600 000

Die außerordentlich hohe Zahl auf dem Jungfraujoch zeigt den Einfluß der Nähe von Mensch und Tier, deren Abfallstoffe wohl für die ungewöhnliche Steigerung verantwortlich zu machen sind. — Zahlen ähnlicher Größenordnung wie auf dem Jungfraujoch fanden sich in 9 weiteren auf Hütten- und Hotelplätzen entnommenen Bodenproben: 7 Millionen bis 250 Millionen.

Unter den sich entwickelnden Keimen waren auch Anaeröbier und gasbildende Bakterien vorhanden.

III. Physiologische Wirkungen.

Die Kenntnis von den Wirkungen, die das Höhenklima auf den Ablauf der physiologischen Vorgänge ausübt, ist sowohl hinsichtlich der Zahl, des Umfanges und der Art dieser Wirkungen, wie auch bezüglich ihres Zustandekommens durch Untersuchungen der letzten Jahre wesentlich gefördert worden.

1. Verhalten des Blutes. Schon für das Verhalten des Blutes, dessen Veränderungen am meisten studiert waren, ergaben sich neue Tatsachen. Die Anschauung, daß die Zunahme der Zahl der roten Blutzellen in der Volumeneinheit eine relative sei, hervorgerufen, sei es durch Eindickung des Blutes in der verdünnten Höhenluft, oder durch Veränderung seines Wassergehaltes durch Blutdruckänderungen, oder durch Verteilungsänderungen der Blutzellen im Gefäßsystem, kann wohl als überwunden betrachtet werden in dem Sinne, daß diese Vorgänge allein die Zellzunahme bewirken. Sie spielen gewiß eine Rolle im Höhenklima wie in jedem anderen und können akute Veränderungen auslösen. Aber daneben bestehen langsam verlaufende, sich je nach der Höhenlage und wohl auch nach der Konstitution der verschiedenen Personen quantitativ verschieden verhaltende Vorgänge, die zu einer absoluten Zunahme der Blutzellenzahl und des Hämoglobins führen und daneben zu einer Zunahme der Gesamtblutmenge. Ersteres ergab schon eine Berechnung der von Abderhalden gewonnenen Werte, es wurde dann von Loewy und Müller (vgl. bei Zuntz, Loewy, Müller, Caspari S. 198) an Geschwisterhunden, deren einer Teil im Tieflande (Bern) blieb, deren anderer in 2100 m Höhe einige Monate gehalten war, durch Bestimmung des Gesamthämoglobins nachgewiesen. Die Zunahme der Gesamtblutmenge wurde durch Laquer an sich selbst gezeigt unter Benutzung der Griesbachschen Kongorotmethode. Sie war bei einem vierwöchigen Aufenthalt in 1550 m Höhe (Davos) allerdings geringfügig, da sie nur 5% betrug bei einer Zunahme der Gesamterthrocyten- und Gesamthämoglobinmenge von 13—15%.

¹⁾ Gefrorene Erdprobe.

Aber nicht nur beim Übergang ins Höhenklima ist sie gegenüber dem Tieflandwerte gesteigert, sondern, wie Lippmann — ebenfalls nach Griesbachs Methode — zeigen konnte, haben auch die ständigen Bewohner der Höhe eine größere Blutmenge als die Tiefländer. Er fand bei 5 Einheimischen in Davos Werte zwischen 5,2 und 6,1 Lit. = 7,4–10% des Körpergewichtes. Dabei betrug die Zahl der roten Blutzellen 5,8 bis 7,00 Millionen im Kubikmillimeter, das prozentische Volumen der Blutzellen 53–58%.

Für die Realität der Steigerung der Erythrocytenzahl und des Hämoglobins, also für eine Mehrbildung, spricht das Verhalten des Knochenmarkes. Loewy und Müller fanden bei ihren Hunden, die in der Höhe gelebt hatten, rotes, an Zellen reiches Knochenmark, bei den im Tiefland verbliebenen Geschwistertieren gelbes, zellenarmes Mark.

Die meisten Zählungen der roten Blutzellen wurden noch mit der Thoma-Zeisschen Zählkammer ausgeführt. Aber auch Bestimmungen von Bürker mit seiner verbesserten Kammer ergaben eine, zwar geringere, doch immerhin deutliche Zunahme beim Übergang ins Höhenklima. Die Zahl der Erythrocyten nahm in einem Falle pro Woche um 11,5%, bei zwei anderen um 4,6 bzw. 4,0% zu. Dabei war die Zunahme an Hämoglobin und Erythrocyten am stärksten bei demjenigen, der von vornherein die niedrigsten Werte hatte.

Der von Bürker besonders bestimmte mittlere Hämoglobingehalt eines Erythrocyten (HBE) verhielt sich im Hochlande verschieden. In einem Falle war er gleich dem im Tieflande: $30,3 \times 10^{-12}$, bei den übrigen nahm der Hämoglobingehalt stärker zu als die Erythrocytenzahl, so daß die Hämoglobinmenge des einzelnen Erythrocyten um 4,4–6,0% anstieg. Diese Befunde stehen mit älteren von Craandijk und Knoll (2) in Übereinstimmung.

Nach den Feststellungen Bürkers kommt bei Menschen und den untersuchten Säugetieren die gleiche Hämoglobinmenge auf die gleiche Oberfläche. Im Tieflande fand Bürker auf $1 \mu^2$

$$\text{im Mittel } 31,7 \cdot 10^{-14} \cdot \left(\frac{\text{HBE}}{\text{OE}} = \text{constant} = 31 \cdot 10^{-14} \right).$$

Für das Höhenklima liegen diesbezügliche Untersuchungen noch nicht vor.

Ähnlich wie beim Gesunden ist das Verhalten von Hämoglobin und Erythrocyten bei Lungentuberkulösen beim Übergange ins Hochgebirge. Am eingehendsten ist es von Knoll (2) untersucht worden. Bei Kranken im dritten Stadium oder bei solchen in früheren, aber mit schnell fortschreitendem Krankheitsverlauf, findet sich eine nur geringe Zunahme oder eine Abnahme. Bei allen anderen — prognostisch günstigen — Fällen tritt ein Steigen von Zellenzahl und Hämoglobin ein wie bei den Gesunden, und wie bei diesen um so mehr, je anämischer die Kranken in die Höhe kamen. Dabei nahm bei 75% der Untersuchten die Erythrocytenzahl mehr zu als die Hämoglobinmenge, bei 25% war es umgekehrt. — Bei Kranken mit Lokaltuberkulose war die Zunahme viel geringer, trotz guter Prognose und guter Heilungstendenz. Knoll sieht diese geringe Zunahme als Wirkung der therapeutisch benutzten Sonnendauerbäder an.

Daß eine gesteigerte Bildung der Erythrocyten der Zunahme ihrer Zahl in der Volumeneinheit zugrunde liegt, dafür spricht, daß Knoll (2) das Auftreten zahlreicher Mikrocyten — bis zu 20% der Gesamtzahl der roten Zellen — fest-

stellen konnte. Denn es hat sich aus Versuchen, besonders von Morawitz und Warburg, ergeben, daß das Auftreten jugendlicher Zellen im Blut angezeigt wird, eher als durch das Auftreten kernhaltiger roter Zellen, durch eine Anisocytose. Neben ihr sind für vermehrte Blutzellbildung eine Polychromasie und ein vermehrter Sauerstoffverbrauch der Erythrocyten kennzeichnend. Loewy und Förster konnten diese drei Merkmale schon an Kaninchen finden, die nur 1–2 Tage in einer Verdünnung, entsprechend 4000 m Höhe, zugebracht hatten. Diese Tiere zeigten, und dieser Befund verdient besonderes Interesse, aber auch eine Veränderung ihres Serums. Wie Förster fand, enthielt dieses Stoffe — Hämopoietine —, die imstande waren, die Blutregeneration bei anämischgemachten Tieren zu beschleunigen. Ein Schüler Ashers, Nakao (2), bestätigte diesen Befund und konnte zugleich zeigen, daß Entfernung der Schilddrüse die Bildung dieser Hämopoietine vermindert.— Die Schilddrüse wurde früher schon von Mansfeld, Gutstein und Asher ganz allgemein mit der Steigerung der Hämopoiese im Hochgebirge in Zusammenhang gebracht, die ohne ihre Mitwirkung nicht zustande kommen sollte. Jedoch kann diese Frage noch nicht als endgültig entschieden betrachtet werden.

Dagegen ist die Möglichkeit einer Beziehung der Milz zum Auftreten einer Steigerung von Blutzellenzahl und Blutfarbstoff beim Übergang in das Hochgebirge in die Nähe gerückt worden. Dafür allerdings liegt kein Beweis vor, daß im Höhenklima die Anteilnahme der Milz an der Blutbildung auf dem Wege eines gegenüber dem Tiefland geänderten Eisenstoffwechsels sich geltendmacht. Die Beteiligung der Milz an letzterem ist von der Asherschen Schule [Literatur bei H. Nakao (1)] vielfach gezeigt worden. Vielmehr müssen die neueren Befunde von Barcroft in Betracht gezogen werden. Er fand, daß die Milz ein Blutreservoir darstellt, welches Blut in sich aufspeichern und bei Bedarf wieder abgeben kann. Es wäre möglich, daß gewisse akute Veränderungen der Blutzellenzahl und des Hämoglobingehaltes von einer Blutabgabe oder -zurückhaltung seitens der Milz herrührten — jedoch kann an einer daneben bestehenden wirklichen Mehrbildung auf Grund der oben angeführten Momente nicht gezweifelt werden.

Nach schon älteren Erfahrungen von v. Korányi, nach denen Sauerstoffzufuhr die durch Luftverdünnung gesteigerte Erythrocytenzahl zu vermindern vermag, ist nicht daran zu zweifeln, daß der maßgebende Faktor der Steigerung von Erythrocyten und Hämoglobin im Hochgebirge die Luftverdünnung bzw. die Verminderung der Sauerstoffspannung ist. Daneben ist auch der Strahlung ein Einfluß zugeschrieben worden.

Frühere Versuche von Meyer hatten schon ergeben, daß im Hochgebirge bestrahlte und im Dunkel gehaltene Tiere die gleiche Zunahme an Blutzellen zeigen, und auch neuere, mit den von Bürker angegebenen Kautelen ausgeführte Versuche von Berner (vgl. bei Bürker) ließen unter Bestrahlung mit künstlicher Höhensonne keine Zunahme der roten Blutzellen erkennen. Eine Steigerung durch Bestrahlung wird aber noch weiter angenommen.

Kestner (2) hebt den Zusammenhang zwischen der Sonnenscheindauer und dem Hämoglobingehalt des Blutes hervor. Zugleich zieht er Beobachtungen von v. Rhoden herbei, wonach durch Höhensonnenbestrahlung die Resistenz der empfindlichsten Erythrocyten zwar gegen hypotonische Lösungen abnimmt, die der Hauptmenge aber zunimmt. Kestner

fand nun, daß die Blutzellen im direkt mit künstlicher Höhensonne bestrahlten Blute gleichfalls resistenter werden. Unter der Annahme, daß gesteigerte Resistenz zugleich verlängerte Lebensdauer darstellt, würde nach Kestner eine durch Bestrahlung erzielte Zellzunahme auf verlängerte Lebensdauer der Erythrocyten zurückgeführt werden können, ohne daß eine Beeinflussung der Blutbildungsstätten zustande zu kommen brauchte.

Das Verhalten der Leukocyten ist in den letzten Jahren nicht so an Gesunden wie an Tuberkulösen untersucht worden. Bei ersteren ergaben die Bestimmungen von Stäubli, Craandyk, Ruppanner im allgemeinen (im einzelnen sind die Befunde ziemlich wechselnd gewesen) eine Verminderung der Gesamtzahl der Leukocyten, und zwar besonders der neutrophilen polynucleären Zellen, dabei aber eine prozentische Vermehrung der Lymphocyten. Bei Lungentuberkulose wurde in leichten und einen günstigen Verlauf nehmenden Fällen die Leukocytenzahl innerhalb der normalen Breite gefunden, bei schweren Fällen und bei Knochentuberkulose fand sie sich gesteigert. Prognostisch ungünstig erwies sich die Zunahme der neutrophilen Zellen, nicht ungünstig die der Lymphocyten. Komplikationen der Lungentuberkulose vermögen das Leukocytenbild erheblich zu beeinflussen.

Bei gesunden Hunden mit künstlichem Pneumothorax und bei anämischen Menschen, die täglich 1—1½ Stunde durch die Kuhnsche Saugmaske atmeten, konnte Gutstein ein ähnliches Leukocytenbild nachweisen: Leukopenie, Neutropenie, Lymphocytose und Eosinophilie.

Über weitere Veränderungen des Blutes wird später in anderem Zusammenhange behandelt werden.

2. Der Kreislauf. Am wenigsten geklärt waren bis jetzt die Verhältnisse des Kreislaufes im Höhenklima. Ältere Untersuchungen über Blutdruck und Blutstromgeschwindigkeit hatten wesentlich negative Ergebnisse geliefert. — In den letzten Jahren ist am eingehendsten dem Verhalten des Blutdruckes nachgegangen worden. Die Lehre, daß der Blutdruck beim Übergang ins Hochgebirge keine Änderung erfahre, wurde zunächst durch Beobachtungen, die Lüscher auf dem Jungfrauojoch (3450 m) machte, erschüttert. Lüscher fand nämlich, daß bei einem jungen Manne eine nur unwesentliche Steigerung des Blutdruckes auftrat, aber bei einem älteren Bergführer eine solche um 15 mm, bei einem älteren Arzte um 45 mm. Ausgedehnte Bestimmungen haben dann Loewy und seine Schülerin Grossmann durchgeführt. Ersterer untersuchte ihn vergleichend in Zürich bezüglich Berlin (450 m bezüglich 35 m), ferner in Davos (1550 m), auf Muottas Muraigl im Engadin (2450 m), auf dem Jungfrauojoch (3450 m) bei einigen jüngeren und bei einem älteren Arzte. Tab. 6 gibt gekürzt die Loewyschen Befunde wieder, Abb. 3 das Verhalten an einer der untersuchten Personen. Schon in Davos war er bei einem der jüngeren Ärzte mit labilem Blutdruck um 30 mm gesteigert, bei einem zweiten um 10 mm, bei dem älteren Arzte um 20—25 mm gegenüber Berlin (an letzterem Orte 125—130 mm, in Davos 150 mm). Auf Muottas Muraigl war er bei 4 unter 5 Personen gesteigert, bei dem älteren Arzte um 40 mm über den Davoser Wert (190 mm), auf dem Jungfrauojoch betraf die Steigerung wieder 3 jüngere Ärzte (einmal auf 176 mm) und den älteren (176 mm). Wie bei Lüscher zeigte auch hier sich das höhere Alter empfindlicher. Ebenso konnte Grossmann nur bei über 40 Jahre alten Personen eine Steigerung in Davos gegenüber dem Tieflande finden.

Blutdrucksteigerungen bei älteren Personen sind danach also nichts Seltenes. Später wird des näheren mitgeteilt werden, daß schon in mittleren Höhen (1550 m) deutliche Zeichen von Sauerstoffmangel auf verschiedenen Gebieten nachzuweisen sind. Auch die Blutdrucksteigerung hängt mit Sauerstoffmangel zusammen, denn Sauerstoffatmung vermag, wie Loewy (4) fand, sie in vielen Fällen herabzusetzen, nicht selten (vgl. Tab. 6 und Abb. 3) bis zu den Tieflandwerten. Loewy nimmt an, daß es sich um zentralen, im Vasomotorenzentrum gelegenen Sauerstoffmangel handelt, der, als Reiz auf dieses wirkend, die Vasokonstrictoren zur Erregung bringt. Die oben mitgeteilten Zahlen zeigen schon, daß dabei hypertensive Werte zustandekommen können. Loewy (5) hält es für möglich, daß manche Fälle von sog. essentiellen Hypertonien im Tieflande auf dieselbe Art, nämlich durch Sauerstoffmangel im Vasomotorenzentrum, zustandekommen; hier bedingt durch beginnende sklerotische Prozesse an den Präcapillaren des Zentrums, wodurch der Sauerstoffübertritt in dieses beeinträchtigt wird.

Tabelle 6. Blutdruck.

	Schmid	Constam	Blaschko	Loewy	Wollheim
Zürich					
bei Körperruhe nüchtern 10. VII. 1924	116/78	105—107/64—65	Göttingen 115/75	Berlin ca. 140—145 mm	Berlin 90/95
Davos					
bei Körperruhe	146/77—79	105—109/78—79	—	150—155	90/65 ⁵⁾
nach Körperarbeit	168/93	142/89	127/67	—	—
Muottas-Muraigl					
Ruheblutdruck im Zimmer	117—136/75—88	132/92	108—109/58—73	190—110	—
„ an der Sonne	124—126/94—97	112/78	102—103/74	—	—
nach Körperarbeit	150—152/70—72	131—134/74—81	113—116/72—74	—	—
Jungfrauoch					
bei Körperruhe	144/90 ¹⁾ 137/87 ²⁾	129/73—137/72 ¹⁾ 127/73 ²⁾	108/70 ³⁾ 93/65	176/89 ³⁾ 135	88/56 ³⁾ 84/57
	176 ⁴⁾	105/70 ⁴⁾	bei O ₂ -Atmung nach Arbeit	bei O ₂ -Atmung	bei O ₂ -Atmung nach Arbeit
	126	102/74	148/84 126/86	—	116/61 107/61
	bei O ₂ -Atmung	bei O ₂ -Atmung	nach Arbeit mit O ₂ -Atmung	—	nach Arbeit mit O ₂ -Atmung

¹⁾ 4³/₄ Stunden nach Anknunft.

²⁾ 2 Stunden nach Anknunft.

³⁾ 2 Stunden nach Anknunft.

⁴⁾ 24 Stunden nach Anknunft.

⁵⁾ Nach vorhergegangenen Aufenthalt auf dem Jungfrauoch.

Interessant ist dabei, daß in einem, Jahre hindurch beobachteten, Falle ein Fortschritt der Erscheinungen beobachtet werden konnte. Zunächst betrug der Blutdruck im Tiefland 125—130 mm, in Davos 150 mm; später im Tiefland 135 mm, in Davos 155 mm. Dabei kam es zunächst zu einer Herabsetzung des in Davos gesteigerten Blutdruckes durch Sauerstoffatmung von nur 2—3 Minuten Dauer auf die Tieflandwerte. Später trat erst nach einer Sauerstoffatmung von 7—8 Minuten eine weniger umfängliche Herabsetzung, und zwar von 155 mm auf nur 145 mm, ein. Dabei hatte selbst mäßige Körperbewegung eine Steigerung des Blutdruckes um 30—35 mm zur Folge.

Die Blutdrucksteigerungen im Höhenklima treten nicht bei allen älteren Personen auf; sie haben, wo sie vorkommen, nicht stets die gleiche Bedeutung, da sie zum Teil nach einiger Zeit von selbst rückgängig werden und, wo sie bestehen bleiben, meist keine Beschwerden verursachen. Es ist also nicht gerechtfertigt, alle älteren Personen ihres Alters wegen vom Höhengaufenthalt auszuschließen, und auch nicht solche, die Blutdrucksteigerungen beim Übergang in die Höhe zeigen, ohne weiteres für gefährdet zu halten.

Bei Blutdruckbestimmungen, die Popescu-Inotesti und Gabriel in einer Kammer ausführten, in der der Sauerstoffgehalt durch Zumischung von Stick-

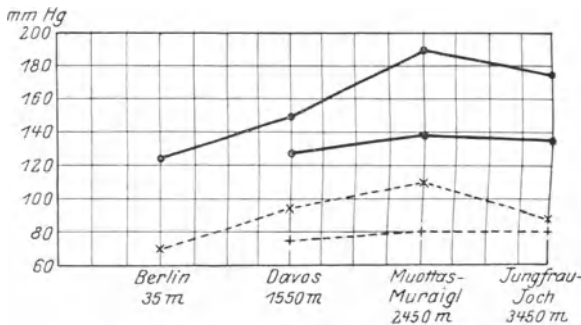


Abb. 3. Wirkung der Höhe auf den Blutdruck.

