

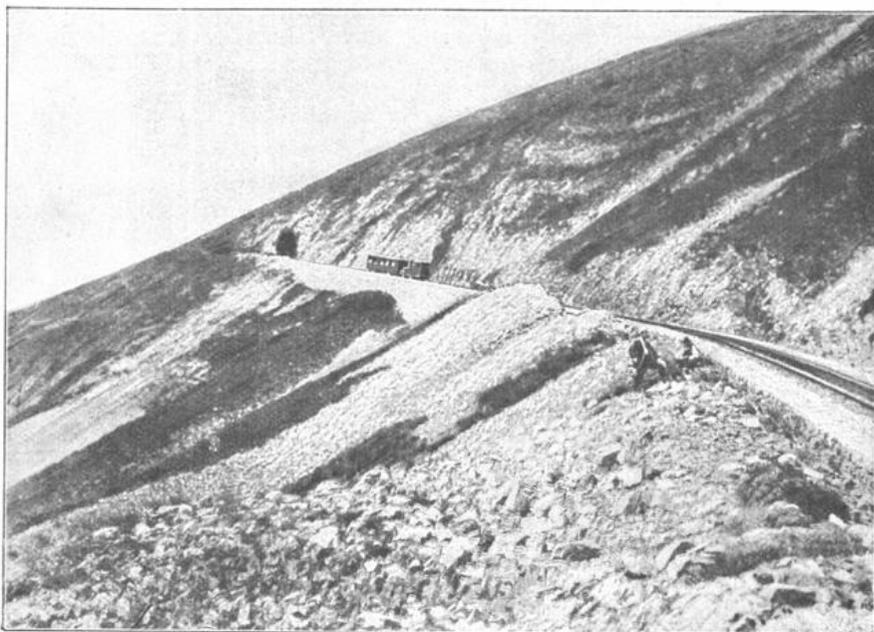
## **Universitäts- und Landesbibliothek Tirol**

### **Höhenklima und Bergwanderungen in ihrer Wirkung auf den Menschen**

**Zuntz, Nathan**

**Berlin, 1906**

Kapitel VIII. Die Verbrennungsprozesse im Körper



„Obere Versuchsstrecke“ in 2000 m Höhe auf dem Briener Rothorn.

## Kapitel VIII.

### Die Verbrennungsprozesse im Körper.

**I**n Kapitel III haben wir die Bedeutung des Gaswechsels für die Beurteilung des Stoffumsatzes und der Leistungen des Körpers auseinandergesetzt. Wir haben dort gesehen, daß der Gaswechsel die Natur und Menge der im Organismus umgesetzten Stoffe genau erkennen läßt und uns dadurch befähigt, die Kraftmengen zu berechnen, welche der Körper für seine Leistungen aufwendet. Dort wurde auch schon erörtert, daß von den zwei Methoden der Gaswechseluntersuchung diejenige, welche Apparate verwendet, in die der Mensch behufs Untersuchung des Gesamtumsatzes auf längere Zeit eingeschlossen wird, für uns nicht in Betracht kommen konnte. Alle uns interessierenden Fragen ließen sich dagegen in befriedigender Weise durch Untersuchung der Lungenatmung während kurzer Zeitperioden lösen. Hierbei werden, wie in Kapitel V beschrieben, die Atemwege des Menschen direkt mit den Meßapparaten verbunden.

#### 1. Der Gaswechsel bei Körperruhe.

Wir wollten ermitteln, ob die veränderten Lebensbedingungen, welche der Aufenthalt in der Höhe einerseits, intensive Muskeltätigkeit andererseits schafft, den Stoffumsatz des ruhenden Menschen beeinflussen. Das konnte nur so geschehen, daß wir möglichst alle verändernd einwirkenden Momente ausschalteten, um die Atmung

im Zustande der Ruhe und unter den Bedingungen zu vergleichen, welche die einfachsten sind. Aus früheren Untersuchungen wissen wir, daß ein in behaglicher Bettwärme morgens nüchtern ruhender Mensch diesen Normalzustand am besten und vollkommensten repräsentiert. Der so gemessene Verbrauch wird durch eine ganze Reihe von Einflüssen während des Tages verändert, meist vergrößert. Von diesen Einflüssen sind die wichtigsten die früher schon ausführlich gewürdigte Muskeltätigkeit, die Tätigkeit des Verdauungsapparates, der Einfluß der äußeren Temperatur, endlich die Art der Ernährung, insofern ein größerer Eiweißreichtum der Kost, auch abgesehen von der Verdauungsarbeit, einen intensiveren Stoffumsatz bewirkt. Ein Einfluß psychischer Momente ist nur dann nachweisbar, wenn diese mit Spannungen oder Bewegungen im Bereich der Muskulatur verbunden sind. Das hat schon Speck<sup>22)</sup> durch eine Reihe einwandfreier Versuche dargetan, das konnte Loewy<sup>13)</sup> und ihn bestätigend Johansson<sup>8)</sup> durch Vergleich des Gaswechsels eines Menschen im Zustande absoluter willkürlicher Ruhe einerseits, im Schlaf andererseits feststellen. Sie fanden, daß absolut kein Unterschied im Verbrauch vorhanden war.

Wir haben die Untersuchung des Gaswechsels bei absoluter Ruhe morgens im Bett während sämtlicher Phasen unserer Versuchsreihe, beginnend in Berlin und endend mit dem Aufenthalt auf dem Gipfel des Monte Rosa, durchgeführt.

Die Ergebnisse sind in den Tabellen X—XV des Anhangs übersichtlich zusammengestellt.

Zur Erläuterung derselben diene folgendes: Das Volumen der ausgeatmeten Luft wurde jede Minute abgelesen. Der mittlere Wert desselben findet sich in Stab 2, und ist in Stab 3 auf den Normaldruck von 760 mm und die Temperatur von Null Grad umgerechnet. Wie in Kapitel V beschrieben, wurde eine genaue Durchschnittsprobe der ausgeatmeten Luft gesammelt. Die Ergebnisse der Analyse derselben gibt Stab 4 und 5. Aus dem Sauerstoff- und Stickstoffgehalt der ausgeatmeten Luft berechnet sich die Menge Sauerstoff, welche der Körper aus 100 cem Expirationsluft aufgenommen hat, das prozentische „Sauerstoffdefizit“<sup>\*)</sup> Hieraus multipliziert mit dem Wert von Stab 3 ergibt sich der Sauerstoffverbrauch in Stab 7. In gleicher Weise wird die in Stab 8 aufgeführte Kohlensäureausscheidung aus 3 und 5 berechnet, nachdem von dem Kohlensäurevolumen der Gehalt der eingeatmeten Luft an Kohlensäure abgezogen ist.<sup>\*\*)</sup> Den in seiner Bedeutung in Kapitel III, S. 95, ausführlich erörterten respiratorischen Quotienten, d. h. das Volumverhältnis der Kohlensäureausscheidung zum Sauerstoffverbrauch, zeigt Stab 9. Die Atemfrequenz, d. h. die Zahl der Atemzüge pro Minute (Stab 10), in das Minutenvolum (Stab 2) dividiert, gibt die mit jedem Atemzug geförderte Luftmenge, die „Atemtiefe“ (Stab 11).

Behufs späterer Erörterung der Atemmechanik und der sie regulierenden nervösen Mechanismen finden sich noch in Stab 12 und 13 Zahlen, welche die Spannung des Sauerstoffs und der Kohlensäure in den Lungenbläschen, und in Stab 14 solche, welche die Beziehung der Kohlensäurespannung in den Lungenbläschen zur Gesamtgröße der Atmung (vgl. Kapitel XI) angeben.

Wir betrachten in diesem Kapitel zunächst nur Stab 7 und 8: Sauerstoffverbrauch und Kohlensäureausscheidung.

Da jede Muskeltätigkeit den Atemprozeß beeinflusst, hängt die Erzielung vollkommen normaler Zahlen einigermaßen von der Sachkenntnis der Versuchspersonen

\*) Wegen der Art der Berechnung vergleiche man z. B. die Arbeit von Heineman, Pflügers Arch. 83. S. 451.

\*\*\*) Dieser wurde zu Beginn und im Verlauf der Versuche durch zahlreiche Analysen der Zimmerluft ermittelt.

ab. Dieselben müssen es verstehen, eine vollkommen bequeme Lage einzunehmen, die Verbindung mit dem Mundstück und den Ventilen derart herzustellen, daß sie keinerlei Belästigungen dabei empfinden. Nur so ist es möglich, während des Versuchs jede Bewegung und jede Muskelspannung auszuschließen. Es muß ferner darauf gehalten werden, daß der Körper sich im Zustande behaglicher Wärme befindet. Die Herren Waldenburg und Kolmer waren weniger geübt als die anderen Experimentatoren und daher finden sich bei ihnen größere Abweichungen der Einzelversuche vom Mittel, wie ein Blick auf Tabelle X und XI des Anhangs zeigt.

**Vergleich des Gaswechsels in Berlin und Brienz.** Es fragt sich nun zunächst, ob die Veränderung der Lebensweise und der klimatischen Bedingungen, welche mit dem Übergang von Berlin nach Brienz verbunden war, irgendeinen Einfluß auf die Verbrennungsprozesse ausgeübt hat. Für die Mehrzahl von uns bedeuteten die ersten sechs Tage in Brienz (Periode I Brienz) trotz der ständigen Anspannung der Aufmerksamkeit, welche der Stoffwechselversuch erforderte, eine angenehme Erholungszeit in schöner Natur. Hierauf folgte die Periode der Übungsmärsche, während deren sich Kolmer, Müller und Loewy zwölf Tage lang auf dem Gipfel des Rothorns aufhielten. Nach ihrer Rückkehr lebten sie in Brienz genau wie in den ersten Tagen (Periode III Brienz).

Wir stellen nun die Mittelwerte des Sauerstoffverbrauchs und der respiratorischen Quotienten dieser Perioden zusammen.

Tabelle 1.

	Berlin			Brienz I			Brienz III		
	Sauerstoffverbrauch in cem		Respi- rator. Quot.	Sauerstoffverbrauch in cem		Respi- rator. Quot.	Sauerstoffverbrauch in cem		Respi- rator. Quot.
	absolut	pro kg		absolut	pro kg		absolut	pro kg	
Waldenburg	248.3	4.43	0.73	244.2	4.28	0.83			
Kolmer . . .	267.5	3.74	0.79	254.0	3.72	0.85	238.2	3.48	0.83
Caspari . . .	226.0	3.42	0.76	224.1	3.46	0.76			
Müller . . .	248.7	3.40	0.85	243.4	3.37	0.77	227.8	3.19	0.77
Loewy . . .	227.0*)	3.78	0.76	207.8	3.43	0.76	197.1	3.29	0.77
Zuntz . . . .	{ 227.9**)	3.35	0.82	} 218.9	3.21	0.78			
	{ 228.0***)						3.30	0.80	
Mittel	240.9	3.63	0.78	227.5	3.58	0.78			

Ein Überblick über diese Zahlen lehrt zunächst, daß die respiratorischen Quotienten im Mittel unverändert geblieben sind, daß also der Anteil der einzelnen Nährstoffe an den Verbrennungsprozessen sich nicht wesentlich verschoben hat. Weiter zeigt sich ausnahmslos eine geringe Abnahme des Sauerstoffverbrauches in Brienz, verglichen mit Berlin. Im Mittel beträgt die Abnahme 5,6%. — Nach der Rückkehr vom Rothorn sinkt der Verbrauch noch weiter. Im Mittel beträgt er bei den drei hier in Betracht Kommenden:

\*) Versuche vom Juli 1903 in Berlin.

\*\*) 1895—1896 5 Versuche.

\*\*\*) 21 Versuche aus dem Jahre 1903.

in Berlin	Brienz I	Brienz III
247.7 ccm bei 0.80 RQ.	235.1 ccm bei 0.79 RQ.	221.0 ccm bei 0.79 RQ.

Der Unterschied zwischen Berlin und der ersten Brienzener Periode dürfte auf verschiedenen Momenten beruhen. Bei einigen von uns ist zu bedenken, daß sie bei ihren Berliner Versuchen noch nicht ganz vollkommen die Aufgabe, sich absolut ruhig zu halten, erfüllten, ferner, daß diesen Versuchen der teils zu Fuß, teils auf dem Fahrrad zurückgelegte Weg ins Laboratorium kurz voranging, während die Brienzener Versuche stets morgens im Bett ausgeführt wurden. Solche Gesichtspunkte können aber den Unterschied der ersten und dritten Brienzener Periode nicht erklären.

Auf Grund früherer Erfahrungen hätten wir eigentlich eine Steigerung des Ruheverbrauchs durch das Training der Muskeln erwarten dürfen. Es liegen in dieser Hinsicht Mitteilungen von Zuntz und Schumburg<sup>27)</sup> vor. Danach stieg der Sauerstoffverbrauch im Laufe des Trainings durch angestrengte Märsche bei der einen Versuchsperson von 4.04 ccm pro kg Körpergewicht und Minute auf 4.30, bei der anderen von 3.74 auf 4.24, d. h. um 6.4 bzw. 13.0%, also in recht erheblichem Maße. Ähnliche Erfahrungen hatte Zuntz<sup>28)</sup> an Hunden gemacht. Bei einem Hunde, dessen Gaswechsel durch eine Reihe von Jahren beobachtet wurde, stieg die Wärmeproduktion, nachdem drei Wochen lang täglich ein Weg bergauf mit etwa 2000 m Steigung gemacht war, um 17.4% des Wertes, welcher am Ende einer zweijährigen Ruheperiode bestand, und sank dann wieder bei Körperruhe im Laufe von zwei Jahren bei gleichzeitig eiweißärmerer Kost bis 11.5% unter den Anfangswert. —

Fast unbeeinflusst durch Höhenwirkungen fand bei den drei in Brienz verbliebenen Mitgliedern unserer Expedition das Training durch Märsche statt. Unter ihnen zeigt Waldenburg, der jüngste von uns, am 23. August (d. h. am Schluß der Übungsmärsche) eine ausgesprochene Steigerung des Verbrauchs, auch bei Zuntz besteht eine Steigerung, auf die allerdings wegen der geringen Zahl der Versuche kein Wert zu legen ist. Bei Caspari hat sich nichts geändert; für ihn ist aber zu bemerken, daß er zwei Tage vor den letzten Versuchen infolge einer Fußverletzung absolut geruht hatte, was vielleicht genügte, um die Wirkung des Training rückgängig zu machen. Angesichts dieser Verhältnisse muß die Abnahme des Verbrauchs um 5.6% bei den vom Rothorn Zurückgekehrten erst recht auffallen. Sie kann nur mit dem vorangegangenen Höhengaufenthalt in Beziehung gebracht werden. — Der Zusammenhang wird später noch näher erläutert werden.

**Vergleich des Gaswechsels in Brienz (530 m) mit dem in höheren Berglagen.** Über den Einfluß der Höhe liegen uns bereits eine Reihe älterer eigener Erfahrungen vor. Nachdem Loewy gefunden hatte, daß kurzdauernde Luftverdünnung, wie man sie im pneumatischen Kabinett erzeugt, den Gaswechsel unverändert läßt, fanden Schumburg und Zuntz<sup>29)</sup> in Höhen bis zu 2900 m bei Zuntz gar keine, bei Schumburg eine nur geringe Steigerung des Sauerstoffverbrauchs, die nur etwa so groß war, daß sie gerade zur Deckung der Mehrarbeit der Atemmuskeln ausreichte. Es wuchs nämlich seine Atemgröße pro Minute von 5653 ccm in Berlin auf 6364 in 1600 m und 7060 ccm in 2900 m Höhe. Da nun, wie vielfache Versuche ergeben haben, eine Mehrventilation von 1 l den Sauerstoffverbrauch infolge der gesteigerten

Arbeit der Atemmuskeln um etwa 5 ccm erhöht, so erklärt diese Mehrventilation im wesentlichen den gesteigerten Sauerstoffverbrauch. Nur auf dem Monte Rosa-Gletscher in 3675 m Höhe war die Zunahme eine recht erhebliche, hier waren aber Muskelspannungen nicht ganz ausgeschlossen, außerdem standen die Versuche unter der Nachwirkung der Steigarbeit, so daß sie keine einwandfreien Schlüsse in bezug auf die Wirkung der Höhe auf den Sauerstoffverbrauch in der Ruhe zulassen. Zwei Jahre später nahm Loewy<sup>15)</sup> mit seinem Bruder und Leo Zuntz diese Untersuchungen wieder auf. Zuvor wurden an L. Zuntz Ruheversuche im pneumatischen Kabinett ausgeführt, die wiederum ein Gleichbleiben des Sauerstoffverbrauchs bei Luftverdünnung ergaben. Dagegen hatte die zu längerem Aufenthalt benutzte Berghöhe von 3700 m bei allen eine deutliche Steigerung zur Folge, während in der Höhe von 2900 m nur bei L. Zuntz eine solche zu beobachten war.

Der Sauerstoffverbrauch betrug in der Meereshöhe von:

	40 m	2900 m	3700 m
bei A. Loewy . . . . .	205 ccm	198 ccm	218 ccm (+ 6.3%)
„ J. Loewy . . . . .	239 „	225 „	287 „ (+ 20.1%)
„ L. Zuntz . . . . .	231 „	291 „ (+ 26%)	269 „ (+ 16.5%)

Bei dem Letztgenannten kam außerdem ein allerdings nur wenige Stunden dauernder Aufenthalt in der Gipfelhütte des Monte Rosa (4560 m) hinzu, wobei noch nach mehrstündiger Ruhe der Sauerstoffverbrauch 431 ccm (+ 86.6%) betrug. Man sieht, daß die Wirkung der zunehmenden Höhe keine regelmäßige ist. Es ist bemerkenswert, daß eine gewisse Akklimatisation an die Höhe nach einigen Tagen eintrat, welche z. B. bei Leo Zuntz bewirkte, daß der Verbrauch nach einigen Tagen des Aufenthaltes in 3600 m Höhe zwar noch gegen Berlin gesteigert, aber niedriger als anfangs in 2900 m Höhe war.

Geringere Effekte des Höhengaufenthaltes, und zwar selbst des Aufenthaltes in der Gipfelhütte des Monte Rosa, fanden die Mitarbeiter von Mosso<sup>16)</sup> auf dessen Expedition vom Jahre 1894. Hier wurde nicht, wie in unseren Versuchen, Sauerstoff und Kohlensäure, sondern nur die Kohlensäureausscheidung bestimmt. Für die Beurteilung dieser Versuche kommt in Betracht, daß die mehr oder weniger knappe Ernährung, wie sie das Hüttenleben und die Schädigung der Verdauung in sehr großen Höhen mit sich bringen, eine Herabsetzung des respiratorischen Quotienten bewirkt. Das heißt: es kommt zu einer Abnahme der Kohlensäureausscheidung, obwohl der Sauerstoffverbrauch unverändert geblieben oder gar ein wenig gestiegen sein kann. Dazu kommt, daß Mossos Versuche wohl technisch nicht sehr vollkommen waren, wie die großen Schwankungen der Kohlensäureausscheidung unter gleichen Versuchsbedingungen beweisen. (Siehe Mosso: „Der Mensch auf den Hochalpen“, S. 270 ff.) Wir können daher die Versuche von Mosso nicht als unbedingt gegensätzlich zu den vorher erwähnten ansehen. Sie berechtigen aber vielleicht zu dem Schlusse, daß bei manchen Personen die Steigerung des Gaswechsels selbst in der Höhe des Monte Rosa-Gipfels noch nicht eintritt. Es kommt noch hinzu, daß Mosso seine Versuche an Bergsoldaten anstellte, welche sich aus den Hochtälern der piemontesischen Alpen rekrutieren, also von Jugend auf an Höhengaufenthalt und Bergbesteigung gewöhnt sind. Zudem wurde die Mehrzahl dieser Versuchspersonen ganz allmählich in die Höhe geführt. Mehrtägige Stationen wurden in 1600 m, 2500 m, 3047 m und 3620 m Höhe gemacht. Daß aber durch Gewöhnung die Steigerung des Gaswechsels unter dem Einfluß der Höhe geringer wird, ist vorher gesagt worden.

