universität innsbruck
Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

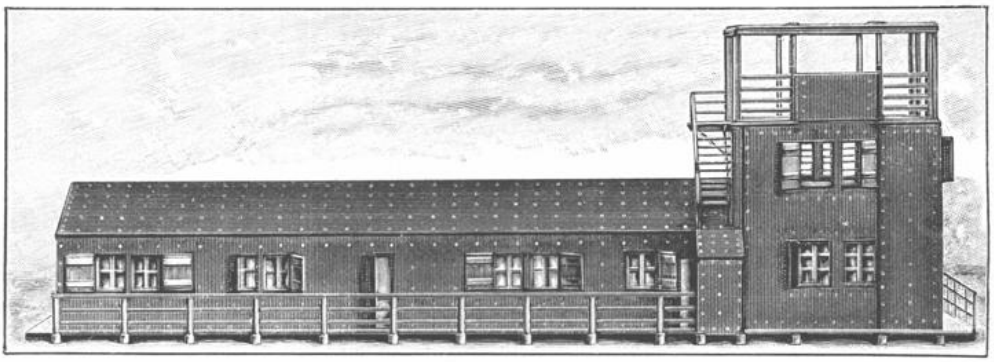
Höhenklima und Bergwanderungen in ihrer Wirkung auf den Menschen

Zuntz, Nathan

Berlin, 1906

Kapitel III. Leitende Gesichtspunkte unserer Untersuchungen

urn:nbn:at:at-ubi:2-5969



Capanna Regina Margherita, 4560 m ü. M.

Kapitel III.

Leitende Gesichtspunkte unserer Untersuchungen.

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

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

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

Die mechanische Bedeutung der Luftverdünnung. Diese wird in neuerer Zeit meist nicht hoch eingeschätzt; man sagt sich, daß der Druck der Luft, allseitig wirkend, keine mechanischen Effekte ausüben könne. Jedenfalls sind grobe derartige Wirkungen, wie man sie früher für möglich hielt, nicht mehr ernstlich diskutierbar. Früher dachte man, die Luftverdünnung beim Übergang in die höheren Regionen der Atmosphäre wirke ähnlich wie Schröpfköpfe oder Verdünnung der Luft in einem Metallzylinder, welcher ein Glied luftdicht einschließt. Blutungen der Schleimhäute im Hochgebirge und mehr noch bei Ballonfahrten hat man auf solche mechanischen Einwirkungen, auf ein Ansaugen des Blutes nach der Haut und den Lungen beziehen wollen. Man beachtete dabei nicht genügend, daß die Änderungen des Luftdrucks alle inneren und äußeren Oberflächen des Körpers gleichmäßig treffen. So wenig wie die Flüssigkeit in einem Manometer ihren Stand ändert, wenn man über beiden Schenkeln die Luft verdünnt oder komprimiert, so wenig ändert sich der Druck, mit welchem das Blut in unsere Haut- oder Lungengefäße eintritt, wenn gleichzeitig alle inneren und äußeren Oberflächen des Körpers einer Änderung des Luftdrucks ausgesetzt werden. Nur wo Gase in inneren Organen eingeschlossen sind und nicht frei mit der Atmosphäre kommunizieren, können sie bei raschen Druckänderungen mechanische Wirkungen ausüben. Sehr grob treten solche Erscheinungen der Volumänderung von Gasen mit Änderung des Druckes an der geschlossenen Schwimmblase der Tiefseefische in die Erscheinung. Die Ausdehnung der Schwimmblase kann beim raschen Emporziehen der Fische so bedeutend werden, daß der ganze Körper zu einer unförmigen Kugel anschwillt oder gar platzt. In anderen Fällen drängt die sich mächtig dehnende Schwimmblase den Magen und andere Eingeweide zum Maule heraus. Hier handelt es sich aber auch um Druckdifferenzen von vielen Atmosphären. Am bekanntesten unter den analogen Erscheinungen beim Menschen sind die manchmal heftigen Schmerzen in der Paukenhöhle, bedingt durch Spannung des Trommelfells nach innen oder außen bei starker Luftdruckänderung, wie sie Caissonarbeiter und Taucher bei ihrer Arbeit treffen; auch bei Ballonfahrten können diese Wirkungen recht unangenehm sein, und in geringem Maße machen sie sich auf steil ansteigenden Zahnradbahnen im Gebirge bemerkbar. Der Gesunde kann die genannten Spannungserscheinungen leicht beseitigen, indem er durch eine Schluckbewegung die gewöhnlich aneinanderliegenden Wandungen der Ohrtrompete zum Klaffen bringt. Aber auch wo der Weg zwischen Rachen- und Paukenhöhle, sei es infolge von Schleimansammlung in der Ohrtrompete, sei es durch Schwellung

Tiefseefisch nach schnellem Emporziehen.

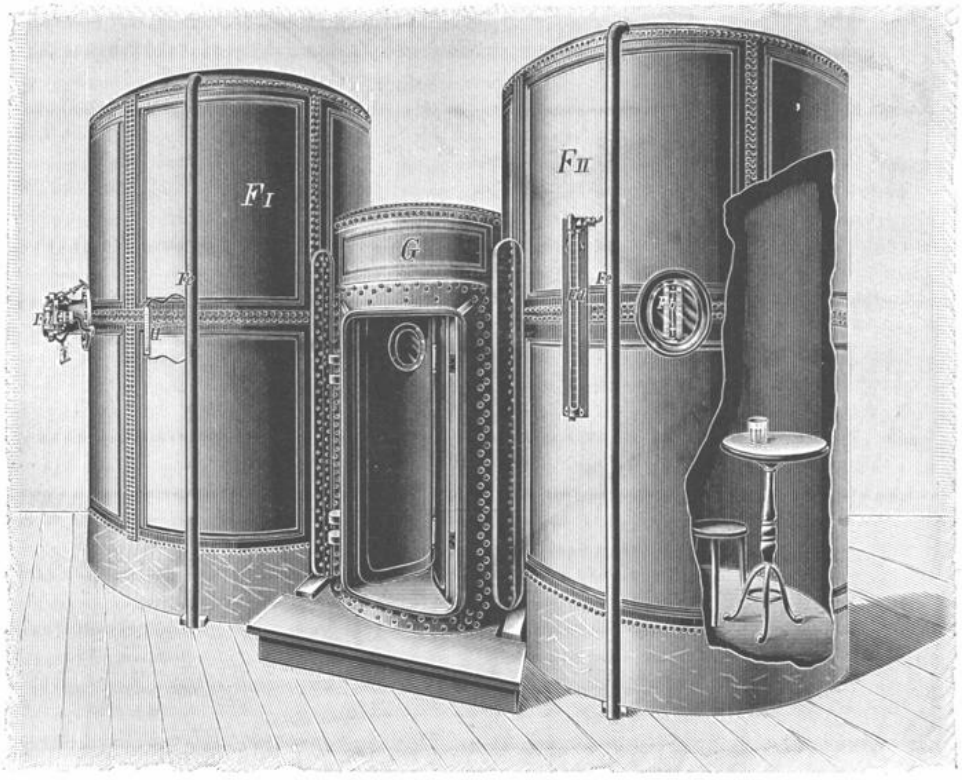
ihrer Schleimhaut derart verlegt ist, daß der Schluckakt ihn nicht freimachen kann, gleicht sich die Spannung doch allmählich aus, indem das Blut, welches in den Wandungen der Paukenhöhle strömt, Gase absorbiert oder abgibt.