— Systol. Druckwerte. - - - - - Diastol. Druckwerte.
Obere Linien ohne, untere mit Sauerstoffatmung.

stoff mehr und mehr erniedrigt wurde (unter Absorption der gebildeten Kohlensäure) bis zu gerade noch erträglichen Werten, fanden die Verfasser eine Erniedrigung des Blutdruckes, bei Gesunden in maximo um 22 mm, mehr bei Hypertonikern. Diese Wirkung ist auf die übermäßige Sauerstoffbeschränkung zurückzuführen. Versuche, die Verfasser in Gemeinschaft mit A. E. Meyer (nicht veröffent-

licht) mit Stickstoffatmung ausführte, ergaben eine geringe oder auch keine Senkung, jedenfalls keine Steigerung des Blutdruckes. Dies ist darauf zurückzuführen, daß bei sehr beträchtlicher Sauerstoffbeschränkung neben dem Vasomotorenzentrum zugleich auch die peripherischen vasodilatatorischen Apparate erregt werden und damit der Blutdruck gesenkt wird. Popescu und Gabriel konnten dies an der Erweiterung der Hautcapillaren feststellen. Ähnlich zu deuten sind die Erfahrungen, die Morpurgo an sich selbst gemacht hat. Bei Körperruhe fand er in seinem 60. Lebensjahre auf Col d'Olen (2900 m Höhe) keinen Unterschied im Blutdruck gegenüber Turin, nämlich 135 mm. Unmittelbar nach Bergbesteigungen stellte er eine Blutdrucksenkung fest, und zwar eine Senkung der maximalen und mehr noch der minimalen Werte; im allgemeinen eine um so stärkere, je ermüdender die Bergbesteigung war. Diese Senkung ist nach Morpurgo auf eine Ermüdung des Herzens und eine Erschlaffung der Capillaren zu beziehen. — An den dem Aufstieg folgenden Tagen stieg dann der Blutdruck weit über die Norm, einmal über 200 mm, im Mittel auf 175 mm.

Die Steigerung des Blutdruckes im Höhenklima stellt also nur die erste Phase der Wirkung des Sauerstoffmangels dar.

Unter Bestrahlung sinkt gewöhnlich der Blutdruck im Höhenklima. Kestner (2) wollte dieses — in Analogie zu seinen Versuchen mit Kohlenbogenlichtbestrahlungen (1) — auf in der Höhenatmosphäre enthaltene Stickstoff-Sauerstoffverbindungen (Kestner nimmt Stickoxydul an) zurückführen. Jedoch sind im Höhenklima solche Verbindungen nicht deutlich nachweisbar, könnten auch nur in so geringen Mengen vorhanden sein, daß Kestner die von ihnen angenommenen Wirkungen als oligodynamische auffassen muß. Auch sprechen anderweitige Beobachtungen gegen Kestners Auffassung, daß die Blutdrucksenkung durch chemische Stoffe auf dem Wege der Inhalation zustande komme.

Dabei scheinen aber bei Bestrahlungen im Höhenklima insofern besondere Verhältnisse vorzuliegen, als nach Hedigers Versuchen, die in St. Moritz angestellt wurden, Bestrahlung bei trockener Luft bei Nichtakklimatisierten zunächst zur Blutdrucksteigerung führt. — Zudem fand Hediger mit Hilfe seiner isotonischen Pulsregistrierung Änderungen des Pulsbildes, nämlich das Auftreten sogenannter Mayerscher Wellen, also periodische Blutdruckschwankungen, die den Steigerungen folgen. —

Die Blutstromverhältnisse sind in jüngster Zeit mehrfach untersucht worden, und zwar einerseits die Capillarblutströmung beim Menschen. Liebesny hatte behauptet, daß, als kennzeichnend für das Hochgebirge, hier anstatt der homogenen Strömung eine sog. körnige Strömung auftrete. Jedoch hat Finsterwald zeigen können, daß die beobachtete körnige Strömung durch niedrige Außentemperatur zustandekomme, und daß auch im Hochgebirge bei Fortfall des Kältereizes die homogene Strömung besteht. Ebenso wenig konnte Lüscher eine Veränderung der Capillarströmung auf dem Jungfrauoch finden.

Weiter ist dann gelegentlich der Peru-Expedition Barcrofts (3) an einigen von dessen Mitarbeitern (Redfield, Meakins) das Herzschlagvolumen und die pro Minute umlaufende Blutmenge im Tieflande und in Cerro de Pasco, 4350 m hoch gelegen, bestimmt worden.

Es sind das die einzigen bisher am Menschen im Hochgebirge ausgeführten derartigen Bestimmungen.

Gemessen wurden der Gesamtgaswechsel, ferner die Gasmengen in dem durch Radialspunktion gewonnenen Arterienblut direkt, die Gase im venösen Blut indirekt aus den venösen alveolaren Gasspannungen, und zwar nach zwei Methoden, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann. Aus diesen Daten wurde in bekannter Weise der Blutumlauf berechnet.

Nach der einen Methode (Barcroft) betrug das Minutenvolumen des umlaufenden Blutes bei

	Redfield	Meakins
in Seehöhe	5,1	5,2
in Cerro de Pasco	4,1	4,7

Nach der zweiten Methode (Meakins) fanden sich:

in Seehöhe	5,3	7,8
in Cerro de Pasco	6,4	9,6

Nach der einen Methode eine mäßige Abnahme der Blutströmung in der Höhe, nach der anderen eine mäßige Zunahme. Eine deutliche Beschleunigung des Kreislaufes, die etwa als Kompensation für den verminderten Sauerstoffgehalt des Blutes dienen könnte, besteht also nicht.

Diese Ergebnisse stehen in Übereinstimmung mit älteren Versuchen von Loewy (2) und neuen von Doi, die an Hunden im luftverdünnten Raum der pneumatischen Kammer gleichfalls keine Änderung der Blutströmung feststellen konnten. — Auch Muskelarbeit auf dem Zweiradergometer ergab keine erheblichen Unterschiede für die Blutströmung. Bei 252 mkg in Seehöhe ein Wachsen der Blutströmung um 9–10 l pro Minute, auf der Höhe der Anden bei 230 mkg eine um 12 l.

Unter Berücksichtigung der Pulsfrequenzen ergab sich das Herzschlagvolumen bei Körperruhe bei

Meakins:	Seehöhe	75 ccm = 79 g.	Anden	58 ccm = 62 g.
Redfield:	„	85 ccm = 90 g.	„	53 ccm = 57 g.

Demnach war das Herzschlagvolumen in 4350 m auf drei Viertel des im Tieflande gefundenen hinabgesetzt. Barcroft führt dies auf eine Schwächung des Herzens zurück.

3. Das Verhalten des Herzens. Endlich ist auch das Verhalten des Herzens, und zwar unter der Wirkung des Höhenklimas als solchen, wie auch unter der Wirkung des einen ihrer spezifischen Klimafaktoren, nämlich hoher Grade von Sauerstoffverarmung, untersucht worden.

Es handelt sich, soweit die Untersuchungen den Menschen betreffen, um Röntgenaufnahmen. Auch sie sind zuerst von Barcroft und Mitarbeitern in Cerro de Pasco aufgenommen worden. Bei Körperruhe fand sich dabei eine Verkleinerung des Herzschatens bei der einen Gruppe der Untersuchten (3 Personen), keine deutliche Verminderung bei zwei anderen. Die Verkleinerung des Herzschatens bringt Barcroft mit der schon erwähnten Abnahme des Herzschlagvolumens in Verbindung; das Fehlen der Verkleinerung des Herzens deutet Barcroft so, daß bei der einen Gruppe die diastolische Spannung der Herzmuskelfasern in Cerro herabgesetzt war gegenüber der im Tieflande, bei der zweiten Gruppe jedoch nicht. Das soll auf verschiedene Kraft des Herzens zurückzuführen sein. Darnach wäre die Herzkraft an diesem Verhalten zu schätzen.

Aber Barcroft hebt hervor, daß man Herzerweiterungen vielfach in Cerro beobachten kann. Wohl im Anschluß an diese Beobachtungen hat Takeuchi, ein Schüler von Barcroft, an Katzen, deren Herzen er bei geöffnetem Thorax direkt besichtigte, Versuche über die Wirkung der Atmung sehr sauerstoffarmer Luft auf die Herzgröße ausgeführt. Er konnte feststellen, daß Atmung stark sauerstoffarmer Luft zu einer akut einsetzenden Herzvergrößerung führt. Takeuchi betont, daß der Aufenthalt in sehr großen Höhen bei Menschen wohl nicht immer diesen Effekt haben dürfte, weil hierbei eine allmähliche Anpassung stattfindet.

Daß Steigarbeit in übergroßen Höhen zu Herzerweiterungen zu führen vermag, wurde gelegentlich der Mount-Everestexpedition von 1924 beobachtet. Sie traten bei denjenigen, die über 27 000 engl. Fuß = über 7500 m aufstiegen, auf und blieben, wie Somervell berichtet, 1 bis 3 Wochen lang bestehen.

Mit Rücksicht jedoch auf die in sehr große Höhen (bis 10 000 m und mehr) sich erstreckenden Flugzeugfahrten, wobei diese Höhen zugleich sehr schnell erreicht werden, schien es von Interesse zu untersuchen, wie sich das menschliche

Herz bei Einwirkung sehr sauerstoffarmer Luft verhält. Loewy und Mayer haben nun in derartigen Versuchen feststellen können, daß auch beim Menschen dabei im Laufe weniger Minuten Dilatationen am Herzen zustande kommen können, schon bei Körperruhe, leichter noch bei Körperarbeit (Abb. 4).

Der Befund von Herzdilatationen bei Sauerstoffmangel ist allgemein pathologisch bedeutsam. Ihr ganz akutes Zustandekommen wirft ein Licht auf das Entstehen von Herzdilatationen bei akuten Überanstrengungen, die ja mit ungenügender Sauerstoffzufuhr einhergehen; ihr Auftreten beim Aufenthalt in sehr hohen Berggegenden nähert sich mehr den allmählich bei Anämien oder unkompensierten Herzfehlern entstehenden, bei denen der durch Hämoglobinmangel oder durch Beeinträchtigung des Blutkreislaufes zustande kommende Sauerstoffmangel der Gewebe gleichfalls an der Entstehung der beobachteten Herzerweiterungen mitwirken wird.

Ein letzter Punkt betrifft das Verhältnis der beiden Herzhälften zueinander. Strohl hatte vor längerer Zeit schon angegeben, daß das Herzgewicht beim Alpenschneehuhn (in Höhen von 2—3000 m lebend) größer sei als das bei dem ihm nahestehenden Moorhuhn (in 600 m Höhe lebend), daß es nämlich 16,3 gegenüber 11,9% des Körpergewichtes betrage. Auffallend war die weitere Angabe, daß an der Gewichtszunahme wesentlich das rechte Herz beteiligt war. Beim Alpenschneehuhn war das Gewicht der linken Kammer nur um $\frac{2}{10}$, das der rechten Kammer um $\frac{7}{10}$ — $\frac{17}{10}$ vermehrt. Bei Hochgebirgskälbern soll sich das gleiche Verhalten finden (Heger und Lempen). — Eine Erklärung dafür kann, wie v. Korányi dargelegt hat, gegeben werden durch die verschiedene Viscosität des Niederungs- und des Höhenblutes und durch die des arteriellen und venösen Blutes. Nach Determann (vgl. Stäubli) nahm die Viscosität des Blutes beim Übergang von Freiburg i. B. nach St. Moritz in 2—11 Tagen zu um 17,4%, nach Stäubli bei mehrwöchigem Aufenthalt in St. Moritz um ca. 11%. Diese Steigerung hängt in erster Linie mit der Blutzellenzunahme zusammen. Ceteris paribus würde also das Herz im Hochgebirge aus diesem Grunde eine größere Arbeit zu leisten haben. Dazu kommt, daß infolge des höheren Kohlensäuregehaltes des Venenblutes dieses viscöser ist als das arterielle (im Tieflande um 8—12%). Da nun, wie v. Korányi fand, die Kohlensäurewirkung mit der Blutzellenzahl wächst, muß im Höhenklima die Viscosität des venösen Blutes noch mehr gesteigert sein als die des arteriellen. Schon aus diesem Grunde muß der rechte Ventrikel mehr Arbeit leisten als der

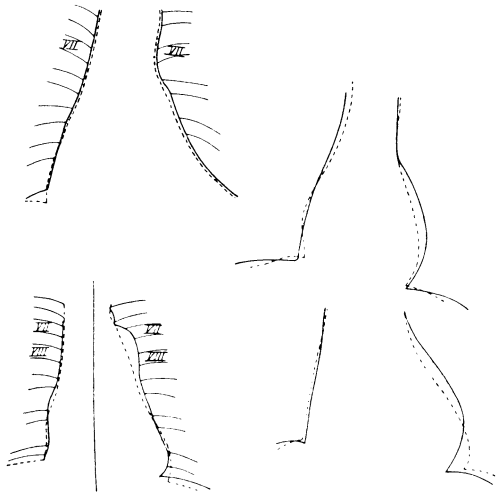


Abb. 4. Akute Erweiterungen verschiedener Herzabschnitte beim Menschen infolge Stickstoffatmung auf Bild 2—4, keine auf Bild 1. — ····· Normale Grenzen. — — — Grenzen bei Stickstoffatmung.

linke. Dazu kommt, daß der große Kreislauf starke Regulationsmittel durch die Möglichkeit erheblicher Gefäßerweiterungen besitzt, die dem kleinen Kreislaufe in diesem Maße nicht zur Verfügung stehen. v. Korányi verweist darauf, daß in Fällen von Polycythämie weder eine Hypertrophie des linken Ventrikels zu finden war noch eine Hypertonie.

Vergleichende Versuche über die Beschaffenheit der Viscosität des Arterien- und Venenblutes im Höhenklima sind im Gange, um diese Frage direkt zu entscheiden.

4. Die Atmung. Daß die Atmung durch das Höhenklima beeinflusst wird, ist lange bekannt. Sie nimmt an Umfang zu, d. h., die pro Minute geatmeten Luftvolumina steigen. Bekannt ist auch, daß die Steigerung schon in verhältnismäßig geringen Höhen auftritt. — Gerade diese Tatsache bot der Erklärung Schwierigkeiten. Neuere vergleichende Bestimmungen im Tieflande und in 1550 m Höhe (Davos) bestätigten [Loewy (4)], daß sie schon hier gesteigert

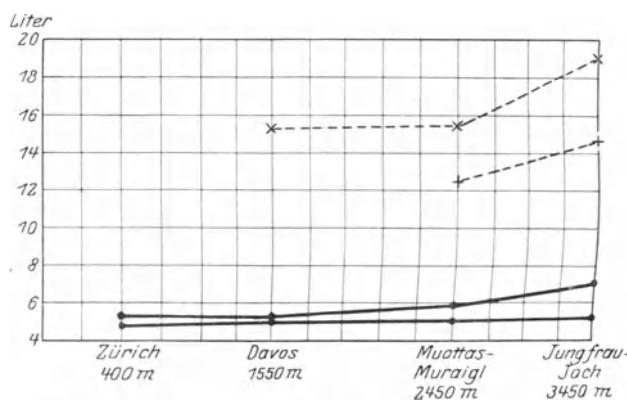


Abb. 5. Wirkung der Höhe und der Sauerstoffatmung auf die Atemgröße.

- Körperruhe; obere Linie ohne, untere Linie mit O₂-Atmung.
- × Atemvolumen für 100 m/kg pro Min. Arbeit ohne O₂-Atmung.
- + Atemvolumen für 100 m/kg pro Min. Arbeit mit O₂-Atmung.

sein kann; sehr ausgeprägt war ihre Zunahme in 2450 m Höhe. Aber — und das trug zur Erklärung der Entstehungsbedingungen bei — Sauerstoffatmung setzte die gesteigerte Atmung schon in Davos vielfach auf oder nahe an die Tieflandwerte hinab. Diese Abnahme des Atemvolumens unter Sauerstoffatmung — bis um in maximo 35% — fand sich auch bei zahlreichen Tiefländern, die nur in Davos untersucht wurden. Da im Tieflande Sauerstoffatmung gar nicht oder nur in sehr geringem Maße auf das Atemvolumen wirkt, erweist diese Abnahme in 1550 m Höhe, daß auch bei diesen Personen Sauerstoffmangel bestand. — Es ist also schon am Entstehen dieser „normalen“ Höhenwirkung in mittleren Höhen Sauerstoffmangel beteiligt, jedenfalls ein solcher im Atemzentrum, ebenso wie er an der Blutdrucksteigerung ursächlich teilnimmt.

Wenn schon bei Körperruhe sich Sauerstoffmangel im Atemzentrum bemerkbar macht, so noch deutlicher bei Muskelarbeit, die ja, wenn besonders schwer, schon im Tieflande zum Sauerstoffmangel führt. Bezogen auf die gleiche Arbeitsleistung ist demzufolge die Steigerung der Atmung mit zunehmender Höhe immer ausgesprochener und die sie senkende Sauerstoffwirkung immer deutlicher. — So stieg das Atemvolumen z. B. pro Meterkilogramm bei der einen Versuchsperson Loewys bei Atmung atmosphärischer Luft in Davos um 103 ccm, auf Muottas Muraigl um 133 ccm; hier unter Sauerstoffatmung nur um 90 ccm. Auf dem Jungfraujoch stieg sie um 154, unter Sauerstoffatmung nur um 113 ccm. Abb. 5 gibt die Atemvolumina bei Ruhe und Arbeit für diese Person graphisch

wieder. Jedoch sind die Ergebnisse nicht bei jedermann so ausgesprochen; bei einzelnen erwies sich Sauerstoffatmung nicht wirksam.

Die Steigerung der normalen Atmung bei Körperruhe, die Zunahme des Atemvolumens für gleiche Muskelarbeit mit steigender Höhe, weiter aber auch die Erhöhung der Pulsfrequenz bei Ruhe und Arbeit gegenüber dem Tieflande wurden auf ein erleichtertes Ansprechen gegen Reize, auf eine Art von Sensibilisierung des Körpers zurückgeführt (Hediger), speziell wurde auch eine gesteigerte Erregbarkeit der nervösen Zentren im Hochgebirge angenommen: des Atemzentrums, des Herzzentrums u. a.

Die gesteigerte Erregbarkeit des Atemzentrums schien durch besondere Versuche erhärtet zu sein, in denen die stärkere Steigerung der Atmung auf den gleichen Kohlensäurereiz im Hochgebirge gegenüber dem Tieflande festgestellt wurde. Sie rühren von Rohrer her und sind am Menschen und an Kaninchen ausgeführt. Rohrer's Ergebnisse wurden von Loewy (4) an 5 jungen Ärzten bestätigt: in je höherer Lage untersucht wurde, um so stärker wirkte ein gleicher Kohlensäurereiz steigend auf die Atmung, bei allen bis auf eine Person, bei der die Höhe die Kohlensäurewirkung nicht änderte. Das Verhalten bei zweien der ersteren (C. und Schm.) und bei der letztgenannten Person zeigen die auf Abb. 6 vereinigten Kurven.

Aber es ergab sich nun weiter, daß Sauerstoffatmung auch diese Höhenwirkung sehr weitgehend einzuschränken (bei zweien) oder vollkommen (bei zweien) aufzuheben vermochte.

Auch dies geht aus den Kurven ohne weiteres hervor. Bei C. ist die durch Kohlensäurezufuhr gesteigerte Atemgröße in 3450 m durch Sauerstoff der in Davos und auf Muottas Muraigl fast gleich gemacht worden; bei Schm. ist sie auf die Davoser Werte zurückgebracht worden.

Die Tab. 7 gibt eine Zusammenstellung der hauptsächlichsten Werte, unter denen die an Wollh. besonders bemerkenswert sind. Sauerstoffatmung auf dem Jungfrauoch brachte trotz der höheren Kohlensäurespannung die Atemgröße unter die Davoser Werte hinunter.

Diese Erfahrungen sprechen nicht für eine gesteigerte Erregbarkeit des Atemzentrums, vielmehr muß man aus ihnen schließen, daß die meist stärkere Wirkung der Kohlensäure im Höhenklima durch den zugleich wirksam werdenden Reiz des Sauerstoffmangels zustande kommt, und zwar ausschließlich jedenfalls da, wo Sauerstoffatmung die gesteigerte Kohlensäurewirkung aufhebt. Die

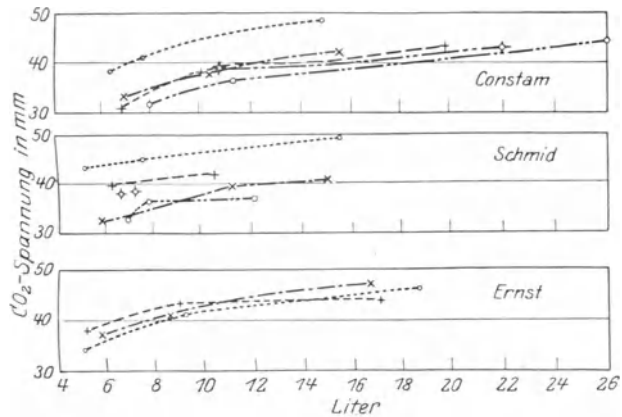


Abb. 6. Atemvolumina unter Kohlensäureeinatmung.

o--- Zürich, + Davos, x Muottas Muraigl.
o--- Jungfrauoch, ◇ Jungfrauoch-Sauerstoffatmung.