Noch seien die ein Jahr vor unserer Expedition angestellten Beobachtungen von Jaquet und Stähelin<sup>7)</sup> besprochen. Diese Forscher gingen, nachdem sie eine größere Anzahl von Respirationsversuchen in Basel angestellt hatten, auf den 1600 m hohen, im Jura gelegenen Chasseral. Wir werden ihre Stoffwechselversuche in Kapitel IX eingehender betrachten. Die Untersuchung der Atmung ergab selbst in dieser geringen Höhe eine erhebliche Steigerung, welche sich nicht nur in den Nüchternversuchen (Sauerstoff + 8.8%, Kohlensäure + 14.8%) zeigte, sondern auch bei Vergleichung derselben Verdauungsphasen bei stets gleicher Ernährung. Um 11 Uhr vormittags Zunahmen von 5.6 und 10.1%, um 5 Uhr nachmittags während der Hauptverdauungsperiode von 6.7 resp. 11.3%. Nach der Rückkehr vom Chasseral nach Basel

steigerte sich zunächst der Gaswechsel noch weiter während einer Reihe von Tagen. 20 Tage nach der Rückkehr von der Höhe war die Kohlensäureausscheidung auf dem höchsten Wert angelangt; der Sauerstoffverbrauch war um diese Zeit 5% größer als im Durchschnitt des Höhengaufenthaltes. Erst 4 Monate nach der Rückkehr war wieder annähernd der Ruhewert der Vorperiode erreicht. Die Steigerung, welche Jaquets Gaswechsel in so geringer Höhe erfuhr, muß im Hinblick auf alle sonstigen Erfahrungen als eine individuelle Eigentümlichkeit angesehen werden. Da nach der Rückkehr in die Ebene die Steigerung anhielt und anfangs sogar noch zunahm, wird man zweifeln müssen, ob sie überhaupt als Höhenwirkung aufzufassen ist. Wir fanden nach der Rückkehr von der Höhe, wie schon ausgeführt, ein Absinken des Gaswechsels unter die vor dem Bergaufenthalte beobachtete Größe.

Es seien schließlich noch einige Forscher genannt, welche, ähnlich wie Mosso, nur Kohlensäurebestimmungen ausgeführt haben: Mermod<sup>15)</sup> fand bei möglichst gleichmäßiger Lebensweise in Straßburg 191 ccm, in Saint Croix, 1100 m hoch, 205 ccm Kohlensäure pro Minute.

Marceet<sup>17)</sup> sah am Pik von Teneriffa in den verschiedenen Höhen keinen deutlichen Unterschied der Kohlensäureausscheidung, während er in den Alpen erhebliche Steigerungen mit der Höhe festgestellt hatte. Er schiebt diese aber nicht auf die Höhenwirkung an sich, sondern auf die dabei gleichzeitig stattfindenden Temperaturunterschiede, welche bewirkten, daß er auf dem Matterjoch in 3222 m und auf dem Breithorn in 4171 m Höhe wesentlich mehr Kohlensäure produzierte, als am Ufer des Genfer Sees. Bei den Versuchen von Veraguth<sup>23)</sup> stellten sich wieder erheblichere Steigerungen in der Höhe heraus, auf welche aber bei den enormen Schwankungen der Einzelwerte kaum Gewicht gelegt werden kann. Bürgi<sup>4)</sup> endlich fand in einigen Versuchen eine geringe Steigerung der Kohlensäureausscheidung zwischen Brienz und dem Gipfel des Brienzer Rothorns. Die Resultate Bürgis stehen zu den unserigen in einem gewissen Gegensatz durch die absolute Größe der Kohlensäureausscheidung in der Ruhe. Seine Zahlen sind höher als wir sie je gefunden haben. Sein Mittelwert in Brienz 0.56 g pro Kilogramm und Stunde ergibt, auf unsere Einheiten berechnet, 4.77 ccm pro Kilogramm des bekleideten Mannes von 98 kg Gewicht. Auch Kronecker ist die große Differenz aufgefallen; er macht sie durch Umrechnung unserer älteren Hochgebirgsversuche auf die von Bürgi benutzte Einheit deutlich. Dabei ergibt sich, daß wir nur 0.27—0.30 g CO<sub>2</sub> pro Kilogramm und Stunde ausschieden. Kronecker scheint an Fehler unsererseits zu denken und meint, unsere Versuche seien weniger genau, weil wir „Durchschnittsproben“ analysieren, seine Schüler aber das ganze während der Versuche ausgeschiedene Kohlensäurequantum wogen. Er macht ferner darauf aufmerksam, daß unsere Werte niedriger liegen, als die von Pettenkofer und Voit (0.41—0.73 g CO<sub>2</sub> pro Kilogramm und Stunde), J. Ranke (0.373 g im Hunger, 0.52 g nach stärkster Ernährung) u. A. gefundenen. Diese Differenz erklärt sich aber vollkommen dadurch, daß die letztgenannten Autoren länger dauernde Versuche in Respirationskammern anstellten, wobei die Versuchspersonen nicht gehalten waren, absolute Muskelruhe zu bewahren. Was das bedeutet, hat am prägnantesten Speck<sup>22)</sup> ausgeführt, welcher selbst (l. c. S. 222) den erheblichen Unterschied zwischen seinen und unseren Zahlen ganz richtig daraus erklärt, daß wir in liegender Stellung bei absoluter Entspannung der Muskeln, er im Sitzen oder Stehen untersucht.

Es kommt hier wohl noch weiter in Betracht, daß sowohl Speck als die Schüler Kroneckers alle Beobachtungen selbst ausführten und dabei nicht nur in einer gewissen Spannung sich befanden, sondern auch unvermeidlich Bewegungen ausführen mußten. Bei uns dagegen ruht die atmende Person in bequemster Bettlage, während Mundstück und Ventile derart aufgehängt sind, daß jede Zerrung ausgeschlossen ist. — Wir möchten noch darauf hinweisen, daß bei Untersuchung der Atmung von Zuntz einerseits nach unserer Methode, andererseits im Tigerstedtschen Respirationsapparate, welcher eine Verbesserung des Pettenkofer'schen Kastenapparates darstellt, absolut identische Werte gefunden wurden. — Auch die musterhaften Versuche von Atwater und Benedict<sup>3)</sup> können wir als Belege für die Richtigkeit unserer Werte anführen. Beispielsweise betrug hier die Kohlensäureausscheidung pro kg und Stunde während der sechs Nachtstunden, in welchen die Bewegungen am geringsten waren, aber immerhin die letzte Mahlzeit noch steigend wirkte, im Experiment 26 und 28 (Bullet. Nr. 109, pag. 88) zwischen 0.33 und

0.36 g Kohlensäure pro kg und Stunde. Während der Vormittagsstunden stieg dagegen die Kohlensäureausscheidung, ohne daß größere Arbeit geleistet wurde, bis auf 0.61 g.

Ein Besuch von Dr. Bürgi in Berlin gab uns übrigens Gelegenheit, die Frage mit ihm zu erörtern. Er hatte auch die große Liebenswürdigkeit, an sich selbst zwei Respirationsversuche nach unserer Methode anstellen zu lassen. Von diesen war der erste Versuch unvollkommen, insofern es Herrn Dr. Bürgi noch nicht gelang, absolute Muskelruhe zu bewahren. Auch stimmte die Doppelanalyse schlecht in bezug auf den Sauerstoff. Der zweite Versuch war dagegen in jeder Hinsicht tadellos. Die Zahlen sind pro Minute:

	Atemgröße in Liter		Sauerstoff- verbrauch ccm	Kohlensäure- ausscheidung ccm	Respiratorischer Quotient
	beobachtet	0°, 760 mm			
1.	10.80	9.82	374	284	0.76
2.	10.69	9.72	330	278	0.84

Bei einem Körpergewicht von 99.7 kg sind das 3.31 ccm Sauerstoff und 2.79 ccm Kohlensäure pro kg und Minute, während Bürgis frühere Versuche 4.77 ccm Kohlensäure pro kg und Minute ergeben hatten. Herr Kollege Bürgi gewann bei Ausführung der Versuche selbst die Überzeugung, daß die früher von ihm gefundenen höheren Werte durch Körperbewegungen bedingt waren, und will deshalb die Versuche an seinem Apparat unter Ausschluß dieses Momentes wiederholen. Es kann also keinem Zweifel unterliegen, daß Bürgis Ruheversuche durch ein gewisses Maß von Muskularbeit resp. -spannung kompliziert waren. Trotzdem dürfte sein Ergebnis, daß in der Höhe der Ruhestoffwechsel ein wenig erhöht ist, zu Recht bestehen, da die einzelnen Versuche nur wenig voneinander abweichen, also nicht anzunehmen ist, daß die komplizierende Muskelstätigkeit in Brienz und auf dem Rothorn verschieden war.

Wir wollen nunmehr das Ergebnis unserer Expedition vom Jahre 1901 in bezug auf die Wirkungen von Höhen bis zu 3000 m auf den Atemprozeß erörtern. Als Grundlage der Besprechung stellen wir die Mittelwerte in nebenstehender Tabelle 2 zusammen.

Dabei ist zu bemerken, daß einzelne der auf dem Rothorn angestellten Versuche deshalb nicht berücksichtigt wurden, weil bei ihnen Muskelbewegungen meist durch Kälteempfindung ausgelöst, den Stoffwechsel steigerten.

Wir haben mit diesen Versuchen gleich die an Waldenburg und Müller auf Col d'Olen in 2900 m Höhe ausgeführten zusammengestellt. Wie ein Blick auf die Tabelle lehrt, sind die respiratorischen Quotienten in den zu vergleichenden Perioden desselben Individuums ein wenig verschieden. Gleicher Sauerstoffverbrauch bedeutet daher, wie in Kapitel III ausgeführt, nicht mehr gleiche Energieentwicklung. Wir haben deshalb nach den dort besprochenen Grundsätzen den Energieverbrauch aus Sauerstoff und respiratorischem Quotienten berechnet und in Stab 5 (der Tabelle 2) aufgeführt. Ein Blick auf Stab 7, welcher die Änderungen des Energieverbrauches in Prozenten des Verbrauchs während des vorangehenden Brienzer Aufenthaltes gibt, läßt erkennen, daß eine kleine Steigerung des Stoffwechsels bei fünf Personen auf dem Rothorn vorhanden war und nur bei Waldenburg ein geringes Minus von 2.2% besteht.

Die beobachtete Steigerung übertrifft allein bei Kolmer merklich den Wert, welcher zur Deckung der bei allen etwas gesteigerten Atemarbeit (Erhöhung der Lungenventilation um 400—850 ccm pro Minute) erforderlich ist. Das ergibt sich aus Stab 8, in dem die prozentische Änderung des Energieverbrauches eingetragen ist, welche übrigbleibt nach Berücksichtigung dieser gesteigerten Atem-

arbeit. Diese Änderung ist in drei Fällen gleich Null, sie zeigt zweimal schwach positiven, einmal einen geringen negativen Wert. Der Ruhestoffwechsel in strengerem Sinne ist also bis zur Höhe von 2100 m bei uns unverändert geblieben, doch macht es der Befund an Kolmer wahrscheinlich, daß es Individuen gibt, welche in dieser Höhe schon eine Steigerung der Oxydation aufweisen, wie sie Jaquet sogar schon in 1600 m gefunden hat.

Tabelle 2.

Mittelwerte des Sauerstoff- und Energieverbrauchs in verschiedenen Höhen.

1 Name	2 Ort	3 Sauerstoff- verbrauch pro Minute ccm	4 Respira- torischer Quotient	5 Energie- verbrauch proMinute w. e. *)	6 Änderung des Energieverbrauchs verglichen mit dem in Brienz		8 Wirkung der Höhe auf den Energiever- brauch nach Aus- schaltung des Ein- flusses der Atem- arbeit prozentisch
					absolut w. e.	7 prozen- tisch	
Waldenburg	Brienz I, II .	257.2	0.797	1233.9			
	Rothorn . . .	252.2	0.787	1206.9	- 27.0	- 2.2	- 3.0
	Col d'Olen .	279.1	0.808	1342.8	+ 108.9	+ 8.8	+ 6.6
Caspari	Brienz I, II .	224.0	0.782	1070.5			
	Rothorn . . .	226.3	0.826	1093.8	+ 23.3	+ 2.2	± 0
Zuntz	Brienz I, II .	230.7	0.794	1106.0			
	Rothorn . . .	234.8	0.768	1118.1	+ 12.1	+ 1.1	± 0
Kolmer	Brienz I . . .	254.0	0.852	1235.7			
	Rothorn . . .	268.4	0.832	1294.2	+ 58.5	+ 4.7	+ 4.8
Müller	Brienz I . . .	243.4	0.774	1160.8			
	Rothorn . . .	248.5	0.736	1173.5	+ 12.7	+ 1.1	± 0
	Col d'Olen .	229.4	0.813	1105.5	- 55.3	- 4.7	- 6.0
	Margh.-Hütte (1 Tag)	223.6	0.863	1091.0	- 71.8	- 6.0	- 12.2
Loewy	Brienz I . . .	207.8	0.763	988.3			
	Rothorn . . .	211.3	0.809	1016.8	+ 28.5	+ 2.9	+ 1.2

Unser Befund ist in guter Übereinstimmung mit dem von Schumburg und Zuntz in 1600 und 2900 m Höhe, sowie von Durig und Zuntz in 2900 m Höhe (Col d'Olen). Letztere fanden nur an Durig eine geringe Steigerung, die den Verbrauch für die Zunahme der Lungenventilation etwas übertraf. Bei der unter Loewys Leitung ausgeführten Expedition von 1896 zeigten zwei Teilnehmer in 2900 m Höhe keine Erhöhung des Sauerstoffverbrauches, nur bei dem jüngsten und zugleich

\*) Wir gebrauchen in Tabelle 2 und weiter häufig das Symbol w. e. Es bedeutet eine kleine Wärmeeinheit oder Grammkalorie, d. i. die Wärmemenge, welche 1 g Wasser um 1° C. erwärmt; eine große Wärmeeinheit W. E. ist dagegen, wie Seite 160 ausgeführt, die Wärmemenge, welche 1 kg Wasser um 1° C. erwärmt.

kräftigsten, Leo Zuntz, war er um fast 18% gesteigert, während die Lungenventilation um kaum 500 ccm erhöht war.

In 2900 m Höhe (Col d'Olen) fanden wir bei Waldenburg eine leichte Steigerung des Sauerstoff- und Energieverbrauchs, doch kommen in Brienz einzelne Werte vor, welche dem Durchschnitt von Col d'Olen nahestehen. Es dürfte wohl kein Zufall sein, daß auf Col d'Olen ein langsamer Abfall des Verbrauchs während des Aufenthaltes zu bemerken ist, eine Folge zunehmender Akklimatisation (vgl. Anhangstabelle X). Die beiden letzten Versuche an Waldenburg sind nur in bezug auf die Kohlensäure zu verwerten und ergeben hier etwas unter dem Durchschnitt aller Versuche liegende Zahlen.\*)

Bei Müller ist das Mittel der auf Col d'Olen ausgeführten Versuche sogar niedriger als das der Ruheversuche in Berlin und Brienz, und merkwürdigerweise zeigt hier gerade der erste Versuch nach dreitägigem Aufenthalt in der Höhe einen besonders niedrigen Wert. Wenn man dieses mit allen sonstigen Erfahrungen über die Höhenwirkung im Widerspruch stehende Resultat als Versuchsfehler zu deuten geneigt wäre, so wird eine solche Deutung doch im hohen Maße unwahrscheinlich, wenn man das Verhalten Müllers auf dem Monte Rosa-Gipfel vergleicht. Hier weilte er nur 24 Stunden. Es wurde an ihm der erste Respirationsversuch am 9. September morgens, eine Stunde nach der Ankunft, und ein zweiter am folgenden Morgen nach ziemlich schlaflos verbrachter Nacht, beide unter deutlichen Symptomen der Bergkrankheit, ausgeführt. Diese beiden geben noch niedrigere Werte als das Mittel der Col d'Olen-Versuche, 219.7 resp. 227.6 ccm Sauerstoff. Bemerkenswert ist, daß Müller im Gegensatz zu dieser anomalen Reaktion auf die Reize des Hochgebirges eine hochgradige Empfindlichkeit gegen die Luftverdünnung im pneumatischen Kabinett gezeigt hatte und hier auch eine erhebliche Steigerung des Sauerstoffverbrauches bis auf 334 ccm aufwies (siehe Anhangstabelle XVI). Allerdings war die Luftverdünnung in drei Versuchen noch bedeutend über die der Monte Rosa-Höhe entsprechende gesteigert worden, bis auf einen Luftdruck von 385—392 mm, entsprechend einer Berghöhe von 5370 m.

Müller verhielt sich also in bezug auf seine Verbrennungsprozesse auf dem Monte Rosa-Gipfel ganz eigenartig. Die von Mosso untersuchten Bergsoldaten hatten immerhin nur Gleichbleiben der Kohlensäureausscheidung ergeben. Auf die Reize des Seeklimas hat Müller in den von Loewy und ihm in Sylt ausgeführten Untersuchungen ganz anders reagiert. Es fand sich bei ihm in Sylt im Mittel ein Sauerstoffverbrauch von 260 ccm, eine Zahl, die während des ganzen Höhenaufenthaltes von Brienz bis zur Monte Rosa-Spitze nicht erreicht wurde. Ausdrücklich sei noch hervorgehoben, daß diese Ruheversuche in Sylt sämtlich auch morgens nüchtern im Bette bei behaglicher Wärme, also nicht bei unmittelbarer Einwirkung der spezifischen Reize der Seeluft ausgeführt wurden.

Kolmer, Caspari, Loewy und Zuntz hatten Col d'Olen nur als Durchgangstation für eine Nacht benutzt, der weitere Aufstieg zum Gipfel des Monte Rosa

\*) Die abnorm niedrigen, in der Anhangstabelle X eingeklammerten Zahlen des Sauerstoffverbrauches beruhen wohl auf Analysefehlern, ohne daß wir eine Erklärung dafür geben können.

erfolgte mit Zwischenschiebung eines Nachtquartiers in der Gnifetti-Hütte, 3700 m, um stärkere Anstrengungen bei Ersteigung des Gipfels auszuschließen. Das bei diesem Aufstieg an jedem der beiden Tage geleistete Arbeitsmaß überstieg wohl auch nicht das bei den großen Märschen zwischen Brienz und Rothorn-Kulm aufgewendete. Von den Ruheversuchen auf der Margherita-Hütte konnten allenfalls die des ersten Tages, 3. September, durch die vorangegangene Anstrengung beeinflusst sein. Es zeigt sich aber nicht nur an diesem Tage, sondern auch in allen späteren Versuchen eine sehr erhebliche Steigerung der Oxydationsprozesse im Vergleich mit allen vorher beobachteten Zahlen.

Die Steigerung des Sauerstoffverbrauchs und das entsprechende Wachsen der Energieentwicklung auf dem Monte Rosa geht aus folgender Tabelle hervor:

Tabelle 3.  
Mittelwerte der Ruheatmung nüchtern.

