

ERGEBNISSE DER MONTE ROSA-EXPEDITION VOM JAHRE 1906 VON PROF. DR. A. DURIG.

ÜBER
DEN ERHALTUNGSUMSATZ

VON

ARNOLD DURIG.

Mit 1 Textfigur.

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 18. FEBRUAR 1909.

INHALT.

	Seite
A. Kritik der Methodik	2 [116]
B. Über den Einfluß der Jahreszeit auf den Umsatz	13 [127]
C. Über die Größe des Erhaltungsumsatzes in verschiedenen Höhen	23 [137]
D. Die Anpassung an den Höhengaufenthalt	51 [165]
E. Über die Wirkung einzelner klimatischer Faktoren auf den Erhaltungsumsatz	54 [168]
F. Über die Nachwirkung eines vorangegangenen Höhengaufenthaltes	66 [180]
G. Über den respiratorischen Quotienten und die Nachwirkung vorausgegangener Arbeit	71 [185]
H. Traubenzuckerversuche	82 [196]
I. Ergebnisse	89 [203]

VIII.

Über den Erhaltungsumsatz.

A. Kritik der Methodik.

Die Versuche über den Chemismus der Atmung und über die Atemmechanik im Hochgebirge haben in den letzten Jahren eine solche Ausgestaltung erfahren, daß es auf den ersten Blick fast überflüssig erscheinen möchte, neue Beiträge zur Frage nach dem Gaswechsel im Höhenklima zu liefern. Gewinnt man jedoch näheren Einblick in die Verhältnisse, so sieht man, daß es nicht nur wünschenswert ist, die bekannten Tatsachen durch neue Ergebnisse zu stützen, sondern daß auch mancherlei Widersprüche in den bisherigen Resultaten erst ihrer Lösung harren.

Die Fragestellung auf dem Gebiete des respiratorischen Gaswechsels ist übrigens noch lange nicht so weit erschöpft, daß es nicht noch neue Probleme geben würde, die der analytischen Bearbeitung zugänglich wären. Einen guten Überblick über das bisher bezüglich des Gaswechsels im Höhenklima vorliegende Tatsachenmaterial geben die Monographien von Jaquet¹ und Kronecker² sowie die Zusammenfassung von A. Loewy³ in Oppenheimer's Handbuch der Biochemie und endlich das bereits wiederholt erwähnte Buch von Zuntz⁴ und seinen Mitarbeitern, in dem die Ergebnisse der Monte Rosa-Expedition des Jahres 1901 niedergelegt sind. Im letztgenannten Werke finden sich auch ausführliche, durch Abbildungen dem Verständnis nähergerückte Darlegungen über die Methodik der Analyse des tierischen Gaswechsels. Endlich sei auch noch auf die Ausführungen Mossos über die Respiration hingewiesen, die in seinem Buche »Der Mensch auf den Hochalpen« enthalten sind.

Die sämtlichen älteren und auch noch eine Zahl der neueren Untersuchungen über den Gaswechsel im Hochgebirge haben ausschließlich das Verhalten der Kohlensäure ins Auge gefaßt und nur Zuntz und seine Schüler wie auch Jaquet bedienten sich des Verfahrens mit der proportionalen Probeentnahme, das die Ermittlung von Kohlensäureproduktion und Sauerstoffverbrauch gestattet und es daher auch ermöglicht, die respiratorischen Quotienten zu bilden.

Es wäre gewiß in mancher Hinsicht wünschenswert, wenn die Versuche in verschiedenen Klimaten und speziell auch im Höhenklima im Respirationskalorimeter durchgeführt werden könnten. Derzeit scheint es aber, trotz der Anregung Tigerstedt's im neuen Col d'Olen-Laboratorium eine Respirationskammer einzubauen, noch auf lange Zeit aussichtslos, daß ein derartiger Apparat in einer Höhenstation in Betrieb gesetzt werden könne. Für die Aufstellung eines Respirationsapparates auf dem Monte Rosa-Gipfel selbst bestehen wohl fast unüberwindliche Schwierigkeiten und auch der Betrieb eines derartigen Apparates würde wegen der Schwierigkeit der Beschaffung der Kraft und des Wassers auf große Hindernisse stoßen und unverhältnismäßig hohe Kosten verursachen. Gewiß noch ungünstiger wie auf dem Monte Rosa liegen die Verhältnisse auf dem Montblanc, dagegen würde Bau und Betrieb eines Respirations-

¹ Jaquet: Über die physiologische Wirkung des Höhenklimas. Programm der Rektoratsfeier der Universität Basel 1904. Reinhardt. — Derselbe: Der respiratorische Gaswechsel. Ergebnisse der Physiologie II/1, p. 457.

