

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Höhenklima und Bergwanderungen in ihrer Wirkung auf den Menschen

Zuntz, Nathan

Berlin, 1906

Kapitel V. Untersuchungsmethoden



Das Gasthaus auf dem Col d'Olen. 2900 m hoch.

Kapitel V.

Untersuchungsmethoden.

Will man erfahren, welche Zersetzungsprozesse in unserem Körper ablaufen und in welchem Umfange sie vor sich gehen, so muß man, um das noch einmal kurz zu rekapitulieren, die Beschaffenheit, die Menge und den Energiegehalt einerseits des eingeführten Nährmaterials, andererseits der Ausscheidungen des Körpers bestimmen. Man darf also während eines Stoffwechselfersuches nur durch Wägung genau bestimmte Mengen solcher Nahrung einführen, deren chemische Zusammensetzung und Energiegehalt ermittelt ist; man muß ferner die Abgänge aus dem Darm und den Nieren — den Kot und Harn — quantitativ sammeln, gleichfalls chemisch analysieren und auch ihren Energiegehalt feststellen. Endlich ist es notwendig, die gasigen Ausscheidungen aus Lunge und Haut zu messen und ihre Beschaffenheit zu ermitteln.

Ein Stoff- und Kraftwechselfersuch erfordert demnach einen erheblichen Arbeitsaufwand und stellt große Anforderungen sowohl an den Untersucher wie auch an den passiv am Versuch Beteiligten, an den, dessen Stoffwechsel untersucht werden soll; letzterer muß eine nicht geringe Mühe, Sorgfalt und dauernde Aufmerksamkeit auf den Versuch wenden, wenn er ihn nicht durch eine einzige unüberlegte Handlung ergebnislos machen will. Man halte sich nur vor Augen, welche Selbstbeobachtung es erfordert, keinen Bissen ungewogen zum Munde zu führen, alles was als Harn oder aus dem Darne entleert wird, genau zu sammeln und wiederum zu wägen. Ist man nun gar zu gleicher Zeit Untersucher und Untersucher, so wächst die Arbeit in beträchtlichem Maße. Man muß deshalb versuchen, sie da, wo es ohne Schaden für den Versuch durchführbar ist, einzuschränken. Das

geschieht am leichtesten dadurch, daß man die Nahrung möglichst einfach gestaltet und sie aus möglichst wenigen Gerichten zusammensetzt. Dadurch spart man viel analytisch-chemische Arbeit und entgeht zugleich Irrtümern, die bei Berechnung der aufzunehmenden Nahrungsmenge, — wenn diese sich aus vielerlei Stoffen zusammensetzt — leicht unterlaufen können.

Was allerdings auf der einen Seite ein Gewinn, ist auf der anderen ein Nachteil. Denn die Kost wird nun einförmig und widersteht bald, wenn sie nicht gut ausgewählt und sorgfältig zubereitet wird. Das mußte besonders bei unserem, sich über sechs Wochen erstreckenden Stoffwechselfersuch berücksichtigt werden.

Über die Art und die Auswahl der Nahrung, sowie über die Erwägungen, die uns dabei leiteten, sind im vorigen Kapitel ausführlichere Mitteilungen gemacht worden.

Hier wollen wir uns auf die Angabe beschränken, daß wir Kakes, Schokolade und Orangenmarmelade, ferner als Mittagmahl neben Fleisch, Reis und getrocknete Gemüse — Karotten, Schoten, Spinat — wählten. Alles dies war in Berlin beschafft, analysiert und wurde mit auf die Expedition genommen. Hierzu kamen Butter und Käse. Diese mußten öfters frisch bezogen werden. Von ihnen nahmen wir Proben, konservierten sie, um Fäulnis zu verhindern, mit etwas Chloroform und analysierten sie erst nach unserer Rückkehr in Berlin. — An den Arbeitstagen wurde entsprechend dem durch die Arbeit gesteigerten Stoffumsatz eine Zulage zu der gewöhnlichen Nahrung gegeben. Sie bestand aus stickstoffarmem Nährmaterial, Kakes, Schokolade, Zucker, Butter, Bier, da die Menge stickstoffhaltiger Stoffe möglichst konstant erhalten werden sollte.

Für die Untersuchung der Nahrung sowohl wie aller Ausscheidungen sind bestimmte Methoden ausgearbeitet, die dem Fachmann wohl geläufig sind. Es könnte ausreichend erscheinen, einfach auf diese zu verweisen, um so mehr, als ein besonderes Interesse an physiologisch-chemischer Methodik und ihren Feinheiten nicht bei allen Lesern vorausgesetzt werden kann. Nichtsdestoweniger glauben wir diesen Untersuchungsmethoden ein eigenes Kapitel widmen zu müssen. Denn einmal beruhen alle unsere Ergebnisse auf ihrer Exaktheit und Zuverlässigkeit, und der Fachmann hat nicht nur ein Interesse, vielmehr sogar einen Anspruch darauf, zu erfahren, wie wir vorgegangen sind, um den Wert unserer Untersuchungen beurteilen zu können. Sodann aber meinen wir, daß es auch für den Fernerstehenden belehrend ist, einen Blick in die Werkstatt wissenschaftlicher Tätigkeit zu werfen und den Weg kennen zu lernen, auf dem die Ergebnisse Schritt für Schritt gewonnen werden.

Dabei ist im Auge zu behalten, daß wir doch in mancherlei Beziehung von den sonst gangbaren und gewohnten Wegen abweichen mußten. Wir konnten einen großen Teil unserer Versuche nicht in einem mit allen Behelfen der Neuzeit wohlausgerüsteten Laboratorium ausführen, mußten vielmehr unsere Arbeitsstätten improvisieren und uns nach den gegebenen Verhältnissen richten. — So war es schon in Brienz, wo wir uns noch am komfortabelsten einrichten konnten, schwerer war es auf dem Briener Rothorn, am unangenehmsten machten sich der Mangel aller Hilfsmittel, die räumliche Enge und die Störungen durch klimatische Bedingungen, insbesondere die Kälte, welche einen erheblichen Einfluß auf unsere Tätigkeit ausübte, auf der Monte Rosa-Spitze fühlbar.

Wir wollen zunächst ganz kurz die Analysierung der Nahrung besprechen. — Eine solche ist bei jedem exakten Stoffwechselversuche notwendig. Es existieren zwar von allen Nahrungsmitteln genaue Analysen, die Prof. König in Münster in einem sehr umfangreichen Werke zusammengestellt hat. Aber eine Durchsicht dieser ergibt, daß bei jedem Nahrungsmittel so große Schwankungen in der Zusammensetzung und im Brennwert bestehen, daß alle Resultate illusorisch würden, wollte man im Einzelfalle einen Durchschnittswert aus allen Bestimmungen zugrunde legen.

Bei jedem der vorstehend genannten Nahrungsmittel bestimmten wir den Eiweißgehalt und den Fettgehalt. Letzterer wurde durch Extraktion der gepulverten Substanz mit Äther in dem von Soxhlet angegebenen Apparat ermittelt. Die Butter wurde einfach mit kaltem Äther ausgezogen und die von diesem aufgenommene Fettmenge durch Wägung bestimmt. Die grob zerkleinerten Käseproben, sowie das vollkommen getrocknete Fleisch wurden zunächst mit kaltem Äther extrahiert und so die Hauptmenge ihres Fettes gewonnen, dann wieder getrocknet, fein gepulvert und weiter in dem Soxhletschen Apparate zweimal 24 Stunden mit Äther behandelt.*) Besondere Versuche zeigten, daß eine weitere Extraktion kein Fett mehr lieferte.

Die Bestimmung des Eiweißes geschah stets indirekt durch Ermittlung des Stickstoffes nach dem jetzt am meisten gebräuchlichen Verfahren von Kjeldahl.

Die zu analysierenden Substanzen wurden mit englischer Schwefelsäure unter Zusatz von etwas Quecksilber — das die Verbrennung erleichtert — zersetzt. Der Stickstoff des Eiweißes wird dabei zu schwefelsaurem Ammoniak. Dieses wird durch starke Lauge gespalten und das freigewordene flüchtige Ammoniak durch Erhitzen ausgetrieben. Man leitet es in eine bekannte Menge von dünner Schwefelsäure und bestimmt, wieviel es davon mit Beschlag belegt hat. — Aus der Menge des Ammoniakstickstoffes berechnet sich dann die Menge Eiweiß, in der es enthalten war. 100 Teile Eiweiß enthalten im Durchschnitt 16 Teile Stickstoff; auf 1 Teil Stickstoff kommen demnach 6.25 Teile Eiweiß. Der gefundene Stickstoff mit 6.25 multipliziert ergibt also die Eiweißmenge, der er entstammt.

Die dritte Gruppe der in den organischen Nahrungsmitteln enthaltenen Nährstoffe, die Kohlehydrate, haben wir nicht direkt bestimmt. Sie wurden durch Differenz berechnet, aber nicht wie gewöhnlich aus dem Rest, der nach Abzug von Eiweiß, Fett, Wasser und Asche von dem Gesamtgewicht des zur Analyse benutzten Nahrungsmittels bleibt. Dabei muß die Kohlehydratbestimmung unsicher ausfallen, denn einerseits werden alle in dem Reste befindlichen Stoffe als Kohlehydrate gerechnet, wiewohl sie physiologisch durchaus nicht gleichwertig sind, andererseits fallen alle analytischen Ungenauigkeiten auf die einfach durch Rechnung gewonnene Größe. Ein anderes Verfahren, bei dem wir von dem „Brennwert“, d. h. dem Energiegehalt der in den Nahrungsmitteln vorhandenen organischen Bestandteile, ausgingen, schien uns sicherer.

Dem Eiweiß und Fett kommt ein bestimmter Energiegehalt, „Brennwert“, zu, d. h. eine bestimmte Menge von ihnen, sagen wir 1 g, entwickelt bei ihrer Verbrennung eine ganz bestimmte und bekannte Menge Wärme. Wir haben nun in besonderen Experimenten, auf die wir sogleich zu sprechen kommen, den Brennwert unserer einzelnen Nahrungsmittel ermittelt. Ziehen wir von diesem Brennwert

*) Das Fleisch wurde nach der zweiten Trocknung zunächst mit salzsaurem Alkohol behandelt, dann erst mit Äther ausgezogen.

den des Eiweißes und Fettes ab und ihn kennen wir ja, da wir die vorhandene Menge an Eiweiß und Fett festgestellt haben, so bleibt eine Wärmemenge übrig, die auf Kohlehydrate und ihnen im Nährwert ähnliche Stoffe zu beziehen ist, und aus der wir den physiologisch in Betracht kommenden Wert der Kohlehydrate berechnen können.

Weiter haben wir noch die Alkohol- und Extraktmenge des von uns genossenen Bieres und den Alkoholgehalt des Weines nach den für die Alkoholbestimmung in der Nahrungsmittelanalyse gebräuchlichen Methoden ermittelt. Den Nährwert der Extraktmenge bestimmten wir durch Verbrennung des von Alkohol befreiten Trockenrückstandes. — Die Methode der Brennwertbestimmung wird im folgenden ausführlich besprochen werden.