Wirkung der Luftdruckänderung auf die Darmgase. Teils durch Absorption, teils durch die natürlichen Kommunikationen nach außen, durch Mund und After, können sich, wie man gewöhnlich annimmt, die Volumänderungen bald ausgleichen, welche die Darmgase in verdünnter Luft erfahren. Die Ausdehnung der Magen- und Darmgase infolge der Abnahme des Luftdrucks führt zu einem Empordrängen des Zwerchfells und dadurch zu einer Erschwerung der Atmung, deren Bedeutung in Kapitel XI noch erörtert werden soll. Hier sei nur der Umstand betont, welchen man bisher vielfach außer acht gelassen hat, daß im Gegensatz zum Paukenhöhlengas, welches sich, wie gesagt, schnell dem veränderten Luftdruck anpaßt, die Volumzunahme der Darmgase in verdünnter Luft nicht schnell vorübergeht. Der größte Teil dieser Gase entsteht durch Gärungsprozesse im Darm selbst, und der Füllungsgrad des Darmes hängt von dem Verhältnis dieser Gasentwickelung zur Abfuhr der Gase ab, welch letztere hauptsächlich durch Aufnahme ins Blut und Abdünstung aus diesem in den Lungen erfolgt.[59]) Solange die Gärungs- und Aufsaugungsprozesse unverändert bleiben, ist auch die Masse der Darmgase, d. h. ihr Gewicht dasselbe, ihr Volum aber in demselben Verhältnis vergrößert, wie der Luftdruck abgenommen hat. Ihre Aufsaugung ist aber in verdünnter Luft erschwert, denn die Absorption eines Gases durch eine Flüssigkeit (hier das Blut) erfolgt dem Drucke proportional, nimmt also beim Sinken desselben ab. Wir werden daher in verdünnter Luft auf längere Dauer der stärkeren Darmblähung und ihrer Wirkung auf den Stand des Zwerchfells rechnen müssen.

Abnahme der Vitalkapazität in verdünnter Luft. Daß beim Übergange eines Menschen vom gewöhnlichen Luftdruck in verdünnte Luft das Zwerchfell emporrückt, das mittlere Lungenvolumen dadurch ein geringeres wird, ist eine allgemein anerkannte Tatsache. Wir und andere haben sie ebensowohl beim Aufenthalt im pneumatischen Kabinett (siehe nebenstehende Abbildung), dessen Luft durch Maschinenkraft verdünnt wurde, gefunden, wie im Hochgebirge und bei Ballonfahrten. Mißt man unter solchen Umständen die Luftmengen, welche ein Mensch nach tiefster Einatmung aus seiner Lunge herauspressen kann, die sog. Vitalkapazität, so ist dieselbe erheblich, um 200—1100 ccm, verkleinert. Diese Verkleinerung wurde nach dem Übergange aus der Ebene in Berghöhen von 1600 m und darüber von Schumburg und Zuntz,[53]) sowie von Loewy[28]) und seinen Mitarbeitern mehrere Tage lang beobachtet. Ob diese Abnahme der Lungenfüllung durch die Blähung der Darmgase im wesentlichen bedingt ist oder ob auch andere Momente dabei mitwirken, ist noch strittig.

Eine eigenartige Erklärung für die Abnahme der Vitalkapazität in verdünnter Luft hat Aron[1]) gegeben. Er hat durch Messungen des „intrapleuralen Druckes“ unsere Kenntnisse über die mechanischen Wirkungen der Luftverdünnung bereichert. Bekanntlich sind die Lungen während des Lebens ständig über ihre natürliche Gleichgewichtslage ausgedehnt und der auf ihre Innenfläche wirkende Luftdruck erhält

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



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

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

während der Einatmung 5.7 mm bei normalem Druck, 3.1 mm bei $^1/_2$ Atmosphäre
„ „ Ausatmung 2.6 „ „ „ „ 0.8 „ „ $^1/_2$ „

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

die Ursache desselben aus. Die von Aron[2]) gemachte Annahme, in der Pleurahöhle befände sich Luft, die beim Sinken des Außendruckes sich dehne und so den Lungenraum verkleinere, könnte zwar die Tatsache erklären, entbehrt aber jeder objektiven Stütze. Öffnet man die Pleurahöhle eines normalen eben getöteten Tieres unter Wasser, so steigt auch nicht die kleinste Luftblase auf. Wenn aber die Erklärung von Aron richtig wäre, müßte eine erhebliche Luftmenge im Pleuraraume vorhanden sein. Sollte beispielsweise eine Abnahme der Vitalkapazität eines Menschen um 200 ccm bei Absinken des Druckes um $^1/_4$ Atmosphäre im Sinne Arons erklärt werden, so müßte jede Pleurahöhle normalerweise 400 ccm Luft enthalten!

Die Frage, ob Luft in den geschlossenen Pleuraraum ohne Verletzung der Lungenoberfläche gelangen könne, ist von J. R. Ewald und Kobert[12]) untersucht worden. Sie bliesen Tieren unter hohem Drucke, wie er etwa bei stärkstem Pressen und Husten entwickelt wird, Luft in die Lungen ein. Wenn diese Prozedur eine Stunde lang fortgesetzt wurde, konnte man erheblichere Luftmengen sowohl im Pleuraraum, als auch im Herzblute nachweisen. Verfasser schließen selbst aus ihren Versuchen, daß die Bedingungen des Eintritts von Luft in den Pleuraraum beim Lebenden nur ganz ausnahmsweise erfüllt werden. Falls es aber geschehe, werde die eingetretene Luft durch das zirkulierende Blut bald wieder resorbiert und die Luftleere des Pleuraraumes hergestellt. In der Tat dürften die vielfach von Physiologen und Chirurgen wiederholten Versuche, welche das schnelle Verschwinden eingepreßter Luft aus dem Pleuraraum dartun, ein starkes Argument gegen Aron sein.

Kroneckers Erklärung der mechanischen Wirkungen verdünnter Luft. Kronecker[21]) unterwirft die Hypothese Arons einer scharfen Kritik, der wir, dem eben Gesagten zufolge, nur zustimmen können. Aber auch er erklärt die Wirkung der verdünnten Luft, soweit es sich um das Lungenvolumen handelt, in der Hauptsache nicht aus der Blähung der Darmgase, vielmehr nimmt er an, es führe die Luftverdünnung zu Blutstauungen im Lungenkreislaufe und diese seien auch die wesentliche Ursache der Erscheinungen der Bergkrankheit. Kronecker bekämpft die auch von uns anerkannte und später noch ausführlicher zu begründende Ableitung dieser Krankheit aus dem Mangel an Sauerstoff.

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

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

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

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

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

Mit Recht betont aber Regnard,[38]) daß schon ganz mäßige Temperaturschwankungen stärkere Volumänderungen bewirken als die größten in Betracht kommenden Änderungen des Luftdruckes. Ähnliche Erwägungen machen es uns unwahrscheinlich, daß die geistvollen Ausführungen Liebreichs[25]) über die Wirkung, welche die Abnahme der Schwere mit der Höhe auf den Organismus haben könnte, für die Erklärung der Höhenwirkungen ernstlich in Betracht kommen. Wäre dies der Fall, so müßte jede Annäherung zum Äquator um etwa 9 Breitegrade, also etwa eine Reise von Hamburg nach Turin, ebenso wirken, wie ein Aufstieg um 4000 m, da die Abnahme der Schwere in beiden Fällen gleich groß ist.

---

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

Wir dürfen die vorstehenden Überlegungen wohl dahin resumieren, daß die erörterten mechanischen Wirkungen der Höhe, falls sie überhaupt von Bedeutung sind, unser Befinden nur unwesentlich beeinflussen können und daher gegen die chemischen, bedingt durch die Verminderung der Sauerstoffmenge, welche mit einem bestimmten Luftvolum eingeatmet wird, in zweite Linie zu stellen sind. Die chemischen Veränderungen der Atmosphäre sind denn auch namentlich von Paul Bert[5]) in seinem umfassenden Werke: „La Pression barométrique" in ihren Beziehungen zu den krankmachenden Einflüssen des Hochgebirges, zur Bergkrankheit, eingehender studiert worden.