1	2	3	4	5	6	7
Name	Ort	Sauerstoffverbrauch pro Minute ccm	Respiratorischer Quotient	Energieverbrauch pro Minute w. e.	Zunahme des Energieverbrauchs in %	Bemerkungen
Kolmer	Brienz <sup>1)</sup> . . . . .	248.3	0.828	1200.8	17.3	<sup>1)</sup> Mittelwerte der Periode I u. III
	Margherita-Hütte	293.0	0.806	1409.0		
Caspari	Brienz . . . . .	224.0	0.782	1070.5	43.7	
	Margherita-Hütte	324.6	0.750	1538.5		
Loewy	Brienz <sup>1)</sup> . . . . .	202.4	0.767	963.6	29.1	
	Margherita-Hütte	262.2	0.755	1244.3		
Zuntz	Brienz . . . . .	230.7	0.794	1106.0	42.8	
	Margherita-Hütte	331.7	0.770	1580.4		

Im einzelnen war das Verhalten im Laufe des Gipfelaufenthaltes verschieden. Bei Kolmer und Zuntz bleibt die Steigerung bis zum letzten Tage, 9. September, unverändert, bei Zuntz zeigt sogar dieser letzte Tag den höchsten Wert, während Caspari und Loewy am 7. und 8. resp. 9. sehr viel weniger Sauerstoff verbraucht haben als in den ersten Tagen, wenn auch noch erheblich mehr als in den tieferen Regionen. Zur Erklärung dieser Differenzen kommt bei Kolmer und Zuntz vielleicht der Umstand in Betracht, daß sie am Nachmittag des 8. Marschversuche auf dem Schneefeld des Monte Rosa ausgeführt und dabei sich erheblich angestrengt hatten. Auffallend bleibt freilich, daß Caspari, welcher an diesen Marschübungen ebenfalls Anteil nahm, am 9. den niedrigsten, überhaupt an ihm auf dem Monte Rosa beobachteten Sauerstoffverbrauch von 243.8 ccm zeigte, während er zwei Tage vorher in absoluter Ruhe noch 290.9 ccm verbraucht hatte. Die Steigerung, welche er am 9. noch gegenüber dem Durchschnitt der Brienzener Werte aufweist, ist beinahe durch die Erhöhung des Atemvolumens von 4.8 auf 7.5 l erklärt. Dabei muß erwähnt werden, daß Caspari von uns allen am meisten unter der Einwirkung der Höhenluft litt. Er war so gut wie vollkommen appetitlos, ver-

daute die geringen aufgenommenen Nahrungsmengen nur in der unvollkommensten Weise und mußte bei den Marschversuchen außerordentliche Willensenergie aufwenden, um die nötigen Arbeiten auszuführen.

Die starke Einbuße an Körpersubstanz und speziell an Eiweißkörpern, welche ja die aktiven, den Sauerstoffverbrauch bedingenden Gewebe aufbauen, hätte an sich den Sauerstoffverbrauch unter die Norm herabdrücken müssen. Es bedeutet also auch noch die geringe, am letzten Tage beobachtete Steigerung einen abnorm hohen Stoffwechsel. Das tritt deutlich hervor, wenn wir den Verbrauch auf 1 kg Körpersubstanz berechnen.

Wir haben dann bei Caspari pro 1 kg und 1 Minute

in Brienz am 6. und 7. August . . .	3.46 ccm Sauerstoff,	2.78 ccm Kohlensäure
auf dem Monte Rosa am 9. September	4.05 ccm	„ 3.17 ccm „

also am letzten Tage des Monte Rosa-Aufenthaltes immer noch ein Mehr von 17 % im Sauerstoff, von 13 % in der Kohlensäure.

Angesichts der erheblichen Unterschiede im individuellen Verhalten des Gaswechsels in den großen Höhen erschienen weitere Versuche dringend erforderlich. Diese wurden im Jahre 1903 von Durig und Zuntz ausgeführt und ergaben im wesentlichen folgendes:

Auf Col d'Olen in 2900 m war bei Zuntz keine merkliche Steigerung des Sauerstoffverbrauchs gegen die Werte der Ebene zu konstatieren. Bei Durig bestand eine geringe Erhöhung um etwa 10 ccm. Auf dem Monte-Rosa-Gipfel war die Steigerung des Verbrauches bei beiden eine erheblichere, aber bei Zuntz lange nicht so bedeutend, wie 2 Jahre vorher. Während sie damals im Mittel 45.6 % betrug, war sie hier im Mittel von 16 Versuchen morgens nüchtern im Bette nur 13.7 %. Unter Berücksichtigung des respiratorischen Quotienten entspricht dieser Zahl ein Mehr an entwickelter Energie von 130.8 w.e. resp. 11.9 %. Besonders bemerkenswert ist, daß diese kleinere, im Jahre 1903 beobachtete Steigerung sich vom Anfang bis zu Ende des fast dreiwöchentlichen Aufenthaltes kaum änderte, daß sogar am ersten Tage der Verbrauch etwas unter dem Durchschnitt der ganzen Reihe lag. Zur Erklärung des Unterschiedes kommt vielleicht doch wesentlich der Umstand in Betracht, daß eine sechstägige Übergangsperiode auf dem Col d'Olen in 2900 m stattfand, zumal auch bei Müller, der 1901 ebenfalls, ehe er zum Gipfel aufstieg, längere Zeit auf Col d'Olen verweilt hatte, eine Steigerung ganz ausgeblieben war. An Waldenburg, der sich mit Müller auf Col d'Olen aufgehalten hatte, ist leider der einzige auf dem Monte Rosa ausgeführte Versuch teilweise verunglückt, es existiert nur die eine Zahl für die Kohlensäureausscheidung und diese ist ebenfalls nicht höher als in Brienz und auf dem Col d'Olen.

Bei Durig ist das Verhalten fast genau dasselbe wie bei Zuntz. Die Steigerung ist nur ganz wenig größer, der Sauerstoffverbrauch beträgt oben im Mittel 277.5 ccm gegen 231.8 ccm in Wien, das heißt oben 19.7 % mehr. Auf Wärmeinheiten umgerechnet beträgt die Steigerung 213 w.e. oder 19.3 % der Wärmeproduktion in Wien.

Die in der Höhe, wie die Atemgröße pro Minute zeigt, erheblich gesteigerte

Arbeit der Atemmuskeln erklärt nur einen Teil der Erhöhung des Sauerstoffverbrauchs. Es können von dem Zuwachs des Sauerstoffverbrauchs um 31 ccm pro Minute bei Zuntz etwa 14 ccm, von dem entsprechenden Zuwachs bei Durig (45 ccm) nur 10 ccm durch gesteigerte Atemarbeit bedingt sein.

Fassen wir alle vorstehend aufgeführten Tatsachen zusammen, so finden wir, daß selbst die große Höhe des Monte Rosa in manchen Fällen gar keinen Einfluß auf die Verbrennungsprozesse gehabt hat. Nur in einem einzigen Falle, bei Müller, ist das eingetreten, was bei naiver Betrachtung der Verhältnisse am ehesten zu erwarten wäre: eine Herabsetzung der Oxydationsprozesse. Ein Ofen, der weniger Luft bekommt, brennt schwächer. Lange Zeit hat man geglaubt, daß in gleicher Weise der menschliche Organismus von der Konzentration des Sauerstoffs in der umgebenden Luft abhängig sei. Wir wissen jetzt auf Grund vielseitigster Versuche, daß dies innerhalb weiter Grenzen nicht der Fall ist, daß man den Sauerstoffgehalt der geatmeten Luft auf die Hälfte herabsetzen kann, ohne eine Änderung der Verbrennungsprozesse hervorzurufen.

Überraschend bleibt es aber doch, daß wir im Hochgebirge in der Mehrzahl der Fälle eine Steigerung der Verbrennungsprozesse fanden, und zwar eine um so erheblichere, je weiter man sich über das Meeresniveau erhebt. — Behufs Erklärung dieser Steigerung haben wir die einzelnen in Betracht kommenden Faktoren des Klimas möglichst gesondert auf uns einwirken lassen.

**Wirkung der Klimareize des Hochgebirges auf den Stoffumsatz.** Die Expedition von Durig und Zuntz lieferte eine Anzahl von Beobachtungen, die Aufschluß darüber geben können, welche klimatischen Faktoren bei der Steigerung des Sauerstoffverbrauchs mitwirken. Es wurde das Verhalten der Ruheatmung einerseits im Zimmer, in den einer angestregten Marschleistung oder längerem Ruheaufenthalt im Freien folgenden Stunden, andererseits unter direkter Einwirkung der klimatischen Verhältnisse, der Sonnenstrahlung und des Windes, beobachtet. Diese Untersuchungen konnten dank dem ungewöhnlichen Wetterglück, welches diesen Gipfelaufenthalt begünstigte, vielfach variiert werden.

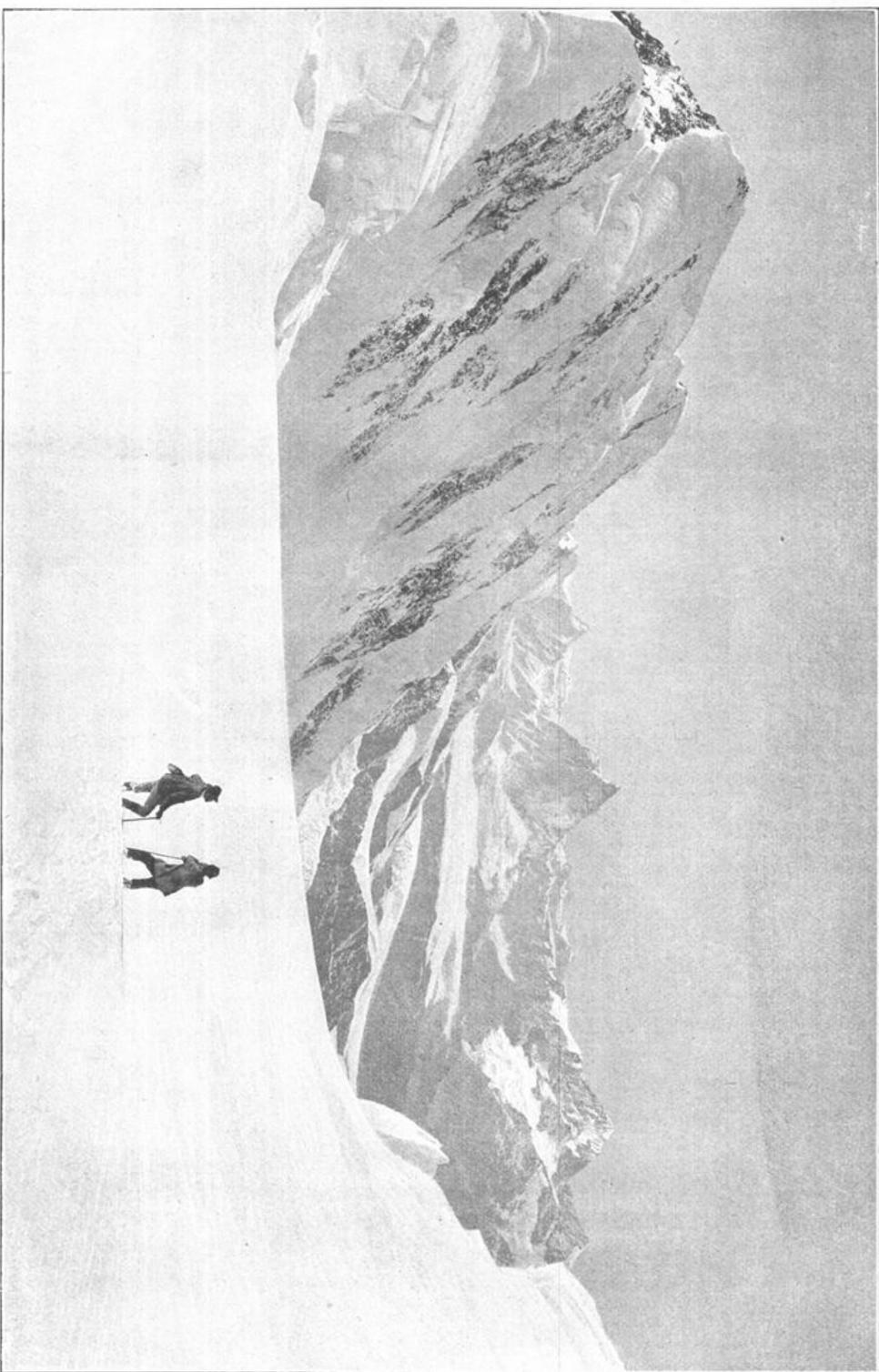
Bei Zuntz kommen folgende Zahlen in Betracht: Er hatte, wie gesagt, morgens nüchtern im Mittel von 16 Versuchen einen Sauerstoffverbrauch von 259.2 ccm bei einem respiratorischen Quotienten von 0.738. Die Extreme waren 241.5—275.8 ccm Sauerstoff.

Nach mehrstündigem windgeschütztem Aufenthalte in greller Sonne auf dem Dache der Hütte betrug der Sauerstoffverbrauch im Mittel von 5 Versuchen 272.0 ccm, also gegenüber Bettruhe ein Mehr von 12.8 ccm oder 5%. Die Extreme waren 253.6—289.2.

Der Vergleich mit dem Versuch im Bette an denselben Tagen zeigt aber

27. August im Bette . . . . .	267.3 ccm
4. September im Bette . . . . .	272.9 „
	<hr/>
	Mittel 270.1 ccm

gegen 272.0 ccm auf dem Dache, also fast volle Identität.



Blick vom Sesiajoch auf die Walliserberge. (Einsinken im tiefen Schnee.)

Phot. Vittorio Sella, Biella.

Die analogen Versuche an Durig ergaben in der Sonne auf dem Dache sogar einen geringeren Gaswechsel als durchschnittlich morgens im Bette:

Mittel von 14 Versuchen im Bette:

277.5 ccm Sauerstoffverbrauch, 0.76 respiratorischer Quotient, 7.971 Ventilation,

Mittel von 5 Versuchen in der Sonne:

255.5 ccm Sauerstoffverbrauch, 0.74 respiratorischer Quotient, 7.791 Ventilation.

Auch die Bettversuche der beiden Versuchstage selbst sind mit 274.4 ccm und 267.3 ccm, im Mittel 270.8 ccm Sauerstoffverbrauch, und 7.70 und 8.05, im Mittel 7.88 l Lungenventilation höher als der Gaswechsel auf dem Dache in der Sonne.

Etwas erheblicher ist die Klimawirkung anscheinend bei einigen Versuchen, welche im Liegen auf dem Schneefelde ausgeführt wurden. Der höchste hier beobachtete Sauerstoffverbrauch, 308.4 ccm bei Zuntz und die am selben Tage beobachteten Zahlen 321.0 und 316.4 bei Durig sind durch die noch nicht abgeschlossene Verdauung der Mittagsmahlzeit beeinflusst. Außerdem spielt aber noch ein anderes Moment eine Rolle, das indirekt mit der Sauerstoffarmut der Luft zusammenhängt und den Stoffwechsel im Hochgebirge steigern kann, die vorangegangene Muskelarbeit.

Auf Col d'Olen (2900 m) schon fand man, daß nach einem raschen Aufstieg mit Gepäck, ohne stärkere Sonnen- oder Windwirkung, der Sauerstoffverbrauch noch nach einer Stunde um 6% bei Zuntz und um 11% bei Durig erhöht war. Ganz entsprechend war der Verbrauch bei Zuntz einige Stunden nach dem für ihn sehr anstrengenden Aufstieg zur Margherita-Hütte bedeutend höher als während des späteren Aufenthalts daselbst (290 ccm gegen 259 ccm). In viel stärkerem Maße war derselbe Effekt bei Leo Zuntz hervorgetreten, als er im Jahre 1896 von der Gnifetti-Hütte zur Margherita-Hütte gegangen war. Noch drei Stunden nach der Ankunft war sein Sauerstoffverbrauch um 86% erhöht. Sehr frappant tritt der dominierende Einfluß dieses Momentes bei den Versuchen von Durig und Zuntz auf dem Schneefelde des Monte Rosa zutage. Wären hier die Witterungseinflüsse in erster Linie maßgebend, so müßte der Verbrauch mit der Dauer des Aufenthalts im Freien wachsen; gerade das Umgekehrte ist aber der Fall. Die ersten Versuche, welche etwa 1 Stunde nach der nicht einmal großen Muskelarbeit des Abstiegs von der Hütte ausgeführt wurden, zeigten den höchsten Sauerstoffverbrauch, nach 2—3 Stunden Schneeaufenthalt war derselbe trotz Wind, Kälte und Sonnenbestrahlung nicht mehr höher als morgens im Bette.

	27. August	3. September
Zuntz: 1 Stunde nach Verlassen der Hütte	308.4 ccm	301.5 ccm
1 Stunde später . . . . .	269.5 „	277.0 „
noch 1 $\frac{1}{4}$ Stunde später . . . . .		267.3 „
„ 1 „ „ . . . . .		271.0 „

Selbst nach einem siebenstündigen Aufenthalt auf dem Schneefelde, wo in den ersten 5 Stunden Marschübungen stattfanden, die letzten 2 Stunden aber in der Sonne liegend, zum Teil schlafend verbracht wurden, war bei ihm der Verbrauch

dem im Bette fast gleich, nämlich 256.5 ccm gegen 259 ccm im Durchschnitt der Bettversuche. Die klimatischen Faktoren für sich haben also, wenn überhaupt, jedenfalls nur in geringem Maße den Stoffumsatz gesteigert. Das gleiche gilt für Durig, der nur am 27. August auf dem Schneefelde einen erhöhten Umsatz zeigte, zu dessen Erklärung wiederum einerseits die noch nicht ganz beendete Verdauung, andererseits eine vorangegangene sehr große und anhaltende, mit Beklemmung verbundene Arbeit beim Zusammenzimmern eines Schlittens heranzuziehen ist. Auch die nach voraufgegangenem längerem Aufenthalt im Freien ausgeführten Versuche im Bette können nicht wohl im Sinne einer Nachwirkung von Sonne und Luft gedeutet werden. Bei Zuntz, dem weniger ans Hochgebirgsklima gewöhnten, überragt zwar das Mittel dieser 8 Versuche dasjenige der Morgenversuche um 9.8%, bei dem berggewöhnten Durig aber bleibt es um 1.4% darunter. Außerdem sind einige dieser Versuche durch die noch nicht ganz vollendete Verdauung und durch vorangegangene Muskelarbeit erhöht. Auffallend ist allerdings der bei Durig und Zuntz gleichmäßig hohe Verbrauch am 26. August nach nur 1<sup>3</sup>/<sub>4</sub> Stunden Aufenthalt auf dem Dache in der Sonne. Es war die erste derartige Einwirkung und außerdem wurde während dieser Stunden starke Ionisation der Luft, verbunden mit ausgesprochener Unipolarität der atmosphärischen Elektrizität, beobachtet.

Da der Aufenthalt im Freien mehrfach zu Zeiten stattfand, wo diese für das Hochgebirge so charakteristische Unipolarität der Luftelektrizität sehr ausgesprochen war, können wir auch diesem Moment trotz der am 26. August beobachteten Steigerung keinen erheblichen Einfluß auf den Sauerstoffverbrauch zuschreiben; dagegen scheint es die Atemmechanik und das subjektive Befinden zu beeinflussen; namentlich war einige Male Beklemmungsgefühl notiert, wenn längerer Aufenthalt im Freien bei starker Unipolarität stattgefunden hatte.