Bezüglich der Ausscheidungen verfahren wir folgendermaßen: Der Harn wurde während der Expedition quantitativ genau gesammelt, gewogen und sein spezifisches Gewicht bestimmt. Der Harn jedes Tages kam in eine besondere, luftdicht zu verschließende Flasche.

Wichtig war es, eine Fäulnis des Harns zu verhüten. Man kann sich dazu verschiedener antiseptischer Zusätze bedienen. Die Art des Antiseptikums richtet sich nach den Untersuchungen, denen der Harn später unterzogen werden soll. Es gibt viele, die gleich zweckmäßig sind, wenn es sich einfach darum handelt, den Harn später chemisch zu analysieren. Da wir auch seinen Brennwert feststellen wollten, mußte zunächst ermittelt werden, ob nicht die konservierenden Zusätze den Brennwert änderten. In Versuchen, die Dr. Cronheim im Anschluß an unsere Expedition über das beste Verfahren, den Harn unverändert aufzubewahren, angestellt hat, ergab sich, daß Thymol hierzu geeigneter ist als andere Antiseptika, wie z. B. Sublimat

Danach haben wir unserem Harne stets gepulvertes Thymol hinzugefügt.

Die spätere Untersuchung im Berliner Laboratorium erstreckte sich auf die Bestimmung des Stickstoffs, der ein Maß für die Menge des zersetzten Eiweißmaterials abgibt. Sie geschah nach der oben geschilderten Methode von Kjeldahl.

Die Darmentleerungen wurden in luftdicht schließenden Blechtöpfen gesammelt und täglich gewogen. Wir teilten die ganze Dauer unserer Expedition, entsprechend den verschiedenen Aufenthaltsorten, in vier Perioden und sammelten die Entleerungen der einzelnen Personen für jede Periode gesondert. Die entleerte Menge wurde täglich gewogen. Die Zersetzung wurde durch Chloroform verhütet, das zugleich den Vorteil hatte, den penetranten Geruch gut zu verdecken.

Da die Entleerung der von einer bestimmten Mahlzeit herrührenden Nahrungsreste verschieden lange Zeit nach der betreffenden Mahlzeit erfolgen kann, nach 24 Stunden, 48 Stunden oder noch später, im Beginn und am Schluß eines Stoffwechselversuches also nicht schon die der ersten bzw. letzten Mahlzeit folgende Darmentleerung die Reste dieser Mahlzeiten herauszufördern braucht, muß man besondere Maßnahmen anwenden, um die dem Stoffwechselversuche selbst angehörenden Entleerungen erkennen zu können. Man benutzt in der Stoffwechselphysiologie dazu verschiedene Mittel. Alle kommen darauf hinaus, dem Darminhalt vor der ersten und nach der letzten in Betracht kommenden Entleerung besondere Merkmale zu erteilen, meist besondere Färbungen. So gibt man vor der ersten und nach der letzten Mahlzeit kleine Portionen Kohle, oder Knochenasche, oder Kiesel-

säure (Sand), oder — was in Versuchen am Menschen besonders beliebt wird — Beerenobst, z. B. Preiselbeeren, deren Hüllen ja fast unverändert im Kote erscheinen. Im Versuch am Fleischfresser kann man auf diese Weise meist leicht eine Abgrenzung der entleerten Portionen vornehmen, beim Menschen gelingt es nicht immer, wie wir uns in unseren Vorversuchen überzeugten.

Wir entschlossen uns, anders zu verfahren und reinigten im Beginn jeder Versuchsperiode den Darm durch Wassereinläufe von den Nahrungsresten der vorhergehenden Periode. Gewöhnlich mußten die Eingießungen mehrmals wiederholt werden, zwei- bis viermal, bis die letzten Reste entfernt waren. Sie waren gut zu erkennen an den deutlich unterscheidbaren Bestandteilen desjenigen Gemüses, das am Mittag zuvor gegessen war. — Das Einlaufwasser wurde angesäuert, auf ein kleines Volumen eingedampft und dem gesammelten Kote hinzugefügt.

Die Verarbeitung der Exkremeute geschah derart, daß sie zunächst in einem sog. Vakuumtrockenapparat, d. h. in einem Kasten, aus dem die Luft fast vollständig ausgepumpt war, über konzentrierter Schwefelsäure bei höchstens 60° getrocknet wurden. So geht die Trocknung sehr schnell vor sich und Zersetzungen werden möglichst verhütet. Um etwaige trotzdem zustande gekommene Zersetzungen der stickstoffhaltigen Bestandteile des Kotes in ihrem Umfange festzustellen, wurde die Schwefelsäure vor und nach dem Trocknen auf einen etwaigen Gehalt an Stickstoff untersucht. Dieser weist auf eine Zersetzung stickstoffhaltiger Bestandteile hin. Es hat sich in unseren Versuchen stets um sehr kleine Verluste, die vernachlässigt werden konnten, gehandelt.

Die Darmausscheidungen enthalten außer Salzen erhebliche Mengen organischer Bestandteile und zwar organische stickstoffhaltige Verbindungen und fettartige Stoffe. Von Kohlehydraten finden sich Zucker und Stärke so gut wie gar nicht; wohl aber Zellulose, besonders wenn viel mit vegetabilischen Nahrungsmitteln eingeführt wird. Stickstoff und Fett mußten bestimmt werden. Für erstere konnte wiederum die Methode von Kjeldahl, so wie sie bei der Nahrungsanalyse geschildert wurde, benutzt werden.

Für die Fettbestimmung wurde der trockene Kot zunächst mit salzsaurem Alkohol (ebenso wie die Nahrung) behandelt, dann mit siedendem Äther im Soxhletschen Apparat zweimal 24 Stunden extrahiert. Auch hier ließ sich dann kein Fett mehr ausziehen. Nur wenn der Kot sehr fettreich war, wurde er zunächst mit kaltem Äther übergossen, der innerhalb 24 Stunden das meiste Fett aufnahm, dann erst nach Soxhlet extrahiert.

Neben dem Stoffumsatz haben wir, wie schon erwähnt, auch den Energieumsatz zu ermitteln gesucht. Dazu war es notwendig, den Energiegehalt der Nahrung und den Energiegehalt der Ausscheidungen festzustellen. Die Differenz ergibt uns, wieviel von der Energie der Nahrung dem Körper zugute gekommen ist. Der Körper kann die nicht in den Ausscheidungen wiedererscheinende Energiemenge in andere Energieformen: Wärme und mechanische Arbeit verwandelt haben oder er hat einen mehr oder weniger großen Teil des energiehaltigen Materiales in sich zurückbehalten und in Form von Eiweiß, Fett, Kohlehydrat angesetzt. Welche Möglichkeit zutrifft, ergibt die gleichzeitige Untersuchung des Stoffumsatzes; sie zeigt, wieviel und welches Material im Körper zersetzt oder angesetzt ist. — Da

mechanische Arbeit sich ohne weiteres in Wärme ausdrücken läßt, kann man alle im Körper freiwerdende Energie durch die Menge der gebildeten Wärme ausdrücken. Diese dient also als Maß für den Energieumsatz. — Der Zweig der Wärmelehre, der sich mit dieser Frage befaßt, heißt Kalorimetrie und die Apparate, welche der Ermittlung der Wärmebildung bei der Verbrennung organischen Materiales dienen, Kalorimeter. Wir bestimmten nicht direkt die im Körper freiwerdende Wärme, bedienten uns vielmehr der sogenannten indirekten Kalorimetrie, bei der die Wärmemenge bestimmt wird, die die Einnahmen — also die Nahrung — und die festen und flüssigen Ausgaben — also Harn und Kot — bei der Verbrennung liefern. — In den gebräuchlichen Kalorimetern mißt man diese Wärmemenge an der Erwärmung einer bestimmten Wassermasse, in die das Gefäß, in welchem die Verbrennung vor sich geht, hineingesetzt wird. Solche Kalorimeter werden heutzutage vielfach auch in der Technik verwendet, besonders zur Feststellung des Brennwertes unserer Heizmaterialien.

Wir benutzten das zur Zeit exakteste und bequemste, nämlich das von Berthelot¹⁾ angegebene, in der Modifikation von Stohmann.⁶⁾

Die beistehende Figur zeigt es im Durchschnitt. Der wesentlichste Bestandteil ist das Gefäß, in dem die Verbrennung erfolgt, die sog. Bombe *C*. Sie besteht aus sehr resistenstem Stahl, dessen innere Oberfläche emailliert ist, um bei der Verbrennung nicht angegriffen zu werden und dadurch selbst Wärme zu bilden. Auf sie wird luftdicht ein dicker stählerner Deckel aufgeschraubt, dessen Innenfläche mit Platin ausgelegt ist. Das ganze Gefäß muß sehr widerstandsfähig sein, denn die Verbrennung geschieht nach Einleiten von Sauerstoff unter einem Druck von 25 Atmosphären, wobei es im Momente der Verbrennung zu einem Druck von wenigstens 250 Atmosphären kommt. Hierdurch ist es ermöglicht, selbst sehr schwer verbrennliche Substanzen vollkommen zu verbrennen. — Den Deckel durchsetzen, von ihm isoliert, zwei Platinstäbe *a*, deren einer ein Platinschälchen *e* zur Aufnahme der zu verbrennenden Substanz trägt, deren anderer dicht oberhalb des Schälchens endet. Beide werden vor dem Versuche durch eine kleine Spirale von dünnem Eisendraht *b*, die gerade die Oberfläche der Substanz berühren muß, verbunden. Außerhalb der Bombe enden die Platindrähte in sogenannten Polschrauben, in die die Drähte einer elektrischen Batterie eingeführt werden (*F*).

Der Deckel trägt außerdem ein Röhrchen *d*, das durch eine Verschraubung geschlossen werden kann und das der Sauerstoffeinleitung dient. Um die mit der Substanz versehene, gut geschlossene Bombe mit Sauerstoff zu füllen, bringt man sie in Verbindung mit einem Zylinder mit komprimiertem Sauerstoff und läßt diesen einströmen, bis ein zwischengeschaltetes Manometer ca. 25 Atmosphären Druck anzeigt. Nach Beendigung der Sauerstofffüllung wird das Zuleitungsröhrchen *d* geschlossen und die Bombe kommt nun in das eigentliche Kalorimetergefäß. Dieses ist ein Metallgefäß *B*, das ein bestimmtes Wasserquantum enthält und selbst wieder in einem größeren doppelwandigen, kupfernen Kessel *A* steht, dessen Wandung mit

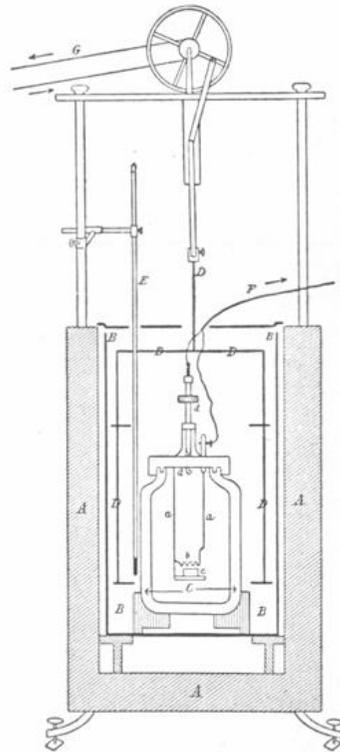


Fig. 1.
Berthelot-Stohmanns
Kalorimeter.