Wirkung kommt also durch eine Summation von Reizen zustande, und die mit der Höhe sich steigernde Wirkung der Kohlensäure auf die Atemgröße beweist nicht einen erhöhten Erregungszustand des Zentrums.

Tabelle 7. Atemvolumina bei Kohlensäurezufuhr. Wirkung gleichzeitiger Sauerstoffatmung.

Ort Höhe	Alveolare Kohlen- säure- Spannung	Lungen- ventilation	Alveolare CO ₂ - Spannung	Lungen- ventilation	Alveolare CO ₂ - Spannung	Lungen- ventilation	Alveolare CO ₂ - Spannung	Lungen- ventilation
	mm/Hg	min./ccm	mm/Hg	min./ccm	mm/Hg	min./ccm	mm/Hg	min./ccm
	E. (Höhe ohne Einfluß auf die CO ₂ -Wirkung.)		C.		Schm.		Wollh.	
Zürich	42,05	9 575*	38,75	6 355*	43,5	5 783	28,45	6 257
	46,76	18 650**	41,53	7 783*				
Davos,	42,36	9 125*	38,61	10 100*	39,96	6 260*		
1550 m	44,59	17 100**	44,95	20 833**				
Muottas- Muraigl,	40,84	8 800*	38,64	10 200*	39,61	11 300*		
2450 m	45,18	16 800**						
Jungfrauoch, 3450 m	—		36,79	11 400*	36,36	12 100	27,9	9 800
			38,61(O ₂)	10 640*	38,31(O ₂)	6 600*	29,66	16 400
			44,37	26 000**	38,51(O ₂)	7 300*	35,34(O ₂)	6 000
			43,85(O ₂)	22 150**			29,26	17 100
							45,01(O ₂)	7 667

Die mit je einem bzw. 2 Sternen versehenen Werte sind miteinander vergleichbar.

Ein Gleiches dürfte auch von den übrigen Zentren, bei denen man erhöhte Erregbarkeit annimmt, gelten; ein weiteres Beispiel wird später noch gegeben werden.

Die Steigerung der Atemgröße beim Übergang ins Hochgebirge muß ceteris paribus zu einer gesteigerten Abgabe von Kohlensäure seitens der Lunge, damit auch aus Blut und Geweben führen. Der Kohlensäurevorrat im Körper muß sinken. Einen Ausdruck dafür geben die Werte für die alveolare Kohlensäurespannung, die unter der Tieflandnorm liegen müssen. Dieses Verhalten ist auch meist gefunden worden. Als Beispiel mag folgende Zusammenstellung nach Veruschen von Durig dienen:

Tabelle 8. Alveolare Kohlensäurespannungen bei Körperruhe.

Ort	Höhe	CO ₂ -Spannung in mm Hg	
		bei Durig	bei Reichel
Wien	150	32,0	35,1
Semmering	1000	29,0	34,1
Alagna	1200	28,9	33,9
Sporn Alpe	1326	27,0	—
Monte Rosa:			
Beginn	4560	19,6	20,8
Ende	4560	20,6	21,5

Aber irgend etwas Gesetzmäßiges oder auch nur ausnahmslos Regelmäßiges stellt dieses Verhalten nicht dar. Denn die Zunahme der Atmung erfolgt nicht in jedem Falle gleichartig, ja in manchen Fällen überhaupt nicht.

So finden sich schon bei Zuntz, Loewy, Müller, Caspari Werte, die die alveolare Kohlensäurespannung unverändert bis zur Höhe der Monte-Rosa-Spitze zeigen. Auch bei Barcroft (3) finden sich Beispiele dafür, und neuerdings teilt auch Schneider Versuche mit, in denen beim Übergang von 1800 m (Colorado Springs) zu 4300 m (Pikes Peak) die Kohlensäurespannung in einem Falle nur um 3 mm sank. —

Die Abnahme der alveolaren Kohlensäurespannung mit der Höhe sollte nicht nur beim Übergang in diese zustandekommen, vielmehr auch beim dauernden Aufenthalt sich finden, so zwar, daß für ein Sinken des Barometerdruckes um 100 mm erstere um 4,2 mm abnehmen soll (Fitzgehalt). Schon Loewy (4) hat bei Untersuchungen an 5 Davosern Werte zwischen 35,5 mm und 45 mm gefunden, also normale Tieflandwerte. Jüngstens hat Frau Dr. Rengger diese Untersuchungen im Zusammenhang mit anthropometrischen Messungen verschiedener Art in größerem Maßstabe fortgeführt. Sie hat ihre Bestimmungen an 30 von Kindheit an in Davos lebenden Männern von 20—45 Jahren durchgeführt. Dabei fand sie 3 mal Werte zwischen 29 und 30, 6 mal 30—35, 11 mal 35—40, 4 mal 40—45, 6 mal 50—55 mm. Das Gesamtmittel betrug 37,8 mm. Da auch im Tieflande Werte bis zu 35 mm hinab gefunden werden, liegen nur 9 Werte unterhalb des Tieflandminimums. Eine gesetzmäßige Herabsetzung besteht also auch hier nicht.

5. Sauerstoffmangel und Acidose. Die oben (S. 28) besprochene Tatsache, daß Sauerstoffatmung die in der Höhe gesteigerte Atmung hinabsetzt bis zum Tieflandniveau, bewies, daß Mangel an Sauerstoff an der Steigerung der Atmung beteiligt ist. Für Höhen von über 3000 m wurde dies allgemein zugegeben; aber es schien nicht annehmbar für geringere Erhebungen einen Sauerstoffmangel zuzulassen, indem man auf das Verhalten des Oxyhämoglobins hinwies, das selbst in 4500 m Höhe, bei einer mittleren alveolaren Sauerstoffspannung von 50 mm noch zu im Mittel etwa 82% mit Sauerstoff gesättigt sein mußte, einer Menge, die wenigstens bei Körperruhe zur Bestreitung des Sauerstoffbedarfes ausreichen mußte. Direkte Bestimmungen am Radialisblut des Menschen in 4350 m Höhe (Cerro de Pasco) ausgeführt, ergaben Barcroft und Mitarbeitern damit übereinstimmende Werte. Sie fanden eine Sauerstoffsättigung des Oxyhämoglobins zwischen 82,5 und 87,5% (einmal 91%), in der Mehrzahl zwischen 85 und 87,5% bei Europäern und Eingeborenen, Werte übrigens, die in guter Übereinstimmung mit den aus den alveolaren Sauerstoffspannungen berechneten stehen. Dies spricht nicht für das Bestehen eines Sauerstoffsekretionsvorganges durch die Lungenepithelien als Kompensationsvorgang bei verminderter Sauerstoffzufuhr, wie es heute noch Haldane annimmt.

Wenn trotz der hohen Sauerstoffsättigung des Hämoglobins in Höhen nicht nur von mehr als 4000 m, in den Anden wie in den Alpen, sondern schon unterhalb 3000 m deutliche Zeichen von Sauerstoffmangel bestehen und schon in 1500 m Höhe Sauerstoffmangel auf verschiedenen Gebieten funktioneller Betätigung nachgewiesen werden kann, wenn er sich auch subjektiv nicht bemerklich macht, so beweist dies, daß der Sauerstoffvorrat im Blute nicht das Wesentliche ist für die Sauerstoffversorgung der Gewebe, vielmehr die den alveolaren Sauerstoffspannungen parallel gehende Sauerstoffspannung des Blutplasmas, und daß diese in bezug auf manche Funktionen nur wenig zu sinken braucht, um die Sauerstoffzufuhr in den Geweben ungenügend zu machen.

Hierher gehören das Atemzentrum, das Herzzentrum, bei vielen älteren Personen das Vasomotorenzentrum, auch das Knochenmark. Möglicherweise auch die Thyreoiden. Gerade lebenswichtige Organe scheinen auf diejenige Sauerstoffspannung des Blutes eingestellt, auf sie angewiesen zu sein, unter der sie ständig leben. —

Sauerstoffmangel gibt sich durch eine Anzahl von Zeichen zu erkennen, die alle unter dem Begriff der Acidose fallen. Sie betreffen vor allem das Verhalten des Blutes und des Stoffwechsels.

An ersterem gibt die Bestimmung der Wasserstoffionenkonzentration darüber unmittelbaren Aufschluß, in anderer Weise die Bluttitrierung; weiterhin das Verhalten der Blutgase. Auch die Bestimmung der Milchsäure ist mehrfach ausgeführt worden.

In Höhen von 4000 m und mehr ist schon von Galeotti die titrimetrisch bestimmte Blutalkaleszenz beträchtlich herabgesetzt gefunden worden (in 4560 m um 36—47%). In 2100 m Höhe fanden Durig und Zuntz eine Abnahme um 10%. Ebenso fand sich der Kohlensäuregehalt des Blutes in großen Höhen vermindert. In 3300 m hatte Barcroft eine verminderte Sauerstoffbindung des Blutes, eine Abflachung der Dissoziationskurve des Oxyhämoglobins gefunden. Neuerdings konnte Loewy dasselbe schon in 2450 m Höhe feststellen, ebenso eine verminderte Kohlensäurebindung, und zwar beides bei Körperruhe. Bei mittlerer Muskelarbeit war die Gasbindung schon in 1500 m herabgesetzt. Loewys Ergebnisse sind in Abb. 7 und 8 wiedergegeben.

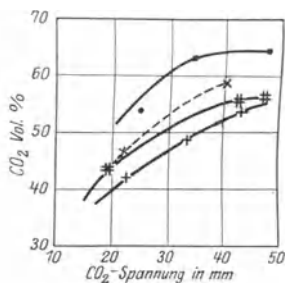


Abb. 7. Kohlensäurebindungskurven.

Constam: ● Davos Ruhe.
+ Davos Arbeit.
⊕ Muottas Muraigl Arbeit.
Schmid: × Davos Ruhe.

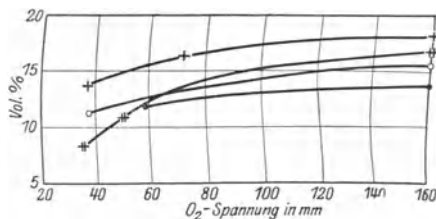


Abb. 8. Absoluter Sauerstoffgehalt des Blutes bei Constam.

+ Davos Ruhe.
⊕ Davos Arbeit.
○ Muottas Muraigl Ruhe.
● Muottas Muraigl Arbeit.

Am spätesten wurde die Wasserstoffionenkonzentration im Hochgebirge gemessen. Ihre Bestimmungen in Cerro de Pasco von Barcroft und Genossen (3) ergaben keine übereinstimmenden Resultate bei Körperruhe, sehr deutliche und stärkere als im Tieflande bei Körperarbeit.

Was endlich den Nachweis der Milchsäure im Blute betrifft, derjenigen organischen Säure, die in erster Linie als saures intermediäres Stoffwechselprodukt in Betracht kommt, so hat als erster Araki ihr Auftreten im Blut von Tieren, die in stark verdünnter Luft gehalten waren, festgestellt.

Später fanden sie Ryffel und Douglas an Menschen, die sich unter starker Luftverdünnung, sei es im pneumatischen Kabinett, sei es im Höhenklima, aufgehalten hatten. Neuerlich hat Laquer (2) ihr Vorkommen wiederum untersucht, er fand sie in 2900 m gesteigert, nicht in 4560 m, wohl aber später (3) nach einstündigem Radfahren in 1550 und 2450 m Höhe.

In jüngster Zeit ist nun aber auch die H-Ionenkonzentration des Blutes schon in mittleren Höhen nach verschiedenen Methoden geprüft worden und es zeigte

sich, daß auch hier schon Änderungen im acidotischen Sinne zu finden sind. So fand Gigon bei einem Kaninchen akute Veränderungen der p_H , wenn dieses aus einem Luftdruck von 748 mm für 2 Stunden auf 600 mm gebracht wurde. Nach Michaelis - Lehmann, elektrometrisch bestimmt, sank im reduzierten Blute p_H von 7,38 auf 7,11. — In anderer Weise hat Fritz die Änderung von p_H beim Übergang in 1550 m (gleich 630 mm) gezeigt. Mittels der Indicatorenmethode von Holló und Weiß fand er bei 10 Kaninchen, daß ihr p_H in Budapest im Mittel 7,52 betrug, in Davos dagegen 7,40. Diese Bestimmungen wurden durch solche der Kohlensäurebindungsfähigkeit nach van Slyke ergänzt. Für letztere kommen allerdings nur Versuche in Betracht, bei denen in Davos stärkere Luftverdünnung erzeugt wurde. Insofern bieten sie mit der gefundenen Verminderung der p_H und der verminderten Kohlensäurebindungsfähigkeit nur eine Bestätigung der vorher erwähnten Untersuchungen.

Aber ein interessantes Ergebnis bot der Vergleich der herbivoren Kaninchen mit den carnivoren Katzen. Zu erwarten war, daß letztere der Luftverdünnung besser widerstehen und eine geringere Acidose zeigen würden als erstere, da sie als Carnivoren befähigt sind, durch Ammoniakhergabe der Säurebildung zu begegnen. Es fand sich das Gegenteil. Die Katzen gingen bei Luftverdünnungen zwischen 480 und 430 mm unter toxischen Krämpfen zugrunde, während Kaninchen meist Verdünnungen bis 250, stets bis zu 280 mm aushielten. Aber auch die Kohlensäurebindungsfähigkeit war weit mehr erniedrigt als bei den Kaninchen, obwohl die Verdünnung nur 480 mm entsprach, gegenüber einer von 360 mm bei letzteren. Die Abb. 9 und 10 bringen diese Ergebnisse in graphischer Darstellung.

Nach früheren mit Blut in vitro angestellten Versuchen von Barcroft (2) dürften die Differenzen mit dem verschiedenen Elektrolytgehalt des Blutes zusammenhängen.

Das Zugrundegehen der Katzen bei verhältnismäßig geringen Verdünnungen entspricht der schon vor ca. einem Jahrhundert aus den Anden berichteten Tatsache, daß dort in 4000 m Höhe keine Katzen gehalten werden können, da sie unter Krämpfen sterben.

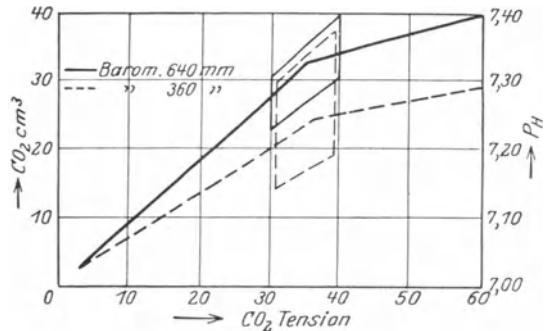


Abb. 9. Kaninchen.

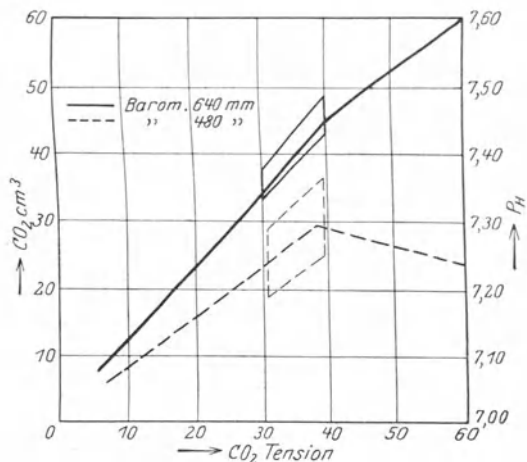


Abb. 10. Katze.

Da in mittleren Höhen von etwa 1500 m früher Veränderungen der Gasbindungsverhältnisse des Blutes bei Körperruhe, die für eine Acidose sprachen, nicht festgestellt waren, auch keine sonstigen auf eine Acidose hinweisenden Veränderungen, so wurde diese für mittlere Höhen abgelehnt. Die gefundenen Höhenwirkungen, insbesondere die Atemsteigerung, konnte man dabei nicht erklären, und so kam man dazu, einen unbekanntem Faktor dafür verantwortlich zu machen (Henderson und Haggard). Ja man war geneigt, das Gegenteil einer Acidose, eine Alkalose anzunehmen, auf Grund von Tierversuchen und von Beobachtungen am Menschen in der verdünnten Luft der pneumatischen Kammer, wobei Davis, Haldane, Kennaway alkalotische Harnveränderungen gefunden hatten.

Diese Frage hat von physiologischer Seite vielfache Bearbeitung erfahren [Literatur und Kritik bei Loewy (6)], jedoch führt es zu weit, hier näher auf diesen speziell physiologischen Gegenstand einzugehen.

Erwähnt sei nur, daß die Kohlensäure im Blute in einem konstanten Verhältnis zum kohlensauren Alkali desselben steht. Wird durch Atmungsteigerung erstere primär aus dem Blute entfernt, so bleibt zunächst ein Überschuß von Alkali, es besteht eine Blutalkalose, und zwar so lange, bis der Alkaliüberschuß durch die Nieren entfernt ist. Man kann diese Alkalose, da ja die vorhandene Alkalimenge nur im Verhältnis zur vorhandenen Kohlensäuremenge gesteigert ist, als „relative“ Alkalose bezeichnen.

So sollte auch die Atemsteigerung in mittleren Höhen wirken. — Demgegenüber wird bei Acidose die Kohlensäure sekundär aus dem Blute entfernt durch primär auftretende saure Produkte, die ihrerseits die Ursache für die verstärkte Atmung und die Kohlensäureaustreibung aus dem Blute darstellen.

Bis vor kurzer Zeit waren, wie gesagt, Anhaltspunkte für das Vorkommen saurer Produkte im Blute in mittleren Höhen nicht gegeben. Aber wie Loewy (4) ausgeführt hat, braucht man am Blute keine acidotischen Veränderungen zu finden, und sie können doch in den Geweben bestehen. Von diesen nehmen sie ja ihren Ausgang. Besteht beim Atemzentrum eine lokale Steigerung der *H*-Ionenkonzentration, so wird durch diese die Atmung „zentrogen“ (Winterstein) angeregt werden. Die so zustandekommende Hyperventilation kann dann sekundär zur Alkalose führen, während doch das auslösende Moment eine lokal begrenzte Acidose darstellt.

6. Der Gesamtstoffwechsel. Veränderungen des Gesamtstoffwechsels im Höhenklima, gemessen am Gaswechsel, sind frühzeitig festgestellt worden [Literatur bei Loewy (1)]. Ebenso ist bald erkannt worden, daß beträchtliche individuelle Unterschiede in bezug auf die Höhe bestehen, in der die Änderungen — beim Menschen sind stets Steigerungen gefunden worden — kenntlich werden, und in der Dauer ihres Bestehens. Das ist auch in neueren Untersuchungen von Schneider und Loewy (4) bestätigt worden. Viel regelmäßiger findet man Steigerungen des Gaswechsels bei Muskelarbeit derart, daß gleiche Arbeit einen höheren Aufwand erfordert als im Tieflande. Auch diese Tatsache

wurde bei den jüngsten Versuchen von Loewy an 5 jüngeren Ärzten wiedergefunden. Der Sauerstoffverbrauch für ein Meterkilogramm geleisteter Dreharbeit ist aus nebenstehender Tabelle zu ersehen.

Tabelle 9.

Ort und Höhe in m		Person	
		C.	Schm.
Davos	1550	5,15	5,26
Muottas-Muraigl	2450	8,31	6,56
Jungfraujoch	3450	7,48	6,41

Also eine Steigerung 24% und 61% beim Übergang von 1500 m auf 2450 m. Dann auf dem Jungfrauoch ein geringes Sinken, wobei aber die Werte noch weit über den Davoser bleiben.

Beachtenswert ist dabei, daß Gewöhnung an die Arbeit in der Höhe den Verbrauch hinabsetzt, so daß er die unterste Grenze der Tieflandwerte erreichen kann. Das zeigen deutlich die Ergebnisse von Loewy und Knoll an maximal trainierten Skiläufern. Sie brauchten in 1800 m Höhe (Arosa) für 100 m Weg und 1 kg bewegten Gewichtes nur 7,36 und 9,80 ccm Sauerstoff, während im Tiefland auf besserer Bahn 15–18 ccm bei annähernd gleicher Geschwindigkeit erforderlich waren (Liljestrand und Stenström).

Ebenso war es bei einem landwirtschaftlichen Arbeiter in Davos. Der zum horizontalen Gehen erforderliche Aufwand betrug 11–12,6 ccm Sauerstoff pro Kilogramm und 100 m Weg, also ebensoviel wie bei gut Trainierten im Tieflande (10–11 ccm O₂). — Der Verbrauch beim horizontalen Tragen von 65 kg Heu war 18 ccm O₂, d. h. gleich dem Maximum des im Tieflande verbrauchten (17 ccm). — Zum Emportragen derselben 65 kg auf einer steilen Rampe waren pro Meterkilogramm Steigarbeit erforderlich 1,05 ccm O₂, entsprechend dem niedrigsten im Tieflande gefundenen Werte (Mittel für Tiefland: 1,35 ccm).