Für die Erklärung der Stoffwechselsteigerung in der ersten Stunde nach Muskeltätigkeit kommt die erhöhte Temperatur des Körpers und speziell der Extremitätenmuskulatur in Frage. Wie alle chemischen Prozesse, so werden auch die Umsetzungen in unserem Organismus durch Erhöhung der Temperatur gesteigert. Wie sehr nach Arbeit die Temperatur unseres Körpers erhöht ist, ergibt sich aus den Darlegungen in Kapitel XV. Mehr noch als die innere Körperwärme wird aber die Temperatur der peripheren Muskelschichten durch Arbeit gesteigert. Daß diese Schwankungen der Temperatur die Oxydationsgröße beeinflussen, haben wir vielfach konstatieren können. Der Effekt dieses Momentes könnte aber im Hochgebirge nicht größer sein als in der Ebene bei niedriger Lufttemperatur. Hier hat die Arbeit keine so lange nachwirkende Steigerung des Sauerstoffverbrauchs im Gefolge (Schumburg und Zuntz). Ferner haben Zuntz und Hagemann<sup>26)</sup> (l. c. Tab. XXXII, S. 268) am Pferde festgestellt, daß vor und nach anstrengender Arbeit der Ruheverbrauch genau gleich groß ist.

Es ergibt sich aus Vorstehendem, daß die Klimawirkung nur geringen Einfluß auf den Stoffwechsel hat, größeren die vorangegangene Muskeltätigkeit. Wo diese nicht in Betracht kommt, wie bei unseren Ruheversuchen morgens im Bett, bleibt von allen uns bekannten Eigenschaften der Höhe nur die Luftverdünnung als erklärendes Moment übrig.

**Versuche in der pneumatischen Kammer.** Wenn es richtig ist, daß der Sauerstoffmangel und sein Anwachsen während der Muskeltätigkeit das wichtigste,

den Stoffwechsel im Hochgebirge steigernde Moment ist, kann man eine solche Steigerung auch bei und nach Aufenthalt in der stark verdünnten Luft des pneumatischen Kabinetts erwarten.

Wie schon S. 90 erwähnt, haben unsere Hochgebirgsstudien ihren Ausgang genommen von den Untersuchungen Loewys<sup>14)</sup> über das Verhalten des Menschen in der pneumatischen Kammer. Die Person, an welcher Loewy seine meisten Untersuchungen ausführte, zeigte aber ebenso wie er selbst keine erhebliche Änderung der Sauerstoffaufnahme selbst bei solchen Verdünnungen, welche bereits zu großer Müdigkeit, Taumeln und Benommenheit des Kopfes führten. Erheblich nahm dagegen bei beiden die Kohlensäureausscheidung zu, so zwar daß der respiratorische Quotient bei Loewy von 0.72 auf 0.81 stieg, als der Luftdruck von 750 auf 360 mm (entsprechend 6300 m Höhe) erniedrigt wurde. Ebenso führte schon die Druckverminderung auf 440 mm bei der Versuchsperson W. eine Erhöhung des Quotienten von 0.75 auf 0.82 herbei und bei 415 mm stieg der Quotient gar auf 0.887.

Weitere Kabinettversuche wurden im Anschluß an die Hochgebirgsexpedition von 1896 ausgeführt. Sie ergaben im Mittel von je zwei Versuchen an L. Zuntz:

bei 758 mm Luftdruck	231.2 ccm Sauerstoffverbrauch	und 0.865 R. Q.
„ 448 „ „	238.7 „ „	„ 0.89 „

Im Hochgebirge zeigte derselbe:

bei 528 mm Luftdruck	290.4 ccm Sauerstoffverbrauch	und 0.78 R. Q.
„ 482 „ „	268.6 „ „	„ 0.86 „
„ 424 „ „	430.9 „ „	„ 0.84 „

Die Steigerung des Sauerstoffverbrauchs im Hochgebirge war also bei geringerer Luftverdünnung viel bedeutender, andererseits war der respiratorische Quotient nicht höher als in Berlin bei normalem Luftdruck. Das legt wieder den Gedanken nahe, es sei im Hochgebirge die Ursache, welche im Kabinett allein wesentlich in Betracht kommt, nämlich der Sauerstoffmangel, nicht bestimmend für die Veränderung des Stoffwechsels. Ehe wir aber eine solche Folgerung ziehen, müssen wir der vorher besprochenen Tatsache eingedenk sein, daß der Stoffwechsel bei verschiedenen Personen in sehr differenter Weise durch das Hochgebirge affiziert wird, und daß so starke Wirkungen, wie bei L. Zuntz, in mäßigen Höhen zu den Ausnahmen gehören. Wir müssen ferner an den erheblichen Unterschied zwischen Kabinett- und Hochgebirgsversuch erinnern, auf welchen Aron<sup>2)</sup> hingewiesen hat: Im Kabinett wirkt die Luftverdünnung höchstens während einiger Stunden, im Hochgebirge tagelang auf den Menschen ein; es können sich also kleine chemische Veränderungen, welche der Sauerstoffmangel bedingt, in ganz anderer Weise häufen und so wirksam werden.

Jedenfalls war es wichtig, auch an den auf die Einwirkungen des Hochgebirges so sehr verschieden reagierenden Mitgliedern unserer Expedition einige Versuche über die Wirkung reiner Luftverdünnung anzustellen. Die Ergebnisse derselben sind in der Anhangstabelle XVI zusammengestellt.

Bei Betrachtung dieser Tabelle wird man bemerken, daß wir in einem Teil der Versuche den Luftdruck noch erheblich unter die der Monte Rosa-Höhe ent-

sprechende Zahl, 440 mm, erniedrigten, in anderen Fällen nicht so weit gingen. Im ersteren Falle ist der respiratorische Quotient fast regelmäßig über die Norm erhöht. Solche Erhöhung beobachten wir im Hochgebirge nicht. Das hängt, wie in Kapitel XVIII noch genauer zu erörtern sein wird, mit der Dauer der Einwirkung der verdünnten Luft zusammen.

Das Verhalten der Sauerstoffaufnahme war im pneumatischen Kabinett ein recht wechselndes. Unter den 25 in Tabelle XVI zusammengestellten Versuchen scheidet der zweite Versuch vom 20. Juni 1901 an Caspari aus, weil die hier sehr hochgradige Verdünnung (5670 m Berghöhe entsprechend) eine solche Benommenheit herbeigeführt hatte, daß das Mundstück zeitweise dem Munde entglitt und dadurch Gasverluste stattfanden. Es erinnert dieser Zustand der Benommenheit übrigens an ähnliche, wenn auch nicht so hochgradige Erscheinungen auf dem Monte Rosa (siehe S. 146). Unter den übrigen Versuchen haben wir dreizehn normale Werte des Sauerstoffverbrauches, d. h. solche, welche im Bereich der bei gewöhnlichem Luftdruck beobachteten Schwankungen liegen. Nur zweimal ist dasjenige eingetreten, was man, unbefangen urteilend, als den wahrscheinlichsten Effekt der Luftverdünnung erwarten würde, ein abnorm niedriger Sauerstoffverbrauch. In diesen beiden Fällen (je einmal bei Loewy und Waldenburg) bestand nur sehr mäßige, noch nicht der Monte Rosa-Höhe entsprechende Luftverdünnung. Man muß hier wohl an Zufälligkeiten oder Versuchsfehler denken. — In neun Fällen aber beobachteten wir im pneumatischen Kabinett erhöhten Sauerstoffverbrauch, und zwar immer bei starker Erniedrigung des Luftdrucks unter den der Monte Rosa-Höhe entsprechenden Wert. Daß hier erst bei stärkerer Luftverdünnung, als der im Hochgebirge wirksamen, Effekte eintreten, darf uns nicht wundern, da der Aufenthalt im Kabinett immer von kurzer Dauer war.

Besonders bemerkenswert ist das Verhalten von Müller, welcher ja auf dem Monte Rosa-Gipfel keine Steigerung des Sauerstoffverbrauchs gezeigt hatte; ebenso verhielt er sich im pneumatischen Kabinett bei 481 mm Luftdruck, entsprechend 3800 m Meereshöhe, und selbst als für kurze Zeit der Druck bis auf 384.6 mm entsprechend 5670 m Höhe herabgesetzt wurde. Auch die Atemgröße war in diesen beiden Fällen nicht erhöht, aber dennoch war die Atemmechanik sehr erheblich gestört, es schwankte die Tiefe der einzelnen Atemzüge und auch die pro Minute geatmete Luftmenge sehr stark. In einem zweiten Versuche nach der Rückkehr von unserer Expedition wurde der Luftdruck längere Zeit auf 392 mm = 5500 m Höhe gehalten; dabei war der Sauerstoffverbrauch erst um 11 %<sub>0</sub>, eine halbe Stunde später um 34 %<sub>0</sub> erhöht. Hier kam es auch zu erheblicher Steigerung der Lungenventilation, verbunden mit großer Unregelmäßigkeit der Atmung. Bemerkenswert ist, daß in diesen Versuchen bei einer Temperatur der Kammer von über 27° C. Kältegefühl und Muskelzittern bestand, während die beiden anderen gleichzeitig in der Kammer anwesenden Personen die hohe Temperatur als drückend empfanden; ein Beweis, wie verschieden das Nervensystem auf die durch den Sauerstoffmangel bewirkten Störungen des Stoffwechsels reagiert. Wie im Fieberfrost abnorme, im Blute zirkulierende Stoffe das Nervensystem derart erregen, daß es auch in warmer Luft zum Frösteln, Zittern und zu dadurch bewirkter Erhöhung

des Stoffumsatzes kommt, so haben hier wohl die durch Sauerstoffmangel erzeugten Substanzen Kältegefühl, Muskelzittern, und infolgedessen die bei jeder Muskeltätigkeit auftretende Erhöhung des Stoffumsatzes bewirkt.

Bei Waldenburg, der sich zugleich mit Müller im Kabinett befand, war an diesem Tage die Steigerung des Sauerstoffverbrauches noch etwas größer (33 und 38 ‰), aber das Wohlbefinden war nicht gestört, nur zum Schlusse bestand große Müdigkeit.

Bei Caspari wiederum trat nach etwas längerem Aufenthalt bei 418.8 mm Druck (entsprechend 4960 m Höhe) ein heftiger Beklemmungsanfall ein, dabei übertrug der Sauerstoffverbrauch die Norm nur um 8 ‰.

Bei Zuntz endlich haben wir bei 426 mm Luftdruck dreimal Erhöhung des Sauerstoffverbrauches um 28—35 ‰, verbunden mit erheblicher Steigerung der Lungenventilation, aber ohne subjektives Unbehagen. Hier sehen wir also im pneumatischen Kabinett ein analoges Verhalten wie auf dem Monte Rosa-Gipfel.

**Versuche im Luftballon.** Für Zuntz sind schließlich noch zum Vergleich jene Versuche hervorzuheben, welche er im Verein mit H. von Schrötter<sup>20)</sup> im Luftballon in Höhen zwischen 3200 und 5160 m ausführte. Diese Fahrten dauerten zwar erheblich länger als die Luftverdünnungen im pneumatischen Kabinett, sie sind aber doch sowohl der Zeitdauer nach als auch wegen des Fehlens jeglicher Muskelanstrengung beim Übergang in die verdünnte Luft eher mit den Kabinettversuchen, als mit dem Aufenthalte auf dem Monte Rosa-Gipfel in Parallele zu stellen. Klimatisch kommt neben der sehr niedrigen, bis  $-15^{\circ}$  C. herabgehenden Lufttemperatur die starke Insolation in Betracht, welche mit der absoluten Windstille\*) zusammenwirkt, um die niedrige Temperatur wenig merklich zu machen, ja, zeitweise so stark war, daß sie Hitzegefühl und Schweiß erzeugte.

Auch diese Versuche zeigen sowohl bei Zuntz wie bei seinem Mitarbeiter von Schrötter eine geringe Erhöhung des Sauerstoffverbrauches in den größeren Höhen; bei Zuntz übersteigt der höchste Wert den Durchschnitt der Berliner Versuche um 24 ‰, wenn man aber den Anteil der erhöhten Atemarbeit in Rechnung stellt, nur um 14 ‰; bei von Schrötter liegen, wenn wir von einem durch starke Frostschauer komplizierten Versuche absehen, die Verhältnisse ganz ebenso: die höchste Steigerung beträgt 21 ‰, nach Korrektur für die Atemarbeit 14 ‰. — Eine Erhöhung der Atemtätigkeit, also eine Reizung des Atemzentrums durch den Sauerstoffmangel ist deutlich vorhanden, doch kommt hier nach anderweitigen Erfahrungen auch die starke Lichtwirkung als Reiz für die Atemtätigkeit in Betracht. Erhöhung des respiratorischen Quotienten tritt im Ballon fast noch prägnanter als im pneumatischen Kabinett zutage.

**Nachwirkung des Aufenthaltes in verdünnter Luft.** Wenn es die durch Sauerstoffmangel gebildeten Stoffwechselprodukte sind, welche im Hochgebirge noch lange Zeit nach Beendigung einer Arbeit erhöhten Stoffumsatz auslösen, erscheint

\*) Da der Ballon sich mit der Luft ohne jeden Widerstand bewegt, hat man selbst bei heftigstem Sturme die Empfindung absoluter Windstille.

es wahrscheinlich, daß auch der Sauerstoffmangel im pneumatischen Kabinett, wenn er nur erheblich genug war und nicht zu kurze Zeit gedauert hat, noch hinterher Erhöhung des Stoffwechsels bedingen könnte. Wir haben bis jetzt nur zwei Versuche zur Prüfung dieser Frage angestellt, an Caspari und an Loewy. — Unmittelbar nach Beendigung der Kabinettversuche vom 25. Mai 1905, wobei der Druck bis auf 418.8 mm, etwas mehr als Montblanc-Höhe entsprechend, erniedrigt war, fuhr man nach dem Laboratorium, wo etwa eine halbe Stunde nach dem Verlassen der Kammer die Versuche begannen. Sie ergaben folgende Werte:

Tabelle 4.  
Nachwirkung des Aufenthalts in verdünnter Luft.

Name	Atemvol. pr. Minute beob. ccm	In der Expirationsluft		Resp.- Quot.	Pro Minute		Alveolarspannung in mm		Atemvol. pro 1 mm Kohlens- Spannung ccm
		Kohlen- säure %	Sauer- stoffdef. %		Sauer- stoff- verbrauch ccm	Kohlen- säureaus- scheidung ccm	des Sauer- stoffs	d. Kohlen- säure	
Caspari:	4848	3.79	5.46	0.689	244.9	168.6	84.86	47.47	102.1
	5723	3.58	4.71	0.754	249.7	188.2	100.60	38.66	148.0
Loewy:	4760	3.78	4.84	0.775	215.9	167.3			
	5252	4.12	4.65	0.880	223.8	201.3			

Der Sauerstoffverbrauch ist bei Caspari noch um einige Kubikzentimeter höher als vorher im pneumatischen Kabinett und übertrifft seinen unter gewöhnlichen Verhältnissen sehr konstanten Verbrauch von im Mittel 224 ccm um 10<sup>0</sup>/<sub>0</sub>. Auch bei Loewy ist der Verbrauch höher als im Mittel seiner Briener Versuche (Anhangstabelle XIV); er hatte aber im Sommer 1903 vor den Untersuchungen in Sylt gleichhohen Sauerstoffverbrauch (217—239 ccm). Bei ihm ist also ebenso wenig nach dem Aufenthalt in verdünnter Luft wie während desselben eine Steigerung des Sauerstoffverbrauches bemerkbar.

Beachtenswert ist eine bei beiden Versuchspersonen gleichmäßig auftretende Unregelmäßigkeit der Atemmechanik, die im ersten Versuche etwa dem normalen Durchschnitt entspricht, im zweiten bei beiden gesteigert ist. Diese Anomalie führt im ersten Versuche zu einer Aufstauung, im zweiten zu einer um so reichlicheren Abgabe von Kohlensäure. — Jedenfalls zeigen die Versuche, daß mit der Rückkehr zu normalem Luftdruck die in verdünnter Luft gesetzten Störungen keineswegs sofort ganz ausgeglichen sind.

**Wirkung des Seeklimas.** Wir haben durch die Summe der vorstehend besprochenen Erfahrungen die Überzeugung gewonnen, daß der Sauerstoffmangel unter den im Hochgebirge wirksamen Momenten am stärksten den Stoffwechsel beeinflusst. Wir konnten aber auch einen gewissen Einfluß klimatischer Faktoren dartun. Der Einfluß dieser letzteren Momente tritt rein zutage in den Versuchen, welche Loewy und Müller<sup>16)</sup> im Herbst 1903 an drei Personen in Sylt ausführten. Hier an der See wirken Sonne und Wind ähnlich wie im Hochgebirge, und wenn auch die Sonnenwirkung nicht so stark ist, so kommt dafür der Salzgehalt der

Luft, vor allem aber das Seebad als mächtiger Hautreiz zur Wirkung. Gegenüber diesen klimatischen Reizen war nun die Empfänglichkeit der einzelnen Personen ebenso verschieden, wie gegenüber den Einwirkungen des Hochgebirges.

Während bei Frau Müller jede Steigerung des respiratorischen Stoffwechsels an der See ausblieb, trat sie bei Loewy sehr lebhaft in die Erscheinung, um dann ziemlich rasch im Laufe von vier bis fünf Tagen abzuklingen. Bei Müller war die Steigerung weniger erheblich, hielt aber mit unveränderter Stärke während des ganzen Aufenthaltes an. Mit Seebädern wurde bei allen drei Versuchspersonen erst am fünften Tage des Aufenthaltes in Sylt begonnen und der Gaswechsel  $\frac{1}{2}$ —4 Stunden nach dem Bade untersucht. Hier war zwar bei allen eine Steigerung des Gaswechsels wie der Lungenventilation nachweisbar, aber die Wirkung war wiederum bei Frau Müller geringer als bei den beiden Männern.

Bemerkenswert ist, daß die Erhöhung der Lungenventilation durch das Seeklima mit der des Sauerstoffverbrauchs durchaus nicht parallel ging, sie ist bei Frau Müller am stärksten: 18%, beträgt bei Loewy 13% und bei Müller nur 2%. Auch die Wirkung auf den Appetit und das subjektive Gefühl der Anregung hielten keineswegs mit der Wirkung auf die Oxydation gleichen Schritt; sie waren bei Frau Müller nicht geringer als bei den anderen.

**Nachwirkung des Höhengaufenthaltes.** Wenden wir uns nunmehr wieder dem Verhalten der Atmung im Hochgebirge zu, so geben die betrachteten Einwirkungen auf den Stoffwechsel auch den Schlüssel zum Verständnis einer Erscheinung, die gewissermaßen die Kehrseite der bisher beobachteten ist.

Wenn eine Summe von im Hochgebirge wirkenden Reizen teils physikalischer, teils chemischer Art die beschriebenen Stoffwechselsteigerungen zustande bringt, kann es nicht überraschen, daß bei plötzlichem Nachlassen solcher längere Zeit einwirkender Reize der Stoffwechsel vorübergehend unter die Norm sinkt. Derartige Erscheinungen haben wir, wie schon hervorgehoben, bei Loewy, Müller, Kolmer nach ihrer Rückkehr vom Rothorn beobachtet.

Sie treten rein hervor, wenn wir die dem Rothornaufenthalt vorangehende erste Brienzer Periode mit der ihm nachfolgenden zweiten vergleichen:

Bei Kolmer haben wir in der ersten Periode einen Sauerstoffverbrauch von	254	ccm
in der zweiten . . . . .	238	„
bei Müller in der ersten . . . . .	243	„
„ „ „ „ zweiten . . . . .	228	„
„ Loewy „ „ ersten . . . . .	208	„
„ „ „ „ zweiten . . . . .	197	„

Die Wirkung ist zu regelmäßig bei allen dreien ausgesprochen, als daß man sie auf einen Zufall beziehen könnte.

Andererseits darf man das bei drei Personen ganz gleichmäßig beobachtete Verhalten doch noch nicht für allgemein gültig erklären. Wir erinnern nur daran, daß bei Jaquet die auf dem Chasseral eingeleitete Steigerung des Stoffwechsels nachher in Basel noch wochenlang fortbestand, ja sogar noch zunahm. In unserem Falle ist besonders bemerkenswert, daß die Erniedrigung des Stoffwechsels nach der Rückkehr von der Höhe viel ausgesprochener ist, als die Steigerung oben, welche bei Müller ganz fehlte.