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

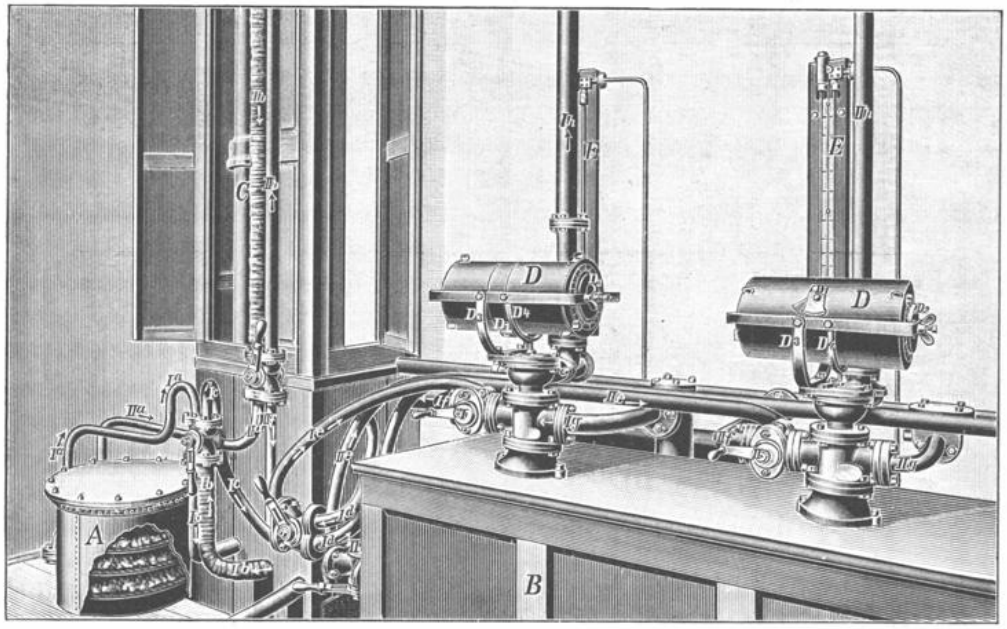
Darüber, was in bezug auf die Oxydationsprozesse im menschlichen Körper die Luftverdünnung als solche bei kürzerer Einwirkung macht, lag uns, abgesehen von den in diesem speziellen Punkte etwas mangelhaften Versuchen Paul Berts,[5]) eine große Untersuchung von A. Loewy[27]) vor, welche gewissermaßen den Anfang unserer Studien auf diesem Gebiete darstellt. Trotzdem hielten wir es für nötig, vor Beginn der Hochgebirgsstudien an uns selbst nochmals den Effekt der reinen Luftverdünnung zu studieren und zu diesem Behufe Versuche im pneumatischen Kabinett zu machen.

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

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

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

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



Mechanismus der Druckregulation im pneumatischen Kabinett.

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

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

absehen, gibt der lebende Organismus des Menschen und der Tiere in zwei Formen beständig Kräfte nach außen ab, in der Form mechanischer Arbeit und in der von Wärme. Die Erkenntnis, daß diese Kräfte aus der Umwandlung chemischer Spannkraft hervorgehen, verdanken wir den Ideen und Experimenten von Lavoisier, welcher die Ähnlichkeit der im Körper sich abspielenden chemischen Vorgänge mit der Verbrennung erkannte und dartat, daß brennbare organische Stoffe im lebenden Organismus sich in ganz ähnlicher Weise wie bei der Verbrennung im Ofen mit dem Sauerstoff der Luft vereinigen, wobei der Kohlenstoff dieser Verbindungen im wesentlichen zu Kohlensäure, der Wasserstoff zu Wasser wird. Im Verein mit Laplace maß Lavoisier die vom Tierkörper abgegebene Wärme und gleichzeitig die Sauerstoffmenge, welche das Tier aufnahm. Die abgegebene Wärme stimmte annähernd überein mit derjenigen, welche die gleiche Sauerstoffmenge bei Verbrennung von Fett in einer Lampe erzeugt hatte. — Es bedurfte übrigens fast eines Jahrhunderts angestrengter Arbeit in Erforschung der chemischen Bestandteile des Körpers und ihrer Umwandlungen und in Verfeinerung der Meßmethoden, ehe die Idee Lavoisiers als festbegründete Tatsache dastand.

Antoine Laurent Lavoisier.

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

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

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

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

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

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

In den technisch mustergültigen Versuchen von Regnault und Reiset[39]) war zwar meist der Stickstoffgehalt des Atemraumes am Schlusse etwas größer, oft aber wurde er auch vermindert gefunden. Hierdurch wird es in hohem Maße wahrscheinlich, daß es sich bei den Schwankungen des Stickstoffgehalts im Atemraume um Versuchsfehler handelt, welche wohl im wesentlichen daraus resultieren, daß es unmöglich ist, in einem Raume, in welchem ein lebendes Tier sich befindet, die wahre Durchschnittstemperatur und damit auch die genaue Menge des vorhandenen Gases zu bestimmen. Auch bei den Versuchen von Seegen und Nowak[47]), welche mit noch größerer Bestimmtheit für eine Abgabe gasförmigen Stickstoffs zu sprechen schienen, konnten Pettenkofer und Voit[32]) eine Anzahl Fehler nachweisen, welche wahrscheinlich diese Ausscheidung gasförmigen Stickstoffs vortäuschten. Später führte denn auch Leo[24]) unter Pflügers Leitung Versuche an Kaninchen durch, in welchen der Stickstoffgehalt der Atemluft so gut wie vollkommen unverändert blieb. Die gleichen Resultate erzielte Tacke in unserem Laboratorium und in jüngster Zeit hat Dr. Karl Oppenheimer eine größere Reihe noch nicht publizierter Versuche mit einem verbesserten Apparat nach dem Prinzip von Regnault-Reiset durchgeführt, welche ebenfalls keine Vermehrung des Stickstoffs der Atemluft aufweisen.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Diese einfache Beziehung der Wärmeproduktion zum respiratorischen Quotienten gilt nicht mehr, wenn mit der Nahrung längere Zeit hindurch mehr Kohlehydrate zugeführt werden, als der Organismus zur Bestreitung seiner Leistungen braucht; dann wird der unverbrauchte Teil derselben in Fett umgewandelt. Hierbei muß ein in den Kohlehydraten enthaltener Überschuß an Sauerstoff eliminiert werden. Das geschieht, indem er sich mit Wasserstoff und Kohlenstoff zu Wasser und Kohlensäure verbindet. Dann entsteht also Kohlensäure, ohne daß gleichzeitig Sauerstoff eingeatmet wird, der resp. Quotient kann größer als 1.0 werden. Bleibtreu[6]) fand bei genudelten Gänsen Werte bis 1.34. Im umgekehrten Sinne ändert sich der Quotient, wenn die Nahrung der Kohlehydrate entbehrt, es wird dann im Zustande absoluter Ruhe neues

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

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

Kohlehydrat im Körper und zwar wahrscheinlich aus Fett (Pflüger[37]) gebildet und bei der Arbeit wieder verbraucht. Der resp. Quotient kann unter diesen Umständen bis auf 0.64, vielleicht noch tiefer sinken. [Vergl. Lehmann und Zuntz[23]), Magnus-Levy[24b])].