Wasser gefüllt ist. Der Kessel *A* hat den Sinn, von außen kommende Einflüsse, die die Temperatur des Kalorimetergefäßes ändern könnten, abzuhalten. In das Kalorimetergefäß taucht noch ein sehr genaues Thermometer *E* ein und ein Rührwerk *D*, durch dessen Tätigkeit eine gleichmäßige Temperatur in allen Wasserschichten erzielt wird. Es wird mittels eines kleinen Elektromotors in stetiger Bewegung erhalten.

Zur Vornahme einer Verbrennung bringt man die mit der zu untersuchenden Substanz und mit Sauerstoff gefüllte Bombe in das Kalorimetergefäß, verbindet den Leitungsdraht *F* mit einer Batterie, setzt das Rührwerk in Tätigkeit und liest den Stand des Thermometers ab. Nachdem dieser für mehrere Minuten konstant geblieben ist, oder doch ein gleichmäßiges Sinken oder Steigen gezeigt hat, schickt man einen starken elektrischen Strom durch *F* und durch die Platinröhrchen *a*. Durch ihn kommt der Eisendraht *b* ins Glühen, verbrennt in der Sauerstoffatmosphäre und wirkt für die zu untersuchende Substanz gewissermaßen als Zünder, er bringt auch sie zum Verbrennen.

Dabei wird Wärme frei, die sich der Bombe und dem sie umgebenden Wasser mitteilt. Das Thermometer beginnt zu steigen und erreicht nach 1—3 Minuten einen höchsten Stand, auf dem es sich einige Zeit konstant erhält. — Kennt man die Wassermenge im Kalorimeter, so weiß man, wieviel Wärme entwickelt werden mußte, um die gefundene Temperatursteigerung zu erzielen. Die Erwärmung des Wassers wird in der Physik als Maß der gebildeten Wärme genommen. Diejenige Wärmemenge, die 1 g Wasser um 1° C. zu erwärmen vermag, wird als kleine Wärmeinheit oder Grammkalorie, die, welche 1 kg Wasser um 1° C. erwärmt, als große Wärmeinheit oder Kilokalorie (Kal. oder W. E.) bezeichnet.

Bei der mit der Verbrennung einhergehenden Erwärmung muß natürlich, wie erwähnt, die Bombe mit erwärmt werden, ebenso das eintauchende Thermometer, das Rührwerk und, soweit es mit dem Wasser in Berührung ist, auch das Kalorimetergefäß. Die zur Erwärmung aller dieser Teile nötige Wärmemenge ist für jeden Apparat eine konstante und wird ein für allemal im voraus bestimmt. Man berechnet sie in Kalorien und addiert sie der zur Erwärmung des Wassers nötigen bei jedem Versuche hinzu.

Das ist in groben Zügen das kalorimetrische Verfahren, dessen wir uns bedienen. Auf die Einzelheiten der Ausführung und Berechnung kann hier natürlich nicht eingegangen werden. Erwähnt sei nur, daß das Verfahren äußerst genaue Resultate ergibt, genauere als die chemische Analyse, zumal es viel weniger Zeit verlangt.

Eine wichtige Frage ist, wie die auf ihren Brennwert zu untersuchenden Substanzen am besten zur Verbrennung vorbereitet werden. Sie verbrennen um so besser, je weniger Feuchtigkeit sie enthalten; sie müssen also, wenn ihr Wassergehalt ein hoher ist, zuvor getrocknet werden. Die von uns benutzten Gemüse, auch die Kakes, der Reis, die Schokolade hatten den genügenden Grad von Trockenheit, um zu verbrennen. Anders war es mit dem Fleisch und Brot, die erst getrocknet werden mußten. Die Käse wurden zuerst durch Äther von dem größten Teil ihres Fettes befreit, dann getrocknet und verbrannt. Das extrahierte Käsefett, die Butter, wurde für sich verbrannt.

Die getrockneten Substanzen können aber nicht ohne weiteres auf das Tellerchen geschüttet werden. Bei der Entzündung würde nur ein Teil verbrennen, ein anderer würde in der Bombe verstäubt und umhergeschleudert werden. Man muß sie in eine kompakte Masse verwandeln; zu dem Zwecke pulvert man sie und preßt in einer Pastillenpresse aus ihnen kleine, $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ g schwere Tabletten, die den heute vielfach benutzten medikamentösen Tabletten gleichen.

Ein Nahrungsmittel verträgt natürlich diese Behandlung nicht, das ist die Butter. Sie ist aber so leicht verbrennlich, daß sie in Berührung mit dem verbrennenden Eisendraht ohne weiteres mitverbrannte. — Die Marmelade ließ sich auch nicht gut trocknen. Man kann sie trotzdem mit Hilfe eines kleinen Kunstgriffes direkt verbrennen; man bringt auf ihre Oberfläche in Berührung mit dem Eisendraht ein gewogenes Kriställchen (wenige Milligramm) einer leicht brennbaren organischen Substanz, etwa Naphthalin, die die Verbrennung dann gut auf die Marmelade überträgt. —

Ebenso wie die Nahrung wurden die Darmabgänge behandelt. Sie wurden getrocknet, gepulvert, in Pastillen gepreßt, verbrannt.

Kompliziert wurde die Sache beim Harn. Man kann ja auch ihn trocknen und seinen Trockenrückstand verbrennen. Aber beim Trocknen treten leicht Zersetzungen ein, wodurch der Brennwert erheblich geändert werden kann. Es ist von Professor Kellner in Leipzig empfohlen worden, an Stelle der direkten Trocknung den Harn sich in kleine Zellulosepföckchen einsaugen zu lassen, diese über Schwefelsäure zu trocknen und zu verbrennen. Die Pföckchen haben natürlich selbst einen Brennwert, der von der bei der Verbrennung gebildeten Wärme in Abzug zu bringen ist. Die Mitverbrennung der Pföckchen gibt bei sonst exakter Arbeit keine Fehlerquelle ab.

Auch beim Trocknen in den Pföckchen tritt eine geringe Zersetzung der stickstoffhaltigen Substanzen des Harns ein; wir zogen diese jedoch in Rechnung entweder dadurch, daß wir den von der Schwefelsäure beim Trocknen aufgenommenen Stickstoff bestimmten oder dadurch, daß wir neben den zur Verbrennung bestimmten Pföckchen einige weitere sich mit Harn vollsaugen ließen, trockneten und dann die Stickstoffmenge in ihnen ermittelten. Da wir die Stickstoffmenge einer gleichen Menge des frischen Harns kannten, erfuhren wir so die beim Trocknen verschwundene und konnten eine Korrektur dafür einsetzen. Diese war, da die Trocknung bei niedriger Temperatur — Zimmertemperatur — geschah, stets sehr gering.

Messung und Analyse der gasförmigen Ausscheidungen. Die Untersuchung der gasförmigen Ausscheidungen des Körpers gibt die wertvollsten Aufschlüsse über die Größe des gesamten Stoffumsatzes im Körper.

Die Menge der im Organismus gebildeten Kohlensäure und des für die Umsetzungen im Körper verbrauchten Sauerstoffes geben uns ein Maß für die Menge des zum Zerfall gelangten organischen Materials. Sie liefern uns aber weiterhin, wie in Kapitel III auseinandergesetzt wurde, auch einen Einblick in die Art der vorwiegend im Körper zerfallenden Stoffe, wenn man das Verhältnis der Mengen gebildeter Kohlensäure und verbrauchten Sauerstoffes, also den sog. respiratorischen Quotienten, ins Auge faßt. Bestimmt man zugleich die Stickstoffmenge, die mit dem Harn ausgeschieden wird, so ist man imstande, mit Hilfe des respiratorischen Quotienten festzustellen, wieviel Eiweiß, Fett und Kohlehydrate im Körper verbrannt werden, wie ebenfalls schon im Kapitel III erörtert wurde. Unter Umständen, die den Eiweißzerfall nicht beeinflussen, kann man auch ohne Kenntnis der Stickstoffmenge im Harn, allein aus dem Verhalten des respiratorischen Quotienten, sich darüber orientieren, ob in dem Verhältnis, in dem Fett und Kohlehydrate zerfallen, eine Änderung eingetreten, d. h. ob eins von beiden in relativ stärkerem oder geringerem Maße vom Körper zerlegt worden ist.

Es ist aus diesen Gründen wichtig, bei Untersuchungen des Gaswechsels sowohl die Kohlensäurebildung wie den Sauerstoffverbrauch zu bestimmen und sich nicht allein auf die Ermittlung ersterer zu beschränken, wie das früher meist geschehen ist und auch heute noch bei Benutzung der gleich zu besprechenden Respirationenkammern geschieht.

Ein Gasaustausch erfolgt beim Menschen, wie erwähnt, auf zweierlei Wegen: durch die Lungen und durch die Haut. Der gesamte Gasaustausch kann also eigentlich nur durch Messung von Lungen- und Hautgaswechsel ermittelt werden. Das geschieht so, daß man das Versuchsindividuum in große zimmerartige Kästen, sog. Respirationenkammern, bringt und die Veränderungen, die deren Luft durch den Aufenthalt der Versuchsperson erfährt, ermittelt.

Der erste derartige Apparat, der einen beliebig langen Aufenthalt eines Menschen in seinem Innern gestattete und dabei in bezug auf die Genauigkeit der Kohlensäurebestimmung

allen wissenschaftlichen Ansprüchen genügt, wurde von den Münchener Professoren Pettenkofer und Voit⁴⁾ erbaut. Er befindet sich im Münchener physiologischen Institut und hat historische Berühmtheit erlangt. Er war der erste, in dem in exakter Weise die Kohlensäurebildung des Menschen studiert wurde. Mittels einer Dampfmaschine wird durch ihn ständig Luft hindurchgesaugt, deren Menge man durch einen Gasmesser feststellt. In einem kleinen Teil der durchgesaugten Luft, dessen Menge ein kleinerer Gasmesser anzeigt, wird die von der Versuchsperson an die Kammerluft abgegebene Kohlensäure festgestellt. Man kann so bei Kenntnis der gesamten durchgesaugten Luftmenge die gesamte abgegebene Kohlensäure berechnen.

Im Prinzip ähnliche, aber vollkommene Apparate sind später von Tigerstedt⁷⁾ und von Atwater erbaut und viel benutzt worden. —

Um neben der Kohlensäurebildung auch den Verbrauch an Sauerstoff zu bestimmen, und das ist, wie schon betont, von großer Bedeutung, hatten sich die französischen Physiker Regnault und Reiset⁵⁾ schon vor Pettenkofer und Voit eines etwas anderen Verfahrens bedient, dessen Prinzip bereits im Kapitel III geschildert wurde. Hier sei nur erwähnt, daß in großem Maßstabe zur Benutzung für den Menschen nach dem Regnault-Reisetschen Prinzip von Hoppe-Seyler ein Apparat gebaut worden ist, der aber wenig benutzt wurde. Regnault und Reiset hatten nur an kleineren Tieren experimentiert.