Dies Verhalten des Gaswechsels erinnert an die vielfach gemachte Beobachtung, daß Leute, welche plötzlich aus einem Höhenkurorte in die Ebene zurück-

kehren, sich auffallend matt, schlafbedürftig und energielos fühlen. Um diese Wirkungen zu vermeiden, wird bekanntlich nach Höhenkuren allgemein ein Zwischenaufenthalt in mäßiger Höhe empfohlen.

Entsprechend dem Gesagten fühlten sich die vom Rothorn Zurückgekehrten während der sechs noch in Brienz verlebten Tage matt und wenig arbeitslustig. Sie schoben diese Wirkung zunächst auf die sehr viel höhere Temperatur, doch ist zu bemerken, daß die Schläffheit anhielt, als nach zwei Tagen ein Gewitter Regen mit starker Abkühlung brachte.

Die anderen drei, welche am 29. August nach sechstägigem Aufenthalt vom Rothorn zurückkehrten, empfanden nichts von diesen erschlaffenden Wirkungen. Das dürfte sich wohl ungezwungen daraus erklären, daß schon am Abend der Rückkehr die Reise über den Gotthard angetreten wurde, so daß die Mannigfaltigkeit der Reiseeindrücke und die durch die neue Phase des Versuchs bedingte psychische Anspannung als starkes Gegengewicht wirkten.

Merkwürdiger ist, daß wir alle nach dem viel intensiveren Höhenwechsel bei der Rückkehr vom Monte Rosa nichts von Erschlaffung bemerkten. Experimentshalber gingen Loewy, Müller und Kolmer so schnell als möglich in die Ebene herab, während Caspari und Zuntz Zwischenstationen auf Col d'Olen (2900 m) und in Gressoney (1600 m) machten. — Noch stärker ließen Durig und Zuntz den Höhenwechsel auf sich wirken, indem sie an einem Tage von der Margherita-Hütte (4560 m) bis Alagna (1100 m) abstiegen und gleich am folgenden Morgen nach Novara in der lombardischen Tiefebene weiterfuhren. Auch sie empfanden keinerlei Störung.

Hängt es vielleicht mit der Tatsache, daß in Monte Rosa-Höhe bereits eine Reihe von krankmachenden Wirkungen auftritt, zusammen, daß die Rückkehr von dort nicht jene Erschlaffung auslöst, welche beim Abstieg von den wohltuenden und erfrischenden mäßigen Höhen bemerkt wird?

## 2. Der Gaswechsel bei Arbeit.

Wir wenden uns jetzt zur Betrachtung des Gaswechsels bei Arbeit. Die Art, wie der Gaswechsel beim Marschieren gemessen wird, ist in Kapitel V ausführlich beschrieben. Es wurde schon erwähnt, daß uns die Briener Rothornbahn eine ausnahmsweise günstige Gelegenheit bot, in zwei verschiedenen Meereshöhen nahe bei Brienz und nahe unter dem Gipfel des Rothorn auf genau gleich beschaffenem Wege und bei genau gleichgroßer Steigung zu marschieren. Die nahe unter dem Gipfel von uns benutzte Versuchsstrecke zeigt die Titelvignette dieses Kapitels. Auf die vorzügliche Brauchbarkeit der Rothornbahn für derartige Versuche sind wir durch Veröffentlichungen von Herrn Dr. Bürgi aufmerksam gemacht worden. Wir werden bald Gelegenheit nehmen, unsere Ergebnisse mit denen Bürgis zu vergleichen.

Einen Überblick über unsere Resultate geben die Anhangstabellen XVII bis XXII. Die ersten 13 Stäbe dieser Tabellen bedürfen keiner weiteren Erläuterung. In Stab 14 und 15 ist der Arbeitsverbrauch durch Abzug des aus Tabelle X—XV, Stab 7 und 8 entnommenen Gaswechsels in der Ruhe berechnet. Dieser von uns morgens nüchtern bestimmte Ruhegaswechsel wird durch die Verdauungstätigkeit gesteigert. Aus Versuchen von Magnus-Levy u. a. kennen wir die

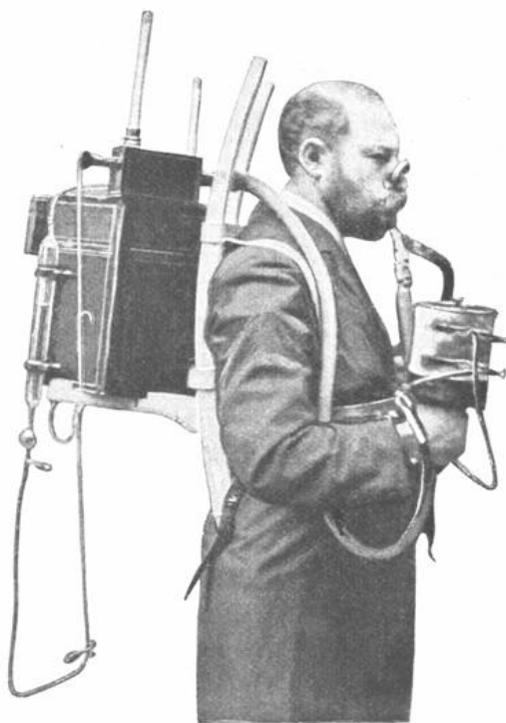
Größe dieser Steigerung in ihrer Abhängigkeit von Art und Menge der Nahrung und der seit ihrer Aufnahme verflossenen Zeit. In den nach Nahrungsaufnahme ausgeführten Marschversuchen mußte daher ein entsprechend höherer Abzug vom Gesamtverbrauch erfolgen. In diesen Fällen ist die Größe des Abzuges unter den Tabellen in Fußnoten angegeben.

Das Produkt aus dem pro Minute zurückgelegten Weg (Stab 16) und dem bewegten Gewicht (das ist das Körpergewicht zuzüglich dem der Kleidung, der Gasuhr und sonstiger Apparate) (Stab 17) dividiert in den Arbeitsverbrauch pro Minute führt zu den in Stab 19 und 20 enthaltenen Werten des Arbeitsverbrauchs pro Kilogramm und Meter Weg. Dasselbe Produkt multipliziert mit dem echten Bruch, welcher die bei Zurücklegung von 1 m Weg erstiegene Höhe in Metern angibt, drückt die pro Minute geleistete Steigarbeit in Meterkilogramm aus (Stab 18). Stab 21 enthält den respiratorischen Quotienten für den Arbeitsgaswechsel. Wir finden ihn durch Division des auf die Arbeit entfallenden Anteils des Sauerstoffverbrauchs in den der Kohlensäureausscheidung. Er dient zur Berechnung der zur Erzeugung der Arbeit aufgewendeten chemischen Energie nach den Kapitel III, S. 95 dargelegten Grundsätzen. — Stab 22 gibt diesen Energieaufwand pro Kilogramm und Meter Weg in w. e. an.

Dieser Wert bedarf nun noch, wie alle anderen aus den Gasuhrablesungen berechneten Zahlen der Tabelle, einer Korrektur wegen des Fehlers der Gasuhr, der durch Aichung vor Antritt und Beendigung der Expedition festgestellt wurde. Es ergab sich, daß die Ablesungen im Mittel um 2.7% des Wertes zu hoch ausgefallen sind. Entsprechend sind die Mittelzahlen des Energieverbrauchs in Stab 22 berichtigt worden. — Im folgenden Text benutzen wir ausschließlich korrigierte Zahlen. — Wie vorher auseinandergesetzt, waren die in den verschiedenen Gebirgsgegenden zurückgelegten Wege von sehr verschiedener Steilheit, und es war zum Vergleich nötig, den Energieverbrauch pro Meterkilogramm Steigarbeit zu ermitteln. Zu diesem Zweck wurde von dem korrigierten Mittelwerte des Energieverbrauchs der Verbrauch für die horizontale Bewegung abgezogen. Der Rest entspricht der Steigarbeit und diese ist bei den Versuchen am Rothorn, wo die Steigung genau 25% des Weges beträgt, pro Meter Weg und Kilogramm bewegten Gewichtes =  $\frac{1}{4}$  mkg. Als Beispiel der Berechnungsweise betrachten wir die erste Versuchsreihe in Brienz an Waldenburg. Diese ergibt (Stab 22) im Mittel 2.672 w.e. pro Kilogramm Körpergewicht und Meter Weg. Nach Abzug von 2.7% für den Gasuhrfehler bleiben 2.600. Die oben in der Tabelle stehenden, in Berlin ausgeführten Horizontalversuche ergeben nach Anbringung derselben Korrektur 0.636 w.e. Es fallen also auf die Steigarbeit von  $\frac{1}{4}$  mkg 2.600—0.636 = 1.964 w.e. und auf 1 mkg das 4fache = 7.856 w.e. Das Prinzip dieser Rechnung ist auf Seite 111 genauer erörtert.

**Horizontalmarsch.** Zunächst interessieren uns die individuellen Unterschiede im Stoffverbrauch für gleiche Leistungen unter sonst gleichen Be-

Einwirkung des Gebirgsklimas.



Messung der Atmung, Registrierung des Pulses und der Atembewegungen.

dingungen. Da wären als erste die horizontalen Märsche in Berlin in Betracht zu ziehen, deren Ergebnisse wir wie folgt zusammenstellen können:

Tabelle 5.

N a m e	Weg pro Minute	Energieverbrauch für 1 kg Körperge- wicht u. 1 m Weg w. e.
Waldenburg . . . . .	60.2	0.636
Kolmer . . . . .	43.2	0.845
Caspari . . . . .	76.8	0.643
Müller . . . . .	81.2	0.613
A. Loewy*) . . . . .	62.0	0.668
Zuntz*) . . . . .	51.2	0.678

Die individuellen Unterschiede für den Verbrauch beim Gehen sind, wie man sieht, recht erheblich, eine Tatsache, die schon aus früheren Versuchen bekannt war. Unter acht Menschen, deren Verbrauch für horizontale Bewegung Zuntz zusammengestellt hat, zeigten zwei Studierende der Medizin, welche vor kurzem ihren Militärdienst absolviert hatten, den kleinsten Verbrauch. Bei ihnen betrug derselbe 0.511 und 0.497 w. e., während der höchste Wert bei Zuntz mit 0.678 gefunden wurde. Dieser Verbrauch von Zuntz wird merkwürdigerweise noch erheblich übertroffen durch den des jugendlichen, an körperliche Anstrengungen gewöhnten Kolmer, dessen hebender, wenig graziöser Gang uns allerdings gleich bei Anstellung der Versuche auffiel. Hierauf kommen wir bei Besprechung des Bergaufgehens noch zurück. Übrigens wurde er bei den Versuchen zu unnützer Muskelanspannung auch dadurch veranlaßt, daß infolge zu langsamer Bewegung des Tretwerks sein Gang ein unbequem langsamer war. Wir wissen aber schon seit längerer Zeit, daß die Geschwindigkeit des Gehens einen erheblichen Einfluß auf den Verbrauch hat, und zwar in dem Sinne, daß, wenn man von einem behaglichen Spaziergangstempo von 60—70 m in der Minute ausgehend, die Geschwindigkeit beschleunigt, der Verbrauch mit zunehmender Geschwindigkeit wächst. Andererseits nimmt er beim Absinken der Geschwindigkeit unter das noch bequeme Maß von ca. 50 m wiederum zu. So fanden Frenzel und Reach<sup>6)</sup> bei einer Abnahme der Geschwindigkeit von 65.45 auf 35.25 m pro Minute eine Steigerung des Verbrauchs um 7.8%.

In bezug auf das Wachsen mit zunehmender Geschwindigkeit seien folgende Zahlen von Leo Zuntz<sup>24)</sup> angeführt:

Bei 60 m Geschwindigkeit	0.552 w. e. pro kg und 1 m Weg
„ 100 „ „	0.647 „ „ „ „ 1 „ „
„ 143 „ „	1.075 „ „ „ „ 1 „ „

Hier mögen auch noch die interessanten Befunde Platz finden, welche Caspari an Herrn Mann, dem Sieger im Wettgange Dresden-Berlin, erhoben hat. Derselbe legte die 202 km lange Strecke einschließlich der Ruhepausen in 26 Stunden 58 Minuten zurück, d. h. mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 125 m pro Minute und ist sicher einer der besten Gänger der Welt. Herr Mann verbrauchte pro Kilogramm und Meter Weg bei 139.4 m Minuten-

\*) Entnommen aus älteren Versuchen. Pflügers Archiv 68, Seite 208.

geschwindigkeit 0.979 w. e., d. h. nur 91% der Energiemenge, welche Leo Zuntz für gleiche Geschwindigkeit aufwenden mußte. Er konnte aber, ohne in Laufen zu verfallen, noch erheblich schneller gehen, dann brauchte er:

bei 172 m Minutengeschwindigkeit 1.154 w. e.  
 „ 183 „ „ 1.184 „

Also auch hier bei vollkommenstem Training für schnelles Gehen bestätigt sich die Erfahrung, daß der Verbrauch für die Wegeinheit mit zunehmender Geschwindigkeit wächst. Eine mechanische Analyse der beim Gange in Betracht kommenden Einzelbewegungen läßt dies Wachsen als naturnotwendig erkennen.

Unter unseren Versuchen zeigen die Berliner Horizontalmärsche bei Waldenburg und Müller Unterschiede der Geschwindigkeit, in denen sich die Richtigkeit des Vorhergesagten bestätigt. Die ersten drei Versuche an Waldenburg ergaben bei einer mittleren Geschwindigkeit von 44.93 m einen Verbrauch von 0.706, die letzten zwei bei 52.78 m von 0.700, die mittleren vier bei 74.95 m von 0.553 w. e. Hier ist also die höchste der innegehaltenen Geschwindigkeiten die günstigste. Daß noch zwischen der Geschwindigkeit von 52.78 und 74.95 m eine Minderung des Verbrauchs stattfindet, erklärt sich aus der erheblichen Beinlänge von Waldenburg, der sich auch bei den Bergbesteigungen in Brienz als schneller und wenig ermüdender Gänger erwies. Bei Müller können wir ebenfalls die Horizontalversuche in zwei Gruppen verschiedener Geschwindigkeit teilen. Die beiden letzten Versuche ergeben: bei 73.69 m Geschwindigkeit einen Verbrauch von 0.584 w. e., die drei ersten bei 85.0 m einen solchen von 0.633 w. e. Er hat also beim rascheren Gang die Geschwindigkeitsgrenze des ökonomischsten Gehens bereits überschritten.

**Marsch bergauf.** Beim Vergleich der in Berlin und auf der Expedition ausgeführten Bergaufmärsche kommt zunächst der Einfluß der Steilheit in Betracht. Wir wissen aus früheren Versuchen, daß bei mäßigen Steigungen der Verbrauch für die Arbeitseinheit geringer ist als auf steileren Wegen. Die Grenze, von welcher ab mit zunehmender Steilheit der Verbrauch für das Meterkilogramm Steigarbeit zu wachsen beginnt, ist bei verschiedenen Individuen ziemlich verschieden. Eine Anzahl Erfahrungen hierüber wurde bereits vor Jahren von Zuntz<sup>26)</sup> und seinen Mitarbeitern an Pferden gesammelt. Bei kräftigen Tieren lag die Grenze der Zunahme bei etwa 15% Steigung, bei schwächeren und in bezug auf ihre Gehwerkzeuge nicht ganz normalen schon bei einer geringeren Steigung.

Bei den Vorstudien zur Expedition von 1896<sup>15)</sup> wurden drei Grade der Steigung untersucht und folgende Mittelwerte des Verbrauchs für 1 mkg Steigarbeit in w. e. gefunden:

Tabelle 6.

Name	Steigung		
	23%	30.5%	36.6%
A. Loewy . . .	6.97	6.73	8.00
J. Loewy . . .	6.53	7.22	7.29
L. Zuntz . . .	6.46	6.40	7.32
Mittel	6.65	6.78	7.54

Trotz kleiner Unregelmäßigkeiten, die bei der geringen Zahl der Versuche unvermeidlich sind, lassen die Zahlen und namentlich die Mittelwerte das Gesetz deutlich erkennen; während bei J. Loewy schon zwischen 23 und 30% Steigung der Mehrverbrauch sehr erheblich ist, tritt er bei den zwei anderen erst zwischen 30

und 36% deutlich zutage. Die Steigerung des Verbrauchs für die Arbeitseinheit kann auch auf sehr steiler Bahn ausbleiben, wenn die sonstigen mechanischen Verhältnisse besonders günstig sind. Das zeigen die Versuche von Schumburg und Zuntz<sup>21)</sup> auf einer Treppe mit 62.1% Steigung. Hier war der Verbrauch pro Meterkilogramm:

bei Schumburg auf der Treppe . . . . .	= 8.37 w.e.
auf der Tretbahn bei 31% Steigung	= 8.33 „
bei Zuntz auf der Treppe . . . . .	= 8.18 „
auf der Tretbahn bei 31% Steigung	= 8.52 „

Der Verbrauch, welcher auf der unbequem steilen Bahn bei beiden sehr hoch ist, ändert sich also auf der doppelt so steilen, aber bequemen Treppe bei Schumburg nicht merklich, bei Zuntz ist er sogar niedriger.

Unsere eigenen Versuche zeigen nun beim Vergleich der geringeren Steigungen auf dem Tretwerk in Berlin mit den stärkeren in Brienz (Tabelle 7) deutlich, daß schon zwischen 12.7 und 25% Steigung bei vier von fünf Personen der Verbrauch pro Meterkilogramm anwächst.

Tabelle 7.

Einfluß der Steigung auf den Energieverbrauch pro Meterkilogramm Steigarbeit in w. e.

Name	Berlin Steigung		Brienz Steigung 25%	Berlin Steigung 26.23%	Änderung des Verbrauchs in % des Anfangswertes bei Zunahme der Steigung von 12.68 auf 25%
	12.68%	18.24%			
Waldenburg . . . . .	7.223		7.856		+8.8%
Kolmer . . . . .		5.033	5.478		+8.8%*)
Caspari . . . . .	[7.057]		6.932		[-1.8%]
Müller . . . . .	6.064		7.345	7.991	+21.1%
Loewy . . . . .	5.402		7.160		+32.5%
Zuntz . . . . .	5.488		6.156		+12.2%

Die einzige Ausnahme bietet Caspari, welcher bei 25% Steigung einen um 1.8% geringeren Verbrauch aufweist. Dies Resultat ist aber, wie ein Blick auf Anhangstabelle XIX lehrt, durch den ganz aus der Reihe fallenden und daher wahrscheinlich fehlerhaften ersten Berliner Versuch bedingt. Wenn wir diesen ausschalten, ergibt das Mittel der fünf übrigen Versuche einen korrigierten Energieverbrauch von 1.465 w. e. pro Kilo und Meter Weg. Hieraus berechnet sich der Verbrauch für 1 mkg zu 6.483 w. e. gegen 6.932 mkg bei 25% Steigung am Rothorn. Wir haben dann also auch hier eine Zunahme des Verbrauches um 6.9% auf dem steileren Weg.

Bei Betrachtung der Tabelle fällt noch auf, daß Kolmer, Loewy und Zuntz namentlich bei der geringeren Steigung den kleinsten Verbrauch pro Meterkilogramm zeigen, während dieselben Personen beim Horizontalmarsch den stärksten Verbrauch aufweisen! Das ist kein Zufall. Offenbar ändert sich die Gangart vom Horizontal- zum Bergaufgehen. Beim letzteren muß das vorschwingende Bein bei jedem Schritt um so mehr gehoben werden, je steiler der Weg ist. Menschen, die gewohnt sind, auf Bergpfaden zu gehen, führen diese

\*) 18.24 auf 25%.