² Kronecker: Die Bergkrankheit. Urban und Schwarzenberg. 1903.

³ Loewy: Die Gase des Körpers, der respiratorische und der Gesamtumsatz, Oppenheimer's Handbuch, IV, p. 10.

⁴ Zuntz, Loewy, Müller und Caspari: Höhenklima und Bergwanderungen (Berlin, Bong 1906).

kalorimeters auf dem Jungfraugipfel oder auf einem außerhalb unseres Kontinents liegenden Hochgipfel gewiß ganz gut im Bereiche des Möglichen liegen.

Für Untersuchungen des Gaswechsels im Hochgebirge kann man jedoch der Methodik, die sich der Respirationskammern bedient, eine unbedingte Überlegenheit nicht zuschreiben. Es ist speziell bei derartigen Studien oft wünschenswert, dem Wechsel der Erscheinungen in kurzen Zeitabschnitten gesondert zu folgen, um den Erhaltungsumsatz streng vom Umsatz bei Muskeltätigkeit trennen und kleine Ausschläge im Gaswechsel, die nur vorübergehender Natur sind, noch wahrnehmen zu können. Wie schwer es fällt, durch längere Versuchsperioden — hierunter sind bereits wenige Viertelstunden zu verstehen — jede Muskeltätigkeit vollkommen auszuschließen und die Muskulatur hiebei ständig ganz zu entspannen, lehren die Versuche von Zuntz und seinen Schülern, ganz besonders aber die zahlreichen, ungemein exakten Beobachtungen Johansson's im Respirationsapparate, sowie neuerdings wieder die Versuche, die Dodo Ranken¹ über das Verhalten der Körpertemperatur bei vorsätzlicher Muskelruhe ausführte. Es ist deshalb für eine ganze Reihe von Fragen über den Gaswechsel, die im Hochgebirge zu lösen sind, das Zuntz-Geppert'sche Verfahren bis heute dasjenige, das die Resultate auf die breiteste Basis stellt und der Fragestellung den weitesten Spielraum einräumt. Dies gilt natürlich ganz besonders für Studien über den Umsatz bei der Marscharbeit. Versuche, wie zum Beispiel jene Durig's² über den Verlauf der Verbrennungsvorgänge nach Zufuhr von Alkohol während eines ganzen Anstieges auf einen 2460 m hohen Berggipfel, wären mit irgendeiner der anderen, bekannten Untersuchungsmethoden einfach undurchführbar gewesen.

Gewiß wäre es wünschenswert, wenn auf einem so günstig gelegenen Punkte, wie es etwa der Pike's Peak ist, ein Respirationskalorimeter erstehen würde und so eine Kontrolle über jene Werte geschaffen werden könnte, die mit der Methode der proportionalen Probeentnahme gefördert wurden. Es scheint aber, daß eine derartige Sicherung der vorhandenen Resultate durchaus kein dringendes Erfordernis vorstellt, wenn man jene Werte vergleicht, die man unter analogen Verhältnissen in der Ebene mit dem Geppert-Zuntz'schen Verfahren und in der Respirationskammer erhält. Es steht übrigens zu hoffen, daß wohl in Bälde die Versuche meines verehrten Freundes Prof. Benedict in Boston vorliegen werden, bei denen der Gaswechsel der Versuchspersonen im Respirationskalorimeter und gleichzeitig durch das Geppert-Zuntz'sche Verfahren analysiert werden soll.

Eine Reihe von Bedenken wurde gegen das Arbeiten mit der trockenen Gasuhr und speziell gegen die Entnahme proportionaler Teilproben während kurzdauernder Versuche erhoben. Gewiß sind die Einwände zu einem Teile vollberechtigt, denn es ist selbstverständlich, daß jeder Fehler in der Probeentnahme sich durch Multiplikation außerordentlich vergrößert. Das nämliche gilt natürlich auch von den Analysen. Es ist aber ganz gut möglich, viele Fehlerquellen auszuschalten oder doch auf eine recht geringe Größe zu reduzieren, wenn man sehr exakt und peinlich arbeitet. Dies ist eine Grundbedingung für jeden, der die Geppert-Zuntz'sche Methode mit Erfolg verwenden will, anderen Falles werden die Fehler so groß, daß die gewonnenen Werte direkt zu falschen Schlüssen führen müssen, und man überzeugt sich leicht, daß das geringste Übersehen oder eine kleine Nachlässigkeit bereits zu Resultaten führt, die wesentlich von denen der zugehörigen Kontrollversuche abweichen. Auf diese Verhältnisse ist es zurückzuführen, wenn man in mancher der veröffentlichten Beobachtungsreihen über den Gaswechsel auffallend stark schwankende Resultate findet, die man mit vollem Rechte nicht mehr als beweisend ansehen darf. Vorwürfe gegen derartige Versuche treffen aber nicht die Methode, sondern den Beobachter, der die Methode verwendete.