Es ist klar, daß wir uns dieser Verfahren auf unserer Expedition nicht bedienen konnten. Wir fanden keine Respirationenkammern an den von uns besuchten Orten vor, hätten sie auch, selbst wenn sie vorhanden gewesen wären, für unsere Zwecke nicht gut benutzen können. —

Auf dem internationalen Physiologenkongreß in Turin im Jahre 1901 hat Tigerstedt den Vorschlag gemacht, auf der Punta Gnifetti in Verbindung mit der Margherita-Hütte eine Respirationenkammer zu erbauen. — Der Plan erscheint angesichts der zu überwindenden Schwierigkeiten etwas kühn. Aber bei dem heutigen Stande der Technik wäre er nicht unausführbar.

Eine andere Frage ist, ob der Bau einer solchen Kammer lohnend und wertvolle wissenschaftliche Ergebnisse zu liefern geeignet ist. Und da muß man doch sagen, daß gerade zur Lösung derjenigen Fragen, die bei Untersuchungen im Hochgebirge vorzüglich in Betracht kommen, sich kammerartige Apparate nicht recht eignen. — Die Respirationenkammern sind nicht, wie man das früher wohl annahm, imstande, alle Fragen des Gaswechsels exakt zu entscheiden. Sie haben ihre ganz spezielle Domäne und leisten Vortreffliches, wenn es darauf ankommt, die Kohlensäurebildung für längere Perioden zu ermitteln. Auf diese Weise sind die exaktesten Bilanzen des Stoffwechsels bei Mensch und Tier gewonnen worden. Es wurde der Umfang des Gaswechsels während der Stunden des Schlafes mit dem bei relativer Ruhe im Wachen verglichen, ferner die Wirkung der gesamten Verdauungstätigkeit für die Zeit, über die sie sich hinzieht, ermittelt, ebenso die gleichmäßiger Muskelarbeit.

Wenn es sich aber speziell um die Feststellung der Wirkungen handelt, die äußere Einflüsse auf den Gaswechsel ausüben, und die zu kurzen, schnell vorübergehenden Änderungen führen, sind Kammern nicht brauchbar. Will man die Wirkung eines Wärme- oder Kältereizes studieren, z. B. die von warmen oder kalten Bädern, Duschen usw., die Effekte schmerzhafter Eingriffe, insbesondere aber die Effekte der Muskeltätigkeit quantitativ genau verfolgen, so muß man Methoden benutzen, die gestatten, den Gaswechsel in beliebig kurzen Zeitabschnitten genau festzustellen unter gleichzeitiger Bestimmung sowohl der Kohlensäurebildung wie des Sauerstoffverbrauches.

Gerade diese letzteren Fragen beschäftigten uns aber auf unserer Expedition und eben deshalb mußten wir von der Benutzung von Kammern abssehen, selbst wenn sie uns zur Verfügung gewesen wären. Dazu kommt, daß, wie gelegentlich schon erwähnt, beim Aufenthalt in den Kammern das Höhenklima gar nicht direkt auf das Versuchsindividuum wirken kann, also gar kein richtiges Bild von allen seinen Wirkungen zu gewinnen ist.

Sieht man von der Benutzung von Respirationenkammern ab, so muß man sich allerdings bewußt sein, daß man nicht mehr den gesamten Gaswechsel einer Untersuchung unterwirft. Man ist auf die Feststellung des Lungengaswechsels beschränkt.

Das konnte aber unbedenklich geschehen, da dieser den Hauptanteil am gesamten Gaswechsel ausmacht. Der Hautgaswechsel beträgt nur $\frac{1}{2}$ —1% desselben und steigt nur, wenn es, sei es durch hohe Außentemperaturen, sei es durch anstrengende Muskelarbeit, zu Schweißbildung kommt, auf etwa 2% an.

Bei Bestimmung des Lungengaswechsels wird die Ausatemluft direkt in einen Gasmesser, mit dem der Mund des Atmenden durch Schlauchleitungen verbunden ist, hineingeatmet.

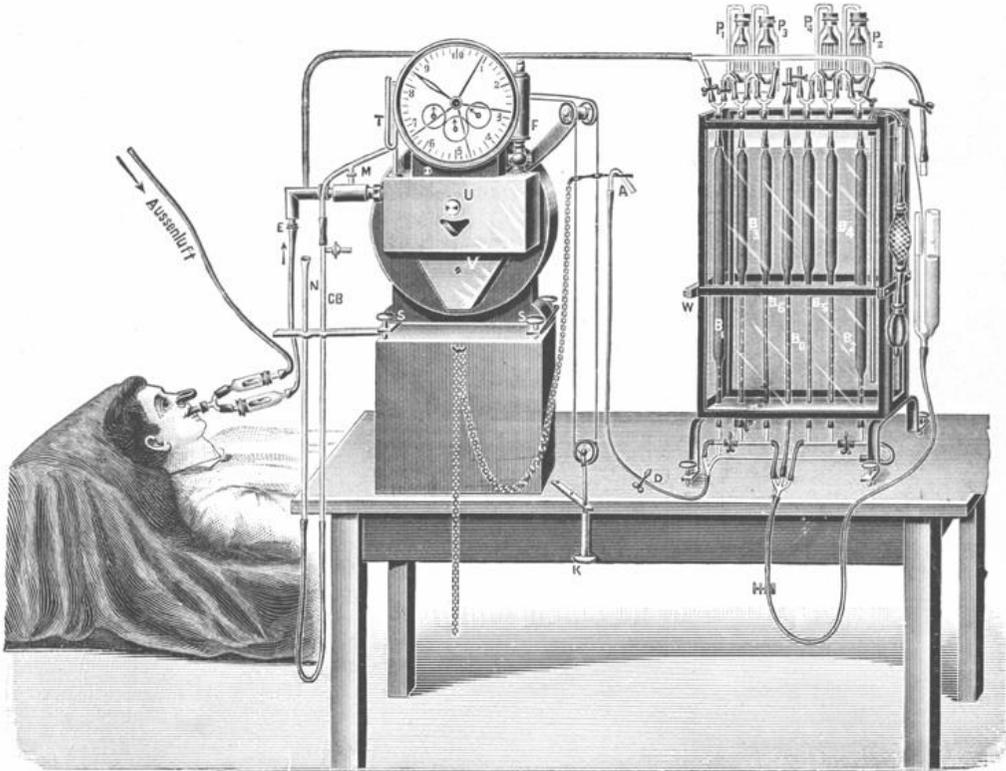


Fig. 2. Untersuchung des Atmungsprozesses bei Körperruhe mittels des Zuntz-Geppertschen Apparates.

Der Zuntz-Geppertsche Apparat zur Untersuchung des Lungen-Gaswechsels.³⁾ Der Apparat, der sich am brauchbarsten für solche Untersuchungen erwiesen hat und die sichersten Ergebnisse liefert, ist vor einer Reihe von Jahren von Zuntz und Geppert angegeben worden. Auch wir haben uns seiner bedient. Sein Prinzip ist, die gesamte Atemluft direkt durch einen Gasmesser gehen zu lassen, hier zu messen, eine kleine Probe der Expirationsluft, die eine genaue Durchschnittsprobe darstellen muß, zu sammeln und deren Prozentgehalt an Sauerstoff- und Kohlensäure zu bestimmen. Kennen wir diesen, so kennen wir auch den Kohlensäure- und Sauerstoffgehalt der gesamten während des Versuches expirierten Luft, deren Menge uns ja bekannt ist, d. h. also die gesamte Kohlensäurebildung und den gesamten Sauerstoffverbrauch.

Der Zuntz-Geppertsche Atemapparat setzt sich aus drei Teilen zusammen: einem Ventilapparat, der die eingeatmete Luft von der ausgeatmeten scheidet und letztere durch einen angefügten Schlauch in die Gasuhr treten läßt; aus dem Gasmesser („Gasuhr“) selbst und aus einem Analysenapparat, in dem die Kohlensäure- und Sauerstoffmenge einer Probe der Expirationsluft bestimmt wird.

Jeder dieser Teile zeigt Verschiedenheiten der äußeren Form, je nachdem es sich um Versuche bei Körperruhe oder bei Körperarbeit, um Versuche im Laboratorium oder fern von ihm handelt.

Die Fig. 2 zeigt die Form, die der Apparat bei Versuchen im Laboratorium besitzt. Wir sehen einen Ruheversuch. Die Versuchsperson liegt bequem auf einem Sofa, ihre Nase ist durch einen Klemmer verschlossen, damit durch sie keine Luft ausgeatmet werden kann. Aus dem Munde ragt ein Rohr heraus, das von einem Mundstücke kommt, welches in Form einer durchlocherten weichen Gummipolsterung sich zwischen Lippen und Zähnen befindet. An dem Rohr befindet sich außen ein Ventilapparat, der so eingerichtet ist, daß die Einatmungsluft von außen in die Lungen eindringen kann, die Ausatmungsluft dagegen von den Lungen aus nur zur Gasuhr ihren Weg zu nehmen vermag.

Man kann sich verschiedener Arten von Ventilen bedienen. Fig. 3a und b zeigen ein sog. Löbsches Klappenventil, wie man es besonders zweckmäßig bei Marschversuchen benutzen kann. — Fig. 3a gibt das geschlossene Ventil, 3b den Durchschnitt des Ventiles wieder.

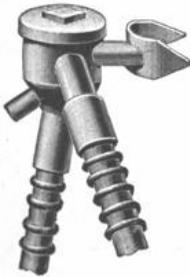


Fig. 3a.

Löbsches Atmungs-
ventil geschlossen.

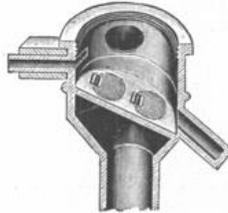


Fig. 3b.

Löbsches Atmungs-
ventil im Durchschnitt.

Atmet man ein, so heben sich die aus dünnen Gummipolstern bestehenden beiden schräg liegenden Klappen und lassen Luft von außen eintreten, atmet man aus, so werden sie an die Unterlagen angepreßt, und die Atemluft muß ihren Weg durch die in der Seitenwand liegende Klappe nehmen, um von ihr aus durch einen Verbindungsschlauch in die Gasuhr zu gelangen.

Die auf Fig. 2 abgebildete Uhr stellt eine sog. feuchte Gasuhr dar, deren Bau ganz dem der Leuchtgasmesser entspricht.

Sie wird von vorn nach hinten von einer sehr leicht beweglichen Achse durchsetzt, die an der Mitte der Hinterwand nach außen tritt. Auf dieser Achse befindet sich eine Anzahl Flügel, durch die das Innere in verschiedene Kammern geteilt wird. Die untere Hälfte der Uhr ist mit Wasser gefüllt, so daß die eine Hälfte der Flügel unter Wasser taucht, die andere sich über Wasser befindet. Die in die Gasuhr eintretende Expirationsluft setzt die Flügel in Bewegung; diese Bewegung wird mittels eines Räderwerkes auf eine Anzahl von Zeigern übertragen, die sich vor Zifferblättern befinden, an denen man die Menge der durchgegangenen Luft direkt abliest. Die Expirationsluft tritt aus der Gasuhr wieder aus durch ein hinter dem Zifferblatt befindliches, auf der Abbildung nicht sichtbares Rohr.