Der Einfluß der Höhe ist also durch die Übung vollkommen ausgeglichen worden.

Etwas anders als beim Menschen stellt sich die Wirkung der Luftverdünnung in den neuesten Versuchen am Meerschweinchen dar. Bei diesen fand Laubender (1), wenn sie einem Barometerdruck von 430–380 mm ausgesetzt wurden, eine Einschränkung des Umsatzes nach 12–14 Stunden um 5–30%. Dieser ging in den ersten 2–6 Stunden eine Steigerung der Kohlensäureausscheidung voran ohne Steigerung des Sauerstoffverbrauches, die als Ausdruck einer Acidose zu betrachten ist. Entsprechend der Herabsetzung des Umsatzes nahm auch das Gewicht der Tiere weniger ab, als das der gleichgehaltenen Kontrolltiere.

Als Ursache für die Gaswechselsteigerung wurde bei Körperruhe schon früher Sauerstoffmangel für Höhen über 3000 m angenommen, für tiefere jedoch nicht, da eben hier Sauerstoffmangel ausgeschlossen schien. Hier sollten andere Klimafaktoren den Stoffwechsel auf ein höheres Niveau heben. Nach den in den voraufgehenden Abschnitten mitgeteilten Erfahrungen jedoch war damit zu rechnen, daß doch schon in mittleren Höhen Sauerstoffmangel zu den Stoffwechselsteigerungen führte. Auch hier mußte Sauerstoffatmung Aufschluß geben. Versuche von Loewy (4) an seinen Begleitern ergaben in der Tat in 2450 m bei allen 4 Untersuchten eine beträchtliche Senkung des Umsatzes unter Sauerstoffzufuhr, und zwar unter die in Davos (1000 m tiefer) ohne Sauerstoff gefundenen Werte, zum Teil sogar — und das ist zunächst nicht deutbar — unter die im Tiefland (Zürich) gewonnenen. Die Tatsache selbst, einer Senkung des Gaswechsels bei Sauerstoffatmung unter die Tieflandwerte, ist in Davos noch mehrfach gefunden worden.

Diese Versuche wurden dann in Davos fortgesetzt von Brieger. Er fand an einer von zwei untersuchten Personen unter Sauerstoffatmung eine regelmäßige Senkung des Umsatzes, so daß an der Mitwirkung von Sauerstoffmangel an der Umsatzsteigerung beim Übergang auch schon in diese Höhe nicht wohl gezweifelt werden kann.

Das gleiche Ergebnis findet sich in anderer Form in Versuchen von Herxheimer (1). — Dieser verglich in Davos an seinen Begleitern den Gaswechsel nach der Zuntz - Geppertschen Methode mit dem mittels des von ihm angegebenen Spirometers (2) ermittelten. Das Spirometer, aus dem eingeatmet wird, wird nicht mit Luft, sondern mit Sauerstoff gefüllt, so daß dabei also Sauerstoffatmung stattfindet. Dabei fand er niedrigere Werte für den Sauerstoffverbrauch nach seiner Spirometermethode als bei der Zuntz - Geppertschen, bei der atmosphärische Luft eingeatmet wird.

Die Befunde von Herxheimer sind methodologisch wichtig. Sie zeigen, daß Apparate zur Gaswechselbestimmung, bei denen eine Sauerstoffatmung stattfindet, wohl im Tieflande, in dem diese wenig oder keinen Einfluß auf die Umsatzprozesse hat, benutzt werden dürfen, daß sie im Hochgebirge jedoch, schon von 1500 m an, vielleicht schon in noch tieferen Lagen, zu fehlerhaften Ergebnissen führen können und häufig führen werden, die in ihrem individuellen Ausmaße schwankend und darum unbekannt sind.

So muß es z. B. bei dem im Tieflande vielfach benutzten Benedictschen Apparate sein, ebenso bei den von Krogh und Knipping angegebenen.

Neben dem Sauerstoffmangel wird von manchen Seiten der Bestrahlung ein stoffwechselsteigernder Einfluß zugeschrieben. Die älteren Untersuchungen ergaben keine Übereinstimmung (vgl. Handb. der Balneol. usw. Bd. 3, S. 234 ff.), so daß eine steigernde Wirkung auf den Stoffumsatz durch Bestrahlung ganz allgemein nicht als gesichert angesehen werden konnte. Wohl aber wird es wahrscheinlich, daß unter bestimmten Umständen, auf die noch eingegangen werden wird, die Bestrahlung stoffwechselsteigernd wirkt.

In neuerer Zeit hat Kestner (3) die Frage wieder experimentell in Angriff genommen. Er hat in Davos während des Sommers und Winters nach Benedicts Methode an mehreren Tiefländern den Gaswechsel bestimmt. Im Sommer fand er bei Sonnenbestrahlung keine Änderung, wohl aber im Winter. Ersteres erklärt Kestner damit, daß bei Bestrahlung in der warmen Jahreszeit zwecks Verhütung einer Überwärmung des Körpers die von Plaut - Wilbrand angegebene sog. zweite chemische Wärmeregulation einsetzte, die eine Senkung des Stoffwechsels unter die gewöhnlichen Erhaltungswerte herbeiführte, wodurch eine Steigerung durch die Bestrahlung verdeckt wurde.

Aber auch die im Winter gefundenen Werte waren nicht stets erhöht, und wo das der Fall war, zum Teil so wenig, daß die Zunahmen noch in die Fehlerbreite fallen. — Einen abschließenden Beweis für die steigernde Wirkung der Sonnenstrahlung als solcher auf den Stoffwechsel können auch die Kestnerschen Versuche nicht bringen. Man kann höchstens sagen, daß in der kalten Jahreszeit bei empfindlichen Personen eine Steigerung zustande kommt.

Bei den sehr niedrigen Wintertemperaturen in Davos mag die Abkühlung mit an der Wirkung beteiligt gewesen sein, welche den Umsatz steigert, auch ohne daß es, wie Kestner meint, zu Hautreizungen: Hautrötungen und Schmerzen zu kommen braucht.

Allerdings scheint in anderer Weise Bestrahlung zu Umsatzsteigerungen führen zu können. Schon Hasselbalch und Lindhard bringen die Wirkungen der Strahlung mit länger dauerndem Erythem, also mit Schädigungen der Haut in Verbindung. Jüngstens konnte Herxheimer (1) dies gleichfalls feststellen: wenn und solange ein intensives Erythem oder stärkere Veränderungen der Haut

bestanden, war der Erhaltungsumsatz längere Zeit gesteigert; ohne diese Folgen blieb er durch Bestrahlung unverändert.

Später wird noch zu erörtern sein, daß von geschädigten Hautabschnitten aus fremde Stoffe in das Körperinnere eintreten, die mehrfache Veränderungen der körperlichen Vorgänge zustande bringen. Darauf ist vielleicht auch die zuletzt beschriebene Umsatzsteigerung zu beziehen. —

Werden reflektorisch von der Haut aus Stoffwechselsteigerungen angeregt, so geschieht dies durch Beeinflussung der Muskulatur, die in verstärkten Tonus versetzt oder zu klonischen Bewegungen erregt wird. Nach Kestner (3) soll das jedoch bei Bestrahlung nicht der Fall sein, vielmehr soll die Tätigkeit drüsiger Organe, speziell der Leber, erhöht werden, und zwar derart, daß in den sog. Baustoffwechsel, d. h. in den Aufbau des Zellprotoplasmas, eingegriffen wird. Bei der von mir vorgetragenen Anschauung, daß körperfremde, von der geschädigten Haut aus in die Blutbahn eintretende Stoffe die Stoffwechselsteigerung bewirken, wäre diese Möglichkeit immerhin gegeben. Jedoch konnte Flickinger diese Wirkungsart der Bestrahlung nicht nachweisen. Das Nähere dazu wird im folgenden Abschnitt erläutert werden.

7. Der Eiweißstoffwechsel. Auch der Eiweißstoffwechsel zeigt sich im Höhenklima verändert und läßt bei höheren Verdünnungen, die bisher in dieser Beziehung erst im Tierversuch benutzt worden sind, schon bei Körperruhe ein pathologisches Verhalten erkennen. Bei mäßiger Muskelarbeit tritt dieses schon in mittleren Höhen zutage und ist beim Menschen leicht festzustellen.

Bekannt ist, daß beim Übergang zu geringen Erhebungen eine Stickstoffretention eintritt, bei dem in sehr beträchtliche (über 4000 m) eine gesteigerte Stickstoffausscheidung, ein vermehrter Eiweißzerfall. — Auch das Auftreten von Aminosäuren beim Aufenthalt in 4560 m Höhe war bereits festgestellt worden.

Neuere Untersuchungen befaßten sich mit den Einzelheiten des Eiweißstoffwechsels, soweit sie am Harn, am Blut und an den Geweben zum Ausdruck kommen. Die Untersuchungen geschahen nicht nur im Höhenklima, sondern auch in der verdünnten Luft der pneumatischen Kammern.

Zunächst gab Viale an, daß der Harn von Menschen, die etwa eine Stunde bei 350 bis 400 mm Barometerdruck in der pneumatischen Kammer zubrachten, weniger sauer wird — entsprechend dem früher mitgeteilten Befunde von Davies, Haldane und Kennaway —, und es sollen Acetonkörper im Harn auftreten.

Im Höhenklima (Höhe 2900 m) bestimmte Azzi das Verhalten von Harnstoff und Ammoniak in dreistündigen Perioden. Seine Ergebnisse sind dadurch getrübt, daß er keine konstante Diät innehielt. An den 14 Ruhetagen wurden keine Abweichungen gefunden. An Tagen mit Bergmärschen stieg die Harnacidität. Harnstoff und Ammoniak wurden in verminderter Ausscheidung gefunden. Nur in einem Versuch nach erfolgter Training wurden beide vermehrt ausgeschieden.

Das Verhalten des Harns bei Ruhe und Arbeit (Marscharbeit) im Höhenklima hat neuerdings György an sich selbst untersucht. Er bestimmte dessen H⁺-Ionenkonzentration, die prozentische Ammoniakausscheidung und die Harnphosphate in 1500 und in 2450 m Höhe. Da er nur in der erstgenannten Höhe nach mittlerer Arbeit eine gesteigerte Säuerung des Harns fand, keine aber 1000 m höher nach geringerer Arbeit, hält er ein Auftreten saurer Produkte für ausgeschlossen und nimmt eher eine verminderte Säureausscheidung an.

In größerem Umfange, an 4 Personen, hat endlich Loewy (4) das Verhalten des Harns — und zwar auch wieder seine H⁺-Ionenkonzentration, seinen Stickstoff- und Ammoniakgehalt — in drei verschiedenen Höhenlagen bei Körperruhe und Arbeit genauer untersucht. Die Versuchspersonen verhielten sich nicht alle gleich, was bei den individuellen Unterschieden gegenüber den Höhenklimawirkungen auch nicht zu erwarten war. Immerhin stieg bei zweien schon bei Körperruhe beim Übergang aus 1500 in 2450 m Höhe die Wasserstoffionenkonzentration des Harns deutlich, mehr noch beim Aufenthalt in 3450 m. Sie betrug im Nüchternharn:

	bei Bl.	bei C.
Davos	6,6	5,8
Muottas-Muraigl	6,0	5,5
Jungfrauojoch	5,6	—

Bergtouren steigerten die H⁺-Ionenkonzentration im Frühharn des folgenden Tages noch mehr. So ging sie bei C. in 2450 m Höhe von 5,5 auf 5,2—5,0 hinauf. — Besonders deutlich wurde die Wirkung der Muskelarbeit, als vor und nach Dreharbeit der Harn in mehreren Portionen untersucht wurde. Hierbei konnte schon in Davos die gesteigerte Säuerung des Harns festgestellt werden, die mit zunehmender Höhe um so ausgesprochener wurde.

Nicht ganz damit parallel ging die Ammoniakausscheidung. Bei Körperruhe zeigte sie selbst bis zu 3450 m Höhe keine bemerkliche Änderung, trotz Zunahme der H⁺-Ionenkonzentration des Harns. Aber Dreharbeit brachte schon in Davos bei allen 4 Personen die prozentischen Ammoniakwerte zum Steigen, zum Teil auf pathologische Höhe.

Weniger gleichmäßig war das Verhalten der Gesamtstickstoffausscheidung. Nur bei einem der Untersuchten war sie stets nach der Arbeit vermehrt, bei den übrigen nicht regelmäßig.

Diese Ergebnisse zeigen, daß der Eiweißzerfall in mittleren Höhen leicht in pathologische Bahnen gelenkt werden kann.

Die gefundenen Änderungen des Harns entsprechen den bei acidotischen Zuständen bestehenden, so daß auch von dieser Seite her die schon durch die Befunde an der Atmung und am Blute gewonnene Auffassung vom Auftreten einer Acidose im Höhenklima gestützt wird.

Im Blute unter Luftverdünnung gehaltener Kaninchen und Hunde fanden sich bei Viale die Acetonkörper kaum verändert, der Reststickstoff ein wenig vermehrt. Dabei war die Titrationsalkalescenz des Blutes herabgesetzt.

Viale erklärt seine Befunde nicht durch eine primäre Acidose, vielmehr durch Alkaliverlust infolge primärer übermäßiger Kohlensäureabgabe aus dem Blute.

In neueren, an Meerschweinchen ausgeführten Untersuchungen ist von Laubender (1) die Stickstoffausscheidung bei Verdünnungen zwischen 430 und 380 mm Bar. untersucht worden. Die Tiere blieben mehrere Tage bei dieser Verdünnung. Dabei nahm die Gesamtstickstoffausscheidung um 14 bis 59% zu. Die Ammoniakausscheidung war am zweiten Aufenthaltstage vermehrt.

Wichtiger sind die Befunde Laubenders (2) über das Verhalten des Blutes und der Gewebe. Bei den genannten Verdünnungen fand sich ein

mäßiges Ansteigen des Reststickstoffes des Blutes, um 25%, aber es zeigten sich noch keine Änderungen im Aufbau des Organ- (Leber-) Eiweißes.

Bei Verdünnungen auf 330–230 mm Bar. stieg der Reststickstoff des Blutes um 40%, und nun nahm auch der Reststickstoff der Leber beträchtlich zu. Von 10–11% in der Norm stieg er auf 15,9–18,8% des Gesamtstickstoffes. Dabei handelt es sich weit mehr um eine Zunahme der Harnstoff- und Aminosäurefraktion als um die der Peptonfraktion, da erstere sich um 55%, letztere nur um 20% vermehrte.

Was Laubender fand, ist also eine Art intravitale Autolyse, die dadurch ausgezeichnet ist, daß die Fraktion des tiefabgebauten Eiweißes am meisten ansteigt.

Sie unterscheidet sich dadurch von der intravitale Hungerautolyse, die Laubender feststellen konnte; denn bei dieser war gerade die Peptonfraktion vermehrt.

Aus der Pathologie, mit der die Wirkungen der Luftverdünnungen sich hier eng berühren, sind Steigerungen des Reststickstoffes der Leber seit langer Zeit bekannt. Aber nur bei Phosphorvergiftungen schwerster Form sind ebenso hohe Reststickstoffvermehrungen in ihr gefunden worden. Unter experimentellen Bedingungen konnten Pick und Hashimoto Reststickstoffsteigerung in ihr durch parenterale Proteinkörperzufuhr erzielen.

Die Wirkung hochgradiger Luftverdünnung stellt demnach einen sehr erheblichen Eingriff in den Aufbau des Leberprotoplasmas dar.

Kestner (3) hatte, wie schon erwähnt, angenommen, daß Bestrahlung mit Höhen Sonne den Baustoffwechsel der drüsigen Organe, zumal der Leber, gegen die Norm verändere. — Es schien von Interesse, festzustellen, ob die Zusammensetzung der stickstoffhaltigen Substanz der Leber sich danach ebenso verhalte wie bei Luftverdünnung. Versuche von Flickinger, bei denen am Bauch und Rücken ausgiebig rasierte Meerschweinchen 1½–2 Stunden den Sonnenstrahlen in Davos ausgesetzt wurden, ergaben keinerlei Änderungen des Reststickstoffgehaltes der Leber gegenüber der Norm.

Luftverdünnung und Bestrahlung wirken also in dieser Beziehung ganz verschieden. —

Von der Phosphorvergiftung ist bekannt, daß sie zu starken Verfettungen der Organe, speziell der Leber, führt. Auch die Lebern der in Luftverdünnung gehaltenen Tiere zeigten schon makroskopisch das Bestehen hochgradiger Fettleber. Der mikroskopische Befund bestätigte dies. Vor langer Zeit schon hatten Beobachtungen von Lewinstein und v. Schroetter (1) Verfettungen infolge starker Luftverdünnung ergeben. Neuerdings ist das histologische Verhalten der Organe in Luftverdünnung gehaltener Tiere von A. Rosin an einem großen Material von Meerschweinchen und Mäusen systematisch erforscht worden.

Wie Rosin fand, kommt es durch die Luftverdünnung zu einer Verfettung nicht nur der Leber, sondern auch des Herzens, der Nieren, der Muskulatur, die zum Teil außerordentlich hochgradige Fettansammlungen zeigen.

Mäuse erwiesen sich als viel resistenter gegen Luftverdünnung, als Meerschweinchen. Sie boten bei gleicher Verdünnung viel weniger Veränderungen als letztere. — Bei viele Tage dauernder Verdünnung tritt die Gewebsverfettung gegenüber einer parenchymatösen

Degeneration des Lapfehenzentrums zurück, die vielleicht der histologische Ausdruck der besprochenen Eiweiautolyse ist. — Bei Mäusen findet man nach mehrtägigem Aufenthalt unter Luftverdünnung keine Verfettungen mehr. Die Lebern verhalten sich im wesentlichen normal. Die Verfettung stellt also einen reversiblen Vorgang dar.

Eine eigene Stellung nehmen Änderungen des Eiweistoffwechsels ein, die durch Bestrahlung hervorgerufen werden. Sie sind besonders von Pincussen (1) studiert worden. Pincussen zeigte im Tierversuch, da Bestrahlung durch die natürliche Höhensonne schon in 1550 m Höhe zu gesteigertem Eiweizerfall führt. Wurden die Versuchstiere zugleich für Licht sensibilisiert, so traten qualitative Abweichungen ein, die den durch Luftverdünnung erst in groeren Höhen bewirkten (vgl. S. 38) analog sind.

Nach Injektion von Erythrosin nehmen bei gesteigerter Gesamtstickstoffausscheidung die Harnstoff-, Aminosäuren-, Kreatininfractionen ab, die des Ammoniaks aber nimmt zu.

Dagegen verhalten sich nach Sensibilisierung mit Anthracenfarbstoffen Harnstoff und Ammoniak normal: bei solcher mit Methylenblau war keine gesteigerte Stickstoffausscheidung zu finden, nur die Aminosaurenfraktion war stark vermindert.

Auffallen kann dabei, da nach Flickingers Feststellungen (S. 39) die Stickstoffverbindungen der Leber, allerdings ohne Lichtsensibilisierung (bei Bestrahlung mit Hochgebirgssonne) keine Abweichungen von der Norm zeigen.

Nicht nur theoretisch, sondern auch praktisch beachtenswert ist, da Jodkalium bei im Hochgebirge bestrahlten Tieren ebenso wirkte, wie Lichtsensibilisierung: es steigert den Eiweizerfall und verändert ihn der Art nach. — Ohne einen Zusammenhang hiermit konstatieren zu wollen, sei darauf hingewiesen, da die minimalen, neuerdings zur Kropfverhutung im Speisesalz gegebenen Jod-

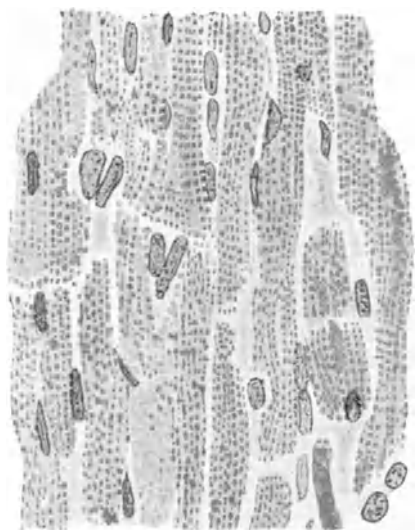


Abb. 11. Fettherz bei Luftverdünnung.

mengen im Tieflande zwar unschädlich zu sein scheinen, im Hochgebirge jedoch in einzelnen Fällen zu Basedowartigen Erscheinungen führten. Pincussen möchte dies auf atomistisch abgespaltenes Jod zurückführen.