Hebung des Beines auch auf horizontalem Wege aus und verschwenden dadurch Energie. Dies war ersichtlich bei Kolmer der Fall, daher sein abnorm hoher Verbrauch beim Horizontalgehen, daher aber auch der geringere Mehrverbrauch beim Bergaufgehen. Es ist ja klar, daß jeder, der beim Bergaufgehen seine Bewegungen vollkommen zweckmäßig ausführt, aber beim horizontalen Schritt unnützlich viel Energie aufwendet, durch Abzug des letzteren Verbrauchs vom ersteren eine zu niedrige Zahl für das Meterkilogramm Steigarbeit liefern muß. Dieser Fehler läßt besonders bei geringen Steigungen, wo der für das horizontale Gehen abziehende Posten stark ins Gewicht fällt, einen zu niedrigen Wert für das Meterkilogramm Steigarbeit berechnen, so bei Kolmer, Loewy, Zuntz.

Bei Müller, der von uns sechs den horizontalen Gang am rationellsten ausführte, machte sich um so mehr der Zuwachs an Arbeit beim steileren Anstieg geltend. Interessant ist, daß keiner von uns im Durchschnitt seiner Horizontalmärsche einen so geringen Verbrauch hat wie die von Zuntz und Schumburg beobachteten militärisch trainierten jungen Leute. Nur Waldenburg erreichte, jedoch erst in den letzten Horizontalmärschen, einen so niedrigen Verbrauch.

**Einfluß des Training und mäßiger Höhen.** Die zweite Frage, die an der Hand unseres Materials zu studieren ist, betrifft den ebenfalls früher schon erörterten Einfluß der Übung. Auch in dieser Hinsicht verhalten sich unsere verschiedenen Versuchsobjekte verschieden. Der einzige von uns, der bereits zu Beginn der Versuche eine erhebliche Übung im Bergsteigen durch seine Touren im Berner Oberlande erworben hatte, war Kolmer. Bei ihm finden wir den Verbrauch für 1 mkg

	in den ersten Tagen des Brienzer Aufenthaltes	5.508 w. e.
„ „	letzten „ „ „ „	5.448 „

Der Unterschied ist so gering, daß man keine Schlüsse daraus ziehen kann, allerdings hatte man auch hier den Eindruck, daß die spezielle Art des Gehens durch die Übung noch etwas vervollkommenet worden war.

Sehr evident aber zeigt sich die überlegene Übung Kolmers im Bergaufgehen beim Vergleich mit allen anderen Mitgliedern der Expedition in seinem von vornherein geringeren Energieverbrauch. Wir erwähnten schon, daß der berechnete Verbrauch für 1 mkg Steigarbeit auch darum so niedrig ausfiel, weil Kolmer den horizontalen Schritt mit übermäßigem Kraftaufwand ausführte. Wir erhalten daher ein richtigeres Bild der individuellen Unterschiede im Kraftaufwande beim Bergaufgehen, wenn wir von der Berechnung auf 1 mkg absehen und die Mittelwerte des Stabes 22 der Anhangstabellen ohne weiteres miteinander vergleichen. Wir wollen dabei zugleich den durch Übung erzielten Fortschritt der einzelnen Versuchspersonen dadurch erkennbar machen, daß wir die vor und nach den großen Übungsmärschen ausgeführten Versuche miteinander in Parallele stellen. Die auf dem Rothorn Gipfel ausgeführten Märsche sind natürlich besonders zu betrachten, weil bei ihnen ein weiteres Moment, die Wirkung der Höhe, zur Geltung kommt.

Die Höhenwirkung zeigt sich bei den drei Personen, welche schon vor Beginn der großen Übungsmärsche auf das Rothorn übersiedelten, in einer geringen,

aber unzweideutigen Steigerung des Energieverbrauchs für die Arbeitseinheit. Die Steigerung (im Mittel 3.8%) muß als eine Höhenwirkung aufgefaßt werden, weil die äußeren Arbeitsbedingungen, die Beschaffenheit des Weges oben und unten absolut identisch waren und die fortschreitende Übung eigentlich eine Abnahme des Verbrauchs hätte bewirken müssen. Auch der Umstand, daß die Märsche unten zum Teil bei sehr großer Hitze, oben bei angenehmer Temperatur stattfanden, wäre an sich geeignet, den Verbrauch oben zu verringern. Um so mehr sind wir berechtigt, eine durch die Höhe bedingte Steigerung des Verbrauchs anzunehmen.

Tabelle 8.

Energieverbrauch beim Bergaufgehen pro 1 kg und 1 m Weg in w. e.

Name	in Brienz		auf dem Rothorn		Abnahme des Verbrauchs beim Training in % des Anfangswertes	
	vor den großen Märschen	nach den großen Märschen	vor den großen Märschen	nach den großen Märschen	in Brienz	auf dem Rothorn
Kolmer . . . . .	2.222	2.207	2.258	2.222	0.7	1.6
Müller . . . . .	2.623	2.319	2.722	2.205	11.6	19.0
Loewy . . . . .	2.447	2.469	2.589	2.221	0	14.2

Dieser Effekt ist aber nach den Trainiermärschen vollständig geschwunden, jetzt sind die oben gefundenen Werte für den Arbeitsverbrauch sogar niedriger als vorher und nachher in Brienz.

Eine ähnlich geringe Steigerung durch die Höhe des Rothorn, wie wir sie hier finden, hat Bürgi<sup>4)</sup>, welcher an derselben Stelle experimentierte, beobachtet. Um seine Marschversuche mit den unserigen vergleichen zu können, bedarf es einer Umrechnung derselben. Er hat nämlich den Ruhewert vom Arbeitsverbrauch nicht abgezogen. Seine eigenen Versuche bleiben trotzdem unter sich vergleichbar, weil er stets dieselbe Geschwindigkeit innehielt. Um aber seine Zahlen mit den unserigen, die bei abweichender Geschwindigkeit gewonnen wurden, zu vergleichen, müssen wir von seiner Kohlensäureausscheidung pro Minute den Ruheverbrauch abziehen und den Rest auf 1 kg und 1 m Weg berechnen. Wir benutzen aus den S. 234 dargelegten Gründen den niedrigeren von uns bei der Untersuchung Bürgis in Berlin gefundenen Ruhewert von 2.79 cem Kohlensäure pro Kilogramm und Meter Weg entsprechend 6.442 g für 98 kg Körpergewicht in 12 Marschminuten. So berechnen wir aus Bürgis Mittelwerten folgende Größen der Kohlensäureausscheidung pro Kilogramm und Meter Weg:

1898 unten untrainiert . . . . .	0.555 cem Kohlensäure
1898 oben „ . . . . .	0.639 „ „
1898 unten trainiert . . . . .	0.480 „ „
1898 oben „ . . . . .	0.481 „ „
1899 unten trainiert . . . . .	0.557 „ „
1899 oben „ . . . . .	0.564 „ „

Es tritt also hier, wie bei uns, ein bedeutender Minderverbrauch als Effekt des Training zutage, und was besonders interessant ist, der Effekt der Höhe verschwindet nahezu unter dem Einfluß des Training, während er bei fehlender Übung recht erheblich ist.

Der Energieverbrauch Bürgis läßt sich nicht auf Wärmeinheiten berechnen, weil er nur die ausgeatmete Kohlensäure ermittelt hat. Daß aber bei ihm der Verbrauch von derselben Größenordnung ist wie bei uns, ergibt sich aus dem Vergleich der vorstehenden Zahlen mit den in Stab 20 unserer Anhangstabellen aufgeführten, die wir hier wiedergeben wollen:

Tabelle 9.

Name	Brienz	Rothorn
Waldenburg . . .	0.474	0.446
Kolmer . . . . .	0.386	0.407
Caspari . . . . .	0.450	0.450
Müller . . . . .	0.449	0.479
Loewy . . . . .	0.429	0.446
Zuntz . . . . .	0.389	0.457

Mittel	0.429	0.447
--------	-------	-------

0.438 ccm Kohlensäure pro kg u. m Weg.

Im Mittel sind unsere Werte um 9.6% niedriger als die, welche Bürgi im besttrainierten Zustande erzielte. Das erklärt sich leicht aus dem Zwang, welcher Bürgi dadurch auferlegt war, daß er mit seinem einen Teil des Apparates tragenden Begleiter gleichen Schritt halten mußte und sich deshalb an ein nicht ganz bequemes Gehen zwischen den Bahnschwellen band, während jeder von uns die Gangart inne hielt, welche ihm gerade behagte.

Das Verhalten der drei Personen, welche erst nach vollendetem Training durch die großen Märsche auf das Rothorn übersiedelten, zeigt sich aus der folgenden Zusammenstellung:

Tabelle 10.

Energieverbrauch beim Bergaufgehen pro 1 kg  
und 1 m Weg in w. e.

Name	Brienz	Rothorn
Waldenburg . . .	2.600	2.458
Caspari . . . . .	2.376	2.463
Zuntz . . . . .	2.217	2.417

Caspari und Zuntz zeigen oben wieder einen höheren Stoffumsatz. Es ist aber hier nicht zulässig, die Steigerung als Höhenwirkung zu deuten. Caspari hatte inzwischen eine Fußverletzung erlitten, welche zwar ausgeheilt war, aber doch noch eine gewisse Steifigkeit bedingte. Auf diese ist in Analogie mit vielen ähnlichen Erfahrungen die Erhöhung des Verbrauches zu schieben. Die zwei Versuche an Zuntz aber wurden in furchtbarer Hitze und Sonnenbrand (Temperatur 37° C.) ausgeführt. Die Steigung um 9.5% gegenüber den Versuchen in Brienz dürfte sich hieraus erklären. Drückende Hitze ist wohl auch die Ursache dafür, daß die letzten am 17. August in Brienz ausgeführten Marschversuche an Waldenburg höhere Werte aufwiesen als die vorhergehenden. Die Rothorn-Versuche an Waldenburg zeigen im geringeren Verbrauch gegenüber Brienz den Effekt des Training, wie er bei den drei erst Besprochenen gefunden war. Daneben demonstriert der letzte an ihm auf dem Rothorn ausgeführte Versuch (26. VIII.) eine besondere Ursache der Steigerung des Verbrauches: An diesem Tage herrschte außerordentlich böiges Wetter und zeitweise so heftiger Schneesturm, daß die Versuche unterbrochen werden mußten. Es ergab sich in bezug auf die allein be-

stimmte Kohlensäureausscheidung der höchste überhaupt beobachtete Wert, was unzweifelhaft aus der Erschwerung des Gehens durch den Wind zu erklären ist.

**Einfluß großer Höhen.** Wenden wir uns nun zu den in Höhen von 2900 m und darüber ausgeführten Marschversuchen, so ist bei der Mehrzahl derselben die Beurteilung dadurch erschwert, daß die Steigung des Weges eine wechselnde und auch die Beschaffenheit desselben an sich geeignet war, den Verbrauch in schwer taxierbarer Weise zu erhöhen. Wir wollen deshalb zunächst die Befunde betrachten, bei welchen dieses Moment wegfällt. Das sind von eigenen Versuchen die bei den Expeditionen 1896 und 1903 auf Col d'Olen ausgeführten Horizontalmärsche. Sie ergaben im Vergleich zu entsprechenden Beobachtungen im Flachlande (Berlin oder Wien) folgende Mittelwerte:

Tabelle 11.  
Energieverbrauch in w. e. pro 1 kg und 1 m Weg.

Name	Flachland	2900 m Höhe	Zunahme in der Höhe %
A. Loewy . . .	0.668	0.674	1.0
J. Loewy . . .	0.544	0.816	50.0
Leo Zuntz . . .	0.574	0.604	5.2
N. Zuntz . . .	0.678	0.663	-2.2
A. Durig . . .	0.527	0.584	10.8
Mittel	0.598	0.668	11.7

Wir haben also bei allen Versuchspersonen, mit Ausnahme von N. Zuntz, eine Steigerung des Verbrauches in der Höhe. Der kleine Minderverbrauch bei N. Zuntz fällt deshalb nicht in die Wagschale, weil er in seinen Berliner Versuchen ungewöhnlich hohen Verbrauch hatte, wahrscheinlich durch etwas zu langsames Gehen (48—56 m pro Minute) bedingt, während er auf Col d'Olen die ihm angenehme Geschwindigkeit von 80 m innehielt. Bei den übrigen Versuchspersonen sind die Geschwindigkeiten an beiden Orten annähernd dieselben. Der enorm hohe Verbrauch bei J. Loewy in der Höhe ist durch drei leidlich übereinstimmende Versuche gestützt.

Erheblicher als in 2900 m Höhe erwies sich der Mehrverbrauch beim Horizontalgang unter absolut normalen mechanischen Bedingungen in der Margherita-Hütte in 4560 m Höhe. Hier kommen folgende Zahlen in Betracht:

Tabelle 12.  
Energieverbrauch in w. e. pro 1 kg und 1 m Weg.

Name	Flachland	4560 m Höhe	Zunahme des Verbrauches in 4560 m Höhe %	Zunahme in 2900 m Höhe*)
Durig . . . . .	0.527	0.668	26.8	10.8
Zuntz . . . . .	0.678	0.774	14.2	-2.2

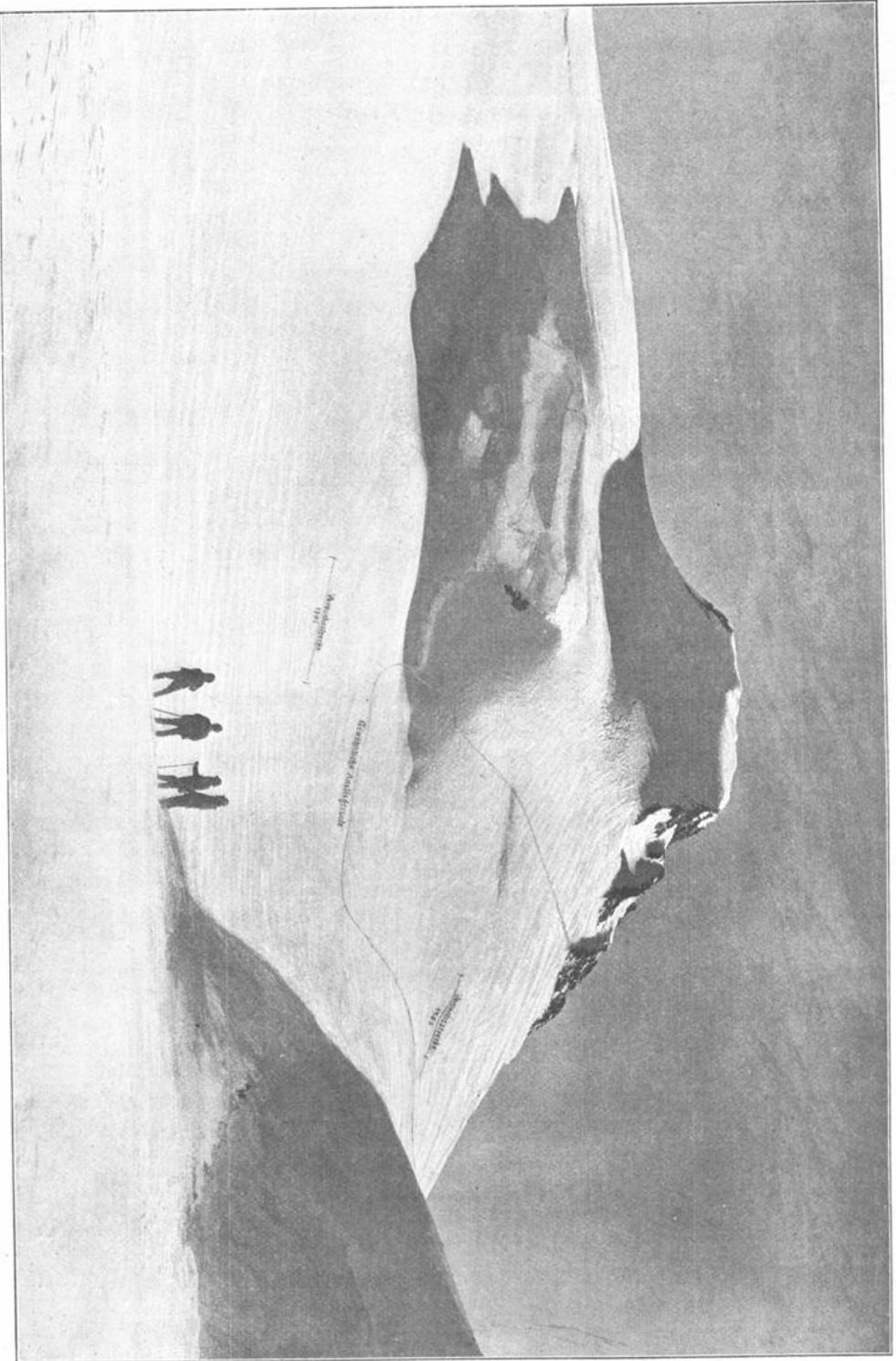
\*) Siehe vorige Tabelle 11.

Die in 4560 m Höhe gefundene erhebliche Steigerung des Verbrauchs beim Horizontalgang erscheint um so bedeutungsvoller, als die Versuche am 16. und 17. Tage des Aufenthalts nach vielfachen Übungsmärschen ausgeführt wurden. In dieser sehr großen Höhe vermag also auch längeres Training nicht den Verbrauch auf normale Größe zurückzuführen.

Aus Bürgis' Arbeit sind hier noch einige Bergaufmärsche zu verwerthen, bei welchen die Wegbeschaffenheit oben und unten gleich war. Es handelt sich um Messungen auf dem Gornegrat, die unter Benutzung der Trace der Bergbahn ausgeführt wurden. Die Steigung ist zwar hier nicht, wie am Brienzer Rothorn, oben und unten absolut gleich, aber die Differenzen, einmal 0.3%, einmal 2.01%, sind gering genug, um den dadurch bedingten Unterschied nach unseren Durchschnittswerten der Kohlensäureausscheidung für 1 mkg Steigarbeit korrigieren zu können. (Wir rechnen für 1 mkg 2.4 mg Kohlensäure. Es beträgt dann die Korrektur auf etwa 30 g ausgeatmeter Kohlensäure im ersten Fall 0.2 g, im letzteren 1.34 g.) Die korrigierten Zahlen Bürgis besagen, daß er in 3000 m Höhe in untrainiertem Zustande zur Leistung derselben Steigarbeit im Mittel 3.16 g Kohlensäure mehr ausschied als in 650 m Höhe, das sind 9.7% des Gesamtverbrauchs von im Mittel 32.7 g. Trainiert betrug seine Mehrausscheidung in der Höhe nur noch 1.39 g, d. i. 4.9% des durch das Training auf 28.1 g verminderten Verbrauchs unten.