Da die expirierete Luft, wie alle Gase, in ihrem Volumen von dem herrschenden Barometerdruck und der Temperatur abhängig ist, so muß man, um die Ergebnisse vergleichbar zu machen, alle Messungen auf denselben Druck und dieselbe Temperatur bringen. Man hat sich gewöhnt, die Gasvolumina auf 0° und 760 mm Barometerdruck zu reduzieren. Dieser Reduktion dient das links an der Gasuhr herablaufende graduierte Glasrohr und das mit ihm durch einen Schlauch verbundene zweite Rohr.

Ersteres setzt sich nach oben in eine Kapsel fort, die sich in der Erweiterung des die Expirationsluft zur Gasuhr führenden Rohres *E* befindet. Das Rohr, das die Expirationsluft aus der Gasuhr austreten läßt, trägt in sich eine zweite gleichartige Kapsel. Beide Kapseln sind durch ein enges Rohr miteinander verbunden. Füllt man in das graduierte und in das mit

ihm verbundene bewegliche Rohr Wasser ein, so hat man ein Luftquantum in den Kapseln abgesperrt, dessen Volum sich mit den Schwankungen des Barometerstandes und der Temperatur der die Gasuhr passierenden Luft in regelmäßiger Weise verändert. Man hat also ein Thermobarometer. — Der Inhalt der Kapseln und des sie verbindenden Rohres, sowie des obersten Teiles des graduierten Glasrohres bis zu dessen Nullpunkt beträgt gerade 100 ccm bei 0°, 760 mm Druck und Trockenheit. Sperrt man diese Luftmenge ab, so ist es durch eine einfache Proportion möglich, jedes die Gasuhr passierende Luftquantum auf 0°, 760 mm Druck und Trockenheit zu reduzieren. Lese ich z. B. am Thermobarometer 106.5 ab und sind nach Angabe der Gasuhr 5 l Atemluft in der Minute durch die Gasuhr gegangen, so geschieht deren Reduktion nach der Gleichung $\frac{100}{106.5} = \frac{x}{5}$, also $x = 4.7$ l.

An der Gasuhr sind oben zwei Räder und unten ein Rad sichtbar, über die eine Schnur läuft; die Schnur trägt ein gekrümmtes Röhrchen, das durch einen Gummischlauch mit dem dritten Teil des Apparates, dem Analysenapparat, verbunden ist. Die Schnur verläuft über die Gasuhr weg nach hinten wieder über zwei Räder und dann über eine Schnurscheibe, die der hinten hervorragenden Fortsetzung der Achse aufgesetzt ist. Die Bedeutung dieser Einrichtung, die der automatischen Sammlung einer genauen Durchschnittsprobe der Expirationsluft dient, wird später erörtert werden.

Rechts von der Gasuhr befindet sich der dritte Teil des Apparates, der der Analyse — der Bestimmung des Kohlensäure- und Sauerstoffgehaltes der expirierten Luft — dient. Die Analyse ist eine sog. volumetrische. Man bestimmt zunächst das Volumen der gesammelten Durchschnittsprobe, läßt die Kohlensäure in gleich zu beschreibender Art absorbieren, bestimmt dann die Menge des verbleibenden Restgases. Man entfernt dann auch den Sauerstoff durch geeignete Absorption und mißt den nun verbleibenden Gasrest, der aus reinem Stickstoff (eingerechnet die geringe Menge von Argon) besteht.

Der Analysenapparat besteht danach aus sieben graduierten Meßröhren, sog. Meßbüretten, und aus den der Absorption der Kohlensäure und des Sauerstoffes dienenden Teilen, den sog. Absorptionspipetten.

Die Meßbüretten stehen in einer großen, mit Wasser gefüllten Wanne. Das Gasvolumen in ihnen erfährt keine erheblichen durch den Wechsel der Außentemperatur bedingten Schwankungen, und alle Gase haben die gleiche Temperatur wie das Wasser.

Die beiden äußersten Röhren dienen der Aufsammlung und Messung je einer Durchschnittsprobe der Expirationsluft; die beiden folgenden sind zur Messung der von Kohlensäure befreiten Luft bestimmt, die beiden nächsten zur Messung der von Sauerstoff befreiten. Das siebente, in der Mitte befindliche Rohr stellt wiederum ein Thermobarometer dar. Es enthält eine abgeschlossene Luftmasse, deren Volumen sich bei allen Änderungen des Luftdruckes und der Temperatur ändert und diese Änderungen anzeigt. Da die Luft in ihm sich unter denselben Bedingungen befindet wie die zu analysierenden Gase in den anderen Büretten, so gibt ihr Verhalten über alle thermobarometrischen Veränderungen dieser Aufschluß und ermöglicht, sie durch Rechnung auszugleichen.

Man kann nun entweder zu gleicher Zeit zwei Gasproben auffangen und analysieren und hat damit einen guten Anhalt für die Exaktheit der Bestimmungen, oder man sammelt zuerst eine Probe in der einen seitlichen Bürette, dann ohne Unterbrechung eine in der zweiten, dann eine dritte in der ersten, die unterdes von der ersten Gasprobe freigemacht wurde usw.; man kann also eine große Reihe von Bestimmungen hintereinander vornehmen und somit die Untersuchung des Gaswechsels über mehrere Stunden ausdehnen.

Die oberen Enden der beiden zu äußerst in der Wanne befindlichen Sammelröhren stehen durch ein enges Rohr in Verbindung mit dem Rohrstutzen, der die Atemluft in die Gasuhr eintreten läßt.

Wie man weiter sieht, durchsetzen alle Röhren mit ihrem unteren Ende den Boden der Wanne und stehen mit einem U-förmigen Gefäße, einem sog. Niveauröhr, in Verbindung. Hebt man dieses, nachdem man es mit Wasser gefüllt hat, so kann man alle Röhren mit Wasser füllen und die Luft aus ihnen verdrängen, senkt man es, so sinkt der Wasserspiegel in ihnen

und Luft tritt ein. Außerdem aber stehen sie mit dem schon erwähnten gekrümmten Röhrechen in Verbindung, das sich an dem an der Gasuhr befindlichen Schnurlauf befindet. Diese Verbindung bewirkt die automatische Sammlung einer genauen Durchschnittsprobe der Expirationsluft in folgender Weise:

Sobald durch Hineinatmen in die Gasuhr die Achse sich zu drehen beginnt, drehen sich auch die ihrem hinten herausragenden Ende aufgesetzten Schnurscheiben und der über sie gelegte, in sich geschlossene Schnurlauf fängt an sich zu bewegen. Dabei steigt der rechte Schenkel des auf der Figur sichtbaren Schnurstückes nach abwärts, der linke nach aufwärts. Die Drehung des Schnurlaufes geschieht vollkommen proportional der Größe des einzelnen Atemzuges, je größer dieser, um so erheblicher die Bewegung der Schnur. — Derjenige Schenkel der Schnur, der sich nach abwärts bewegt, trägt das schon besprochene gekrümmte Röhrechen, das wir Auslaufrohr nennen wollen. Es ist so hoch angebracht, daß seine Öffnung sich in der Höhe des Nullpunktes der Meßbüretten in der Wanne befindet. Sobald die Schnur sich bewegt, sinkt das Auslaufrohr ein Stück nach unten, um so weniger, je weniger die Schnur sich dreht, und umgekehrt. Es sinkt allmählich tiefer und tiefer, bis es in der Höhe des unteren Endes der Büretten angelangt ist.

Im Beginn eines Versuches sind alle Büretten, das diese mit dem Auslaufrohr verbindende Schlauchstück und das Auslaufrohr selbst mit schwach angesäuertem Wasser gefüllt. Sinkt nun das Auslaufrohr herab, so läuft das Wasser aus ihm aus, der Wasserspiegel in den mit ihm kommunizierenden beiden Büretten sinkt gleichfalls und durch das enge Rohr, das die Büretten oben mit der Gasuhr verbindet, wird Atemluft aus der Gasuhr eingesaugt. Es wird um so mehr bei jedem Atemzuge einströmen, je größer dieser ist, denn um so mehr sinkt ja dann das Auslaufrohr, um so weniger, je kleiner dieser. Die Entnahme der Probe geschieht also vollkommen proportional der Größe der Atemzüge und ganz automatisch. Die gewonnene Gasprobe stellt daher eine genaue Durchschnittsprobe dar. Ist das Auslaufrohr nach unten gesunken, so sind die Sammelröhren mit Expirationsluft gefüllt.

Wir müssen nun noch die Absorptionspipetten betrachten: Sie sind oberhalb der Wanne angeordnet, derart, daß jederseits eine mit der äußeren und mittleren, eine zweite mit der mittleren und inneren Bürette verbunden ist. — Sie bestehen aus zwei ineinander gesteckten Zylindern, deren äußerer unten geschlossen und oben offen ist, deren innerer unten offen, oben geschlossen ist und sich hier in ein kapillares Rohr fortsetzt, das die Verbindung zu den Meßbüretten herstellt.

Die beiden äußeren der Absorption der Kohlensäure dienenden Pipetten sind mit starker Kalilauge gefüllt, die beiden inneren enthalten kleine Phosphorstangen und destilliertes Wasser. In ihnen wird der Sauerstoff festgehalten.

Der Gang der Analyse ist sehr einfach. Nachdem die äußeren Meßbüretten sich mit der Atemgasprobe gefüllt haben, werden durch die in der Figur sichtbaren Quetschhähne ihre Verbindungen mit dem Auslaufrohr und mit der Gasuhr zugesperrt. Dagegen öffnet man einen Quetschhahn, der ihre Verbindung mit dem U-förmigen Niveaurohr bisher verschloß. Man bringt jetzt das Flüssigkeitsniveau in dem Niveaurohr in die gleiche Höhe mit dem in der Bürette und liest die Gasmenge an der Teilung des Rohres ab. Öffnet man nun den Quetschhahn, der zwischen Meßbürette und Kalipipette liegt, so kann man durch Heben des Niveauröhres der Gasprobe in die Pipette hineintreiben. Die Absorption der Kohlensäure geht hier sehr schnell vor sich. Schon nach einer Minute kann man unter Senken des Niveauröhres und Öffnen des oberen Quetschhahnes, der sich zwischen Kalipipette und mittleren Meßbürette befindet, das Gas in diese letztere hineinsaugen. Man liest nun wiederum, indem man die Flüssigkeitsniveaus in der Bürette und im Niveaurohr in gleiche Ebene bringt, das Volumen des Gases an der Teilung ab. Die Differenz gegen das frühere Volumen ergibt unter gleichzeitiger Berücksichtigung etwaiger thermobarometrischer Änderungen die Menge der absorbierten Kohlensäure.

In gleicher Weise verfährt man nun weiter. Man treibt, wieder durch Heben des Niveauröhres, das Gas in die Phosphorpipette, saugt es nach Beendigung der Sauerstoffabsorption, die je nach der Temperatur 5—15 Minuten dauert, in die dritte Bürette und liest wieder die Gasmenge ab. Die Differenz ergibt die Menge des absorbierten Sauerstoffes.