Auch der Nucleinstoffwechsel wird durch Bestrahlung verändert. Pincussen und Mitarbeiter (3) konnten nachweisen, da die Nucleinverbindungen in bestrahlten Tieren oder Menschen viel weiter abgebaut werden als ohne Bestrahlung, und da auch eingeführte Nucleinsäuren und ihre Spaltprodukte, wie Xanthin, Guanin, auch Harnsäure bis zu reichlicher Bildung von Oxalsäure zerfallen. Auch hier verstärkte Lichtsensibilisierung die Wirkung. So wurde ohne Belichtung 10% des eingeführten Xanthins in Oxalsäure verwandelt, bei Belichtung mit Sensibilisierung 73%.

Beim Menschen nahm dabei die Menge der ausgeschiedenen Harnsäure ab, wohl durch Verwandlung eines Teiles in Oxalsäure. — Hieraus ergeben sich Beziehungen der Strahlenbehandlung zur urathischen Diathese.

7a. Der Kohlenhydratstoffwechsel. Auf den Kohlenhydratstoffwechsel muß das Höhenklima gleichfalls Einfluß haben. Dafür sprechen die allerdings spärlichen Erfahrungen, die darüber vorliegen. Welche am Kohlenhydratstoffwechsel beteiligten Vorgänge dabei aber Änderungen erfahren, und wie die gefundenen Abweichungen gegenüber dem Tieflande zu deuten sind, ist noch nicht untersucht.

Zuerst hatte Aggazzotti angegeben, daß die Toleranz gegen Kohlenhydrate im Höhenklima gesteigert sei. In 2900 m Höhe fand er nach Zuckerezufuhr keine Glykosurie, während sie im Tieflande eintrat. Das Gleiche gibt neuerdings Morpurgo an. Bei ihm riefen 150 g Zucker in Turin Glykosurie hervor, 200 g dagegen auf dem Col d'Olen (2900 m) keine. — Auch die Blutzuckerkurve nach Zufuhr größerer Zuckermengen verläuft im Hochgebirge anders als im Tieflande: sie steigt häufig schneller und zu größerer Höhe an, um schneller wieder abzusinken.

8. Der Mineralstoffwechsel. Erfahrungen darüber, daß auch der Mineralstoffwechsel Änderungen im Höhenklima erfährt, liegen erst aus den letzten Jahren vor. Sie sind sowohl am Menschen wie an Tieren gewonnen. Dabei sind bis jetzt im Gegensatz zu fast allen bisher besprochenen Wirkungen etwaige durch Luftverdünnung hervorgerufene Beeinflussungen nicht genauer untersucht worden, wohl aber solche durch Bestrahlung.

Auch hierüber liegen Versuche von Pincussen (2) vor. An den in Davos bestrahlten Kaninchen fand er eine Steigerung der Kaliumausscheidung mit dem Harn. Dabei war im Blute die Kalimenge im Verhältnis zu der des Calciums herabgesetzt. — Wie A. Hess und Unger fanden, und Sonne, Schultzer, Gates und Grant bestätigten, nehmen bei Bestrahlung die absoluten Mengen an (anorganischem) Ca und Phosphor im Blute zu. Wirksam sind dabei die ultravioletten Strahlen.

Die Steigerungen von Calcium und Phosphor sind nun nicht nur an gesunden Tieren gefunden worden, sondern auch an durch vitaminarme Nahrung rachitisch gemachten, bei denen die abnorm verminderten Werte für Blutkalk und Blutphosphor zur Norm gehoben wurden¹⁾.

Die Heilung der Rachitis durch ultraviolette Strahlen steht wohl mit dieser Wirkung in Verbindung. Allerdings dürfte sie keine direkte sein, vielmehr durch irgendeinen zugleich die Verknöcherungszone der Knochen treffenden Reiz herbeigeführt werden. — Ishido fand, daß bei durch vitaminarme Ernährung rachitisch gemachten Tieren das Fettmark durch rotes Mark ersetzt wurde.

Die Ergebnisse zeigen jedenfalls, daß zwischen Strahlenwirkung und einer durch Avitaminose erzeugten Krankheit Beziehungen bestehen, sei es nun, daß die Lichtenergie die Energie der in Frage kommenden Vitamine zu ersetzen vermag, oder durch sie ein vitaminartiger Körper erzeugt wird. — Beziehungen zur Strahlenezufuhr scheinen auch für den Skorbut vorhanden zu sein, nur daß diese hier die Krankheit auslöst (Trauner, zitiert nach Hausmann).

Wie Kneschke angibt, bleiben rachitisch gemachte schwarze Ratten trotz Bestrahlung krank. Auch sollen Neger anfälliger für Rachitis sein. — Durch den Lichtschutz, den

¹⁾ Nach Kneschke soll durch Bestrahlung der Calciumgehalt des Blutes normal gestaltet werden: Bei abnormer Verminderung wird er gesteigert, während übernormale Werte zur Norm herabgesetzt werden.

das schwarze Hautpigment abgibt, würde die erwünschte heilende Lichtwirkung schwer zustande kommen.

Dagegen sind es nicht so die ultravioletten wie die kurzwelligen sichtbaren Strahlen, die zur Heilung chronischer tuberkulöser Knochenerkrankungen führen.

9. Weitere Wirkungen der Bestrahlung. Ich möchte hier zugleich einige weitere Wirkungen der Bestrahlung mit „Höhensonne“ anschließen. Die meisten Untersuchungen darüber sind mit „künstlicher“ Höhensonne, einige im Hochgebirge ausgeführt. Von Rohden und Baumann hatten (wie schon erwähnt S. 21) festgestellt, daß durch Bestrahlung die Resistenz der Erythrocyten gesteigert wird; aber auch die Hämolyse in der Milz soll vermehrt sein. Gesteigerte Hämolyse als Wirkung ultravioletten Lichtes hatte früher schon Hasselbalch gefunden zugleich mit einer Zersetzung des Hämoglobins. In Versuchen von Hausmann und Loewy zeigte sich nun, daß schon das gewöhnliche Sonnenlicht in Davos genügt, um in dünnen Blutzellaufschwemmungen (Blut wie 1 : 500—1000 verdünnt) zunächst Hämatinbildung, dann Hämolyse hervorzurufen (die Gesamtintensität der Sonnenstrahlung war dabei 132,6 gcal. bis 241,6 gcal.), ja, daß dort das diffuse Himmelslicht dazu ausreicht. Diese Wirkung setzt die Absorption von Lichtstrahlen durch die Blutzellen und das Hämoglobin voraus. Diese Absorption ist für ultraviolette Strahlen direkt an der Haut des lebenden Menschen von v. Schubert nachgewiesen worden, und zwar eine Absorption durch das die Haut passierende Capillarblut. Es wird also durch die Hauteapillaren strahlende Energie mitgenommen, die in andere Energie umgewandelt im Innern des Körpers wirksam werden kann. —

Eine weitere Wirkung der Bestrahlung bezieht sich auf die Blutneubildungsvorgänge. Beim Gesunden werden sie nicht sicher angeregt, aber vielfach ist festgestellt worden, daß der Wiederersatz von Blut bei anämisch gemachten Tieren durch Bestrahlung beschleunigt wird. Das fand Kestner (4) bei Hunden unter Bestrahlung mit Bogenlampenlicht. Hobert konnte dann feststellen, daß durch Blutentziehung anämisch gemachte Mäuse ihr Blut im Dunkeln in 18—22 Tagen in ungenügender Weise ersetzen, im Hellen in 13 bis 14 Tagen, bei ultravioletter Strahlung in 10—11 Tagen. Im letzten Falle fanden sich die meisten fernhaltigen Blutzellen. — Bemerkenswert war in Hoberts Versuchen, daß die Bestrahlung dosiert werden mußte, um günstige Ergebnisse zu erzielen. Es erwies sich nötig, zwischen den einzelnen Bestrahlungen Pausen von 4—5 Tagen einzuschieben, anderenfalls die Anämie zunahm¹⁾.

Die Einwirkung kurzwelliger Strahlung auf die Haut äußert sich aber noch durch weitere eingreifende Veränderungen im physiologischen Geschehen. Besonders studiert sind die im Blute enthaltenen Fermente und die am Stoffwechsel beteiligten. Über letztere ist das Nötige bereits beim Abschnitt „Eiweißstoffwechsel“ gesagt.

Die Blutfermente verhielten sich bei Bestrahlung der Versuchsindividuen verschieden. Die fettspaltenden Fermente des Blutes wurden durch Bestrahlung weniger wirksam, auch die Wirkung der Blutkatalase wurde stark verringert. Für letztere hatte früher Viale (2) in 2900 m Höhe (Col d'Olen) eine Wirkungs-

¹⁾ Daß das Höhenklima die Blutregeneration bei durch Aderlaß oder durch Blutgifte anämisch gemachten Tieren befördert, erweisen ältere Versuche von Laquer (4) und von Weber.

steigerung gefunden. Dagegen wurden die eiweißspaltenden Bluttermente in ihrer Wirksamkeit gesteigert, und, wo das Blutserum ursprünglich Eiweiße oder Peptone nicht spaltete, trat nach Bestrahlung eine Spaltung ein. Alle diese Beobachtungen rühren von Pincussen (3) und seinen Schülern her.

Bei Bestrahlungen ändert sich auch, wie Rothmann angibt, der Tyrosingehalt des Blutes, und zwar wahrscheinlich im Zusammenhang mit der vor sich gehenden Pigmentierung bzw. Melaninbildung. Zuerst erfolgt eine Senkung um 50—90%, dann, wenn die Hautentzündung zur Pigmentbildung geführt hat, beginnt eine Wiederzunahme des Bluttyrosins. Die primäre Abnahme erklärt Rothmann durch Verschleppung des Bluttyrosins in die Basalzellen der Haut. Die darauf folgende Wiederzunahme dadurch, daß umgekehrt aus den durch die Entzündung proteolytisch zerfallenden Basalzellen abgespaltenes Tyrosin in die Blutbahn gelangt.

Auch der Kalium- und Calciumgehalt der Haut zeigen sich durch Bestrahlung beeinflußt: Der Kaliegehalt der Haut ist gesteigert, der Calciumgehalt erniedrigt (Rothmann). Die Beziehungen, die zu den bereits besprochenen Änderungen der gleichen Elemente im Blute bestehen, müssen noch näher erforscht werden.

Endlich werden auch die immunbiologischen Vorgänge durch Bestrahlung mit kurzwelligem Licht — ob auch durch Luftverdünnung, ist noch unentschieden — verändert. So werden nach Königsfeld die Hämolsin-, Agglutinin-, ferner die Präcipitinbildung begünstigt, die Komplementbildung aber nicht beeinflußt. Die Wirkung auf Präcipitine und Agglutinine ist also die gleiche wie nach Proteinkörperinjektion.

Wie Sonne fand, überleben weiße Meerschweinchen die Injektion einer sonst tödlichen Dosis von Diphtherietoxin, wenn sie im Anschluß an diese eine Stunde bestrahlt werden. Hier kann allerdings die durch die Bestrahlung erzeugte Temperatursteigerung des Körpers das wirksame Moment abgeben. Die analoge Wirkung von Körpertemperatursteigerungen ist bereits in älteren Versuchen erwiesen worden (Loewy und Richter).

10. Zustandekommen der Bestrahlungswirkungen. Es fragt sich: Wie kommen diese Wirkungen zustande? Alle durch Bestrahlung hervorgerufenen Beeinflussungen innerer Vorgänge gehen von der Haut aus. Die weitere Frage lautet also: Auf welche Weise und auf welchem Wege Hautbestrahlung innere Vorgänge verändern kann.

Für eine Reihe von Wirkungen wird man eine reflektorische Entstehung auch heute noch annehmen können. So die Wirkungen auf den Atmungstypus, auf Puls, auf Blutdruck, als auf vom cerebrospinalen Nervensystem beherrschte Funktionen. Man kann hierbei den Weg der Übertragung von der Aufnahme bis zu den Erfolgsorganen verfolgen.

Aber gerade für diejenigen Funktionen, die vorstehend behandelt wurden, genügt diese Erklärung nicht. Hier können für die Übertragung zunächst die durch das Licht veranlaßten Veränderungen des Hautcapillarblutes in Betracht kommen, das Strahlungsenergie aufgenommen hat. — Weiter sprechen Versuche von Rothmann dafür, daß von der durch Licht entzündenden Haut aus der Tonus und die Erregbarkeit der sympathischen Nerven herabgesetzt werden. Er fand nämlich nach intensiver, zu Entzündung führender Bestrahlung eine längere Zeit bestehende Herabsetzung des Blutdruckes, eine Abnahme des Blutzuckergehaltes, gesteigerte Zuckertoleranz und verminderte Erregbarkeit durch Adrenalin. Hierher würde auch die von ihm

gefundene Heraufsetzung des Blutkalkes gehören, die nach Eintritt starker Pigmentierung wochenlang soll bestehen bleiben können.

Am meisten Anhänger gewinnt heute die Anschauung, daß jedenfalls ein Teil der Bestrahlungswirkungen auf chemischem Wege durch Stoffe hervorgerufen wird, die durch die Strahlenwirkung in der Haut gebildet werden. Es können Zerfallprodukte der geschädigten und zugrunde gehenden Zellen sein oder Produkte der in lebhafter Vermehrung begriffenen Basalzellen der Haut.

Ebenso wie bei Hautverbrennungen treten sie auch in entzündeter Haut auf und gehen in den Kreislauf über. Sie haben fermentativen Charakter und so erklären sich wohl die fieberhaften Temperatursteigerungen nach übermäßigen Bestrahlungen. Vielleicht haben die schon (S. 43) genannten blutfremden Fermente, auch ohne daß es zu Hautschädigungen kommt, nur zu Pigmentationen, die gleiche Entstehung.

Auf dem Wege chemischer Wirkung muß man wohl auch die Tatsache erklären, daß Bestrahlung eines Teiles der Körperoberfläche zu Wirkungen an nichtbestrahlten Stellen führt, daß Bestrahlung gesunder Teile Heilung erkrankter herbeiführt.

11. Beeinflussung des vegetativen Systems. In letzter Zeit mehren sich Beobachtungen, die dafür sprechen, daß an den Wirkungen des Höhenklimas auch Vorgänge am ineretorischen Drüsenapparat bezüglich am vegetativen System beteiligt sind.

Erwähnt wurde schon die Anschauung von Mansfeld, wonach die Höhenklimawirkungen durch Beeinflussung der Thyreoidea wirksam werden, erwähnt auch der Befund der Asherschen Schule (Nakao), daß die Beschleunigung des Wiederersatzes durch Aderlaß entzogenen Blutes, die durch Injektion des Blutserums von in Luftverdünnung gehaltenen Tieren mittels der S. 21 erwähnten Hämopoietine zustande kommt, nach Exstirpation der Schilddrüse und mehr noch nach gleichzeitiger Fortnahme der Thymus vermißt wird.

Daß, wie Asher und Schüler fanden, die Widerstandskraft gegenüber Luftverdünnung in Verbindung steht mit ineretorischen Drüsen, erklärt sich durch deren Einfluß auf den Gesamtstoffwechsel. Daher vermehrte Widerstandskraft nach Thyreoidektomie, nach der der Gesamtumsatz herabgesetzt ist, und verminderte nach folgender Milzexstirpation (Danoff, Hauri).

Die Befunde Rothmanns über die Änderungen des Blutdruckes und Blutzuckers durch Bestrahlung deuten auf den vom Sympathicus regulierten Adrenalinapparat. Rothmann gibt dementsprechend an, daß bei Bestrahlung eine Verminderung des Adrenaliningehaltes im Nebennierenvenenplasma vorhanden sei, und daß nach Untersuchungen von Pfeiffer und Adler auch morphologisch eine gestörte Adrenalinsekretion nachzuweisen sei. — Mittels der Laewentrendelenburgschen Durchströmungsmethode haben neuerdings Azuma und Feldmann festgestellt, daß die vasoconstrictorischen Substanzen des Blutes unter Sonnenbestrahlung abnehmen. — Natürliche Pigmentierung verhindert diese Strahlenwirkung.

Das Serum unter Luftverdünnung gehaltener Tiere hatte bei Azuma und Feldmann keine deutlich andere Wirkung als das normaler.

12. Beeinflussung des Nervensystems. Über die Beeinflussung des Nervensystems in sehr großen Höhen liegen verschiedene Beobachtungen aus

älterem Zeit vor. Abgesehen soll hier von psychischen Veränderungen werden, die sich dort häufig einstellen (Mosso) und nur auf Änderungen hingewiesen werden, die bestimmte, von bekannten Zentren aus regulierte Vorgänge betreffen.

Man nimmt im allgemeinen an, daß die Höhenwirkung auf das Zentralnervensystem in mittleren Höhen eine erregende, in übermäßigen eine lähmende sei, in dem Sinne, daß die Erregbarkeit der Zentren zunächst zunähme, bei höherem Emporsteigen abnorm sinke.

Was die Erregbarkeitssteigerung betrifft, die man daraus ableitete, daß besondere erregende Faktoren für die, wie man fand, gesteigerte nervöse Tätigkeit nicht bekannt waren, so muß sie nach den neueren Untersuchungen von Loewy (4), entsprechend den Ausführungen (S. 29) zweifelhaft erscheinen. Was als gesteigerte Erregbarkeit aufgefaßt wird, erwies sich für die Atmung und für den Blutdruck als Wirkung einer mangelhaft werdenden Sauerstoffzufuhr, also eines neuen Reizes.

Dagegen war eine Lähmung nervöser Zentren in übergroßen Höhen anzunehmen. Galeotti konnte auf der zweiten Monte Rosa-Spitze (4560 m) einen

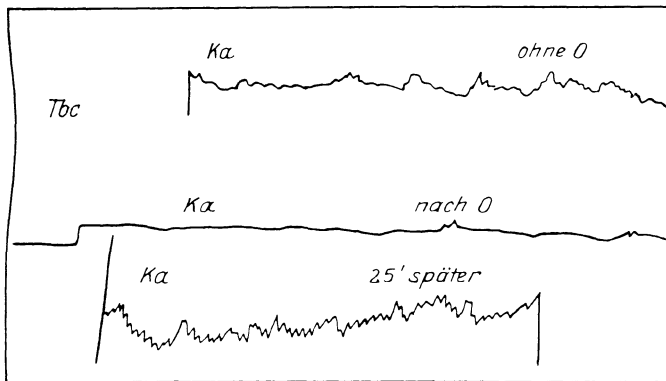


Abb. 12. Verhalten des Fingertremors im Hochgebirge.

gegen das Tiefland verlängerten willkürlichen Atemhalt feststellen, der nur durch ein herabgesetztes Ansprechen des Zentrums gegenüber dem vereinigten Reiz von Kohlensäureanhäufung und Sauerstoffmangel erklärt werden kann. Aber zugleich war eine geringere Erregbarkeit des Schluckzentrums vorhanden. Denn trotz längeren Atemhaltes gelang es den beiden Versuchspersonen, in der Hochregion nur 9 mal zwischen zwei Atemzügen zu schlucken, im Tiefland 15- bezüglich 17 mal.

Daß jedoch schon in mittleren Höhen Abweichungen am Zentralnervensystem vorhanden sind, konnte Stern zeigen. Er fand nämlich (1), daß schon in Davos bei vielen aus dem Tieflande kommenden Personen in den ersten Tagen ihres Aufenthaltes ein Fingertremor auftrat, der durch Sauerstoffatmung beseitigt wurde. Abb. 12 gibt eine der von ihm aufgenommenen Kurven wieder.

Der Tremor war bei älteren Personen stärker als bei jüngeren, ebenso bei anämischen besonders ausgeprägt. Tuberkulöse verhielten sich in gleicher Weise. Bei einem jungen Einheimischen, bei dem Tremor bestand, war er durch Sauerstoffatmung nicht zu beseitigen.

In späteren Versuchen konnte Stern an 8 unter 9 Tiefländern das Vorhandensein eines Tremors und sein Rückgängigwerden durch Sauerstoffatmung bei 7 bestätigen (2). Zugleich fand er, daß die psychische Reaktionszeit auf akustische Reize bei Ankömmlingen in Davos verlängert war. Sauerstoffatmung verkürzte sie. — Endlich prüfte er den Muskeltonus, den er an der Muskelhärte maß. Er fand ihn gesteigert und auf Sauerstoffatmung nahm die Muskelhärte weiter zu. 1000 m oberhalb Davos war die Reaktionszeit gegenüber Davos bei der Mehrzahl der Untersuchten noch weiter verlängert, die Muskelhärte war weiter gesteigert.

Bei Tuberkulösen wurde die Reaktionszeit auf akustische Reize — im Gegensatz zu den Gesunden — vielfach durch Sauerstoffzufuhr verlängert, die Muskelhärte dadurch vermindert.