Im Gegensatz zu der andauernden Steigerung des Arbeitsverbrauchs in 4560 m Höhe ist es bemerkenswert, wie kurze Zeit in den vorstehenden Versuchen Bürgis zu der erheblichen Verminderung des Stoffverbrauches bei der Arbeit in 3000 m Höhe nötig war. Die Verbesserung der Leistung um 14% war erzielt, nachdem der Experimentator drei Nächte in der Höhe von 3000 m zugebracht und die Tage zu ausgedehnten Gletscherwanderungen und zur Besteigung des Walliser Breithorns (4171 m) benutzt hatte. Dieser schnelle meßbare Erfolg des Höhentrainings, diese schnelle Abnahme des für eine bestimmte Steigarbeit erforderlichen Stoffaufwandes nach wenigen Tagen der Übung bildet einen zahlenmäßigen Beleg für die alte Erfahrung, daß auch der rüstige Mensch einiger Tage der Übung im Gebirge bedarf, ehe er zu großen Leistungen fähig ist. Es ist wohl im wesentlichen die durch die Übungsmärsche wieder zu erwerbende Geschicklichkeit in der speziellen Art des Gehens, welche das Gebirge erfordert, die den geringeren Stoffverbrauch bewirkt. Das ist es aber nicht allein. Wir sehen ja, daß der ganz gleich beschaffene Weg in der größeren Höhe stärkeren Stoffverbrauch bedingt und daß auch dieser Mehrverbrauch unter dem Einfluß des Trainings zurückgeht. Hier kann es wohl nur eine Anpassung der Atmung und der Kreislauforgane an die neuen Verhältnisse sein, welche die anfangs störenden Wirkungen des Sauerstoffmangels und speziell wohl der ungenügenden Sauerstoffversorgung einzelner tätiger Muskeln mehr und mehr ausgleicht. Daß Sauerstoffmangel in arbeitenden Muskeln den Verbrauch steigert, wissen wir schon durch ältere Versuche Loewys<sup>12)</sup>. Diese haben auch schon die wahrscheinliche Ursache dieser Steigerung in unzweckmäßigem Zusammenarbeiten der durch den Sauerstoffmangel in ihrer Leistung geschwächten Muskeln aufgedeckt.

**Einfluß des Terrains auf den Stoffverbrauch.** Nachdem nunmehr die Tatsache festgestellt ist, daß die gleiche Arbeit in größeren Höhen einen größeren Verbrauch von Sauerstoff und Brennmaterial bedingt, können wir uns zur Betrachtung jener Versuche wenden, in welchen auch die Beschaffenheit



Unsere Marschstrecken am Monte Rosa in 4450 m Höhe.

Phot. Vittorio Sella, Biella.

des Weges dazu beiträgt, den Kraftaufwand zu steigern, und wo infolgedessen die Unterschiede zwischen dem Verbrauch im Gebirge und im Flachlande noch erheblicher werden. Auf der Expedition von 1895<sup>21)</sup> benutzten wir einen zwar bequemen, aber doch steilen und nicht ganz gleichmäßigen Moränenpfad unterhalb der Bétemps-Hütte in 2900 m Höhe und einen allerdings recht guten und festen Gletscherweg auf dem Monte Rosa-Gletscher in 3675 m Höhe. Folgendes sind die Mittelwerte des Verbrauchs:

Tabelle 13.

## Energieverbrauch pro Meterkilogramm Steigarbeit in w.e.

Name	Berlin Tretbahn	Bétemps- Hütte	Mehrverbrauch auf der Bétemps-Hütte gegenüber Berlin in %	Monte Rosa- Gletscher	Mehrverbrauch auf d. Gletscher gegenüb. Berlin in %
Schumburg . . . . .	8.297	10.058	<b>21.2</b>	12.205	<b>47.1</b>
Zuntz . . . . .	8.537	11.162	<b>30.7</b>		

Im Jahre 1896<sup>15)</sup> wurden die Anstiege auf dem ziemlich steinigen, von Alagna zur Paßhöhe des Col d'Olen führenden Saumpfade bei 23—33 % Steigung ausgeführt; an der Gnifetti-Hütte wurde auf dem Indrengletscher, der eine feste, nicht schlüpfrige Schneedecke trug, eine Strecke mit ca. 35 % Steigung begangen.

Die Resultate enthält folgende, der vorigen analog angeordnete Übersichtstabelle:

Tabelle 14.

## Energieverbrauch pro Meterkilogramm Steigarbeit in w.e.

Name	Berlin, Tretbahn 30.5 % Steigung	Col d'Olen 23—33 % Steigung	Mehrverbrauch auf Col d'Olen gegenüber Berlin %	Gnifetti- Hütte 35 % Steigung	Mehrverbrauch an der Gnifetti- Hütte gegenüber Berlin %
A. Loewy . . . . .	6.73	8.05	<b>19.6</b>	9.21	<b>36.9</b>
J. Loewy . . . . .	7.22	8.23	<b>14.0</b>	8.99	<b>24.5</b>
L. Zuntz . . . . .	6.40	8.78	<b>37.2</b>	8.36	<b>30.6</b>

Ein Vergleich des bei vorstehenden Steigversuchen auftretenden Mehrverbrauches auf Col d'Olen mit dem beim horizontalen Gehen ebendasselbst beobachteten zeigt die Bedeutung der Weghindernisse. Bemerkenswert ist, daß L. Zuntz allein an der Gnifetti-Hütte einen geringeren Mehrverbrauch hat als auf Col d'Olen. Es ist dies wieder ein Beleg für die Bedeutung des Training. L. Zuntz war nämlich vor Ausführung der Marschversuche an der Gnifetti-Hütte zum Monte Rosa-Gipfel aufgestiegen und hatte sich dadurch für das Gehen in dieser großen Höhe und auf Schnee und Eis trainiert.

Aus dem Jahre 1901 sind hier die in Tabelle XVII und XX zusammengestellten Marschversuche von Waldenburg und Müller auf Col d'Olen zu betrachten. Wir geben die Mittelwerte in Tabelle 15.

Tabelle 15.

Energieverbrauch pro Meterkilogramm Steigarbeit:  
Mittelwerte der Perioden in w. e.

Name	Brienz	Col d'Olen
	25% Steigung	45% Steigung
Waldenburg . . .	7.856	8.676
Müller . . . . .	7.432	6.231

Die Versuche an Waldenburg fügen sich anstandslos in den Rahmen unserer sonstigen Erfahrungen ein. Im Hinblick auf die größere Steilheit des Weges und die schlechtere Beschaffenheit desselben ist freilich der Mehrverbrauch auf Col d'Olen gegenüber Brienz (10.4%) ein auffallend geringer. Ganz paradox aber erscheint es, daß Müller im Mittel von vier Versuchen auf Col d'Olen erheblich ökonomischer steigt als in Brienz. Wir können keine Erklärung hierfür finden.

In der Höhe von 4500 m wurde eine größere Anzahl Gletschermärsche in den Jahren 1901 und 1903 ausgeführt; den Schauplatz derselben zeigt das Bild S. 258.

Die ersteren, von denen leider fast die Hälfte durch Verunglücken der Analysenproben verloren ging, sind auf Anhangstabelle XVIII, XIX und XXII zusammengestellt, die letzteren finden sich in Tabelle XXIV und XXV der Publikation von Durig und Zuntz;<sup>5)</sup> dort sind auch in Tabelle XXVI und XXVII eine Anzahl im Flachlande ausgeführter Marschversuche auf ansteigendem, schneebedecktem Wege mitgeteilt.

Die folgende Zusammenstellung gewährt einen Überblick:

Tabelle 16.

Energieverbrauch pro Meterkilogramm Steigarbeit in w. e.

Name	in Brienz 25% Steigung	in Berlin bezw. Wien im Schnee	auf Gletscher in 4500 m Höhe	Zunahme in %	Bemerkungen
Kolmer 1901 . .	5.48		13.21 <sup>1)</sup>	<b>141.1</b>	Bei <sup>1)</sup> , <sup>2)</sup> , <sup>3)</sup> wurde der Berliner Horizontalwert, bei <sup>4)</sup> u. <sup>5)</sup> der höhere am Monte Rosa gefundene abgezogen
Caspari 1901 . .	6.60		11.60 <sup>2)</sup>	<b>75.8</b>	
Zuntz 1901 . . .	6.16		10.34 <sup>3)</sup>	<b>67.9</b>	
Zuntz 1903 . . .		12.68 <sup>6)</sup>	14.65 <sup>4)</sup>	<b>11.6</b>	
Durig 1903 . . .		8.20 <sup>7)</sup>	9.76 <sup>5)</sup>	<b>19.0</b>	

<sup>1)</sup> Steigung 22.0%. <sup>2)</sup> Steigung 22.9%. <sup>3)</sup> Steigung 28.8%. <sup>4)</sup> Steigung 8.83%.  
<sup>5)</sup> Steigung 6.93%. <sup>6)</sup> 3.42% Steigung. <sup>7)</sup> 10.32% Steigung, schnelles Tempo 79.8 bis 87.1 m pro Minute.

Die auf dem Monte Rosa-Gletscher ausgeführten Versuche ergeben einen erheblich höheren Verbrauch als alle anderen Arbeitsversuche. Dabei ist bereits von dem Gesamtverbrauch der hohe auf dem Monte Rosa gefundene Ruhewert abgezogen, und in den Versuchen von 1903 ist auch der höhere in der Margherita-Hütte ermittelte Verbrauch für die Horizontalbewegung in Abzug gekommen, während in den Versuchen von 1901 nur die Berliner Werte für Horizontalbewegung der betreffenden Personen abgerechnet wurden. Daß bei der gefundenen Zunahme des Verbrauches die Einwirkung der Höhe an sich wesentlich beteiligt ist, das beweisen die in der Hütte ausgeführten Horizontalversuche (S. 256, Tabelle 12), bei denen andere,

den Verbrauch steigernde Momente mit Sicherheit ausgeschlossen sind. Die auf den Gletschern gewonnenen Zahlen haben aber für uns das besondere Interesse, daß sie uns zum ersten Male ein exaktes Maß des Verbrauches eines Gletscherwanderers liefern unter den Bedingungen, wie sie auf Touren, welche keine besonderen Schwierigkeiten bieten, zu herrschen pflegen. Die von uns begangenen Wege boten mäßige Steigungen von 7—28%. Dabei war der Schnee bald fest und körnig, bald, so auf den späteren von Durig und Zuntz gegen Mittag ausgeführten Märschen, ziemlich weich, so daß ein Einsinken bis über die Knöchel stattfand (vgl. das Bild S. 240). Die 1901 gewonnenen Werte ergeben zwischen 10 und 13 w. e. für das Meterkilogramm Steigarbeit. Interessant ist, daß gerade der vorzüglich trainierte Kolmer den höchsten Verbrauch hatte; er ging einen durch Schneeverwehungen unregelmäßigeren Weg als die beiden anderen. Man sieht hier, wie enorm die Terrainverhältnisse bei gleicher Steigung den Verbrauch verändern. Die Beschaffenheit des Schnees ist auch die Ursache, daß Zuntz 1903 fast um die Hälfte mehr Energie für 1 mkg aufwenden mußte als 1901. Besonders interessant ist der Vergleich des Verbrauches von Durig mit dem von Zuntz bei Zurücklegung desselben Weges. Ersterer, in jugendlicher Kraftfülle und als Tiroler von früh an Höhenwanderungen gewöhnt, braucht im Durchschnitt auf demselben Wege  $\frac{1}{3}$  weniger, so daß die geringere Kraft und Übung bei Zuntz einen Mehrverbrauch von 50% bedingt.

Die mitgeteilten Zahlen dürften des Interesses nicht entbehren, insofern sie den ziffermäßigen Beweis liefern, wie wenig man den Kraftaufwand beim Gehen auf Schnee und Eis nach der erstiegenen Höhe bemessen kann. Dabei ist zu bedenken, daß wir uns für die Marschversuche immer noch die bequemsten Wegstrecken aussuchten, schon um die erstiegene Höhe leichter messen zu können.

**Das Bergabgehen.** Zur Beurteilung des Stoffverbrauches des Bergsteigers gehört auch die genauere Erforschung des Gaswechsels beim Bergabgehen.

Bekanntlich glauben viele, daß letzteres eine größere Anstrengung als das Aufwärtsklettern bedingt. Diese Annahme stützt sich auf die subjektiven Empfindungen in den Muskeln, Sehnen und Gelenken bei sehr langen und steilen Abstiegen. Daß aber der Stoffverbrauch beim Bergabgehen kein entsprechend großer ist, lehrt die Tatsache, daß man durchschnittlich denselben Weg bergab in  $\frac{1}{2}$  bis  $\frac{1}{3}$  der Zeit wie bergan zurücklegt und dabei niemals jene Empfindungen von Erschöpfung und Atemnot hat, wie sie durch zu schnelles Bergaufgehen entstehen. Die Schweißsekretion, welche ja für andere Arbeitsleistungen ein ungefähres Maß der Wärmebildung bei den Umsetzungen im Körper ist, wird hier, wie wir in Kapitel XV auseinandersetzen werden, aus anderen Gründen gesteigert. Daher erschien eine direkte Messung des Verbrauches beim Bergabsteigen angezeigt, um so mehr als darüber bisher nur sehr spärliche Erfahrungen vorliegen. Katzenstein<sup>9)</sup> hat bei mäßig steilem Bergabsteigen einen Minderverbrauch gegenüber der horizontalen Bewegung konstatiert. Eingehend ist das Bergabgehen von Zuntz und Hagemann<sup>26)</sup> beim Pferde studiert worden. Hierbei ergab sich ebenfalls eine Stoffersparnis bei geringem Gefälle, zugleich aber konnte festgestellt werden,

daß diese Ersparnis mit zunehmender Steilheit des Weges geringer wird, und daß, wenn die Neigung 10% übersteigt, das Bergabgehen einen größeren Verbrauch bedingt als die horizontale Bewegung.

Unsere Erfahrungen (siehe Anhang, Tab. XXIII) erstrecken sich auf dieselbe Wegstrecke in Brienz, welche wir auch zum Bergaufsteigen benutzt hatten. Sie ermöglichen also einen direkten Vergleich des Bergabgehens auf dem um 25% geneigten Wege mit dem Aufstieg auf demselben Wege und mit dem von uns ermittelten Verbrauch beim horizontalen Gehen.

Tabelle 17.

## Vergleich der Marschversuche bergab, horizontal, bergauf.

Name	Energieverbrauch pro Kilo u. Meter Weg	Energieverbrauch pro Kilo u. Meter Weg	
	bergab 25% w. e.	horizontal w. e.	bergauf 25% w. e.
Waldenburg . .	0.579	0.636	2.600
Kolmer . . . . .	0.564	0.845	2.215
Caspari . . . . .	0.612	0.643	2.294
Müller . . . . .	0.606	0.613	2.471
Loewy . . . . .	0.617	0.668	2.458
Zuntz . . . . .	0.537	0.678	2.217
Mittel	0.586	0.680	2.376

Bei Betrachtung der vorstehenden Zusammenstellung fällt zunächst auf, daß bei 25% Neigung des Weges der Verbrauch pro Meter Weg bergab durchgehends geringer ist als beim horizontalen Gang; im Mittel beträgt die Ersparnis 13.8%. Wie oben erwähnt, hört beim Pferde der Vorteil des Bergabgehens schon bei 10% Neigung auf, und mit zunehmender Steilheit wird dann der Verbrauch, welchen die Arbeit des Bremsens bedingt, immer größer. Es harmoniert dies durchaus mit dem, was uns der Augenschein lehrt. Auf einem Wege von 25% Neigung geht der Mensch durchaus behaglich hinab, das Pferd entschieden ängstlich und mit starker Anspannung seiner Muskeln.

In interessanter Weise tritt auch bei Vergleich unserer sechs Versuchspersonen das individuelle Moment im Stoffverbrauch beim Bergabsteigen zutage. Zwischen Zuntz, der den geringsten, und Loewy, der den größten Stoffverbrauch beim Bergabgehen hat, beträgt der Unterschied des Verbrauchs 15%; beim Bergaufgehen, wo Kolmer den geringsten, Waldenburg den größten Verbrauch hat, ist der Unterschied fast genau ebenso groß (17.4%), beim horizontalen Gang noch größer (37.8%). Die besonderen, beim horizontalen Gang für den Verbrauch entscheidenden Momente wurden S. 250 erörtert.

Es ist für die Beurteilung der Marschleistung in der Ebene und im Gebirge endlich von Interesse festzustellen, welche Wegstrecken der Mensch, bei gleichem Kraftaufwand, einerseits horizontal, andererseits bergauf resp. bergab mit je 25% Neigung marschierend zurücklegen kann. Beträgt die ohne Überanstrengung bergauf zurückzulegende Wegstrecke 100, so wäre dieselbe:

bei Waldenburg	horizontal	= 410,	bergab	= 447,
„ Kolmer	„	= 281,	„	= 394,
„ Caspari	„	= 370,	„	= 388,
„ Müller	„	= 428,	„	= 542,
„ Loewy	„	= 367,	„	= 396,
„ Zuntz	„	= 326,	„	= 413.

Faktisch geht man aber, wie dies auch bei uns hervortrat, horizontal und bergab nicht so schnell, daß der Kraftaufwand dem beim Bergaufgehen gleichkommt. In Übereinstimmung hiermit ist der Kraftaufwand in der Zeiteinheit bei den ersteren Gangarten geringer, wie folgende Mittelwerte dartun:

Tabelle 18.

Arbeitsverbrauch pro Kilo und Minute in w. e.

Name	bergauf 25%	horizontal	bergab 25%
Waldenburg . .	69.1	38.3	39.7
Kolmer . . . .	94.8	37.8	36.5
Caspari . . . .	91.8	49.3	52.6
Müller . . . .	73.6	49.8	39.8
Loewy . . . .	82.1	41.4	33.2
Zuntz . . . .	63.9	34.7	40.8

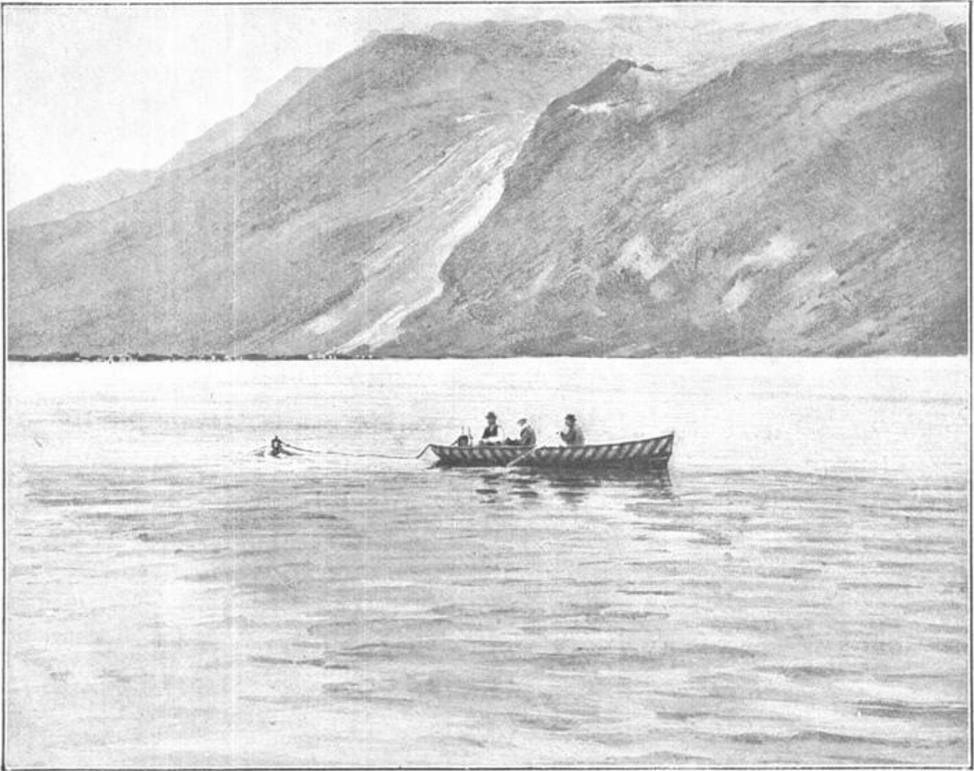
Die Unterschiede im Minutenverbrauch bergauf entsprechen im großen und ganzen der Entwicklung der Muskulatur der Versuchspersonen, die bei Kolmer am besten, bei Zuntz am wenigsten geübt und ausgebildet war.