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

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

Ferner wurde durch messende Versuche dargetan, daß der Sauerstoffverbrauch eines Menschen oder Tieres sich nicht nennenswert ändert, wenn beträchtliche Mengen Alkohol aufgenommen und dem eben Gesagten zufolge im Körper verbrannt werden. Daraus folgt, daß der Alkohol nicht neben unverändert bleibenden Mengen der anderen Nährstoffe im Organismus verbrannt wird, sondern daß bei seiner Oxydation eine entsprechende Menge anderer Nährstoffe gespart wird. Über diese Sparwirkung ist in den letzten Jahren viel diskutiert worden, weil die Gegner des Alkoholgenusses auch den Umstand für ihre Bekämpfung dieses Genußmittels ins Feld führen, daß es kein Nährstoff sei, also nur Giftwirkungen im Körper entfalte. Daß der Alkohol Giftwirkungen entfalten kann, wissen wir alle, aber das schließt in keiner Weise die Richtigkeit des einwandfrei geführten Nachweises aus, daß er auch ein Nährstoff ist, der, wenn er zur Verbrennung kommt, eine entsprechende Menge anderer Nährstoffe dem Organismus spart. Es ist dies ein Umstand, welcher für den gesunden Menschen ja ziemlich gleichgültig ist, dagegen ernstlich in Betracht kommt, wo es gilt, Kranken, welche die normalen Nahrungsmittel nicht mehr in ausreichender Menge aufnehmen können und dadurch in Gefahr des Verhungerns sind, einen Zuwachs an Nahrung zu schaffen. Es gelingt oft genug, solchen Kranken ohne erhebliche Beschwerden mehr als $^1/_4$ ihres gesamten Nährstoffbedarfs in Form zweckmäßig verteilter kleiner Mengen Alkohol zuzuführen. Daß diese Alkoholmenge eine entsprechende Menge anderer Nährstoffe spart, geht aber nicht nur aus dem Gleichbleiben der Sauerstoffaufnahme, sondern noch überzeugender aus der Messung der Wärmeabgabe des Körpers hervor.

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

Der erste, der solche Versuche an Tieren wirklich einwandfrei durchführte, war Rubner[44]). Er experimentierte an Hunden im Hungerzustande, bei einseitiger Ernährung mit Eiweiß, und bei einer aus Fett und Eiweiß gemischten Kost. In allen Fällen wurde aus der Stickstoffausscheidung in Harn und Kot und durch Messung der mit der Atmung ausgeschiedenen Kohlensäure bestimmt, wieviel Eiweiß und wieviel Fett im Organismus umgesetzt wurde, und die diesem Umsatz entsprechende Wärmebildung berechnet. Sie stimmte innerhalb der unvermeidlichen Fehlergrenze mit der faktisch vom Tier abgegebenen Wärmemenge überein.

In viel größerem Umfange und bei sehr verschiedener Ernährungsweise wurden an Menschen solche Versuche mit einem noch vollkommeneren Apparate von Atwater und Benedict[8]) ausgeführt. Ihr Apparat ist so eingerichtet, daß Menschen tagelang sich in ihm aufhalten und auch Arbeitsleistungen durch Treten eines zweiradartigen stabilen Instrumentes leisten können. Alle Bedürfnisse werden durch zweckmäßig eingerichtete Schleusen in den Apparat hineingeschafft. Überdies wird die Verbindung mit der Außenwelt durch Telephon unterhalten. In diesem Apparat haben die genannten Forscher die Wärmeproduktion von Menschen unter verschiedenen Lebensbedingungen und bei verschiedener Ernährungsweise gemessen und unter anderen auch eine große Anzahl von Versuchen ausgeführt, in welchen eine Reihe von Tagen normaler Ernährung ohne Alkohol mit solchen verglichen wurde, an welchen eine bestimmte Menge Fett oder Kohlehydrate aus der Nahrung weggelassen und dafür so viel Alkohol verabreicht wurde, daß die Verbrennungswärme desselben der des weggelassenen Nahrungsbestandteiles gleichkam. Es zeigte sich nun, daß unter diesen Umständen die Wärmeproduktion des Individuums vollkommen unverändert blieb, nicht nur, wenn dasselbe sich möglichst der körperlichen Ruhe befleißigte, sondern auch in jenen Versuchen, in welchen auf dem gebremsten Zweirad kräftige Arbeit während eines Teiles des Tages geleistet wurde. Man wird geneigt sein, aus diesen Versuchen den Schluß zu ziehen, daß der Alkohol nicht nur als Wärmeerzeuger die übrigen Nährstoffe vollwertig vertreten kann, sondern daß dasselbe auch gilt für die Verwendung der Nährstoffe zur Muskelarbeit. Der letztere Schluß ist freilich nicht einwandfrei. Im Verhältnis zur gesamten Wärmeproduktion des Tages ist in all diesen Versuchen der dem Alkohol entstammende Anteil ziemlich klein. Er beträgt meist kaum $^1/_8$ der gesamten Wärmeproduktion. Da nun von der ganzen Kraftausgabe des Menschen auch bei starken Arbeitsleistungen die größere Hälfte immer auf Wärme entfällt, so ist jedenfalls bei diesen Versuchen noch die Annahme gerechtfertigt, daß der Alkohol nur einen Teil der Nährstoffe, welche sonst zur Wärmeproduktion dienen, ersetzt habe, daß er aber nicht fähig sei, unseren Muskeln Arbeitsleistungen zu ermöglichen.

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

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

setzung einhergehen. Wenn man, wie das durch A. Fick,[14]) Heidenhain,[19]) Magnus Blix[7]) u. a. geschehen, gleichzeitig die Größe der durch Verkürzung geleisteten Arbeit und die Menge der entstandenen Wärme mißt, kommt man zu der Erkenntnis, daß bei jeder Muskelarbeit der größere Teil der aus dem Stoffumsatz freiwerdenden Energie Wärme wird, nur ein kleinerer Teil mechanische Arbeit leistet. Unter den günstigsten Umständen wurden etwa 40% der umgesetzten Kraft zu mechanischen Zwecken verwendet, 60% gingen als Wärme nach außen.

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

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

Eine weitere für die Beurteilung des Stoffwechsels bei Arbeit wichtige Tatsache, welche sich aus diesen Versuchen ergibt, ist die, daß die Kohlensäureausscheidung in der Regel in genau dem gleichen Verhältnis wie die Sauerstoffaufnahme erhöht ist, so daß der respiratorische Quotient bei der Arbeit derselbe bleibt, wie in der Ruhe. Nur wenn die Arbeit eine übermäßige wird oder wenn die Sauerstoffzufuhr zu den tätigen Muskeln dem Bedarf nicht entspricht, was wir z. B. durch leichte Umschnürung eines arbeitenden Gliedes leicht bewirken können, oder auch dadurch, daß wir die Atemluft ärmer an Sauerstoff machen — nur in diesen Fällen ist die Kohlensäureausscheidung mehr gesteigert als die Sauerstoffaufnahme. Der respiratorische Quotient steigt also (Loewy[26])[27]). Es erinnert dieses Verhalten an das vorher geschilderte des aus dem Körper ausgeschnittenen und also der Blutzufuhr beraubten Muskels. Ein solcher liefert, auch wenn er in sauerstofffreier Luft arbeitet, dennoch erhebliche Mengen Kohlensäure. Wir müssen hieraus folgern, daß sich im Muskel eine gewisse Menge Material befindet, welches ohne Sauerstoffzufuhr durch seine Zersetzungen Kohlensäure, Kraft und Wärme liefert, daß aber dieses Material nach einiger Zeit verbraucht ist, wenn nicht für Ersatz gesorgt wird.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Es ist nun aber ferner nötig, daß wir nachweisen, wieviel von dem Kohlenstoff und Wasserstoff des Eiweißes mit dem Stickstoff und Schwefel in die greifbaren Ausscheidungen übergeht, wieviel davon zu Wasser und Kohlensäure verbrannt und ausgeatmet wird. Wir müssen ferner wissen, wieviel Sauerstoff für den Ablauf dieser Umsetzungen durch die Atmung aufgenommen werden muß. Diese Daten lassen sich gewinnen, wenn wir von der Eigenschaft der fleischfressenden Tiere Gebrauch machen, sich mit Eiweiß allein nähren zu können. Pflüger[33]) hat einen arbeitenden Hund monatelang mit magerstem Fleisch gefüttert und dadurch den Beweis geliefert, daß das Eiweiß nicht nur für die Erhaltung des ruhenden Körpers, sondern auch für die Bestreitung sehr erheblicher Arbeitsleistungen dienen kann. In anderen Worten: daß das Eiweiß für sich allein alle Leistungen des Körpers erfüllt. Das gilt für keinen anderen Nährstoff, denn wenn man Fette oder Kohlehydrate in noch so großen Mengen verfüttert, zersetzt der Organismus doch immer gleichzeitig auch Eiweiß, das er in diesem Falle durch Abbau seiner Organe gewinnt.