Da wir wissen, wieviel Kohlensäure und wieviel Sauerstoff die eingeatmete Luft enthält, können wir ohne weiteres den Zuwachs, den sie an Kohlensäure, und den Verlust, den sie an Sauerstoff durch die Atmung erfahren hat, berechnen.

Wegen der Einzelheiten der Berechnung, insbesondere der des Sauerstoffverbrauches, verweisen wir auf die Tabellen der Respirationsversuche im Anhang.

Der bisher beschriebene Apparat stellt die ursprüngliche Form dar, die auch heute noch überall da, wo der Apparat stabil aufgestellt werden kann, in Laboratorien, Krankenhäusern usw., am meisten zu empfehlen ist. Alle anderen Apparate, mögen sie auch noch so sehr äußerlich von ihm differieren, sind doch nur Modifikationen desselben.

Ein transportabler Apparat. Wir wollen kurz die Form des Apparates beschreiben, dessen wir uns auf unserer Reise bedienen. Sowohl die Gasuhr, wie der Analysenapparat zeigen Besonderheiten.

Für die Ruheversuche in Brienz und vielleicht auch noch auf dem Briener Rothorn hätten wir im Notfalle den vorstehend beschriebenen Apparat benutzen können. Für die Monte Rosa-Spitze konnte er nicht in Betracht kommen, und für unsere Marschversuche konnten wir ihn auch nicht benutzen.

Wir ließen deshalb die große Gasuhr in Berlin und nahmen dafür zwei transportable, kleine sog. trockene Gasmesser mit auf die Reise.

Sie sind in Fig. 4 bis 6 wiedergegeben. Die trockene Gasuhr stellt einen sechseckigen Kasten aus Eisenblech dar. Ihr Inneres enthält leicht bewegliche Lederbälge, die durch die eintretende Luft entfaltet werden. Ihre Bewegung überträgt sich auf eine senkrecht stehende Achse, deren Ende an der oberen Fläche der Gasuhr herausragt und hier ein Zählrädchen trägt (Fig. 5). Die Achse steht mit einem Räderwerk in Beziehung, das mehrere Zeiger in Bewegung setzt. Sie lassen die Menge der durch die Uhr hindurchtretenden Luft an den Zifferblättern, die oben an der Gasuhr angebracht sind, ablesen.

Die Uhr trägt ferner zwei Thermometer, eines, das die Temperatur der eintretenden, das andere, das die der austretenden Luft angibt. Sie wiegt nur wenige Kilo, kann bequem auf dem Rücken getragen werden und ist zu diesem Zwecke mit Riemen versehen, die über die Schultern gelegt werden können. Mehr als diese direkte Befestigung auf dem Rücken empfiehlt sich die Aufstellung des Gasmessers auf einem Holzgestelle, einem „Kraxen“, wie die Gebirgs-

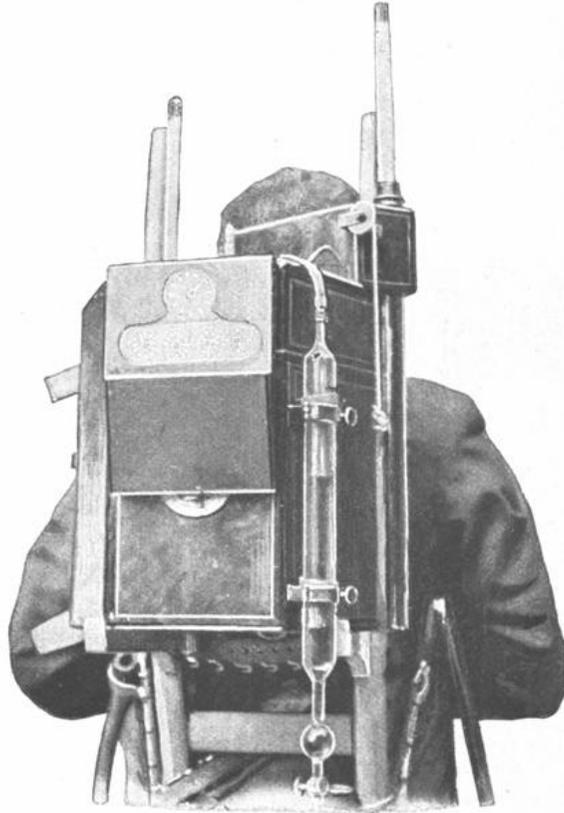


Fig. 4.

Trockene Gasuhr mit Gassammelrohr.

bewohner ihn nennen, der dann mit Riemen auf den Rücken geschmalt wird. — Diese Einrichtung zeigt die Figur 6 und sie läßt auch ersehen, wie unter Verschuß der Nase die Ausatemungsluft in die Gasuhr hineingeblasen wird.

An der rechten Seite ist die Glasröhre befestigt, welche die zur Analyse bestimmte Probe der Atemluft aufnehmen soll. Sie steht oben durch ein Stückchen dickwandigen Gummischlauches mit einem Röhrchen in Verbindung, das die Atemluft aus dem Innern der Uhr in sie übertreten

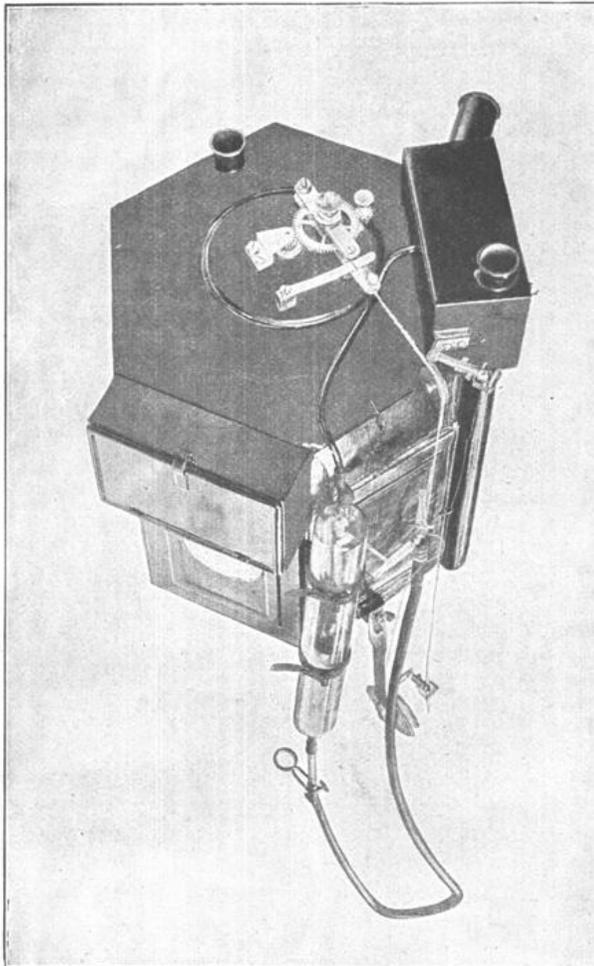


Fig. 5.
Gasuhr, Ansicht von oben.

läßt; unten trägt sie einen längeren Gummischlauch, dessen anderes Ende zu einem gekrümmten Auslaufrohr führt. Dieses ist, wie die Figur 5 zeigt, mittels einer Schnur an einem Röllchen befestigt, das oben auf der Gasuhr auf einem beweglichen Hebel sitzt. Auch dieser trägt ein kleines Zahnrad. — Vor Beginn des Versuches sind Sammelrohr, Schlauch und Auslaufrohr mit angesäuertem Wasser gefüllt. Soll die Probenahme der Expirationsluft beginnen, so wird der bewegliche Hebel so gedreht, daß beide Zahnräder ineinander greifen; das Röllchen beginnt sich zu drehen, die Schnur wickelt sich ab. Das Auslaufrohr sinkt, das Wasser fließt aus ihm ab und der Wasserspiegel im Sammelrohr fällt, so daß Atemluft in dieses hineingesaugt wird. Da die Drehung der Achse proportional der Größe der Atemzüge erfolgt, ist die bei jedem Atemzuge gesammelte Probe ein stets gleicher Anteil der Atemluft, die gesamte Probe also ein genauer Durchschnitt der expirierten Gasmenge.

Sollte ein Ruheversuch gemacht werden, so wurde die Gasuhr einfach an die Lagerstelle des zu Untersuchenden gebracht, gewöhnlich an das Bett des Betreffenden, da die Versuche, wenn nicht besondere Umstände etwas anderes ver-

langten, frühmorgens vor dem Aufstehen angestellt wurden. Das Versuchsindividuum bekam das Mundstück in den Mund, seine Nase wurde verschlossen und die Atmung in die Gasuhr begann. Wenn sie gleichmäßig geworden war, drehte man den Hebel, so daß die Zahnräder ineinander griffen. Die Schnur wickelte sich ab und die Aufsammlung der Atemprobe nahm ihren Anfang.

Während des Marschierens ist eine genaue Ablesung der Zeiger kaum möglich, da die Gasuhr die Schwankungen des Körpers beim Gehen mitmacht.

Man muß also die erste Ablesung an den Zifferblättern vor dem Beginn des Marschierens ausführen, die zweite Ablesung nach Beendigung des Marsches. Nun darf aber die Entnahme der Gasprobe, also die Senkung des Schnurlaufes, erst erfolgen, nachdem bereits einige Minuten marschiert ist und die Atmung eine gleichmäßige, der Marscharbeit zukommende Größe erreicht hat. Auch muß die Atmung in die Gasuhr mit dem Moment der Beendigung des Marsches sistieren. Das ist dadurch ermöglicht, daß in dem Schlauch, der die Atemluft vom Munde zur Gasuhr führt, ein sogenannter Cloverscher Hahn, wie ihn die Zahnärzte zur Stickoxydulnarkose benutzen, eingeschaltet ist. Er ist auf Figur 6 abgebildet. Er besitzt eine Öffnung, durch die die Atemluft zunächst ins Freie entweicht; erst in dem Moment, in dem die Probenahme beginnen soll, schließt ihn der Marschierende, so daß nun die Atemluft durch die Gasuhr gehen muß. In dem Augenblick, in dem der Marsch beendet ist, wird er wieder geöffnet.

Nach Schluß des Versuches wird das Gassammelrohr von der Gasuhr entfernt, sein oberes Ende durch einen Quetschhahn oder durch ein Glasstäbchen verschlossen. An das untere Ende, von dem der Schlauch mit dem Auslaufrohr abgenommen wird, wird ein anderer Schlauch, der mit einem größeren kugeligen Behälter verbunden ist, angesetzt. Dieser Schlauch und die Kugel sind natürlich auch mit Wasser gefüllt.

Das so vorbereitete Sammelrohr bringt man nun an die Analysenwanne (Abbildung auf S. 159) und fügt es da an, wo sonst die obere Verbindung zur Gasuhr war. Anstatt aus der Gasuhr tritt nun das Atemgas aus dem Sammelrohre in die äußeren Büretten über, wenn man das an der Wanne befindliche Niveauröhr senkt und die Kugel, mit der das Sammelrohr zuvor verbunden wurde, hebt. Ist das Atemgas in die Bürette hineingebracht, so wird es so, wie zuvor beschrieben, analysiert.