Am raschesten kann man sich wohl einen Überblick über die Güte vorliegender Resultate, betreffend den respiratorischen Umsatz verschaffen, wenn man die Größe des Sauerstoffverbrauches pro Minute

¹ Skand. Arch., XXI, p. 161.

² Pflüger's Arch., 113, p. 340.

speziell bei den zusammengehörigen Kontrollversuchen in den Zahlenreihen ins Auge faßt oder den Blick auf die Größe der respiratorischen Quotienten wendet. Wie oft begegnet man da Sprüngen in der Größe der $\frac{CO_2}{O_2}$ Werte die 0·1 bis 0·2 betragen! Daß derartige Differenzen auf methodischen Fehlern beruhen müssen, ist ohneweiters klar, vorausgesetzt, daß es sich um Versuche, die direkt vergleichbar sein sollen, handelt. Man kann daher mit einem gewissen Recht in der Gleichartigkeit der respiratorischen Quotienten oder der Größen, die den Sauerstoffverbrauch angeben, einen Ausdruck für die Verlässlichkeit und Verwertbarkeit der Resultate, die mit der Zuntz'schen Methode gewonnen wurden, finden. Wie sehr scheinbar geringfügige Unterschiede bei den Bestimmungen in Betracht kommen, dürften bereits wenige Zahlen beweisen. Es scheint auf den ersten Anblick recht gleichgültig, ob in zwei zusammengehörigen Kontrollversuchen der Sauerstoffverbrauch eines Menschen pro Minute um 8 cm^3 schwankte und 240 oder 232 cm^3 beträgt oder ob die Kohlensäureproduktion 179 cm^3 anstatt 168 cm^3 beträgt, und doch ändert sich dabei der respiratorische Quotient von 0·700 auf 0·772, also ganz beträchtlich, wenn die Ausschläge entgegengesetzte sind. Es ist dabei zu bedenken, daß ein Unterschied von rund 10 cm^3 in den Werten für den Sauerstoffverbrauch und die Kohlensäureproduktion aus dem Grunde noch wesentlich belangloser erscheint, da sich dieser aus den Fehlern bei der Druck-, Temperatur- und Volumbestimmung (des unreduzierten Atemvolumens) sowie aus den Abweichungen, die durch die Grenzen der gasanalytischen Methodik bedingt sind, zusammensetzt. Es überraschen daher Unterschiede zwischen zwei Doppelbestimmungen im Ausmaße von 5% durchaus nicht, um so mehr als man nicht vergessen darf, daß das zu analysierende Gasgemenge von einem Lebewesen produziert wird, und wir nicht voraussetzen können, daß die Verbrennungsvorgänge in einem Menschen sogar in zwei aufeinander folgenden Minuten ganz genau von derselben Größe seien. Demnach muß also der Breite der physiologischen Schwankungen ein nicht unbeträchtlicher Einfluß auf die Unstimmigkeit der Doppelversuche eingeräumt werden. Nichtsdestoweniger sind aber Unterschiede zwischen zusammengehörigen Versuchen, die 5% erreichen oder gar übersteigen, wie dies später noch ausgeführt werden soll, bei dem gegenwärtigen Stande der Versuchstechnik bereits als zu große zu bezeichnen, wie ja auch eine Schwankung des Quotienten von 0·700 auf 0·772 bereits namhafte Bedenken gegen die Richtigkeit der Beobachtungen wachruft, wenn nicht bestimmte Gründe für dieses Verhalten des Quotienten angegeben werden können. Es möge nur noch darauf hingewiesen sein, wie stark die Werte für den Sauerstoffverbrauch und die Kohlensäureproduktion voneinander abweichen, wenn man die zulässige Grenze für die Brauchbarkeit der Doppelanalysen bei der Untersuchung der Gasgemenge nur etwas weiter steckt, wie dies von mir schon an anderer Stelle betont wurde.¹

Vielfach werden Gasanalysen, bei denen in den Kontrollbestimmungen die Werte um 0·1% differieren, noch als ganz gut verwertbar bezeichnet; für die respiratorischen Quotienten ergeben sich aber unter dieser Voraussetzung allein schon ganz erhebliche Abweichungen, zum Beispiel:

$$\frac{3\cdot50}{4\cdot20} = 0\cdot833 \quad \frac{3\cdot60}{4\cdot10} = 0\cdot878$$

und man bedenke nur, daß hierzu sich noch bei der Bestimmung des Wertes für den Minutenumsatz erst alle übrigen Fehlerquellen summieren müssen.