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

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

Die brennbare Substanz des Fleisches besteht auf 100 g aus

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

davon finden sich nach Frentzel und Schreuer[17]) wieder

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

Aus diesen letzteren Mengen werden, unter Aufnahme von 138.18 g O mit Hilfe der Atmung, 152.17 g CO_2 und 39.6 g H_2O gebildet. Dem Volumen nach sind das 77.39 l CO_2, die ausgeschieden werden, 96.63 l O, die aufgenommen werden. Wir haben daher bei ausschließlicher

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

Wir geben die Berechnung auf Grund der von Frentzel und Schreuer[17]) ausgeführten Bestimmungen. Im Mittel ihrer und der von Koehler[20]) ermittelten Zahlen liefern:

100 g vollkommen fettfreier Fleischtrockensubstanz mit 16.65 g N . . .	563.09	W. E.
Der daraus resultierende Harn mit 16.28 g N liefert trocken verbrannt .	113.70	„
„ „ „ Kot „ 0.37 „ N „ „ „ .	17.76	„
Den unverbrannt den Körper verlassenden Stoffen entsprechen daher . .	*131.46*	W. E.
Im Organismus werden frei:	**431.63**	„

Auf jedes Gramm im Harn ausgeschiedenen Stickstoffes werden frei $\frac{431.63}{16.28} = 26.51$ W. E.

Auf diese Menge beträgt die Sauerstoffaufnahme . . . . . $\frac{96.63}{16.28} = 5.91$ l O

Auf diese Menge beträgt die Kohlensäureausscheidung . . . . $\frac{77.39}{16.28} = 4.75$ l CO_2

Nun ist nur ein Teil der menschlichen Nahrung Fleisch; bei der von uns während unserer Expedition genossenen Kost etwa die Hälfte der aufgenommenen stickstoffhaltigen Substanzen. Der Rest verteilt sich auf Käse, Kakes, Gemüse und Schokolade; unter diesen enthält der Käse am meisten Eiweiß, wir haben deshalb für ihn auf Grund von Versuchen von Rubner[42]) und von Rubner mit Heubner[43]) die analoge Rechnung durchgeführt und kommen durch Kombination derselben mit obigen Zahlen zu folgenden Näherungswerten:

1 g Stickstoffausscheidung im Harn entspricht

der Einatmung von	5.8 l Sauerstoff
„ Ausatmung „	4.6 l Kohlensäure
„ Erzeugung „	27.0 W. E.

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

*) Wir haben hier der einfacheren Rechnung wegen angenommen, daß aller Schwefel des Eiweißes, zu SO_3 oxydiert, im Harne ausgeschieden werde, was nicht streng richtig ist, da ein Teil in weniger hoch oxydierter Form im Harn, ein kleiner Teil auch in komplizierterer Bindung im Kote ausgeschieden wird. Unter der Annahme, daß $^1/_3$ des Schwefels unoxydiert den Körper verläßt, was für den Menschen etwa zutreffen dürfte, würden statt 138.18 g nur 137.67 g Sauerstoff einzuatmen sein und der resp. Quotient würde statt 0.801 den Wert 0.804 haben.

**) Eine Hilfstabelle zur Erleichterung dieser Rechnung findet sich bei Schumburg und Zuntz[53]), S. 361, Tabelle VII.

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

Wir werden daher bei Berechnung des Stoffverbrauches in Arbeitsperioden keinen großen Fehler begehen, wenn wir annehmen, die Zersetzung des Eiweißes erfolge während des ganzen Tages gleichmäßig, und den Mehrverbrauch an Sauerstoff und die Mehrproduktion an Kohlensäure in den Arbeitsminuten auf die mehr zerfallenden stickstofffreien Nährstoffe beziehen. Wir werden dies besonders dann unbedenklich tun dürfen, wenn die Nahrung, und speziell die Eiweißkörper derselben, in gleichmäßigen Intervallen während des Tages aufgenommen werden. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so ist der Anteil des Eiweißes am Stoffumsatz in den nächsten Stunden nach einer eiweißreichen Mahlzeit wesentlich höher als in den übrigen Stunden des Tages. Das ist namentlich durch Versuche von Feder,[13]) von Oppenheim[30]) und einigen anderen Forschern dargetan, welche den Harn alle ein bis zwei Stunden auffingen und dabei feststellten, daß eine eiweißreiche Mahlzeit die Stickstoffausscheidung so lange erheblich erhöht, wie ihre Verdauung dauert. Die vorher aufgestellte Reihenfolge der Zersetzung der Nährstoffe müssen wir daher dahin ergänzen, daß nach Aufnahme von Eiweiß dieses vor allen anderen Nährstoffen zerfällt; in solchem Maße, daß nach einer sehr eiweißreichen Mahlzeit fast der ganze Bedarf des Organismus durch Eiweiß allein bestritten wird.

Bedingungen der Größe des Eiweißbedarfs. Wir haben in bezug auf die Zersetzlichkeit und Verwendbarkeit zur Kraft- und Wärmeerzeugung scharf zu unterscheiden: zwischen dem mit der Nahrung aufgenommenen Eiweiß und demjenigen, welches Bestandteil der Gewebe und Organe des Körpers ist. Jede Aufnahme von Eiweiß mit der Nahrung hat einen der aufgenommenen Menge annähernd entsprechenden Zerfall von Eiweiß im Körper zur Folge. Dieser Zerfall findet, wie Pflüger und Schoendorff[46]) im Gegensatz zu älteren Auffassungen gezeigt haben, in den Gewebszellen statt. Wenn kein Eiweiß mit der Nahrung zugeführt wird, dauert zwar der Verbrauch desselben auf Kosten der ja im wesentlichen aus Eiweiß bestehenden Gewebe fort, aber in stark vermindertem Umfange. Die Hauptmenge des Kraftbedarfes eines hungernden Organismus wird durch Fett

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

Solange ein hungernder Körper noch ausreichend Fett beherbergt, bestreitet er etwa $^1/_7$ seines ganzen Energiebedarfes durch Zerfall der stickstoffhaltigen Körperbestandteile, $^6/_7$ durch Fettverbrennung. Dieses Verhältnis ändert sich noch etwas zugunsten der Fettbeanspruchung, wenn größere Arbeit geleistet wird.

Man hat hieraus den Schluß gezogen, daß die auch im Hunger zerfallende Eiweißmenge in erster Linie den Verschleiß der Gewebe, die notwendige Abnutzung derselben, darstelle, und sprach in diesem Sinne von einem Eiweißminimum, dessen Zufuhr mit der Nahrung zur Erhaltung des Bestandes des Körpers notwendig sei. Neuere Versuche haben aber gelehrt, daß man den Eiweißzerfall noch wesentlich unter die im Hunger gefundene Größe herabdrücken kann, wenn man, ohne Eiweiß in der Nahrung zu geben, reichlich Kohlehydrate verabreicht, wenn also neben dem Fett auch dieses, wie wir früher gesehen haben, noch leichter der Oxydation anheimfallende Material in großer Menge im Blute zirkuliert. Besonders lehrreich in dieser Hinsicht sind die Versuche von Landergren,[22]) welcher am Menschen mehrtägige Hungerreihen durchführte, wobei im absoluten Hunger etwa 10—15 g Stickstoff täglich zur Ausscheidung kamen. Diese Ausscheidung wurde durch reichlichere Einnahme von Fett bis auf etwa 7 g vermindert, ging dagegen bis auf $3^1/_2$—4 g herunter, wenn einige 100 g Kohlehydrate genossen wurden. Landergren schließt aus diesen Versuchen, daß bei dem Fehlen der Kohlehydrate in der Nahrung täglich eine gewisse Quantität Eiweiß zerfällt, um die unentbehrlichen Kohlehydrate zu erzeugen. Daß aus Eiweiß Kohlehydrate entstehen können, wurde bis in die neueste Zeit allgemein geglaubt. Pflüger[37]) hat jüngst diese Auffassung stark erschüttert, indem er den Beweis lieferte, daß der Tierkörper aus Fetten Kohlehydrate produziert. Die Versuche von Landergren kann man auch so deuten, daß der Organismus normalerweise alle drei Nährstoffkategorien zur Bestreitung der Kraftproduktion heranzieht, daß aber der Anteil des Eiweißes ebenso wie der des Fettes ein um so kleinerer wird, je reichlicher Kohlehydrate zur Verfügung stehen.