Es ist nun auch klar, warum beim Bergabgehen in der Regel das Ermüdungsgefühl so viel geringer ist als beim Hinaufsteigen. Im ersteren Falle ist es nicht wirkliche Ermüdung der Muskeln, welche die Grenze der Leistungsfähigkeit bestimmt, sondern es wirken die Schmerzen in Sehnen und Gelenken, welche durch die Stöße beim Abwärtsgehen und durch die übermäßige Anspannung einiger weniger Sehnen und Gelenkbänder allmählich zustande kommen.

**Stoffverbrauch beim Schwimmen.** Die Tage des Aufenthaltes in Brienz haben wir benutzt, um den bisher noch nie studierten Kraftverbrauch des Menschen beim Schwimmen zu messen. Die Versuche wurden an Kolmer, einem sehr guten und ausdauernden Schwimmer, ausgeführt. Die Anordnung ist aus den beiden umstehenden Abbildungen ersichtlich. Der Schwimmer trug das bei allen Respirationsversuchen benutzte Mundstück, an welches sich eine kurze gegabelte Röhre mit den Ventilen, welche Ein- und Ausatemluft scheiden, anschloß. Das Einatemrohr setzte sich in eine Art Schornstein fort, welcher an einem dem Kopf aufgeschnallten leichten Helm angebracht war und etwa 25 cm hoch emporragte, so daß kein Wasser hineingeraten konnte. An das Ausatemventil schloß sich ein etwa 10 m langer, weiter Gummischlauch, der die Verbindung mit der im Boote aufgestellten Gasuhr vermittelte. Das Boot wurde so gerudert, daß die Entfernung

zwischen ihm und dem Schwimmer annähernd dieselbe blieb. Bei dieser Anordnung waren weder die Schwimmbewegungen noch die Atmung des Schwimmenden behindert.

Die Zahlen der Tabelle 19, S. 266 lassen erkennen, daß der Stoffumsatz beim Schwimmen noch um 18.5% größer ist als bei raschem Bergaufgehen mit einer Geschwindigkeit von 42.6 m pro Minute, wobei in der Stunde 640 m Höhendifferenz, also mehr als das Doppelte des Normalmaßes, überwunden wurden. Es gehört also kräftiges Schwimmen zu den energischsten Körperübungen.

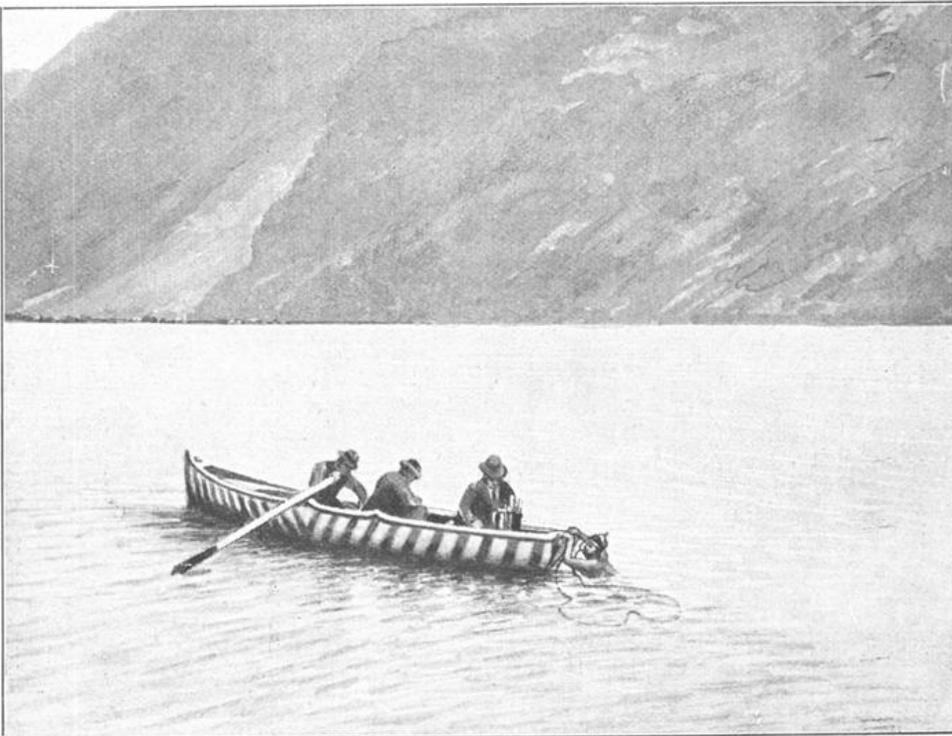


Messung des Stoffverbrauchs beim Schwimmen.

R. du Bois-Reymond<sup>3a)</sup> hat nachgewiesen, daß die Überwindung des Widerstandes des Wassers an sich keine sehr große Arbeit erfordert; er maß die Spannung eines Taues, mit dessen Hilfe ein im Wasser passiv schwimmender Mensch mit der flotten Schwimmen entsprechenden Geschwindigkeit von 48 m pro Minute vorwärts gezogen wurde. Die Zugkraft schwankte zwischen 7 und 9 kg, so daß die zur Fortbewegung aufgewendete Zugarbeit 380 bis 400 mkg pro Minute betrug. Diese Arbeit würde durch einen Aufwand von 2.8 W.E. gedeckt werden. Es wurden aber von Kolmer im Mittel 9.52 W.E. verbraucht, d. h. 3.4 mal mehr. Das Schwimmen ist also eine sehr unökonomische Art der Fortbewegung für den Menschen. Du Bois-Reymond weist darauf hin, daß das abwechselnde Anziehen und Ausstoßen der Beine eine sehr große Arbeitsleistung darstellt, von welcher nur ein kleiner Bruchteil der Fortbewegung zugute kommt.

Seinen eigenen Charakter erhält das Schwimmen durch die starke Wärmeabgabe des Körpers an das umgebende Wasser. Diese Wärmeabgabe ist, wenn das

Wasser, wie in unseren Fällen, zwischen 15 und 20° C. temperiert ist, so bedeutend, daß der Körper trotz der fast aufs neunfache gesteigerten Wärmeproduktion am Schlusse der Übung meist kühler ist als bei Beginn derselben. Das ist bei keiner anderen Leibesübung der Fall. Selbst beim Schlittschuhlaufen kommt es, falls nicht starker Wind bei sehr leichter Kleidung die Abkühlung besonders groß macht, zur Wärmeanstauung im Körper, und die Schweißdrüsen treten in Tätigkeit, um das Übermaß von Wärme abzuführen. Das Bedürfnis der Wärmeabgabe führt dabei zur Erweiterung der Hautgefäße, zu einer mächtigen Blutdurchströmung der Haut, die natürlich eine entsprechende Mehrarbeit des Herzmuskels ver-



Messung der Atmung in Ruhe nach dem Schwimmen.

langt. — Dieser Teil der Beanspruchung des Herzens fällt also beim Schwimmer aus. Andererseits zeigen sich Besonderheiten der Atmung. Dieselbe ist in noch höherem Maße verstärkt, als es der gesteigerte Bedarf erfordert. Die Lungenventilation ist zehnmal so groß wie in der Ruhe (50 l gegenüber 5—6 l), sie ist um 20.7% größer als beim Bergaufgehen, während der Stoffverbrauch nur um 18.5% größer ist. Sonst hält bei wachsender Arbeit die Atmung des Menschen meist nicht ganz Schritt mit dem Bedarf, beim Schwimmen wächst sie stärker als dieser, und daher ist die Ausnutzung des Sauerstoffs der Einatemungsluft kleiner als beim Bergaufgehen. Offenbar ist es der Kältereiz auf die Haut, welcher die Atembewegungen so mächtig anregt; wissen wir doch, daß jede Berührung unserer Haut

Tabelle 19.  
Schwimmversuche von Kolmer. 1901.

Datum	Zeit	Ver- suchs- dauer	Atemvolumen pro Minute		Analyse der Expirationsluft			Gesamter Gas- wechsel pro Minute	Arbeits-Gas- wechsel pro Minute *)	Energie- aufwand pro Minute	Bemerkungen			
			be- obachtet in l	reduziert 0°, 760 mm in l	Sauer- stoff- Vol. %	Kohlen- säure Vol. %	Sauer- stoff- defizit in %					Respira- torischer Quotient	Sauer-Kohlen- stoff säure ccm	Sauer-Kohlen- stoff säure ccm
7. VIII.	6 <sup>h</sup> p.	1' 10"	45.69	39.19	15.65	4.37	5.23	0.836	2049.5	1712.5	1751.5	1465.6	[8.49]	Kräftiges Schwimmen in ruhigem Wasser. Wasser- temperatur 14.5°. Zeit- bestimmung ungenau
7. VIII.	6 <sup>h</sup> p.	59"	50.85	43.65	15.65	4.07	5.31	0.766	2317.8	1776.5	2019.8	1529.6	9.59	Kräftiges Schwimmen in ruhigem Wasser. Tadel- loser Versuch
9. VIII.	7 <sup>30</sup> p.	1' 33"	50.26	42.92	15.79	4.09	5.13	0.797	2201.6	1755.3	1903.6	1508.4	9.12	Dasselbe. Wassertemper.: Oberfläche 21.2°, 40 cm tief 17°
9. VIII.	7 <sup>40</sup> p.	1' 13"	50.96	43.41	15.53	4.82	5.27	0.915	2285.9	2092.3	1987.9	1845.4	9.86	Dasselbe. Dauer des Schwimmens im ganzen etwa 30 Minuten
Mittel der 3 letzten Versuche			50.69	43.33	15.61	4.33	5.24	0.826	1970.0	1627.8	1627.8	1627.8	9.52	
8. VIII.	12 <sup>h</sup>	1' 30"	28.30	23.01	17.61	3.73	2.93	1.27	674.2	858.3	425.9	652.5	2.05	Ruheversuch, am Boot hängend. Nach kurz. Schwimmen. Wasser- temperatur 17.3°. Kein Kälte- gefühl. Versuchsbeginn nach 5 Min. Aufenthalt im Wasser
<b>Mittelwerte bei Bettruhe nüchtern.</b>														
Brienz	Früh- 5.—11. VIII. morgens		6.61	5.65	16.30	3.84	4.51	0.852	254.0	216.4			1.23	
<b>Mittelwerte beim Bergaufgehen.</b>														
Brienz	9.—10. VIII.		42.01	33.12	15.14	4.75	5.75	0.82	1910.9	1569.8	1662.6	1364.0	8.04	

\*) Die Abzüge vom gesamten Gaswechsel sind, der noch nicht beendeten Verdauung wegen, höher als der Nüchternwert bei Bettruhe.

mit kaltem Wasser uns unwillkürlich zu vertiefter Atmung zwingt. Ohnmächtige bringen wir häufig dadurch wieder zum Atmen, daß wir ihre Haut mit kaltem Wasser bespritzen.

Die verstärkte Atmung hat aber ihrerseits eine Entlastung des Herzens zur Folge: Jede vertiefte Einatmung saugt, wie im Kapitel III auseinandergesetzt, mehr Blut aus den Venen in das Herz, die folgende kräftige Ausatmung hilft dann, es in die Arterien hineinzupressen. So kommen zwei Momente, der geringe Blutbedarf der Haut und die mächtige Verstärkung der Atmung zusammen, um die Beanspruchung des Herzens durch die große beim Schwimmen geleistete Arbeit zu mindern. Während beim Bergsteigen meist die Leistungsfähigkeit des Herzens der Arbeit eine Grenze setzt, wird diese Grenze beim Schwimmen häufiger durch die Atemmuskulatur, oft auch durch Ermüdung der direkt tätigen Muskeln bestimmt. So groß übrigens die Atemarbeit beim Schwimmen ist, so wird sie doch in eigentümlicher Weise unterstützt, indem die kräftigen Bewegungen der Arme die Ein- und Ausatmung fördern. Dementsprechend erfolgen auch die einzelnen Atemzüge gleichzeitig mit den Phasen der Schwimmstöße. Andererseits bedingt die auf der vorderen Brust- und Bauchwand lastende Wassersäule, deren mittlere Höhe du Bois-Reymond auf 12.5 cm geschätzt hat, eine mechanische Erschwerung der Einatmung und eine entsprechende Erleichterung der Ausatmung, ein Vorgang, welcher der bei anderen forcierten Arbeiten drohenden Überdehnung der Lunge, der Bildung eines sogenannten Emphysems, entgegenwirkt.

Nicht ohne Interesse ist ferner die mehrere Minuten nach Beendigung des Schwimmens beim Aufenthalt im Wasser andauernde enorme Verstärkung der Lungenventilation, wie sie der Versuch vom 8. VIII. aufweist. Da der Stoffwechsel nicht entsprechend gesteigert ist, werden erhebliche Mengen des Kohlensäurevorrats des Körpers ausgeschieden und der respiratorische Quotient erreicht den selten hohen Wert 1.27. Auch diese Anomalie ist wohl wesentlich Wirkung des kalten Wassers. — Es wird auf diese Weise bei einem längeren kalten Bade eine erhebliche Verarmung des Blutes an Kohlensäure, eine „Akapnie“ (Mosso) erzielt. Dieser Zustand ist aber nicht mit irgendwelchen unangenehmen Empfindungen verbunden, vielmehr mit einem Gefühl großen Behagens. Die Erfahrungen nach kalten Bädern machen es daher wenig wahrscheinlich, daß „Akapnie“ an den Beschwerden der Bergkrankheit wesentlich beteiligt sei, wie dies Mosso annimmt (siehe Kapitel XI).

**Schlußsätze.** Zum Schlusse dieses Kapitels möchten wir als Ergebnis der zahlreichen und mannigfach variierten, von uns und anderen Forschern ausgeführten Untersuchungen über den Gaswechsel den Satz aufstellen, daß die Verbrennungsprozesse in der Höhe gesteigert sind und zwar ebensowohl beim ruhenden Menschen wie bei Arbeitsleistungen. Das Maß dieser Steigerung und die Höhe, in welcher sie einsetzt, ist individuell sehr verschieden. Sie kann bei einzelnen Individuen, besonders wenn diese mit Zwischenstationen die größte Höhe erreichten, noch in 4500 m über dem Meeresspiegel fehlen, während sie bei anderen schon in 1600 m Höhe vorhanden ist.

Für die Größe der Muskelarbeit des Bergsteigers spielen, neben Weglänge und Steigung, die Terrainverhältnisse eine geradezu beherrschende Rolle.

Unter gleichen äußeren Bedingungen ist der Aufwand für Überwindung gleicher Niveauunterschiede beim trainierten Menschen außerordentlich viel geringer als bei dem für die speziellen Anforderungen nicht geübten. Auch die steigende Wirkung der Höhenluft wird durch Training in erheblichem Umfange kompensiert.

Als Ursache der Steigerung des Stoffverbrauchs in der Höhe wirkt wohl in erster Linie der Sauerstoffmangel, teils direkt durch Minderung der Leistungsfähigkeit der Muskeln, teils indirekt durch abnorme Stoffwechselprodukte, zu deren Bildung er Anlaß gibt (vgl. Kapitel XVIII). Hinzu kommt, namentlich für den Zustand der Körperruhe, die Wirkung der physikalischen Reize des Hochgebirges. — Nach der Rückkehr von mittleren Bergeshöhen ins Flachland sind die Verbrennungsprozesse oft längere Zeit unter die Norm herabgesetzt. Der Körper spart also.

### Literatur.

<sup>1)</sup> J. Aggazzotti: *Il ricambio respiratorio delle Cavie nell'Aria rarefatta*. Acad. dei Lincei. Roma 1904.

<sup>2)</sup> Aron: „Zur Ursache der Erkrankung in verdünnter Luft“. Festschrift für Lazarus. Berlin 1899.

<sup>3)</sup> Atwater und Benedict: *Experiments on the Metabolism of matter and energy in the human body*. U. States Dep. of Agriculture Bulletin 109. Washington 1902.

<sup>3a)</sup> R. du Bois-Reymond: „Zur Physiologie des Schwimmens“. *Naturwissenschaftl. Rundschau* XIX., 1904, Nr. 25.

<sup>4)</sup> Emil Bürgi: „Respiratorischer Gaswechsel auf Bergen bei Ruhe und Arbeit“. *Arch. für (Anat. u.) Physiol.* 1900, S. 508.

<sup>5)</sup> Durig und Zuntz: „Beiträge zur Physiologie des Menschen im Hochgebirge“. *Internationales Institut für Hochgebirgsforschungen, Monte Rosa 1903, und Engelmanns Archiv für Physiologie* 1904, Suppl. S. 417.

<sup>6)</sup> Frenzel und Reach: „Untersuchungen zur Frage nach der Quelle der Muskelkraft“. *Pflügers Archiv* 83, S. 477.

<sup>7)</sup> Jaquet und Stähelin: „Stoffwechselversuch im Hochgebirge“. *Archiv für experim. Pathologie und Pharmakologie* 46, S. 274. 1901.

<sup>8)</sup> Johansson: „Über die Tagesschwankungen des Stoffwechsels usw.“ *Skandinavisches Archiv für Physiologie* VIII, 1898, S. 115.

<sup>9)</sup> Katzenstein: „Einwirkung der Muskeltätigkeit auf den Stoffverbrauch“. *Pflügers Archiv* 49, S. 330.

<sup>10)</sup> Kronecker: „Die Bergkrankheit“. Berlin und Wien 1903.

<sup>11)</sup> A. Magnus-Levy: „Über die Größe des respirat. Gaswechsels unter dem Einfluß der Nahrungsaufnahme“. *Pflügers Archiv* 55, S. 1.

<sup>12)</sup> A. Loewy: „Die Wirkung ermüdender Muskelarbeit auf den respiratorischen Stoffwechsel“. *Pflügers Archiv* 49, S. 405.

<sup>13)</sup> Derselbe: „Einfluß des Schlafes auf den respiratorischen Stoffumsatz“. *Berliner klinische Wochenschrift* 1891, Nr. 18.

<sup>14)</sup> Derselbe: „Untersuchungen über Respiration und Zirkulation bei Änderung des Druckes usw.“. Berlin 1895.

<sup>15)</sup> A. Loewy mit J. Loewy und Leo Zuntz: „Einfluß der verdünnten Luft und des Höhenklimas auf den Menschen“. *Pflügers Archiv* 66, S. 477.

<sup>16)</sup> A. Loewy und F. Müller: „Einwirkung des Seeklimas“. *Pflügers Archiv*, 105.

- 17) Marcet: Proceedings of the Royal Society, London, vol. 28, p. 498.
- 18) Mermod: Bulletin de la Soc. vaudoise des Sciences nat. 1877.
- 19) A. Mosso: „Der Mensch auf den Hochalpen“. Leipzig 1899.
- 20) v. Schrötter und Zuntz: „Ergebnisse zweier Ballonfahrten zu physiolog. Zwecken“. Pflügers Archiv 92, S. 479.
- 21) Schumburg und Zuntz: „Zur Kenntniss der Einwirkungen des Hochgebirges auf den menschlichen Organismus“. Pflügers Archiv 63, S. 461.
- 22) Speck: „Physiologie des menschlichen Atmens“. Leipzig 1892.
- 23) Veraguth: „Le climat de la haute Engadine“. Thèse de Paris 1887.
- 24) Leo Zuntz: „Untersuchungen über den Gaswechsel des Radfahrers“. Berlin, Hirschwald, 1899.
- 25) Zuntz: „Über den Stoffverbrauch des Hundes bei Muskelarbeit“. Pflügers Archiv 68, S. 191.
- 26) Zuntz und Hagemann: „Der Stoffwechsel des Pferdes bei Ruhe und Arbeit“. Berlin 1898.
- 27) Zuntz und Schumburg: „Studien zu einer Physiologie des Marsches“. Berlin, Hirschwald, 1901.
- 28) Zuntz: Einfluß der Geschwindigkeit usw. auf den Stoffverbrauch bei Muskelarbeit. Pflügers Archiv 95, S. 192.