Gewiß bietet die Kontrolle durch die Luftanalyse eine gute Gewähr dafür, daß die absolute Größe des gefundenen Prozentgehaltes des Gasgemenges an Sauerstoff und Kohlensäure den Tatsachen entspricht, aber eine vollkommene Sicherung kann auch darin, daß etwa zum Beginn der Arbeiten eine Probe von Außenluft analysiert wird, nicht gefunden werden. Ganz besonders wenn viele Gase zu untersuchen sind, stellt sich naturgemäß eine gewisse Hast im Arbeiten ein, und es besteht dann die Gefahr, daß die Zeit für die Einwirkung des Sauerstoffabsorptionsmittels zu kurz gewählt wird. Speziell wenn Phosphor

¹ Arch. f. (Anat. u.) Physiologie 1903, Suppl. p. 219.

zur Verwendung gelangt, scheinen oft Sauerstoffanalysen beendet und man findet ganz passabel übereinstimmende Analysenwerte und doch war in beiden Doppelbestimmungen die Verbrennung noch lange nicht zu Ende gekommen und der wahre Stickstoffwert noch nicht erreicht worden. Alle Fehler in der Kohlensäureanalyse und der Sauerstoffanalyse häufen sich aber auf die Größe des gesuchten Sauerstoffwertes, da es sich bei der Sauerstoffbestimmung um eine Restanalyse handelt. Es muß daher auf das Einhalten bestimmter Zeitintervalle für das Verbleiben der Gase in den Absorptionsmitteln an der Hand der Uhr immer geachtet werden. Für die Ausführung von Analysen im Hochgebirge, wobei auch der Einfluß der niederen Temperatur sich noch geltend macht, sollte diese Kontrolle nie versäumt werden.

Gerade darum, weil die Zuntz'sche Methode so außerordentlich expeditiv und bequem ist, verleitet sie den Anfänger, der mit den Fehlerquellen derselben nicht vertraut ist und der sich kein Bild über diejenige Genauigkeit der Ergebnisse macht, die gefordert werden muß, zu ungenauem und direkt fehlerhaftem Arbeiten. Die gefundenen Werte werden natürlich auch bei der Zuntz'schen Methode umso unrichtiger sein, je mehr jene Kautelen, denen man beim gasanalytischen Arbeiten überhaupt gerecht werden soll, vernachlässigt werden. Nur zu häufig wird die Kontrolle der Thermometer, der Meßgefäße und der Gasuhren auf die Richtigkeit ihrer Angaben unterlassen und entsprechende Korrekturen an den Ablesungen nicht angebracht. Es ist sicher nicht überflüssig zu erwähnen, daß die »trockene« Gasuhr, wie sie für die Hochgebirgsversuche ausschließlich in Betracht kommt, sehr zur Änderung ihrer Ausschläge neigt und daher wiederholt nachgeeicht werden muß. Eine besonders häufige Fehlerquelle stellen auch die Ventile und die Verbindungen der gasführenden Röhrensysteme vor und man kann sich oft genug überzeugen, daß selbst bei der Verwendung dickwandiger Kautschukschläuche Vorsicht sehr am Platze ist. Man darf wohl keiner Verbindung zwischen dem Metall- oder Glasende einer Röhre und einem Kautschuckrohr trauen, wenn der Anschluß nicht durch eine feste Drahtligatur gesichert ist.¹ Gar mancher unwahrscheinliche Wert in der Literatur findet in derartigen Versäumnissen seine Erklärung und sogar scheinbar fundamental wichtige Ergebnisse (wie dies zum Beispiel bei den bekannten Versuchen an Schmetterlingspuppen der Fall war) können durch unexaktes, gasanalytisches Arbeiten vorgetäuscht werden, und manches Resultat erweist sich schon infolge der Bedenken gegenüber der verwendeten gasanalytischen Methodik als unsicher, bevor noch dessen tatsächliche Unrichtigkeit erwiesen werden kann.