Noch niedrigere Zahlen des Eiweißverbrauchs als Landergren beobachtete Caspari[11]) bei einem mehrere Monate umfassenden Versuche an einem Manne, welcher ausschließlich von rohem Obste lebte, mit dieser Nahrung äußerst geringe Mengen Eiweiß, aber ziemlich viel Kohlehydrate, wenn auch nicht bis zur Deckung des Bedarfs, aufnahm. Unter stetem Schwund von Körpereiweiß und -Fett stellte sich bei diesem Manne die Stickstoffausfuhr im Harn auf 2.4—2.8 g täglich ein.

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

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

Frühere Versuche von A. Fränkel[15]) und daran anschließende Untersuchungen von Oppenheim[30]) haben gelehrt, daß bei Sauerstoffmangel unter sonst gleichen Bedingungen mehr Eiweiß zerfällt. Fränkel hatte dies durch Versuche an ruhenden Hunden nachgewiesen, Oppenheim hatte gezeigt, daß Muskelarbeit, wenn sie derartig ausgeführt wird, daß es zu Atemnot kommt, wenn also die Arbeit so groß wird, daß der Sauerstoffbedarf im Moment nicht vollständig gedeckt werden kann, den Eiweißzerfall steigert. Es war daher von besonderem Interesse, wie unter den Bedingungen des Hochgebirges, wo infolge der Luftverdünnung die Sauerstoffzufuhr erschwert ist und wo gleichzeitig hohe Anforderungen in bezug auf Arbeit gestellt werden, der Eiweißzerfall sich gestaltet Bei richtiger Anordnung mußten solche Versuche über die Größe des Eiweißzerfalles unter den verschiedenen Bedingungen der Muskelarbeit und der Höhenwirkung auch Aufschluß darüber geben, wie weit die Annahme berechtigt sei, daß solche Einwirkungen einen erfrischenden und verjüngenden Einfluß auf den Organismus ausüben. Bekanntlich ist der jugendliche Organismus ganz besonders dadurch ausgezeichnet, daß er eine starke Neigung zum Eiweißansatz besitzt, daß also bei ihm leicht die Masse der funktionierenden Organe zunimmt. Auch die Mastversuche an Tieren haben gelehrt, daß bei überschüssiger Ernährung nur jugendliche Tiere Fleisch im eigentlichen Sinne, d. h. Eiweißsubstanz, ansetzen, während ältere Tiere bei überschüssiger Nahrung nur fettreicher werden. Für die Leistungsfähigkeit des Körpers ist aber offenbar das erstere sehr viel wünschenswerter.

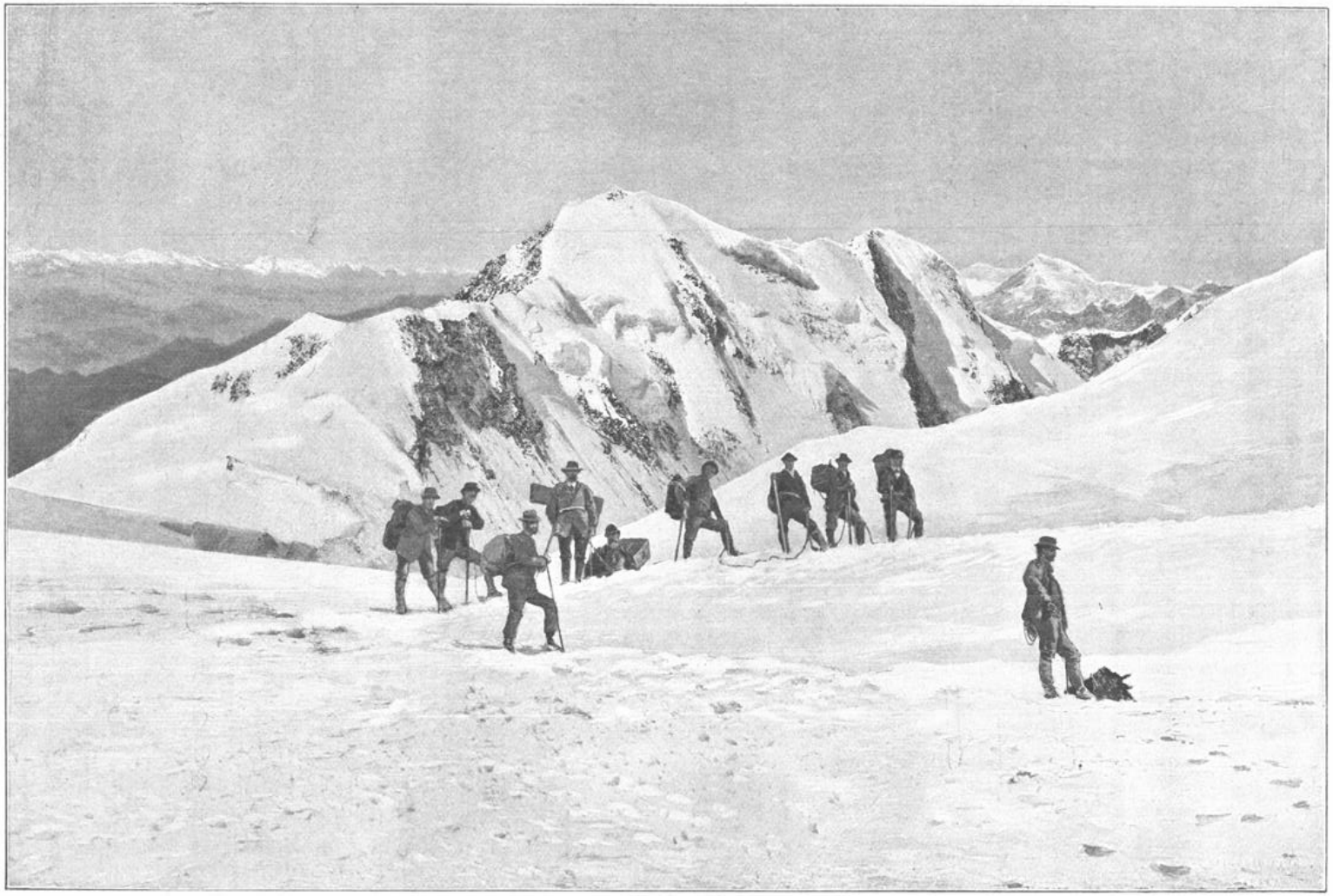
Unsere Aufgaben in bezug auf den Stoffwechsel des Eiweißes. Wir wollten in unseren Versuchen den Einfluß der beiden Faktoren, welche beim Gebirgsaufenthalt in Betracht kommen, auf den Eiweißansatz prüfen: der Muskeltätigkeit einerseits, des Höhenaufenthaltes andererseits. Um nun etwaige Einwirkungen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

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

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

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

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



Unsere Trägerkarawane oberhalb des Lysjochs. Phot. Vittorio Sella, Biella.