Nach Brienz konnten wir unseren Analysenapparat mit Wasserwanne mitnehmen, auf dem Briener Rothorn dagegen und auf der Monte Rosa-Spitze mußten wir uns anders behelfen. Wir sahen von dem Wassergefäß ganz ab, stellten sieben Meßbüretten und vier Absorptionspipetten genau so zusammen, wie sie an der Wanne angeordnet sind, und befestigten diesen Analysenapparat an der Wand des Zimmers. Das Gas in den Büretten war nun allerdings den Temperaturschwan-



Fig. 6. Bereit zum Marschversuch.

kungen des Raumes frei ausgesetzt. Das zeigte sich bald sehr störend, denn es traten erhebliche Schwankungen der Gasvolumina ein und es dauerte lange, bis sie die Zimmertemperatur angenommen hatten. Wir brauchten für drei Analysen so viel Zeit wie sonst für zehn und mußten sehr vorsichtig arbeiten, um nicht durch die Wärmeausstrahlung unseres Körpers und speziell durch den unserem Munde entströmenden warmen Atem die Büretten zu erwärmen und so fehlerhafte Messungen zu erhalten.

Eine eigentümliche Schwierigkeit bot die Sauerstoffabsorption im Phosphor. Es wurde schon erwähnt, daß sie von der Temperatur abhängig ist. Unterhalb 14° geht sie nicht mehr vollkommen vor sich. Im Analysenzimmer mußte also eine Temperatur über 14° herrschen. In kleineren Berghotels und in Hütten sind nicht alle Zimmer heizbar. Auf dem Brienzer Rothorn fanden wir wenigstens ein heizbares, das wir als Laboratorium benutzten; auf dem Col d'Olen-Wirtshaus konnten wir nur ein Zimmer benutzen, das indirekt geheizt wurde. Es lief nämlich der Rauchfang eines kleinen eisernen Ofens, der ein Stockwerk tiefer aufgestellt war, durch dieses Zimmer hindurch und vermochte es, wenn unten kräftig geheizt wurde, genügend zu erwärmen. In der Margherita-Hütte mußten wir unseren Wand-Analysenapparat in dem Raume aufhängen, der als Wohnraum, Speiseraum, Küche zugleich diente und nun auch zum Laboratorium wurde.

Der Raum führte direkt ins Freie. Wurde die Tür geöffnet, so drang ein Strom eisiger Luft hinein, der eine gewaltige Temperaturänderung und damit eine entsprechende Volumschwankung der Gase in den der Tür gegenüber aufgehängten Büretten hervorrief. Hier war alle Aufmerksamkeit erforderlich, um nicht Analysefehler zu begehen, die den Versuchen allen Wert rauben konnten. Später wurde uns von dem oben anwesenden Prof. Sella aus Rom ein kleiner Ofen überlassen, der sein meteorologisches Observatorium zu heizen bestimmt war. Dank dieser Liebenswürdigkeit, die man erst ermessen kann, wenn man erwägt, daß die nicht geheizten Räume der Hütte eine Temperatur dicht an Null oder unter Null Grad hatten, konnten wir ein zweites Zimmerchen, das sonst den Hüttenkustoden zum Aufenthalt diente, erwärmen und unseren Analysenapparat in dieses bringen. Es war Temperaturschwankungen weit weniger ausgesetzt.

Im Jahre 1903 benutzten Durig und Zuntz in der Margherita-Hütte einen neuen, von Durig konstruierten Apparat, der alle diese Mängel vermeidet. Er besitzt ebenso wie unser zuerst beschriebener Apparat einen Wassermantel und ist dabei gut transportabel. — Da es sich um einen Apparat handelt, der bestimmt erscheint, alle bis jetzt benutzten zu verdrängen und allen späteren Untersuchern ausgezeichnete Dienste zu leisten, wollen wir ihn hier abbilden und beschreiben.

Zwei Gasbüretten und das Thermobarometer *B* sind in einen $8\frac{3}{4}$ cm weiten und 110 cm hohen Glaszylinder eingesenkt und kommunizieren durch ein gegabeltes Glasrohr miteinander und mit dem Niveauröhr *N*. — Die links stehende Gasbürette dient zur Ableseung des Volumens der Expirationsluft und des nach Absorption der Kohlensäure in der Pipette *K* verbleibenden Gasrestes. Der aus Stickstoff und Sauerstoff bestehende Gasrest wird in die Phosphorpipette *P* und dann zur Ableseung des restierenden Stickstoffes in die rechte Gasbürette übergeführt, von hier ins Freie entlassen. Alle Glasteile sind, wie die Zeichnung zeigt, an einer in den Tisch eingeschraubten und mit Schnüren an der Decke versicherten eisernen Stange befestigt. Die Phosphorpipette befindet sich in einem heizbaren mit Wasser gefüllten Metallmantel, der seinerseits einen Flanellmantel

und oben einen zugleich das Licht vom Phosphor abhaltenden Filzdeckel trägt. Aus den an der transportablen Gasuhr mit dem Atemgase gefüllten Sammelröhren *A* wird das Gas mit Hilfe der Füllkugel *F* zur Analyse in die linke Gasbürette hinübergetrieben. Der die Bürette mit *A* verbindende dickwandige Kapillarschlauch ist in Wirklichkeit nur wenige Zentimeter lang. Ebenso ist die Verbindung von *P* mit den Büretten nicht länger als die von *K*.

Der kompendiöse Apparat gestattet ein fast ebenso schnelles Arbeiten wie die im Laboratorium gebräuchliche, von uns in Brienz benutzte Analysenwanne (Fig. 2).

Die vorstehenden Schilderungen geben ein Bild davon, wie es gelungen ist, auch unter den schwierigen Verhältnissen des Hochgebirges mit Erfolg den Gaswechsel des Menschen zu untersuchen.

Wir müssen noch mit wenigen Worten auf unsere Arbeitsversuche zurückkommen. — Um die Größe des Stoffumsatzes, den die Arbeit beansprucht, beurteilen zu können, muß die Arbeitsleistung genau bekannt sein. Wir müssen also Mittel haben, um sie festzustellen.

Die Arbeit, die wir während unserer Expedition leisteten, war Marschiarbeit, und zwar marschierten wir entweder auf horizontalem, oder auf schräg ansteigendem, oder auf schräg abfallendem Wege. Die Prinzipien dieser Arbeitsmessung sind schon im Kapitel III besprochen. Man muß das Gewicht des marschierenden Menschen kennen, die Länge des Weges, den er zurücklegt, und, wenn es sich um Bergauf- oder -abgehen handelt, die erstiegene Höhe bzw. den vollzogenen Abstieg in Metern.

Unser Gewicht bestimmten wir mittels zu diesem Zweck direkt beschaffter

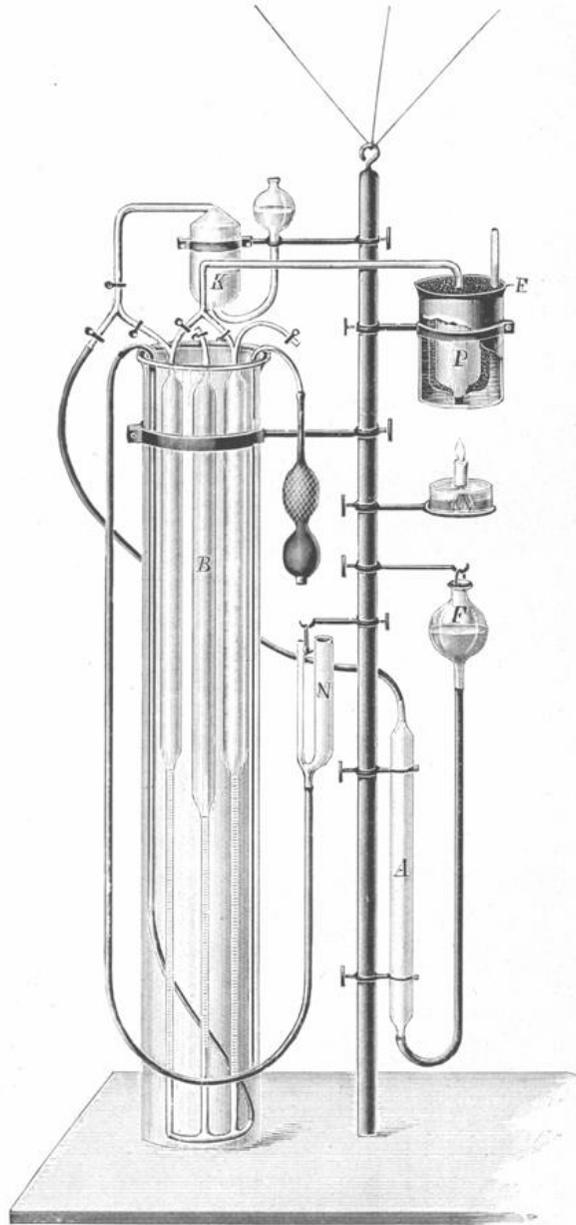


Fig. 7. Neuer Gasanalysenapparat nach Durig.

sehr genauer Wagen. Die eine war eine Schalenwage, die die Wägung von Menschen bis auf 1 g genau gestattete, die zweite eine gute Dezimalwage. Erstere benutzten wir in Brienz, letztere auf dem Briener Rothorn und auf der Gnifettispitze. Auf letztere wurde sie, in mehrere Teile zerlegt, auf dem Rücken von Trägern hinaufgeschafft und sie schmückt auch heute noch die Hütte. Wir ließen sie dort als Dank für die genossene Gastfreundschaft, um späteren Forschern einen Dienst zu leisten.

Die Feststellung der anderen, zur Ermittlung der Arbeitsleistung notwendigen Größen, nämlich der Länge des durchlaufenen Weges und der erstiegenen Höhe, war uns in Brienz sehr leicht gemacht.

Die Bahntrace, die wir benutzten, hat eine ausgezeichnete Markierung. Sie ist in ihrer ganzen Ausdehnung mit Angaben über die Länge des Weges, den Grad der Steigung, die Höhe über dem Meere versehen. Die Steigung ist eine fast durchweg gleiche und beträgt 25%. Kleinere Wegstrecken konnten hinreichend exakt dadurch gemessen werden, daß man die Zahl der überschrittenen Schwellen zählt. Der Zwischenraum zwischen je zwei Schwellen beträgt stets 90 cm.