Es ist selbstverständlich, daß zur Bestimmung des Ruheumsatzes, welche die Grundlage jeder Untersuchung über den Energieumsatz bilden muß, nur solche Beobachtungen verwendbar sind, bei denen vorsätzliche, vollkommene Muskelruhe unter möglichster Entspannung der gesamten Muskulatur eingehalten wurde, da ja bereits ein ganz unmerklich gesteigerter Tonus der Muskeln sich in einer Erhöhung der Kohlensäureproduktion und des Sauerstoffverbrauches ausdrückt. Eine weitere Forderung geht dahin, daß die Körperruhe schon geraume Zeit angehalten haben muß, wenn nicht durch das Fortbestehen einer Überventilation noch während des eigentlichen Versuches vorgebildete Kohlensäure, die nicht den augenblicklichen Verbrennungsvorgängen entspricht, aus dem Körper ausgewaschen werden soll. Dies würde unbedingt zu einer Ermittlung eines falschen respiratorischen Quotienten und zur Annahme eines zu hohen Umsatzes führen. Aber auch eine gegenteilige Beeinflussung der Resultate, nämlich im Sinne einer Umsatzverringerung, kann ganz gut künstlich herbeigeführt werden, wenn nach einer Periode mit vorangegangener Überventilation sofort der Gaswechsel untersucht wird, da nunmehr die Retention von Kohlensäure im Körper die Resultate fälscht.

So zahlreich also die Fehlerquellen sind, die besonders beim Zuntz'schen Verfahren die Resultate beeinflussen können, so schön wird die Übereinstimmung der Werte, wenn man mit entsprechender Sorgfalt und Geduld arbeitet und sich die etwas mühevollen Prüfung jedes einzelnen Teiles der Apparatur nicht

¹ Es ist zweckmäßig, diese wegen des Einschneidens in den Kautschuk nicht direkt anzulegen, sondern vorerst den Kautschuk mit einer einfachen Lage vom klebendem Isolierband zu umwickeln.

Tabelle Ia.

Versuche nach dem Zuntz'schen Verfahren.

Nummer	N a m e	Körper- gewicht <i>kg</i>	Pro Körperkilogramm und Minute		Pro Quadratmeter und Minute		Anmerkung
			O ₂ Verbrauch	CO ₂ Bildung	O ₂ Verbrauch	CO ₂ Bildung	
			<i>cm³</i>				
1	W.	56·5	3·93	2·98	122	93	Magnus Levy und Falk.
2	B.	58·0	3·81	2·90	120	91	Arch. für (Anat.) u. Physio- logie, 1899, Suppl.
3	Prof. Z.	65·0	3·39	2·50	111	82	Arch. für (Anat.) u. Physio- logie, 1899, Suppl.
4	Dr. M. L.	67·5	3·43	2·86	113	94	Arch. für (Anat.) u. Physio- logie, 1899, Suppl.
5	D. L. Z.	67·5	3·43	2·97	113	98	Arch. für (Anat.) u. Physio- logie, 1899, Suppl.
6	Sp.	82·7	3·60	2·72	127	96	Arch. für (Anat.) u. Physio- logie, 1899, Suppl.
7	Schm.	88·3	3·30	2·69	119	97	Arch. für (Anat.) u. Physio- logie, 1899
8	C.	61·1	3·42	2·60	118	90	»Höhenklima«, Zuntz etc.
9	Dr. Sch.	48·0	3·68	2·88	108	96	Loewy, Oppenh. Handb.
10	Prof. L.	60·0	3·80	2·96	119	94	»Höhenklima«, Zuntz etc.
11	Dr. M.	73·6	3·37	2·66	114	90	»Höhenklima«, Zuntz etc.
12	L.	50·8	3·73	3·08	112	93	»Höhenklima«, Zuntz etc.
13	Rutt.	53·0	4·14	3·45	126	97	A. Loewy, Oppenh. Handb.
14	Prof. D.	60·0	3·53	2·82	112	92	Expedition 1906
15	Prof. D.	62·5	3·36	3·15	110	101	Expedition 1906
16	Dr. K.	77·5	3·20	2·59	113	90	Expedition 1906
17	Dr. K.	81·4	3·15	2·65	113	93	Expedition 1906
18	Rn.	64·6	3·61	2·73	117	89	Expedition 1906
19	Dr. Rl.	78·6	3·33	2·67	116	93	Expedition 1906
Mittel			3·53	2·83	116	93	<i>cm³</i>
Mittel			5·08	5·56	166·9	182·9	<i>mg</i>
Versuche in der Respirations- kammer							
Mittelwert Johanssons für 12 Versuchspersonen (1908)				5·40			<i>mg</i>

Tabelle 1b.

Versuche Benedict's im Respirationskalorimeter.