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

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

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

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

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

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

Daß ein Teil des Kotes als Ausscheidung des Körpers zu betrachten ist, beweist die Fortdauer seiner Bildung im Hunger. Im Hungerkot scheidet der Mensch täglich 0.1—0.2 g Stickstoff und über 1 g Fett neben großen Mengen von Mineralstoffen aus. Wenn Nahrung genossen wird, nimmt der Stickstoffgehalt des Kotes erheblich zu, auch dann, wenn die Nahrung gar keine stickstoffhaltigen Substanzen enthielt (Fr. Müller,[29]) Tsuboi[48]). Die Tätigkeit des Darmes führt also zur Bildung stickstoffhaltiger Auswurfsstoffe. Andererseits gehen aber auch, wie die mikroskopische Untersuchung des Kotes lehrt, unverdaute Reste der Nahrung in denselben über. Bei grober Pflanzenkost überwiegt der Nahrungsrest gegenüber dem Sekret, bei leicht verdaulicher und vorwiegend animalischer Kost bildet letzteres die Hauptmasse des Kotes.

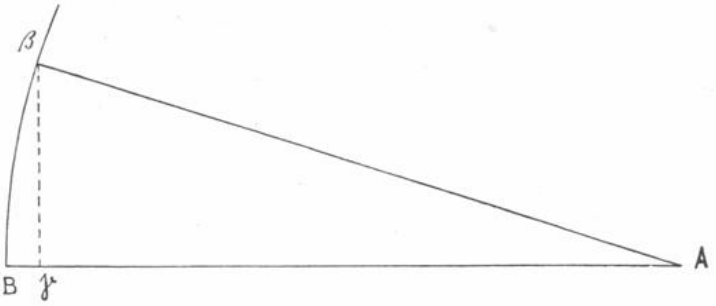
Für die Beurteilung des Einflusses der Muskelarbeit und des Höhenklimas auf den Menschen ist es nun von großer Wichtigkeit, zu wissen, ob diese Faktoren die Kotbildung beeinflussen, d. h. ob die gleiche Kost andere Mengen und andere Zusammensetzungen des Kotes unter diesen Einflüssen liefert. Die Untersuchung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

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

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

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

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



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

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

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

Man spricht im gleichen Sinne vom Nutzeffekt einer Dampfmaschine, indem man die Heizkraft der verfeuerten Kohlen in mkg umrechnet und mit der ebenfalls in mkg gemessenen Arbeit vergleicht, welche die Schwungradwelle auf die Transmissionen überträgt. Die vollkommensten Dampfmaschinen geben nun nur einen Nutzeffekt von etwa $^1/_5$, während die besten Konstruktionen der Explosionsmaschinen der Leistung unseres Körpers nahekommen, indem sie etwa $^1/_3$ der zugeführten Energie in nutzbare Arbeit umsetzen.

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

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

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

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

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

Zur Beurteilung des Verbrauchs aus dem Körpergewicht muß freilich erwogen werden, ob nicht etwa letzteres sich dadurch geändert habe, daß der Körper reicher oder ärmer an Wasser wurde. Die umfangreichen Untersuchungen von Bischoff und Voit haben dargetan, daß beim Wechsel der Ernährung der Körper wasserreicher und wasserärmer werden kann. Speziell die Versuche dieser Forscher an Hunden haben ergeben, daß z. B. bei Brotfütterung die Tiere rasch durch Wasseraufstauung schwerer, bei Fleischfütterung dann durch Wasserabgabe leichter wurden. Andererseits aber haben wir selbst und andere in zahlreichen Versuchen feststellen können, daß bei gleichmäßiger Ernährung, wie sie von uns ja streng innegehalten werden sollte, auch der Wassergehalt des Körpers ein sehr konstanter bleibt. Ein reichliches Material stand uns in der Hinsicht aus den „Marschversuchen" von Schumburg und Zuntz[53]) zur Verfügung. Diese Versuche hatten bei gleichmäßiger Ernährung einen Einfluß der Muskelarbeit in dem Sinne ergeben, daß im unmittelbaren Anschluß an dieselbe ein gewisser Wasserverlust des Körpers stattfindet, auch dann, wenn der Flüssigkeitsaufnahme kein Hindernis entgegensteht.

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

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

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

Neben dem Fett kann sich aber noch das freilich nicht in so großen Mengen vorhandene Kohlehydrat Glykogen an der Deckung des Energiebedarfes und damit am Gewichtsabfall bei unzureichender Ernährung beteiligen. Da 1 g Glykogen 4.2 W. E. entspricht, so würde also 1 g Gewichtsverlust, soweit derselbe durch Kohlehydratverbrauch zustande kommt, etwa halb so viel durch Körpersubstanz gedeckte Energie bedeuten, als wenn es sich um Fettverbrauch handelt. Faktisch ist der Unterschied aber viel größer, denn auch das Kohlehydrat findet sich im Körper nur im gequollenen Zustande, d. h. mit ziemlich erheblichen Mengen Wassers verbunden. Über die mit dem Glykogen im Körper fixierten Wassermengen geben uns die Bestimmungen des Gewichtes und des Glykogengehaltes der Leber, welche Külz[20a]), Pavy[31]) und Pflüger[36]) ausgeführt haben, Aufschluß. Bekanntlich kann man die Leber durch mehrwöchiges Hungern oder auch durch 6stündige anstrengende Arbeit nahezu glykogenfrei machen, dann ist ihr Gewicht 1.7% des Körpergewichtes. Nach gemischter eiweißreicher Kost stellte sich in Pavys Versuchen ein mittlerer Glykogengehalt von 7.2% heraus, dabei wog die Leber 3.3% des Körpergewichtes. Bei reichlichster Zufuhr von Kohlehydraten stieg ihr Glykogengehalt auf 15.9%, ihr Gewicht auf 6.4% des Körpergewichtes. Wir haben daher auf 1000 g Tiergewicht:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Schumburg und Zuntz[53]) aufgestellt. Auf die Zeichen von Übermüdung des Herzens hatten wir besonders da zu achten, wo zur starken Beanspruchung desselben durch Muskelarbeit noch mangelhafte Sauerstoffversorgung infolge der Luftverdünnung in größerer Bergeshöhe hinzutritt.

Training. Die wohltätigen Wirkungen der Muskelübung kommen in einer erhöhten Leistungsfähigkeit der Muskeln zum Ausdruck. In den vorher zitierten Versuchen von Schumburg und Zuntz[53]) wurde im Laufe einer längeren Serie angestrengter Märsche diese Zunahme der Leistungsfähigkeit zahlenmäßig ermittelt. Als ein besonders brauchbares Maß derselben ergab sich die Größe des Verbrauchs für eine bestimmte Arbeit. Dieser Verbrauch ist um so geringer, je besser die Muskeln trainiert sind. Offenbar handelt es sich dabei nicht nur um eine ökonomischere Leistung der Muskulatur an sich, sondern vor allem auch um ein besseres Funktionieren des Nervensystems. Je mehr bei Ausführung einer Bewegung alle unzweckmäßigen Mitbewegungen, alle unnützen Spannungen vermieden werden, desto geringer ist der Stoffverbrauch. Dasselbe gilt aber auch für die Funktionen, welche sekundär im Dienste der Muskeltätigkeit stehen, für die Atembewegungen, für die Herztätigkeit, für die Tätigkeit der Schweißdrüsen. Alle diese Funktionen erfolgen beim Ungeübten in meist unmäßiger und unzweckmäßiger und daher schneller zur Erschlaffung führender Weise. Ihr durch systematische Arbeit entwickeltes zweckmäßigeres Ineinandergreifen bedingt es, daß der so Geübte den Gesundheitsschädigungen, welche durch Überanstrengung dieser Apparate so leicht entstehen, weniger ausgesetzt ist. In demselben Sinne müssen häufige Temperaturwechsel, wie sie namentlich in den höheren Lagen des Gebirges so oft eintreten, sofern sie gut überstanden werden, den wärmeregulatorischen Apparat kräftigen und leistungsfähiger machen. Auch diese Wirkungen des Hochgebirges suchten wir so weit als möglich durch Messungen klarzulegen.