Die Marschversuche gingen nun so vor sich, daß die Versuchsperson den die Gasuhr tragenden Kraxen auf den Rücken nahm, die Nase wurde zugeklemmt, das am Ventilapparat befestigte Mundstück in den Mund genommen und die Atmung begonnen. Dabei war der erwähnte Cloversche Hahn offen, so daß die Ausatemluft nicht in die Gasuhr drang. Eine zweite Person las den Stand der Gasuhr und der beiden Thermometer ab. — Nun folgte der sog. Vormarsch. Er dauerte einige Minuten. Dann schloß auf ein bestimmtes Zeichen der Marschierende den Hahn und damit begann der eigentliche Versuch, denn jetzt strömte die Ausatemluft durch die Gasuhr und die Sammlung der zur Analyse bestimmten Durchschnittsprobe in dem an der Gasuhr befestigten Sammelrohr ging vor sich. —

War das Sammelrohr gefüllt, so wurde auf ein zweites Zeichen des Begleiters der hinter der Versuchsperson hergegangen war, der Cloversche Hahn wieder geöffnet und Halt gemacht. Es wurde sofort die Dauer des Marsches, der nunmehrige Stand der Gasuhr und der Thermometer notiert. — Die Versuchsperson selbst hatte die Aufgabe, die Atemzüge während des Marsches zu zählen. Das Sammelrohr wurde abgenommen, oben und unten luftdicht verschlossen und nach Befestigung eines zweiten Rohres konnte ein neuer Versuch beginnen.

Fig. 6 zeigt Loewy zum Marsch bereit. Eine weitere Erläuterung ihrer Einzelheiten erübrigt sich hier wohl. Hingewiesen sei nur auf den eigenartigen Kopfschmuck. Es ist das ein noch öfter zu erwähnender Helm, der das zur Messung der Windbewegung bestimmte Anemometer trägt.

Noch bequemer war es, bei den Kontrollversuchen in Berlin den Energieaufwand festzustellen, den das Aufwärtssteigen erforderte. Wir bedienten uns hier eines besonderen, für gleiche Zwecke, wie wir sie verfolgten, eigens gebauten Apparates, einer sog. Tretbahn. Sie ist seinerzeit beim Zuntzschens Laboratorium aufgestellt worden, um den Verbrauch, den horizontal oder auf geneigter Bahn — sei es aufwärts, sei es abwärts — gehende Pferde haben, genau zu ermitteln.

Die Tretbahn ist auf Figur 8 in Seitenansicht abgebildet.*) Auf einem starken Holzgestell bewegt sich eine aus einzelnen Gliedern bestehende in sich geschlossene Bahn, eine sog. „Bahn ohne Ende“, mittels kleiner Räder auf einem Schienenpaare. Die einzelnen Glieder bestehen aus starken Bohlen. Die Bahn bewegt sich vom Vorderende des Tretwerkes zum hinteren. Hat ein Glied sich bis zum hinteren Ende der Bahn bewegt, so schlägt es nach unten um und wird unterhalb der Bahn wieder nach vorn geführt. Dort wird es mit Hilfe eines Zahnrades *E* wieder nach oben gehoben.

Das Gestell, auf dem die Bahn sich bewegt, ruht auf zwei Unterstützungspunkten. Vorn liegt es mit einer Querachse in einer Art Mulde *O*, in einem etwas vertieften Ausschnitte, in dem die ganze Bahn drehbar ist. Hinten wird das Gestell von einer mit Zahnrädern versehenen Stahlachse *H* gehalten, die in zwei senkrecht stehende Zahnstangen *I* eingreift, die ihrerseits an Pfosten *G* befestigt sind. Die Stahlachse kann mittels eines langen eisernen Hebels an der Zahnradstange hoch und niedrig eingestellt werden und so die Bahn horizontal gestellt oder in verschiedenem Grade aufwärts oder abwärts geneigt werden. Es ist also horizontaler Gang, Bergaufsteigen und Bergabgehen möglich.

Die Tretbahn ist noch mit einigen Nebenvorrichtungen versehen. — Die Achse des erwähnten Zahnrades *E* trägt jederseits eine große Scheibe; die eine nimmt den von der Dampf-

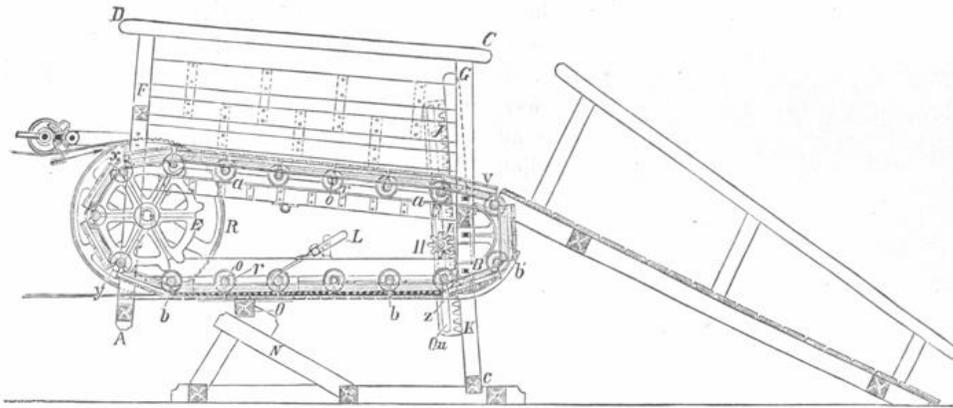


Fig 8. Unsere Tretbahn.

maschine kommenden Riemen auf, der die Tretbahn in Bewegung setzt, die zweite dient der Bremsung der Bahn. Über sie läuft ein Stahlband, dessen eines Ende oben am Gestell befestigt ist, dessen anderes frei endet und eine Schale trägt, die entsprechend der gewünschten Bremsung mit Gewichten belastet werden kann. Neben der Bremscheibe befindet sich auf der Achse noch ein Tourenzähler. Er gibt die Zahl der Umdrehungen des Rades *E* an, woraus sich der von der Bahn zurückgelegte Weg berechnen läßt.

Der Marschierende steht auf der Bahn, die, wie erwähnt, sich von vorn nach hinten bewegt. Er ist sonach gezwungen, wenn er an Ort und Stelle bleiben will, vorwärts zu gehen und zwar gerade so viel, wie die Bahn sich nach rückwärts bewegt.

Um die während des Marsches auf geneigter Bahn erstiegene Höhe zu messen, muß man neben der durchmessenen Wegstrecke genau den Winkel kennen, den die Bahn mit der Horizontalen bildet. Dann ist die Höhe nach einfachen trigono-

*) Die Tretbahn ist zuerst beschrieben bei N. Zuntz, C. Lehmann, O. Hagemann: „Untersuchungen über den Stoffwechsel des Pferdes“. Landwirtschaftl. Jahrbücher. XVIII. 1889.

metrischen Gesetzen zu berechnen. (Sie ist gleich dem Sinus dieses Winkels multipliziert mit der durchschrittenen Wegstrecke.) Der Neigungswinkel wurde mittels eines genauen Nivellierinstrumentes in jedem Versuche ermittelt.

Die Beschreibung der Technik, die uns zur Messung des Gaswechsels dienen sollte, mußte etwas breiter und umständlicher gegeben werden, um verständlich zu sein und um zu zeigen, daß wir alle in Betracht kommenden Faktoren in ausreichendem Maße berücksichtigt haben.

Wir können uns nun um so kürzer fassen. — Es ist bei der Besprechung des Versuchsplanes darauf hingewiesen worden, daß wir während der ganzen Dauer unseres Versuches ständig kontrollieren wollten, welche Mengen Flüssigkeit von unserer Haut- und Lungenoberfläche verdampfen und auch in Form von Schweiß von der Haut sezerniert werden. — Diese Kenntnis war notwendig, einerseits zur Beurteilung der Wärmeregulierung, d. h. zur Bestimmung der Wärmemengen, die uns durch Verdampfung entzogen werden, andererseits zur Berechnung der Menge stickstoffhaltigen Materiales, welche mit dem Schweiß ausgeschieden wurde.

Unter Berücksichtigung sämtlicher wägbarer Einnahmen und Ausgaben des Körpers berechnet sich aus den durch die täglichen Wägungen bekannten Gewichtsschwankungen des Körpers der sogenannte insensible Verlust (*Perspiratio insensibilis*), an dem sich die abgegebene Kohlensäure beteiligt, der aber — wie später in Kapitel XIV ausführlich erörtert werden wird — im wesentlichen aus Wasser besteht.

Aus der Größe der Lungenventilation und dem Wasserdampfgehalt der eingeatmeten Luft läßt sich die von der Lunge abgegebene Wassermenge berechnen. Der Rest stammt von der Haut her. — Das Hautsekret enthält nun stickstoffhaltige Substanzen und diese müssen zur Aufstellung einer Bilanz der eingeführten und abgegebenen stickstoffhaltigen Stoffe — der sog. Stickstoffbilanz — bestimmt werden. Diese Bestimmung war, wenn man nicht groben Täuschungen unterliegen wollte, für die Tage mit großen Märschen bergauf, an denen die Schweißabgabe eine bedeutende war, geradezu notwendig. Wir gingen so vor, daß wir den abgesonderten Schweiß in besonderem wollenen Unterzeug auffingen. Dies war zuvor wiederholt mit saurem Wasser ausgewaschen worden, bis die Waschwässer nur noch Spuren von Stickstoff enthielten. Nach dem Tragen wurden sie wiederum wiederholt ausgewaschen und die Menge des jetzt ausgelaugten Stickstoffes ermittelt.

Vor dem Anlegen des Schweißzeuges war der ganze Körper mit warmem Wasser abgewaschen worden; nach dem Versuche wurde eine neue Waschung vorgenommen und auch dieses Waschwasser sowie die benutzten Waschtücher auf ihren Stickstoffgehalt untersucht. Dasselbe geschah mit den Taschentüchern, die wir während des Marsches zur Entfernung des Schweißes von Kopfhaut, Gesicht, Stirn, Nacken benutzten. Auch deren Gehalt an Stickstoff wurde festgestellt. Wir sorgten also in jeder Beziehung dafür, daß kein Tropfen Schweiß verloren ging.

Neben den bisher besprochenen Methoden, die den Stoffwechsel im weitesten Sinne betrafen, haben wir ferner unser Augenmerk auf das Verhalten des Pulses, die Form der Atmung, die Beschaffenheit des Blutes gerichtet.

Es scheint uns zweckmäßig, die dafür benutzten Methoden und Apparate nicht an dieser Stelle, vielmehr in den diesen Funktionen speziell gewidmeten Kapiteln zu beschreiben.

Literatur.

- 1) Berthelot: Chaleur animale. Paris.
- 2) W. Cronheim: Arch. f. Physiolog. 1902. Supplementbd.
- 3) J. Geppert und N. Zuntz: „Über die Regulation der Atmung“. Pflügers Arch. f. die gesamte Physiologie. Bd. 42. Hier ist das Prinzip des Apparates angegeben. Eine eingehende Beschreibung findet sich bei A. Magnus-Levy: Pflügers Arch. f. d. gesamte Physiologie. Bd. 55.
- 4) M. v. Pettenkofer: „Über einen neuen Respirationsapparat“. Abhandlungen der Mathemat.-physikal. Klasse der Akademie zu München. IX, 2. 1862.
- 5) Regnault und Reiset: „Recherches chimiques sur la respiration des animaux des diverses classes“. Paris 1849. — Auch: Annalen der Chemie und Pharmazie. LXXIII. 1850.
- 6) Stohmann und Langbein: Journ. f. prakt. Chemie. Bd. 42, 44, 45.
- 7) R. Tigerstedt und Sondén: „Untersuchungen über die Respiration und den Gesamtstoffwechsel des Menschen“. Skandinavisches Archiv für Physiologie. Bd. VI, 1.