Nummer	N a m e	Zahl der Versuche	Körper- gewicht <i>kg</i>	Pro Körperkilogramm und Minute		Pro Quadratmeter Oberfläche		Anmerkung
				O ₂ Verbrauch	C O ₂ Bildung	O ₂ Verbrauch	C O ₂ Bildung	
				<i>cm³</i>				
1	B. F. D.	3	67·3	3·919	2·997	128·7	98·36	Hunger
2	A. S. L.	2	73·0	3·620	2·776	122·3	93·54	Hunger
3	A. S. L.	4	73·0	3·578	2·630	121·1	89·02	Hunger
4	A. S. L.	3	73·0	3·611	2·896	121·3	97·37	Kost
5	S. A. B.	4	62·1	3·619	2·768	112·9	86·37	Hunger
6	S. A. B.	1	62·1	3·324	2·593	102·8	80·17	Kost
7	S. A. B.	5	62·1	3·716	2·658	116·1	83·04	Hunger
8	S. A. B.	3	62·1	3·498	2·641	108·3	81·78	Kost
9	S. A. B.	7	62·1	3·688	2·737	114·4	84·14	Hunger
10	S. A. B.	3	62·1	3·309	2·773	102·8	86·12	Kost
11	S. A. B.	4	62·1	4·220	3·105	133·5	97·62	Kost, Hunger
12	H. E. S.	2	55·9	4·177	3·628	145·3	112·73	Hunger
13	C. R. Y.	2	68·5	4·330	3·189	139·9	105·49	Hunger
14	A. H. M.	2	62·8	3·664	2·676	117·1	85·52	Hunger
15	H. C. K.	2	72·0	3·925	3·098	131·7	104·00	Hunger
16	H. R. D.	2	55·9	4·427	3·311	138·6	102·28	Hunger
17	N. M. P.	2	64·8	4·205	3·251	138·2	106·85	Hunger
18	D. W.	2	74·3	3·560	2·781	123·3	96·56	Hunger
Mittel				3·550	2·912	123·2	94·3	<i>cm³</i>
Mittel				5·11	5·72	177·3	185·3	<i>mg</i>

Anmerkung: An Zuntz wurden auch Respirationsversuche in der Sonden-Tigerstedt'schen Respirationskammer ausgeführt; diese lieferten ein vollkommen übereinstimmendes Ergebnis mit jenem, das stets bei ihm gefunden wurde, wenn sein Gaswechsel nach dem Verfahren mit der proportionalen Probenahme untersucht wurde. (Siehe bei Johansson. Skand. Arch. VIII, p. 118).

verdrießen läßt. Es wird weiter unten gezeigt werden, wie sehr sich dadurch die Verlässlichkeit der Resultate gehoben hat und wie eng nunmehr die Grenzen für die Fehlerbreite geworden sind. Durchblättern wir die Protokollhefte, die die Resultate der Gasanalysen enthalten, so ist man überrascht über die Gleichmäßigkeit der Werte, die man in bezug auf die Zusammensetzung der Gase zusammengehöriger Versuche findet. In einer großen Zahl der Fälle liegen sich die Analysenwerte in unseren Versuchen näher, als man dies sonst sogar bei Kontrollbestimmungen an einem und demselben Gas sieht. Wir haben bei unseren Gasanalysen stets als Grundsatz aufgestellt, Differenzen über 0·03 % zwischen den Doppelbestimmungen von einem und demselben Gas nicht mehr als zulässig zu erklären. In der Tat wurden aber selten Abweichungen beobachtet, die diese Größe erreichten, meist traten nur Unterschiede von 0·01 und 0·02 % auf.

Eine vorzügliche Kontrolle dafür, daß man mit dem Zuntz'schen Verfahren bei gutem Arbeiten wirklich absolut genommen richtige Werte erhält und nicht etwa sich mit Vergleichswerten zufrieden geben muß, ergeben die neuen und neuesten Versuche an dem Tigerstedt-Sondén'schen Respirationsapparat wie die Versuche Benedicts im Respirationskalorimeter.