Eine schon früher von uns erörterte Frage ist die, ob die Muskelübung allgemein die Leistungen der gesamten Muskulatur des Körpers erhöht oder nur diejenigen der direkt geübten Gruppen. In einer Untersuchung von Zuntz[54]) an Tieren hatte sich ergeben, daß längere Übung nur die Leistungsfähigkeit für die speziell geübte Bewegung erhöht.

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

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

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

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

Literatur.

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

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

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

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

[5]) Bert, Paul: „La Pression barométrique". Paris 1878.

[5a]) Bischoff und Voit: „Die Gesetze der Ernährung des Fleischfressers". Leipzig und Heidelberg 1860.

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

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

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

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

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

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

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

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

[14]) Fick, Ad.: „Myothermische Untersuchungen". Wiesbaden, Bergmann, 1889.

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

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

[16a]) Frentzel: „Zur Frage nach der Quelle der Muskelkraft". Pflügers Arch. 68, S. 212.

[17]) Frentzel und Schreuer: „Verbrennungswärme und physiologischer Nutzwert der Nährstoffe". 4 Abhandlungen. Engelmanns Archiv 1901—1903.

[18]) Gruber: „Zur Frage der Entwicklung elementaren Stickstoffs im Tierkörper". Zeitschrift für Biologie 19, S. 563.

[18a]) Gruber, M.: „Einfluß der Übung auf den Gaswechsel". Ztschr. f. Biologie 28, S. 466.

[19]) Heidenhain: „Mechanische Leistung Wärmeentwickelung und Stoffumsatz bei der Muskeltätigkeit". Leipzig 1864.

[20]) Koehler: „Zur Kenntnis der elementaren Zusammensetzung und Verbrennungswärme der Muskelsubstanz". Zeitschrift für physiologische Chemie 31, 479.

[20a]) Külz, E.: „Beiträge zur Kenntnis des Glykogens". Marburg 1890.

[21]) Kronecker: „Die Bergkrankheit". Berlin und Wien 1903.

[22]) Landergren, Ernst: „Untersuchungen über die Eiweißumsetzung des Menschen". Skandinavisches Archiv für Phys. 14, S. 112, 1903.

[23]) Lazarus: „Pneumatische Therapie" in: Eulenburgs Real-Enzyklopädie d. ges. Heilkunde.

[23a]) Lehmann, Müller usw.: „Versuche an zwei hungernden Menschen". Virchows Arch. 140. Supplement-Band.

[24]) Leo, Hans: „Zur Frage der Bildung von freiem Stickstoff im tierischen Organismus". Pflügers Archiv 26, S. 218.

[24a]) Levy, Ad. Magnus: „Über die Größe des respirat. Gaswechsels unter dem Einfluß der Nahrungsaufnahme". Pflügers Archiv 55, S. 1.

[24b]) Derselbe: „Über Zuckerbildung aus Eiweiß und das Verhalten des respiratorischen Quotienten im Diabetes". Verhandlungen der physiologischen Gesellschaft zu Berlin 1904, VI.

[24c]) Liebig, G. von: „Die Bergkrankheit". Deutsche Vierteljahrsschrift für öffentliche Gesundheitspflege. Bd. 28. Heft 3.

[25]) Liebreich: „Blutkörperchen-Zählung und Schwerkraft". Festschrift für Georg Mayer. Berlin 1905.

[26]) Loewy, A.: „Die Wirkung ermüdender Muskelarbeit auf den respiratorischen Stoffwechsel". Pflügers Archiv 49, S. 405.

[27]) Derselbe: „Untersuchungen über die Respiration und Zirkulation bei Änderung des Druckes und des Sauerstoffgehaltes der Luft". Berlin, Hirschwald, 1895.

[28]) Derselbe mit J. Loewy und L. Zuntz: „Über den Einfluß der verdünnten Luft und des Höhenklimas auf den Menschen". Pflügers Archiv 66, S. 477.

[29]) Müller, Friedr.: „Über den normalen Kot des Fleischfressers". Z. f. Biol. 20, S. 327.

[30]) Oppenheim, H.: „Beiträge zur Physiologie und Pathologie der Harnstoffausscheidung". Pflügers Archiv 23, S. 446.

[31]) Pavy: „Physiology of Carbohydrates". London 1894. p. 114.

[32]) Pettenkofer und Voit: „Zur Frage der Ausscheidung gasförmigen Stickstoffs". Zeitschrift für Biologie 16, S. 508.

[33]) Pflüger: „Die Quelle der Muskelkraft". Sein Archiv 50, S. 98.

[34]) Derselbe: „Über Fleisch- und Fettmästung". Ebenda 52, S. 1.

[35]) Derselbe: „Über einige Gesetze des Eiweißstoffwechsels". Ebenda 54, S. 333.

[36]) Derselbe: „Glykogen". Ebenda 96, S. 1—398.

[37]) Derselbe: „Über die im tierischen Körper sich vollziehende Bildung von Zucker aus Eiweiß und Fett". Ebenda 103, S. 1.

[37a]) Derselbe: „Das Fett wird als Quelle des Zuckers sichergestellt usw." Ebenda 108, S. 473.

[38]) Regnard: „La cure d'Altitude". Paris 1897.

[39]) Regnault und Reiset: „Ann. de Chim. et de Phys." (3) XXVI, 1849.

[40]) Rubner: „Die Vertretungswerte der hauptsächlichsten organischen Nahrungsstoffe im Körper". Zeitschrift für Biologie 19, S. 313.

[41]) Derselbe: „Kalorimetrische Untersuchungen". Ebenda 21, S. 250 und 337.

[42]) Derselbe: „Milchnahrung beim Erwachsenen". Zeitschrift für Biologie 36, S. 56.

[43]) Derselbe und Heubner: „Die künstliche Ernährung eines normalen und eines atrophischen Säuglings". Ebenda 38, S. 315.

[44]) Derselbe: „Die Quelle der tierischen Wärme". Ebenda 30, S. 73.

[45]) Derselbe: „Die Gesetze des Energieverbrauches bei der Ernährung". Leipzig und Wien, Deuticke, 1902.

[45a]) Schnyder, L.: „Muskelkraft und Gaswechsel". Zeitschr. f. Biologie 33, S. 289, 1896.

[46]) Schoendorff: „In welcher Weise beeinflußt die Eiweißnahrung den Eiweißstoffwechsel der tierischen Zelle?" Pflügers Archiv 54, S. 420.

[47]) Seegen und Nowak: „Ausscheidung von gasförmigem Stickstoff aus den im Körper umgesetzten Eiweißstoffen". Pflügers Archiv 19, S. 347.

[48]) Tsuboi: „Stickstoffausscheidung aus dem Darm". Zeitschrift für Biologie 35, S. 68.

[49]) Voit: „Physiologie des tierischen Stoffwechsels". Hermanns Handbuch der Physiologie. Bd. VI, 1.

[50]) Zuntz: „Über die Ursachen des Meteorismus". Deutsche mediz. Wochenschrift 1885.

[51]) Zuntz und Hagemann: „Untersuchungen über den Stoffwechsel des Pferdes bei Ruhe und Arbeit". Neue Folge. Berlin, Parey, 1898.

[52]) Zuntz und Schumburg: „Zur Kenntnis der Einwirkungen des Hochgebirges auf den menschlichen Organismus". Pflügers Archiv 63, S. 461.

[53]) Dieselben: „Studien zu einer Physiologie des Marsches". Berlin, Hirschwald, 1901.

[54]) Zuntz: „Einfluß der Geschwindigkeit, der Körpertemperatur und der Übung auf den Stoffverbrauch". Pflügers Archiv 95, S. 192.