Die Steigerung des Muskeltonus bringt Stern in Beziehung mit den noch zu besprechenden mechanischen Wirkungen des Höhenklimas. Mit zunehmender Höhe, also abnehmendem Luftdruck, nimmt die Kraft, die die Knochen in den Gelenken zusammenhält, ab. Um die Glieder in ihrer Lage zu halten, um den verminderten Luftdruck auszugleichen, soll, wie Jacobj (1) kürzlich ausführte, der Muskeltonus entsprechend wachsen. Ob diese Erklärung zutrifft, ist fraglich. Stern selbst macht sich den Einwand, daß es dann unerklärt sei, wie Sauerstoffzufuhr überhaupt eine Wirkung ausüben könne.

13. Pharmakologisches. Auch auf einem Gebiete, das zunächst den Höhenklimafaktoren nicht zugänglich scheint, dem der *Pharmakologie*, haben sich Beziehungen ergeben, bestehend in Abänderungen der im Tieflande gefundenen Arzneimittelwirkungen im Hochgebirge.

Die erste eingehendere Untersuchung darüber betrifft die Wirkungen des Alkohols im Höhenklima. — Seit etwa 1½ Jahrhunderten ist bekannt, daß Alkohol in gleichen Dosen im Höhenklima weniger berauschend wirkt als im Tieflande (Literatur bei Biehler). Mosso und Galeotti hatten dann festgestellt, daß durch gleiche Dosen Alkohol die Körpertemperatur und die Atmung auf der Monte Rosa-Spitze nicht verändert wurden, wohl aber in Turin. Die Auffassung über diese verschiedene Wirkung war nicht einheitlich: teils wurde eine in der Höhe vermehrte Abdunstung von Alkohol durch die Lungen herangezogen, teils eine verminderte Erregbarkeit der Hirnrinde. Eine genauere Untersuchung der bestehenden Verhältnisse nahm Biehler vor. Ausgehend von der Erwägung, daß für die Alkoholwirkung auf die Körperzellen die Alkoholkonzentration im Blute maßgebend sei, bestimmte er diese in Reihenversuchen 4—7 Stunden lang vergleichend im Tieflande, in 1550 m und in 2450 m Höhe an Kaninchen, denen 0,9—3,0 ccm Alkohol pro Kilogramm in den Magen gebracht wurden. Biehler fand, daß mit zunehmender Höhe die Alkoholkonzentration im Blute langsamer anstieg und eine geringere Höhe erreichte, und daß das Verschwinden des Alkohols aus dem Blute schneller erfolgte. Einen Überblick darüber gibt Abb. 13.

Biehler kommt aus Bestimmungen der Alkoholabgabe durch die Lungen zu dem Schlusse, daß die gefundenen Unterschiede der Alkoholkonzentration im Blute sich durch seine verschieden umfangreiche Ausscheidung durch die Lungen erklären. — Biehlers Befunde können jedenfalls eine Erklärung für die schwächere Alkoholwirkung in der Höhe geben.

Weiterhin hat Hesse das Verhalten zweier Inhalationsnarkotica des Bromoforms und des Bromäthyls vergleichend im Tief- und im Hochlande untersucht, indem er mit der Möglichkeit rechnete, daß in letzterem die Aufnahme und die Ausscheidungsbedingungen verändert sein könnten. Auch er fand Unterschiede derart, daß nicht nur die prozentische Narkoticummenge in der Einatemungsluft im Hochgebirge höher gewählt werden mußte als im Tieflande — das ist erforderlich, um die gleiche Narkoticumkonzentration in der Atemluft zu erzielen —, sondern daß auch der Gehalt an ihnen im Blute höher liegen mußte, um Narkose zustandezubringen. Zu einer Narkose genügten in Breslau von Bromäthyl auf den Liter Einatemungsluft ca. $1,4/1000$ Mol., auf Muottas Muraigl (2450 m) waren nötig $4,8/1000$ Mol. — In $1\frac{1}{2}$ Minuten wirkten in Breslau $3,52/1000$ Mol. narkotisierend, auf Muottas Muraigl waren dazu $36,8/1000$ Mol. erforderlich. — Im Blute fand sich als geringste zur Narkose führende Menge $0,04$ g Bromäthyl in 100 Blut, in Davos $0,064$ g, noch mehr auf Muottas Muraigl.

Wie Höhengaufenthalt wirkte die Atmung sauerstoffarmer Luft (entsprechend etwa 2600 m Höhe) auf den Eintritt der Narkose erschwerend. Danach ist wohl Sauerstoffmangel an der Wirkung beteiligt, nach Hesse dadurch, daß er zu einer gesteigerten Erregbarkeit des Zentralnervensystems führt. — Die Wiederausatmung der Narkotica war in der Höhe schneller als im Tieflande, die Dauer der Narkose abgekürzt.

Wie Gigon fand, steigern Bromäthyl, ebenso Alkohol, Chloroform, Äther, die Wasserstoffionenkonzentration am reduzierten Blut gemessen, Alkohol auch den Kohlenstoffgehalt des Blutes. So setzten 10 ccm Alkohol per os gegeben p_{H} auf 7,41 bei einem Kaninchen hinab. Diese Acidose kann eine vermehrte Widerstandskraft gegen die Luftdruckerniedrigung zustande bringen; inwiefern sie die vorstehend geschilderten Wirkungen erklärt, wäre noch zu untersuchen.

Endlich berichtete Jaquets von Versuchen über die Wirkungsänderungen von Arsenpräparaten bei Luftverdünnung. Er fand, daß Atoxyl und Natriumkakodylat bei Kaninchen, die unter Luftverdünnung entsprechend 1800 m Höhe gebracht waren, giftiger wirken als im Tieflande. Die tödliche Dosis lag um 22–23% niedriger. Jaquet bezieht die verstärkte Giftigkeit darauf, daß schon in 1800 m Höhe die Reduktion beider Substanzen im Tierkörper in höherem Maße erfolgt als im Tieflande, wobei sich Arsenverbindungen bilden, deren As

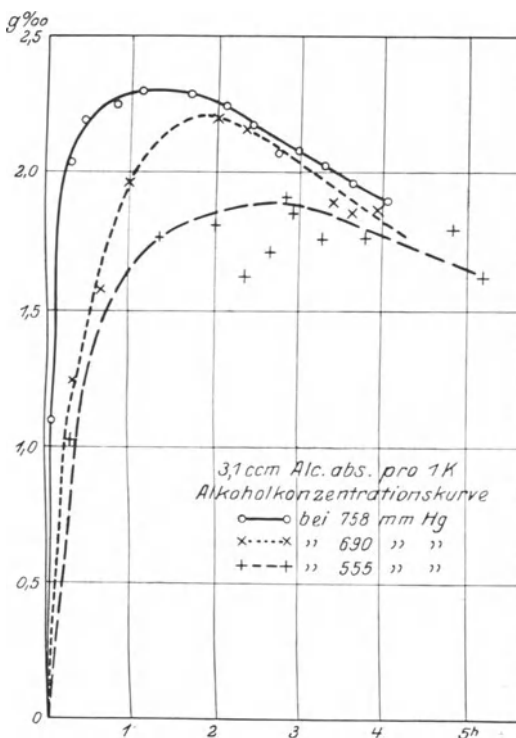


Abb. 13. Alkoholkonzentration im Blute in verschiedenen Höhen.

anstatt in der fünfwertigen As-Bindung des Ausgangsmaterials sich in dreiwertiger befindet. Diese Reduktionsprodukte sind erheblich giftiger.

14. Mechanische Wirkungen des Höhenklimas. Alle bisherigen Abschnitte beschäftigen sich mit den chemischen bezüglich physikalisch-chemischen Wirkungen des Höhenklimas. Nun ist schon früher behauptet worden, daß daneben noch mechanische Wirkungen von ihm ausgehen. Über diese Frage, mit der sich zuerst wohl Albrecht Haller und de Saussure wissenschaftlich beschäftigt haben, ist eine ziemlich umfangliche Literatur entstanden, die bei Zuntz, Loewy, Müller, Caspari zusammengestellt worden ist, und die auch von Loewy im Handbuch der Balneologie kurz behandelt wurde.

Die Wirkung wird bezogen einerseits auf die Blutverteilung, andererseits auf das Verhalten der Gelenke. In ersterer Hinsicht war der Gedankengang der Befürworter der mechanischen Wirkungen der, daß bei Herabsetzung des Luftdruckes in erster Linie die der Luft direkt ausgesetzten Gefäßabschnitte, also die Blutgefäße der Haut- und der Lungen, unter Luftverdünnung kommen. Wie in einem Schröpfkopf soll es deshalb zu Blutansammlungen in diesen Gefäßen kommen, zu Hyperämien der Haut und der Lungen, und diese sollen die nicht seltenen Blutaustritte aus der Haut und aus den ihr angrenzenden Schleimhäuten, sowie aus den Lungen erklären. Auf die Blutansammlung in den Lungen legte besonders Kronecker Gewicht: nicht nur eine Blutüberfüllung, sondern eine Stauung soll in ihnen zustande kommen, und Kronecker bringt damit das Entstehen der Bergkrankheit in Zusammenhang.

Gegen diese Anschauung war geltend gemacht worden, daß doch der Gesamtkörper der Luftverdünnung ausgesetzt sei, diese also am gesamten Kreislaufapparat sich geltend mache und darum Änderungen der Blutverteilung nicht möglich seien. Auch wurde darauf hingewiesen, daß Blutgefäßerweiterungen an der Haut, den freiliegenden Schleimhäuten oder Blutungen aus ihnen und den Lungen bisher nie beobachtet worden seien bei Verdünnungen in der pneumatischen Kammer, die weitergehend waren und schneller erfolgten als im Hochgebirge.

Zugegeben wird dagegen allgemein die Beeinflussung von Gasen in geschlossenen Körperhöhlen, insbesondere die der Darmgase, die eine Ausdehnung erfahren müssen, welche ihrerseits auf den Stand des Zwerchfells, den intrapleurale Druck und damit auf die Blutbewegung in den Lungen zurückwirkt.

In jüngster Zeit hat Jacobj (2) die mechanischen Wirkungen verminderten Luftdruckes genauer festzustellen gesucht anhand von Modellversuchen. In diesen findet er, daß Luftdruckänderungen, die auf alle äußeren Flächen eines Systems gleichmäßig wirken, doch nicht auf alle inneren Teile sich gleichmäßig auswirken, wenn innere elastische Kräfte ihnen entgegenwirken. In Betracht kommt hierbei eine verschiedene Elastizität der Gewebe oder der Widerstand der in den Körperflüssigkeiten gelösten Gase, die entsprechend der Luftdruckänderung ihr Volumen ändern. Dem analog sollen die verschiedenen inneren Körperteile unter verschiedene Druckverhältnisse geraten können, und dadurch soll es zu Verschiebungen beweglicher Massen, also des Blutes, kommen können, das von Stellen höheren Druckes zu solchen niedrigeren strömt. Dadurch würde es dann zu Blutansammlungen in erster Linie in die Haut, in die benachbarten Schleimhäute und in die Lungen kommen. Folge davon soll gesteigerte Arbeit des rechten Ventrikels und dessen Hypertrophie sein. Über letzteres wurde schon im

Abschnitt Herz (S. 27) gesprochen; allerdings war die für die Vorgänge am Herzen gegebene Deutung eine andere. Jacobj sucht auch durch quantitative Überlegungen den Umfang der Blutverschiebungen zu ermitteln.

Der gesteigerte Blutgehalt der Lungen unter Luftverdünnung ist dann im Tierversuch wiederholt festgestellt worden, auch, wie früher schon (S. 27) erwähnt, die Hypertrophie des rechten Herzens.

Dabei wurde von Bayeux angegeben, daß neben der Blutüberfüllung auch Veränderungen des Lungengewebes, und zwar als deren Ursache, auftreten, daß es nämlich zu einer Hypertrophie der Zellen der Alveolarepithelien, zu einer Verbreiterung der Alveolarsepta kommt, die in Verlegung der perialveolaren Capillaren und Hyperämie in den nichtbefallenen Teilen führt, während die befallenen Teile ischämisch sind. Für Tiere, die in sauerstoffarmer Luft gehalten werden (Mäuse in 10 proz. Sauerstoff), geben Babák und Vacek gleichfalls eine Blutüberfüllung der Lungencapillaren, eine Neubildung von solchen und Veränderungen des Lungengewebes an. In den ersten Tagen sind die Alveolen durch die vorspringenden Capillaren verkleinert, später erweitern sie sich unter einer Gesamtzunahme der Lungen.

An einem großen Tiermaterial haben kürzlich Loewy und Schroetter (2) die Frage wieder aufgenommen. Sie bestätigen die Hyperämie der Lungen bei unter Luftverdünnung gehaltenen Tieren (Meerschweinchen, Mäuse, Kaninchen), nicht so die Lungenwandveränderungen. Dabei war die Hyperämie in der ersten Zeit der Luftverdünnung stärker ausgesprochen als später und konnte allmählich verschwinden. — Die Frage ist jedoch, ob sie ausschließlich mechanisch bedingt ist. Dagegen spricht nun, daß nach den vorstehend erwähnten Versuchen von Babák und seinem Schüler Vacek das gleiche Verhalten besteht für Tiere, die nicht unter Luftverdünnung, sondern in sauerstoffarmer Luft lebten. Loewy und Schroetter fanden nun gleichfalls eine Hyperämie bei sauerstoffarm gehaltenen Tieren, wenn diese auch deutlich geringer war als die in verdünnter Luft entstandene. Hier kann natürlich keine mechanische Erklärung Platz greifen.

Es besteht aber die Möglichkeit, daß, wenigstens beim Aufenthalt unter stärkerer Verdünnung ($\frac{1}{2}$ Atm. und weniger) oder in sehr sauerstoffarmer Luft, die Lungenhyperämie sich einheitlich erklären läßt. Es könnte sich nämlich — und damit kommt man den Anschauungen Kroneckers wieder näher — doch um eine Stauungshyperämie handeln, hervorgegangen aus einer Schwächung der Herzaktion. Diese wird nahegelegt durch die S. 39 besprochenen Rosinschen Ergebnisse, d. h. anatomisch — also indirekt — durch die entstehenden Verfettungen des Herzens; weiter aber funktionell durch die auch schon S. 26 genannten Befunde von Takeuchi an der Katze, und von Loewy und Mayer am Menschen, die die geringere Arbeitsfähigkeit des unter Sauerstoffmangel leidenden Herzens direkt dartun. Wegen der Einzelheiten sei auf die später erscheinende Arbeit von Loewy und Schroetter verwiesen. —

Die zweite wesentliche mechanische Wirkung soll sich darin äußern, daß, wenn die Luftdruckerniedrigung einen bestimmten Grad erreicht, die distalen Gelenkteile nicht mehr genügend an die proximalen angepreßt werden. Es kommt zu einer Dehnung der Gelenkbänder, die reflektorisch einen gesteigerten Muskeltonus, wie schon auf S. 46 besprochen, auslöst. Auf diesen bezieht Jacobj die in großen Höhen bekannte schnellere Ermüdbarkeit, die sonst durch den Sauerstoffmangel der tätigen Muskeln erklärt wird.

Es ergibt sich also, daß für die bisher aus rein mechanischen Ursachen erklärten Änderungen in der Blutfüllung der Lungen chemische Momente (Sauerstoffmangel) mit in Betracht zu ziehen sind. Jedoch wird eine volle Klärung sowohl hierfür wie für den Zustand der Gelenke erst durch weitere Untersuchungen zu erwarten sein.

15. Anthropologisches. Bisher wurde im allgemeinen die Wirkung der Klimaänderung beim Übergang ins Höhenklima in Betracht gezogen und nur vereinzelt auf das Verhalten der im Höhenklima Einheimischen Rücksicht genommen. Hier soll zusammenfassend mitgeteilt werden, was über die anatomischen und physiologischen Verhältnisse bei letzteren bekannt ist.

Zuerst wohl wurde über die mexikanischen Hochlandbewohner von Jourdanet berichtet. Ihre Atmung soll langsamer sein als die der Tiefländer und dabei tiefer. Die geringe Atemfrequenz wurde bei Bergführern, Soldaten der Alpen-truppen auch von Mosso festgestellt. Dieser Atemtypus ist für die Sauerstoffversorgung zweckmäßiger als eine schnellere und flachere Atmung. — Das Atemvolumen pro Minute fand sich gesteigert, d. h. daß die Atemmuskeln angestrengter arbeiten müssen. Damit steht im Zusammenhang, daß der Thorax weiter bei Hochländern ist als bei Tiefländern (nach H. Weber soll der Thoraxumfang bei 3—12 monatigem Höhengaufenthalte um $1-1\frac{1}{2}$ cm zunehmen können). Daß auf gleiche Rumpflänge ein größerer Thoraxumfang entfällt, ist neuerdings auch auf dem peruanischen Hochlande festgestellt worden [Barcroft und Mitarbeiter (3)]. — Die Vitalkapazität erweist sich gesteigert, die maximalen Atemvolumina, von Izquierdo mit Pechs manometrischer Maske ermittelt, waren bei Mexikanern (2240 m Höhe) höher als bei Tiefländern.

Bei peruanischen Höhenbewohnern wurde durch Barcroft und Genossen mittels Röntgendurchstrahlung gefunden, daß der Rippenwirbelwinkel sich anders verhielt als bei Tiefländern: er war größer, die Rippen verliefen weniger geneigt, so daß die Thoraxform der emphysematösen sich näherte. — Die bisher wenig untersuchte Blutzellenzahl fand sich erhöht.

Alle diese Beobachtungen wurden in Höhen über 2200 m gewonnen. Neueste Versuche ergaben nun aber, daß schon in mittlerer Höhe, wie Davos, deutliche Abweichungen anatomisch-physiologischer Art nach verschiedenen Richtungen vorhanden sind.

Diese Untersuchungen, die von Frau Rengger an 30 Davoser Einheimischen — Männern jeden Berufes im Alter von 20—45 Jahren — und von Lippmann ausgeführt wurden, können die Grundlage zu einer Anthropologie der Höhenbewohner abgeben. Die Ergebnisse sind folgende: Wie Rengger fand, sind schon in 1550 m Höhe Brustumfang, Thorakalindex und die Vitalkapazität größer als bei Tiefländern. Der Brustumfang betrug im Gesamtmittel 93,5 cm gegen 86,4 cm bei Tiefländern. — Brustumfang: Sitzhöhe war 1,22 bei ersteren gegen 1,0 bei letzteren. Die Vitalkapazität war im Maximum 5,6; im Gesamtmittel lag sie ca. 11 höher bei den Davosern als bei den Tiefländern.

Auf 1 cm Körperlänge war die Vitalkapazität 2,6 bei den Höhenbewohnern gegen, 2,1 bei Tiefländern. Auffallend war die Differenz der Sitzhöhe zur Körperlänge: bei den Hochländern betrug erstere 44,6% der Körperlänge, bei letzteren 53%. Für gleiches Gewicht fand sich dabei eine größere Körperlänge bei den Hochländern, die demgemäß durch größere Länge der Beine zustande kommt. Es zeigen also die Körperproportionen Unterschiede.

Die Atemfrequenzen lagen im Mittel der verschiedenen Altersstufen zwischen 11,5 und 17,7, weichen also nicht weit von den Tieflandwerten ab; dagegen waren die Atemvolumina gesteigert; sie lagen zwischen 6,0 und 7,12 l pro Minute. Die alveolaren Kohlensäurespannungen wichen nur in einer Minderzahl der untersuchten Fälle von den im Tieflande gefundenen ab. Das Gesamtmittel war 37,8 mm.

Diese Untersuchungen stellen natürlich nur einen Beginn dar und müssen ausgebaut werden unter Berücksichtigung von Beruf, Lebensführung, Abstammung u. a.

Lippmann hat an 5 Davosern den Hämoglobingehalt, die Blutzellenzahl, das Verhältnis von Blutplasma zu Blutzellenmenge und die Gesamtblutmenge bestimmt. Er fand eine Steigerung aller dieser Werte gegenüber dem Tieflande. Im Mittel lagen, wie schon S. 20 mitgeteilt, die Zahlen für die Erythrocyten zwischen 5,8 und 7 Millionen, für das Hämoglobin bei 130 Sahli, für die Zellenmenge: 53—58% des Blutes, für die Gesamtblutmenge 5,3—6,1 l, d. h. 7,4—10% des Körpergewichtes. —

So zeigt sich, daß die Höhe von 1550 m schon vermag den Körper umzubilden, daß sie die anatomischen Verhältnisse modelt und das physiologische Geschehen umgestaltet in einer Art, daß die Gefahr eintretenden Sauerstoffmangels hinausgeschoben wird.