Die vorzügliche Übereinstimmung der Werte, die für den Erhaltungsumsatz, bezogen auf die nämlichen Einheiten mit allen drei Methoden, erhalten wurden, liefern den Beweis, daß die Einwände gegen die kurze Versuchsdauer und die proportionale Probeentnahme jedes Grundes entbehren. Jedenfalls ist es auch bemerkenswert, daß die Werte, die für den Erhaltungsumsatz an ein und derselben Versuchsperson mit dem Zuntz'schen Verfahren gewonnen wurden, durch Beobachtungen, die Jahre später mit anderen Apparaten ausgeführt sind, ihre volle Bestätigung fanden. Wenn bei der Bestimmung der Kohlensäureausscheidung und des Sauerstoffverbrauches in gar manchen Versuchen, die mit dem Zuntz'schen Verfahren oder mit Hilfe anderer Methodik ausgeführt wurden, wesentlich höhere Werte für den Erhaltungsumsatz zur Beobachtung gelangten, die wir nicht mehr als richtig ansehen können, so liegt die Ursache für das Zustandekommen solcher Größen sicher an dem Umstande, daß in diesen Experimenten (ganz abgesehen von allen übrigen Fehlern) nicht der Erhaltungsumsatz, sondern auch ein Teil der Ausgaben für Muskelarbeit mit berechnet wurde. Auf diese Weise erklären sich zum Beispiel die hohen Werte für den Verbrauch bei Körperruhe, die Bürgi¹ fand.

Als beweisende Tatsachen für die Übereinstimmung der Resultate, die in Versuchen mit dem trockenen, transportablen Gasmesser, oder in solchen mit der feuchten Gasuhr in kurzen Versuchsperioden gewonnen wurden, gegenüber jenen Werten, die im Respirationsapparat und Respirationskalorimeter für den Umsatz gefunden werden konnten, wurden in der voranstehenden Tabelle Beobachtungen von Magnus Levy, von Zuntz und seinen Mitarbeitern, von Benedict² (mittels des Respirationskalorimeters) und von Johansson³ (in der Respirationskammer) ausgeführt, denen auch noch Daten aus unseren neueren Ergebnissen, über die in der vorliegenden Veröffentlichung berichtet wird, beigegeben wurden. Zur Ermöglichung eines direkten Vergleiches sind die Mittelwerte auf den Umsatz pro Minute und Körperkilo wie auf das Quadratmeter Körperfläche berechnet und die Kohlensäure und Sauerstoffmengen, die bei der Analysenmethodik im Zuntz'schen Verfahren in Kubikzentimetern ermittelt werden, auf Milligramme umgerechnet. Von den Beobachtungen Benedict's sind nur jene Versuche ausgewählt, die sich auf die Zeit von 1^h bis 7^h früh erstrecken, also mit der Schlafenszeit der Versuchspersonen zusammenfallen, weil in diesen Versuchen die Nachwirkung der Nahrungsaufnahme am vorangegangenen Abend und eine Beeinflussung der Resultate durch Körperbewegungen möglichst ausgeschaltet sind.

Die voranstehende Tabelle ergibt wohl zur Genüge, daß zwischen den in Berlin, Boston, Stockholm und Wien erhaltenen Resultaten trotz der ganz verschiedenen Versuchsmethoden eine ganz überraschende

¹ Engelmann's Archiv, 1900, p. 508.

² The influence of the inanition on metabolism by F. C. Benedict. Carnegie Institution of Washington, 1907.

³ Skand. Arch., XXI, p. 1.

Übereinstimmung der Werte besteht. Man muß bei der Betrachtung der Resultate allerdings noch berücksichtigen, daß die Versuche Benedict's zum Teil an hungernden Versuchspersonen ausgeführt wurden, weshalb geänderte Verhältnisse wenigstens in bezug auf den respiratorischen Quotienten vorlagen, anderseits ist zu erwarten, daß die Versuchspersonen in den späten Morgenstunden nicht mehr jene absolute Bewegungslosigkeit beibehielten, die wir für die Beobachtung des Erhaltungsumsatzes fordern. Endlich darf auf jenen Mangel der Zuntz'schen Methode nicht vergessen werden, der dazu führt, daß mit diesem Verfahren immer etwas zu niedere Werte bestimmt werden. Bei der Zuntz'schen Methode ist nämlich der ganze Hautgaswechsel, der bei den Versuchen in den Respirationskammern mit einbezogen ist, vernachlässigt und es gelangen jene Gasmengen, die die Haut passieren, überhaupt nicht zur Bestimmung. Für die Feststellung des Erhaltungsumsatzes kommt dieser Fehler allerdings nur in so geringem Maße in Betracht, daß er füglich vollständig vernachlässigt werden kann, denn es ist wohl als sicher anzunehmen, daß die Kohlensäureausscheidung durch die Haut besonders bei einer mit Kleidern und eventuell Decken umgebenen Versuchsperson eine recht geringe ist, die kaum 1% des Lungengaswechsels erreichen wird. Wir müssen annehmen, daß die ruhende, bedeckte Versuchsperson sich mit einer Hülle stagnierender, kohlensäurereicherer Luft, als es die atmosphärische Luft ist, umgibt, so daß die Abgabe von CO_2 durch die Haut im Ruheversuch jedenfalls sogar noch etwas niedriger anzusetzen ist als in den eigens mit Rücksicht auf die Hautatmung ausgeführten Beobachtungen. Die Sauerstoffmengen,^{1, 2} die durch die Haut eintreten, sind jedenfalls noch unter den Werten der Kohlensäureausscheidung gelegen. Führt man übrigens eine Korrektur für die Hautatmung ein, so nähern sich die Werte, die mit der Zuntz'schen Methode erhalten wurden, noch mehr jenen, die Benedict feststellte.