Auffallend ist eine Beobachtung, die Somervell gelegentlich der Mount-Everest-Expedition von 1924 gemacht hat. Bei den an ihr beteiligten Tiefländern fand sich in der Höhe des Standlagers in 16 500 engl. Fuß = ca. 4600 m Höhe beim Aufstiege ein Hämoglobingehalt von 116—142% an 8 Personen, der sich bei dreiwöchigem Aufenthalt zum Teil in noch größeren Höhen nicht änderte. Bei 2 Tibetanern jedoch, die auf dieser Höhe heimisch waren, fanden sich nur 82 und 92% Hämoglobin. Dabei waren sie weit leistungsfähiger als die Tiefländer. Ihre Anpassung an die Höhe muß also auf einem anderen Gebiete liegen.

16. Anpassungserscheinungen an das Höhenklima. Diese Erfahrungen an Eingeborenen geben den wesentlichsten Beweis dafür, daß beim dauernden Aufenthalt im Höhenklima Anpassungserscheinungen einsetzen, die im Sinne größerer Widerstandskraft gegen den verminderten Luftdruck sich äußern. Solche Anpassungsvorgänge treten aber auch bei Tiefländern ein beim Hochgebirgsaufenthalt. Sie erfolgen zum Teil schnell, zum Teil langsam und dienen teils gesteigerter Sauerstoffzufuhr in die Lungen durch Steigerung der Atmung, teils vermehrter Sauerstoffaufnahme ins Blut durch Zunahme von Blutzellen und Hämoglobin, teils verbessertem Sauerstoffübertritt zu den Körperzellen. Letzteres geschieht sowohl durch den höheren Sauerstoffgehalt des in die Capillaren eintretenden Blutes wie auch durch die einsetzende Blutacidose, die teleologisch betrachtet für die Verbesserung der Sauerstoffversorgung der Körperzellen nicht nur durch die Anregung der Atmung zweckmäßig ist, sondern nach den neueren physiologischen Erfahrungen auch dadurch, daß sie durch Steigerung der Sauerstoffspannung in den Capillaren den Übertritt des Sauerstoffes in die Körperzellen erleichtert. — Daher die Empfehlung, die Acidose hervorzurufen oder zu steigern durch Zuführung von Ammoniumchlorid (Haldane) oder von saurem Ammoniumphosphat (Porges und Adlersberg).

Nach Barcroft's Befunden auf der Höhe der Anden scheinen weitere Anpassungsvorgänge in sehr großen Höhen sich einzustellen, die einerseits in einer Steigerung der Sauerstoffdiffusion durch die Lungenwand bestehen, andererseits in einer geänderten Sauerstoffbindung am Hämoglobin derart, daß bei gleichem

Sauerstoffdruck eine größere Sauerstoffmenge von ihm aufgenommen werden kann als im Tieflande. — Eine Möglichkeit, die Sauerstoffzufuhr zu den Zellen zu steigern, scheint in der Natur nur mangelhaft verwirklicht zu sein, nämlich die Zunahme der Blutstromgeschwindigkeit, wie aus den Angaben S. 25 hervorgeht. Allerdings müßte die Beschleunigung eine sehr beträchtliche sein, um wirkungsvoll zu werden, wodurch dem Herzen eine dementsprechende Mehrarbeit auferlegt würde.

Die Art der Anpassung scheint übrigens mit der Dauer des Höhengaufenthaltes zu wechseln. Die anfangs mehr oder weniger gesteigerte Atemgröße bei Körperruhe nimmt allmählich ab. Bei berggewohnten Menschen ist die Atemgröße überhaupt weniger gesteigert als bei Ankömmlingen. Bei weiterem Höhengaufenthalte bessert sich trotz Einschränkung der Atmung das körperliche Befinden, wie auch berggewohnte trotz schwächerer Atmung beschwerdefrei sind.

Nach einer Beobachtung von Zuntz, Loewy, Müller, Caspari war die alveolare Sauerstoffspannung bei einem Bergführer auf der Monte Rosa-Spitze nicht höher als bei den übrigen Besuchern. Trotzdem war dieser ohne Beschwerden, während die übrigen schwer bergkrank waren. Hierzu mag vielleicht eine höhere Blutzellenzahl mitgewirkt haben, wahrscheinlicher aber ist, daß Verschiedenheiten des Blutkreislaufes, besonders des Capillarkreislaufes infolge verschiedener vasomotorischer Erregung, den maßgebenden Faktor darstellen.

Hygienisch wichtig ist eine wiederholt gemachte Beobachtung über die Anpassungsvorgänge bei Muskelarbeit. In den dem Sport (speziell dem Wintersport) dienenden Schweizer Höhenkurorten beteiligen sich an den sportlichen Veranstaltungen auch Tieflandmannschaften. Nehmen diese an den Wettkämpfen in den ersten 2—3 Tagen ihres Höhengaufenthaltes teil, so können sie keine Erfolge erringen, trotz besten Tieflandtrainings infolge stark einsetzender Dyspnöe; trainieren sie aber in der Höhe auch nur eine Woche, so können sie dieselben Leistungen wie im Tieflande vollbringen. Nach den Erfahrungen von Loewy und Knoll über die Wirkungen des Trainings im Hochgebirge ist an dieser Akklimatisation für Arbeit beteiligt der allmählich abnehmende Energieverbrauch und die damit parallel gehende Abnahme des Atemvolumens pro Minute. Bei Nichttrainierten lag das Atemvolumen für gleiche Arbeit um 150% höher als bei Besttrainierten. Die Notwendigkeit der Atemsteigerung ist also nach einem Höhenttraining viel geringer. Aber auch hier sind gewiß auch Kreislaufverschiedenheiten im Spiele, wofür die allmählich abnehmende Pulsfrequenz bei Leistung gleicher Arbeit ein äußerliches Merkmal darstellt.

Durch das vorstehend Mitgeteilte konnte im wesentlichen nur auf die in Betracht kommenden Gesichtspunkte hingewiesen werden. v. Schroetter (2) hat jüngstens eine sehr ausführliche Zusammenstellung aller einschlägigen Arbeiten gegeben, auf die hier verwiesen werden muß.

Auf einen Punkt soll zum Schluß noch kurz eingegangen werden. Er betrifft die Anschauungen, die Haldane von der Art der Anpassungsvorgänge an das Höhenklima hat. — Haldane nimmt im Anschluß an Bohr eine Sauerstoffsekretion in den Lungen an, die bei Bedarf, also bei mangelhaft werdender Sauerstoffversorgung der Gewebe eintritt. Dann bestehe kein Spannungsgleichgewicht mehr zwischen der Sauerstoffspannung in den Lungenalveolen und der im Arterienblute, vielmehr übertreffe die letztere in verschieden starkem Maße die erstere. Die Akklimatisation liegt darin, daß der dauernde Reiz des Sauerstoffmangels die Sauerstoffsekretion anregt. Nach eingetretener Akklimatisation wurde auf dem Pikes Peak der arterielle Sauerstoffdruck 50% höher gefunden als in den Lungenalveolen, und er soll nur wenig niedriger gewesen sein als in

Seehöhe. Diese Akklimation durch Gassekretion soll früher einsetzen und wirksamer sein als die Steigerung der Hämoglobinmenge. Bei für Muskelarbeit Trainierten soll die Sauerstoffsekretion mehr angeregt sein als bei Untrainierten. Daher haben erstere weniger Nutzen von Sauerstoffzufuhr als letztere. Die Anschauung, daß Akklimation eine gesteigerte Sauerstoffsekretion auslöst, führt zu der weiteren, daß Sauerstoffatmung bei den Akklimatisierten nur geringen Nutzen bringen kann, führt also zu einer geringen Einschätzung des Sauerstoffs als Vorbeugungs- und Heilmittel gegen Anoxyhämie.

Haldane steht heute mit dieser Auffassung vereinzelt da. Mit anderen als mit seiner Carminmethode konnten seine Befunde nicht bestätigt werden. —

Von der Konstitution des Einzelnen, d. h. in diesem Falle von einer mehr oder weniger zweckmäßigen Einstellung der Atmung, einer günstigen Beschaffenheit des Blutes, einer zureichenden Herzkraft und Blutzirkulation, insbesondere einer reichlichen Sauerstoffversorgung der Organe, aber auch von der jeweiligen „Reaktionsbereitschaft“, d. h. von dem rechtzeitigen Einsetzen der notwendigen Anpassungsvorgänge, werden die Grenzen abhängen, an denen Sauerstoffmangel der Gewebe eintritt, oder zu deutlichen Krankheitserscheinungen führt.

v. Schroetter (3) hat in den Verhandlungen der klimatologischen Tagung in Davos sehr eingehend diese Frage behandelt und auch die Hinaufschiebung der Grenze durch die Akklimation erörtert.

Er nimmt als untere Grenze des Sauerstoffmangels 4500 m an. Dies wäre eine Höhe, bei der schwere, bereits das Sensorium trübende Zeichen von Sauerstoffmangel auftreten, wobei zu beachten ist, daß psychische Veränderungen bereits 1000—1500 m tiefer zur Beobachtung kommen können. 4500 m ist auch diejenige Höhenlage, bei der eine stärkere Beirächtigung der muskulären Leistungsfähigkeit vorhanden ist. Durch allmähliche Akklimation soll diese „relative“, d. h. noch überwindbare Anoxyhämie auf 6500 m hinaufgesetzt werden können, während die absolute Anoxyhämie, d. h. die ohne Sauerstoffzufuhr nicht mehr erträgliche, von 6500 auf 8500 m verschoben wird. Zu diesen Werten kommt v. Schroetter auf Grund der in den letzten Jahrzehnten unternommenen Hochgebirgsbesteigungen, besonders der Mount-Everest-Expedition, die die Wirkung allmählicher Anpassung an die Höhe besonders deutlich zeigt.

Unter den konstitutionellen Momenten spielt auch das Alter eine Rolle. Die Anpassungserscheinungen treten in ihm langsamer ein und können schon in mittleren Höhen unvollkommen bleiben, d. h. die Höhenklimawirkungen bleiben längere Zeit, bis zu Jahren, wenn auch abgeschwächt, bestehen. Das ist von Loewy bis jetzt für die Pulsfrequenz, für das Atemvolumen, für den Blutdruck festgestellt worden durch Vergleich des Höheneinflusses auf diese Funktionen in seinen jüngeren und älteren Jahren. Sauerstoffzufuhr vermag in solchen Fällen die Tieflandwerte nicht mehr herbeizuführen. — Man kann diese Befunde durch eine Sklerose der Präcapillaren in den betreffenden nervösen Zentren deuten, infolgedessen der Sauerstoffdurchtritt durch die Gefäßwände erschwert bleibt, einerseits als Wirkung der Wandverdickung, wie auch andererseits dadurch, daß die notwendige Regelung des Blutstromes in den Capillaren durch die Beschränkung ihrer Erweiterungsfähigkeit beeinträchtigt ist.

Zu rein praktischen Zwecken, d. h. zur Prüfung der Eignung zum Höhengedächtnis — als Flieger —, sind im amerikanischen Heere besondere Prüfungsmethoden ausgebildet worden. Sie bestehen darin, eine an Sauerstoff immer mehr verarmende Luft einatmen zu

lassen (durch Hin- und Heratmen aus einem großen Luftbehälter unter Absorption der Kohlensäure der Ausatemungsluft) und festzustellen, bei welchem Grade der Sauerstoffverarmung der Luft die Grenze der Atmungsmöglichkeit erreicht ist.

Die Grenze war gegeben durch psychische oder Herzinsuffizienz, d. h. durch Bewußtlosigkeit oder Herzschwäche.

Die individuellen Unterschiede waren stets beträchtlich, indem diese Grenze erreicht wurde bei den am ungünstigsten Gestellten bei 11,1% Sauerstoff in der Atemluft, bei den für das Höhenklima Geeigneten bei 5,2%. Das Mittel betrug 7,42% für 2279 Fälle. Die zur Erreichung der Grenze erforderliche Zeit betrug im Mittel 24,6 Minuten, bei einem Maximum von 37 und einem Minimum von 15 Minuten.

Hinsichtlich der Reaktion auf den Sauerstoffmangel konnten zwei Typen geschieden werden. Bei dem einen Typus kam es zu Hirnlähmungserscheinungen vor einer Lähmung des Herzens, bei dem zweiten war es umgekehrt. — Während der Atmung kamen als Zeichen des Sauerstoffmangels zur Beobachtung zunächst Steigerung des Atemvolumens pro Minute unter Vertiefung der Atmung, dann Pulsbeschleunigung, Steigerung des systolischen Blutdruckes, geringere Steigerung und schließlich Sinken des diastolischen Druckes, also zur Zunahme der Pulsamplitude.

Neben der Anpassung gegen die Luftverdünnung besteht auch eine solche von seiten der Haut gegenüber den Höhenstrahlenwirkungen.

Als wesentlichster Anpassungserfolg ist die Pigmentbildung zu betrachten, die durch die Höhenstrahlung eingeleitet wird und am intensivsten, wie von Hauser und Vahle festgestellt wurde, durch Strahlen von den Wellenlängen 302—289 $\mu\mu$ zustande kommt. Besprochen wurden auch schon die bei der Pigmentbildung ablaufenden Vorgänge, auch die Tatsache, daß der Farbstoff sich nicht nur in den vorhandenen Basalzellen ablagert, sondern daß es zu reichlicher Neubildung von Basalzellen kommt, die gleichfalls Pigment aufnehmen. Das braune, den Melaninen zugerechnete Pigment, schützt nun die tieferen Hautschichten vor dem Eindringen der ultravioletten Strahlen und ihren hautschädigenden Wirkungen. Aber auch eine bei Bestrahlung auftretende Hyperämie hat eine schützende Wirkung, da, wie gleichfalls schon angeführt, das Capillarblut der Haut einen Teil der ultravioletten Strahlen absorbiert und so unschädlich macht. Die Hyperämie wirkt wohl auch dadurch, daß durch sie der Haut das zur Pigmentbildung notwendige Material, die Pigmentvorstufen zugeführt werden.

Das Hautpigment vermag nun aber neben den ultravioletten Strahlen auch längere, sichtbare zu absorbieren. Diese haben gegenüber den ersteren eine weit größere Wärmewirkung, durch ihre Absorption kommt es zu stärkerer Erwärmung der pigmentierten Hautschichten. Diese stellen, wie v. Schroetter es ausdrückt, einen Wärmeakkumulator dar. Die Folgen der stärkeren Hauterwärmung sind aber die, daß es zu stärkerer Wasserverdunstung durch insensible Perspiration kommt und daß auch die Schweißabsonderung früher einsetzt, als dies ohne Pigmentierung der Fall ist. Es tritt also dadurch eine zweckmäßige Verbesserung der Wärmeregulation ein, ein Schutz gegen die Überwärmung durch die Sonnenstrahlen, den diese selbst auslösen. Durch diese Hauterwärmung unterscheidet sich nun die natürliche von den künstlichen Höhen-sonnen. Diese können sie nicht hervorrufen, da sie sehr arm an langwelligen Strahlen sind; aber die Hauterwärmung ist hier eben auch nicht notwendig.

17. Bergkrankheit. Versagen die Regulierungseinrichtungen des Körpers gegenüber der Luftverdünnung, so entsteht ein vielgestaltiges Krankheitsbild, das als Bergkrankheit so häufig beschrieben worden ist, daß eine Wiedergabe an dieser Stelle unnötig erscheint. Hingewiesen sei nur auf den Unterschied in

ihren Erscheinungen einerseits bei völliger Körperruhe, wie z. B. in der pneumatischen Kammer, andererseits bei oder nach körperlichen Anstrengungen. Im ersteren Falle treten fast nur Großhirnsymptome auf: zunehmende Müdigkeit, Schlafsucht, Bewußtlosigkeit; selbst Atemnot braucht subjektiv nicht wahrgenommen zu werden. Im letzteren Falle melden sich vielfache Beschwerden. Dabei ist es auffallend, wie, individuell verschieden, die Symptome wechseln, und weiter auffallend, daß Krankheitszeichen wesentlich auf ein Körpersystem beschränkt sein können, z. B. auf den Magen-Darmapparat, wobei nur unstillbares Erbrechen aufzutreten braucht. Es besteht also nicht nur eine individuell verschiedene Disposition, sondern auch eine nach den Organen orientierte.

Hinsichtlich der Entstehung der Bergkrankheitsymptome steht die von Paul Bert begründete Lehre von dem Sauerstoffmangel der Gewebe als ursächlichem Momente heute noch unerschüttert, wenn auch andere Vorstellungen, als Paul Bert sie hatte, von verschiedenen Seiten zur Erklärung herangezogen worden sind.

Im Vordergrund steht dabei die Anschauung, daß die Erscheinungen der Bergkrankheit durch mechanische Wirkungen der Luftdruckerniedrigung hervorgerufen werden, indem diese zu Blutüberfüllung im kleinen Kreislaufe, zu Blutstauungen in ihnen führen. — Unter den neueren Forschern vertrat zunächst K r o n e c k e r diese Anschauung. Seine Lehre, auf die schon im Abschnitt III, 14, S. 48 eingegangen worden ist, ist dann von H e g e r und seinen Schülern, deren Arbeiten kürzlich von Langlois und Binet zusammenfassend dargestellt worden sind, weiter ausgebaut und experimentell zu stützen versucht worden.

Es wurde schon erörtert, daß die Blutüberfüllung der Lungen, die neuerdings auch histologisch nachgewiesen wurde, nicht dazu zwingt, eine mechanische Höhenklimawirkung anzunehmen, daß sie vielmehr durch eine, auch schon durch Sauerstoffmangel erzeugte Herzschwäche bewirkt werden kann. Diese muß ihrerseits den Eintritt des Sauerstoffmangels der Gewebe begünstigen. — Die Frage würde sich demnach heute so stellen, ob der Sauerstoffmangel primär zu den Bergkrankheitserscheinungen führt, oder ob er zunächst eine Herzschädigung hervorruft, durch die ein früheres Einsetzen der Krankheit gegeben würde. Sauerstoffmangel wäre also in beiden Fällen der maßgebende Faktor, ohne daß mechanische Momente mitwirkten.

Eine Entscheidung dieser Frage ist heute noch nicht möglich; es muß genügen, sie in dieser Form präzisiert zu haben.

Einen besonderen Standpunkt nimmt Bayeux ein. Nach ihm soll die Luftverdünnung zu den S. 49 genannten Lungenveränderungen führen — Zunahme der Interalveolarsepta —, die zu einer Verkleinerung der Lungenalveolen und einer Störung der Lungenzirkulation und damit sekundär zum Sauerstoffmangel führen sollen.

Ganz unabhängig vom Sauerstoffmangel möchte Angeli das Entstehen der Bergkrankheit erklären, nämlich durch Beimengungen zur Atmosphäre, die er auf dem Monte Rosa (4560) fand. Es handelt sich um Oxyde des Stickstoffs, Ozon, Wasserstoffsuperoxyd, Ammoniumnitrit. Die ersteren und das Ammoniumnitrit sollen durch Zersetzung des sehr labilen Nitroxyls entstehen, dem Angeli eine besondere Giftigkeit zuschreibt.

Gegen diese Anschauung spricht das Entstehen der Bergkrankheit im luftverdünnten Raum der pneumatischen Kammer, man müßte denn annehmen, daß die genannten Stoffe durch die Luftverdünnung in der Kammer gebildet würden. —

Bleiben wir bei der allgemeinen Annahme des Sauerstoffmangels, so kann dieser natürlich nur durch die Veränderungen, die er im Körper hervorruft, wirksam werden: durch die Anoxybiose, die er herbeiführt, durch die intermediären Stoffwechselprodukte, die sich im Körper anhäufen. So kam man dazu, das Wesen der Bergkrankheit in einer Autointoxikation zu sehen. Und die Veränderungen des Harns, die zuerst von französischen Autoren beschrieben wurden, sollten diese Anschauungen besonders stützen. Die Harngiftigkeit fand sich gesteigert. Allerdings ist sie ein mangelhafter Indicator für eine Autointoxikation, denn sie braucht nicht auf besonderen toxischen Stoffen zu beruhen. Schon eine Änderung des Harnmineralgehaltes, besonders eine Zunahme der Kalisalze kann sie zustande bringen. Aber man darf wohl nicht, wie Moog es tut, die krankhaften Stoffwechselstörungen, die der Bergkrankheit zugrunde liegen, der Urämie gleichstellen. Bei dieser sind die Veränderungen des Blutes (Reststickstoff) weit ausgesprochener als bei Tieren, die einem Barometerdruck von nur 230 mm ausgesetzt und schwer erkrankt waren, wie aus Laubenders Versuchen (S. 38) hervorgeht.

Unter den Organen, die funktionell durch den Sauerstoffmangel geschädigt werden, und deren Insuffizienz zum Entstehen der pathologischen Stoffwechseländerung in erster Linie beiträgt, scheint die Leber zu gehören. Auf ihre anatomischen und chemischen Veränderungen wurde schon hingewiesen (S. 39). Veränderungen gleicher Art: zentrale Nekrosen, Steigerungen des Reststickstoffgehaltes findet man auch bei schwersten pathologischen oder experimentellen Leberschädigungen. Aber nach neuen (noch nicht veröffentlichten) Erfahrungen zeigen Tiere, die unter starker Luftverdünnung gehalten waren, eine Reihe von weiteren Erscheinungen, die den gleichfalls bei schwerer Leberinsuffizienz gefundenen gleichen. Besonders den Untersuchungen von Fischler verdanken wir deren Kenntnis. Fischler weist auf Störungen der Wärmeregulierung hin, die zur Unterkühlung der Tiere führen. Dasselbe beobachtet man nach Aufenthalt unter stark vermindertem Luftdruck; die Rectaltemperatur bei Meerschweinchen ist dann stets unternormal, bis zu weniger als 31° gefunden worden. — Angegeben wird weiter eine Steigerung des Harnsäuregehaltes des Blutes; auch diese konnte bei unter Luftverdünnung gehaltenen Tieren festgestellt werden. — Nach Klein und Lang verläuft bei schweren diffusen Lebererkrankungen die Blutzuckerkurve beim Belastungsversuch mit Traubenzucker steiler und steigt höher als bei Gesunden an. Schon in Höhe von 1550 m, mehr noch in 2450 m fand sich in einzelnen Fällen bei gleichen Belastungsversuchen die gleiche Erscheinung angedeutet. — Nur die Abnahme des Blutzuckergehaltes konnte bei Luftverdünnungen bisher nicht festgestellt werden.

Dieses ganze Gebiet bedarf noch weitgehender Bearbeitung, um die bestehenden Analogien deutlicher zutage treten zu lassen und evtl. weitere Analogien aufzudecken. Aber die vorstehend zusammengestellten Tatsachen weisen allein schon darauf hin, daß ein enger Zusammenhang zwischen der Wirkung der

Luftverdünnung und einer Schädigung verschiedener Teilfunktionen der Leber besteht.

18. Auffassung der Höhenklimawirkung. Man findet in der neueren klimatologisch-balneologischen Literatur vielfach die Anschauung vertreten, daß die Wirkung von Klima und Bädern eine Art von Proteinkörper- bezüglich unspezifischer Reizkörperwirkung sei, und daß die therapeutische Verwendung beider eine Art der Proteinkörperbehandlung darstelle.

Als erster scheint diesem Gedanken vor schon langer Zeit Goldscheider Ausdruck gegeben zu haben. Weichardt hebt demgegenüber mit Recht hervor, es sei „abwegig, alle möglichen Beeinflussungen nach dem Schema der Proteinkörpertherapie beurteilen zu wollen, und die bequeme Annahme sekundär im Körper abgespaltener aktivierender Produkte ohne experimentelle Beweise überall heranzuziehen“. Weichardt hält es für nötig „das Auftreten von Eiweißspaltprodukten in Organen durch Verfolgung des Stickstoffwechsels in ihnen nachzuweisen“.

Die Untersuchungen von Laubender aus dem Davoser Institut, die das Auftreten von tiefabgebauten Aweiweißspaltstücken in der Leber unter Luftverdünnung erwiesen haben, leisten den Forderungen Weichardts Genüge und liefern, soweit ich sehe, auf dem Gesamtgebiete der Klimatologie den ersten Beweis dafür, daß klimatische Einflüsse zur Bildung von Eiweißabbauprodukten in den Organen führen können, die zugleich auch im Blute kreisen.

Finden wir nun, daß in vielfacher Beziehung die Symptome, die durch Luftverdünnung hervorgerufen werden, den der Proteinkörperinjektion gleichen, dann ist es wohl nicht gewagt, die durch Luftverdünnung herbeigeführten Höhenklimawirkungen zu den Proteinkörperwirkungen in Analogie zu setzen. Gemeinsam sind den letzteren und der Luftverdünnung die chemischen Veränderungen der Leber, das Ansteigen der Aminosäuremengen im Blute, gemeinsam auch die Steigerung des Eiweißzerfalles, ferner das Auftreten einer Acidose. Nach Proteinkörperinjektion finden sich Jugendformen von Blutzellen im Gefäßsystem ebenso wie beim Aufenthalt im Höhenklima.

Ohne zunächst mangels weiteren experimentellen Materiales sagen zu wollen, daß die von der Luftverdünnung des Höhenklimas ausgehenden Wirkungen Proteinkörperwirkungen seien, kann man doch, glaube ich, behaupten, daß das Höhenklima bis jetzt das einzige Klima ist, das in seinen Wirkungen Beziehungen zu den Proteinkörperwirkungen aufweist, und daß es zur Zeit, wenn überhaupt, allein bei ihm gerechtfertigt ist, seine Wirkungen mit den der Proteinkörperinjektion in Parallele zu setzen.

Literatur.

- Abderhalden, E.: Zeitschr. f. Biol. Bd. 43; Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 93.
 Aggazzotti, A.: Arch. di scienze biol. Bd. 5, S. 1. 1923.
 Angeli: Referat in Umschau Bd. 36, S. 698. 1924.
 Araki: Zeitschr. f. physiol. Chemie Bd. 15. S. 335. 1891.
 Aron, H.: Philippine Journ. of Science Bd. 6, S. 101. 1911.
 Asher, L., und Schüler: Zahlreiche Arbeiten in der Biochem. Zeitschr. und Zeitschr. f. Biol. [vgl. Nakao (1)].
 Azuma und Feldmann: Noch nicht veröffentlichte Versuche.
 Azzi, A.: Arch. di scienze biol. Bd. 4, 106. 1923.

- Barcroft, J.: (1) *Lancet* 1926, S. 544.
 — (2): The respiration function of the blood. 1914. Vgl. auch *Naturwissenschaften* 1922, Nr. 42.
 — (3): The respiration function of the blood. Part 1, Capit. IX und X. 1925.
 — (4): *Journ. of physiol.* Bd. 42, S. 44. 1911.
 — (5): *Lancet* 1921, S. 1277.
 Bayeux, R.: *Cpt. rend. hebdom. des séances de l'acad. des sciences* Bd. 180, S. 1701. 1925.
 Biehler, W.: *Arch. f. exp. Pathol. u. Pharmakol.* Bd. 107, S. 20. 1925.
 Bert, Paul: *La pression barométr.* Paris 1878.
 Buch, M.: *Inaug.-Dissert.* St. Petersburg 1877.
 Bürker, K., mit E. Joos, E. Moll, E. Neumann: *Zeitschr. f. Biol.* Bd. 61, 379. 1913.
 Colebrook, Hill, Eidinow: *Brit. Journ. of exp. pathol.* Bd. 5, S. 54. 1924.
 Craandyk, M.: *Folia haematol.* Bd. 23. 1918.
 Danoff, N.: *Biochem. Zeitschr.* Bd. 93. 1918.
 Davies, Haldane, Kennaway: *Journ. of physiol.* Bd. 54, S. 32. 1920.
 Denecke, Th.: *Zeitschr. f. Hyg. u. Infektionskrankh.* Bd. 1.
 Doi: *Journ. of physiol.* Bd. 55, S. 43. 1921.
 Dorno, C. (1): *Schriften d. Inst. f. Hochgebirgsphysiol. in Davos* 1924, H. 1, S. 59.
 — (2): *Zeitschr. f. physikal. u. diätet. Therapie* Bd. 26, S. 401. 1922.
 — (3): *Das Davoser Frigorimeter. Strahlentherapie* Bd. 19, S. 574. 1925.
 — (4): *Studie über Licht und Luft im Hochgebirge.* 1911.
 — (5): *Klimatologie im Dienste der Medizin.* Braunschweig 1920.
 Douglas: *Ergebn. d. Physiol.* Bd. 14, S. 338. 1914.
 Durig, A., H., v. Schrötter, N. Zuntz: *Biochem. Zeitschr.* Bd. 39, S. 461. 1912.
 Durig, Kolmer, Reichel, Rainer, Caspari: *Denkschr. d. Wien. Akad. d. Wissensch.* Bd. 86. 1909.
 Durig, A., mit Kolmer, Rainer, Reichel, Caspari: *Denkschr. d. Akad. d. Wissensch., Wien*, Bd. 86. 1909.
 Durig, A., und N. Zuntz: *Skand. Arch. f. Physiol.* Bd. 39, S. 133. 1913.
 Finsterwald, H.: *Beitr. z. Klin. d. Tuberkul.* Bd. 54, 239. 1923.
 Fischler, F.: *Physiologie und Pathologie der Leber.* 2. Aufl. 1925.
 Flickinger: *Dtsch. med. Wochenschr.* 1926. Nr. 39.
 Flüge: *Lehrbuch der hygienischen Untersuchungsmethoden.* Leipzig 1881.
 Förster, J.: *Biochem. Zeitschr.* Bd. 145, S. 309. 1924.
 Frenkel-Tissot: *Dtsch. Arch. f. klin. Med.* Bd. 133, S. 286. 1920.
 Fritz, G.: *Biochem. Zeitschr.* Bd. 170, S. 236. 1926.
 Galeotti: *Arch. ital. de biol.* Bd. 41, S. 80. 1904.
 Gates und Grant: *Proc. of the soc. f. exp. biol. a. med.* Bd. 22, S. 315. 1925.
 Gigon: *Verhandlungen der klimatologischen Tagung. Davos* 1925.
 Gockel, A.: *Physikal. Zeitschr.* Bd. 11. 1910; Bd. 12. 1911.
 Grossmann: *Inaug.-Diss.* Zürich 1925; *Zeitschr. f. klin. Med.* Bd. 102. 1925.
 Gutstein, M.: *Folia haematol.* Bd. 26, I. T. 1921.
 György, P.: *Schweiz. med. Wochenschr.* Nr. 18. 1924.
 Haldane, J. S.: *Brit. med. Journ.* 1924, S. 885.
 Hann, J.: *Handbuch der Klimatologie.* 3. Aufl. Bd. 1, S. 241. Stuttgart 1908.
 Hasselbalch, K. A.: *Biochem. Zeitschr.* Bd. 19, S. 435. 1909.
 Hasselbalch und Lindhard: *Skandinav. Arch. f. Physiol.* Bd. 25, S. 361. 1911.
 Hauri, O.: *Biochem. Zeitschr.* Bd. 98, S. 1. 1919.
 Hausmann: *Grundzüge der Lichtbiologie und Lichtpathologie.* S. 184. 1923.
 Hausmann und Loewy: *Biochem. Zeitschr.* Bd. 173, S. 1. 1926.
 Hediger, St.: *Schweiz. med. Wochenschr.* 1923, Nr. 14.
 Herxheimer: *Noch nicht zur Veröffentlichung gekommen.*
 — *Dtsch. med. Wochenschrift* 1925, Nr. 28.
 Hess, V. F.: *Physikal. Zeitschr.* Bd. 12. 1911; Bd. 13. 1912; Bd. 14. 1913.
 Hesse: *Arch. f. exp. Pathol. u. Pharmakol.* Bd. 105, S. 349. 1925.
 Hill, L.: *The science of ventilation etc. Part. I.* London 1919.
 Hill und Campbell: *Lancet* Bd. 204, S. 15. 1923.

- Hobert, H.: *Klin. Wochenschr.* 1923, Nr. 26, S. 1213.
- Jacobj, C.: *Arch. f. exp. Pathol. u. Pharmakol.* Bd. 104, S. 177 und 192. 1924.
- Jaquet: *Schweiz. med. Wochenschr.* 1925, Nr. 33.
- Jourdanet: *Influence de la pression de l'air.* Paris 1876.
- Ishido: *Biochem. Zeitschr.* Bd. 137, S. 187. 1923.
- Izquierdo: *Cpt. rend. des séances de la soc. de biol.* Bd. 87. 1922.
- Kestner, O. (1): *Zeitschr. f. Biol.* Bd. 77, S. 245. 1922.
— (2): *Fortschr. d. Therapie* Bd. 1, S. 390. 1925.
— (3): mit Dannmeyer, Peemöller, Liebeschütz-Plaut: *Klin. Wochenschr.* 1925, S. 1619; *Naturwissenschaftl. Tag.* Bd. 12, S. 1075.
— (4): *Zeitschr. f. Biol.* Bd. 73, S. 1. 1921.
- Klein und Lang: *Ref. Klin. Wochenschr.* 1926, S. 262.
- Kneschke: *Klin. Wochenschr.* 1923, Nr. 42, S. 1935—1973.
- Knoll, W.: (1) *Schweiz. med. Wochenschr.* 1925, Nr. 53.
— (2): *Schweiz. med. Wochenschr.* 1924, Nr. 5.
- Knoche, W. (1): *Berlin. klin. Wochenschr.* 1910.
— (2): *La desiccation. Rev. chil. de histor. y geograf.* 1919.
- Kolhörster, W.: *Die durchdringende Strahlung.* Hamburg 1924.
- Königsfeld: *Ref. Klin. Wochenschr.* 1923, S. 996.
- Korányi: *Verhandl. d. klimatol. Tagung Davos 1925*, S. 260.
- Kürsteiner: *Jahrbuch d. Schweizer Alpenclubs* Bd. 58, S. 210. 1923.
- Langlois, J. P., et L. Binet: *Presse méd.* Bd. 29, S. 166. 1925.
- Laquer, Fr.: (1) *Klin. Wochenschr.* 1924, Nr. 1, S. 7.
— (2): *Zeitschr. f. Biol.* Bd. 70, S. 99. 1919.
— (3): *Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol.* Bd. 203, S. 35. 1924.
— (4): *Zeitschr. f. Biol.* Bd. 70, S. 118. 1919.
- Laubender, W. (1): *Biochem. Zeitschr.* Bd. 162, S. 459. 1925.
— (2): *Biochem. Zeitschr.* Bd. 165, S. 427. 1925.
- Lewinstein, G.: *Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol.* Bd. 65, S. 278. 1896.
- Liljestränd und Stenström: *Skandinav. Arch. f. Physiol.* Bd. 39, S. 167. 1920.
- Liebesny, P.: *Schweiz. med. Wochenschr.* 1922, S. 431.
- Lippmann: *Klin. Wochenschr.* 1926, Nr. 32.
- Loewy (1): *Allgemeine Klimatophysiologie und Physiol. des Höhenklimas. Handb. d. Balneologie, Klimatologie usw.* Bd. 3. 1924.
— (2): *Respiration und Zirkulation in verdünnter usw. Luft.* Berlin 1895.
— (3): *Berlin. klin. Wochenschr.* 1912, Nr. 3.
— (4) (mit Constam, Ernst, Schmid, Blaschko): *Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol.* Bd. 207, S. 632. 1925; *Ergebn. d. Physiol.* Bd. 24, S. 216. 1925.
— (5): *Klin. Wochenschr.* 1925, Nr. 17.
— (6): *Jahresber. über die ges. Physiol.* 1920, S. 188.
- Loewy und Dorno: *Ann. d. Schweiz. Ges. f. Balneol. u. Klimatol.* Bd. 20. 1925; *Strahlentherapie* Bd. 20. 1925.
- Loewy und Förster: *Biochem. Zeitschr.* Bd. 145, S. 318. 1924.
- Loewy und Knoll: *Zeitschr. f. Hyg. u. Infektionskrankh.* Bd. 104, S. 738. 1925.
- Loewy und Mayer: *Klin. Wochenschr.* 1926, Nr. 27.
- Loewy und Plesch: *Berlin. klin. Wochenschr.* 1911, Nr. 14.
- Loewy und Richter: *Virchows Arch. f. pathol. Anat. u. Physiol.* Bd. 145, S. 49.
- Loewy und Schrötter (1): *Wien. med. Wochenschr.* 1925, Nr. 27.
— (2): Noch nicht veröffentlicht.
- Lüscher, E.: *Schweiz. med. Wochenschr.* 1923, Nr. 21.
- Meyer, C. F.: *Inaug.-Diss.* Basel 1900.
- Meyer, H.: *Dtsch. meteorol. Z.* Bd. 2. 1885; Bd. 4. 1887.
- Millikan, R. A.: *Zit. bei Kolhörster und Amer. nat. acad. of sciences* 1925.
- Moog, R.: *Cpt. rend. des séances de la soc. de biol.* Bd. 73, S. 131. 1912.
- Morawitz, P.: *Arch. f. exp. Pathol. u. Pharmakol.* Bd. 60, S. 298.
- Morpurgo: *Verhandl. d. Davoser klimatol. Tagung 1925*, S. 336. Basel 1926.
- Mosso: *Der Mensch auf den Hochalpen.* Kap. 6. Leipzig 1899.

- Mosso und Galeotti: Atti d. reale accad. dei Lincei, rendiconti, Bd. 13, II, S. 3. 1904.
- Nakao, H.: Biochem. Zeitschr. Bd. 163, S. 161. 1925; hier Literaturhinweise.
- Pincussen, L. (1): Biochem. Zeitschr. Bd. 150, S. 360. 1924.
- (2): Biochem. Zeitschr. Bd. 161, S. 62. 1925.
- (3): Strahlentherapie Bd. 18, S. 625. 1924; hier Hinweise auf die einzelnen Arbeiten.
- Porges und Adlersberg: Zeitschr. f. d. ges. exp. Med. Bd. 45, S. 169. 1925.
- Plaut und Wilbrand: Zeitschr. f. Biol. Bd. 74. 1921.
- Popescu - Inotesti und Gabriel: Zentralbl. f. inn. Med. Bd. 45, Nr. 12. 1924.
- Rengger - Perlmann: Arch. f. Konstitutionslehre. 1927.
- Rohrer, Fr.: Ann. d. Schweiz. Ges. f. Balneol. u. Klimatol. Bd. 17. 1922.
- Rosin, A.: Beitr. z. pathol. Anat. u. z. allg. Pathol. Bd. 76. 1926.
- Rothmann: Klin. Wochenschr. 1923, Nr. 10 u. 37/38; Zeitschr. f. d. ges. exp. Med. Bd. 36. S. 398. 1923.
- Ruppanner, E.: Verhandl. d. Schweiz. naturforsch. Ges. 1920, Teil II, S. 147.
- Ryffel: Journ. of physiol. Bd. 39. 1910.
- Schneider, E. C.: Americ. Journ. of physiol. Bd. 65, S. 107. 1923.
- v. Schroetter, H. (1): Wien. med. Wochenschr. 1902.
- (2): Ergebn. d. Physiol. Bd. 24. 1925.
- (3): Verhandl. d. klimatol. Tagung in Davos 1925. Basel 1926.
- (4): Strahlentherapie Bd. 11, S. 605. 1920.
- v. Schubert: Dtsch. med. Wochenschr. 1926, Nr. 22.
- Schultz, P.: Cpt. rend. des séances de la soc. de biol. 1925, S. 1005 u. 1008.
- Somervell: Journ. of physiol. Bd. 60, S. 282. 1925.
- Sonne, C. (1): Verhandl. d. klimatol. Tagung in Davos 1925. Basel 1926; und Strahlentherapie Bd. 20.
- (2): Acta med. scandinav. Bd. 54, IV, S. 336. 1921.
- Stäubli, C.: Zeitschr. f. Balneol. Bd. 3, Nr. 19—23. 1910/11.
- Stern, E. (1): Klin. Wochenschr. 1925, Nr. 21.
- (2): Dtsch. med. Wochenschr. 1926, Nr. 8.
- Strohl: Zentralbl. f. Physiol. Bd. 24, S. 98. 1910.
- Takeuchi: Journ. of physiol. Bd. 60, S. 208. 1925.
- Vacek, T.: Biol. Veröffentl. d. Veterinärhochschule in Brünn Bd. 4, S. 5. 1925 (tschechisch).
- Verhandlungen der klimatologischen Tagung in Davos 1925. Basel 1926.
- Viale, G. (1): Arch. di fisiol. Bd. 21, S. 39. 1923.
- (2): Atti d. reale accad. dei Lincei, rendiconti Bd. 33, S. 290. 1924.
- Vincent: Nouvelles recherches sur la temper. climatol. Bruxelles 1907.
- Vogt, A.: Schweiz. med. Wochenschr. Bd. 56, S. 341. 1926.
- Warburg, O.: Zeitschr. f. physiol. Chemie Bd. 59, S. 112.
- Weber, H.: Ziemss. Handbuch der allgemeinen Therapie. Leipzig.
- Weber: Zeitschr. f. Biol. Bd. 70, S. 131. 1920.
- Weichardt, W.: Wien. klin. Wochenschr. 1924, Nr. 29 u. 30. Ferner: Ergebn. d. Hyg., Bakteriell., Immunitätsforsch. u. exp. Therapie Bd. V, S. 277, 1922 und Zeitschr. f. Hyg. u. Infektionskrankh. Bd. 104, S. 145. 1925.
- Wigand, A.: Verhandl. d. klimatol. Tagung in Davos 1925. S. 100. Basel 1926.
- Winternitz, W.: Die Hydrotherapie. S. 137. Wien 1890.
- Zuntz, Loewy, Müller, Caspari: Höhenklima und Bergwanderungen. S. 462. Berlin 1906.