Ganz einwandsfrei, aber leider nicht durch die Größe des Sauerstoffverbrauches erweitert, sind die Versuche Johansson's. Die Resultate, die hierbei für den Umsatz erhalten wurden, stimmen sehr gut mit den Werten nach der Zuntz-Methode überein. Unter Berücksichtigung der Hautatmung hätten wir übrigens 5·6 mit 5·4 mg CO_2 pro Minute und Körperkilo in den Mitteln in Parallele zu stellen.

Die Umrechnung auf Körperkilo birgt bekanntermaßen (Rubner) Bedingungen in sich, durch die ein direkter Vergleich der Werte, die an verschiedenen Versuchspersonen gewonnen wurden, viel weniger erlaubt erscheint als ein Vergleich des Verbrauchs bezogen auf die Körperoberfläche. Berechnet man die neuesten Versuche Johansson's nach diesem Gesichtspunkte, so findet man bei seinen Versuchspersonen Werte für den Umsatz, die zum Teile höher, zum Teile niedriger ausfallen als die in der Tabelle angeführten Mittelwerte. Auch in einer früheren Versuchreihe finden wir 0·181 g CO_2 Ausscheidung pro Minute und Quadratmeter Körperoberfläche bei einer Versuchsperson Johansson's gegenüber 0·183 g, dem Mittelwert der nach dem Zuntz'schen Verfahren ausgeführten Versuche.

Wie nicht anders zu erwarten, weist die Höhe des Ruhegaswechsels trotz der Umrechnung auf dieselben Einheiten doch bei einzelnen Versuchspersonen nicht unwesentliche Unterschiede auf; vergleichen wir aber eine Versuchsperson aus obiger Tabelle, die dem Körpergewicht Johansson's am nächsten steht, so finden wir eine wohl als zufällig zu erachtende, besonders große Übereinstimmung im Umsatz beider, und zwar 0·172 gegen 0·179 g CO_2 pro Minute. Bedenkt man, daß das Körpergewicht der Versuchspersonen, die in der linksseitigen Hälfte der obigen Tabelle angeführt sind, zwischen 48 und 88 kg schwankt, so erscheint die Übereinstimmung der Mittelwerte für den Umsatz, die nach verschiedenen Verfahren in verschiedenen Erdteilen und an Personen ganz verschiedener Nationalität gewonnen wurden, von besonderem Interesse. Man empfängt aber auch das Gefühl vollkommener Beruhigung gegenüber jenen Resultaten, die bei exakter Arbeit in ganz kurzen Versuchsperioden gewonnen wurden.

Es kann daher an dieser Stelle wohl nochmals betont werden, daß jene Größen, welche unsere Beobachtungen lieferten und an der Hand derer wir die Änderung des Umsatzes unter verschiedenen Bedin-

¹ Zuelzer, Zeitschr. f. klin. Medicin, Bd. 53.

² Franchini und Preti, Biochem. Zeitschr., Bd. IX, p. 442.

Denkschr. d. mathem.-naturw. Kl. Bd. LXXXVI.

gungen besprechen werden, nicht allein als Vergleichswerte aufgefaßt werden dürfen, sondern daß man diese mit aller Berechtigung als absolute Werte ansehen könne, dies jedoch unter der Voraussetzung, daß die gefundenen Werte für den Umsatz noch um jenen Betrag zu erhöhen sind, der der Hautatmung entspricht.

Mit nicht so großer Sicherheit steht man den Ergebnissen bei den Marschversuchen gegenüber. Bei diesen kommen jedenfalls ungleich höhere Werte für den Hautgaswechsel in Betracht (Versuche von Zuntz am Pferde), aber es ist auch die Größe des Gesamtumsatzes dabei gewaltig, und zwar bis auf das Zehnfache gesteigert. Wesentlich unsicherer als durch den Hautgaswechsel werden die Ergebnisse aber durch die Volumbestimmung. Besonders dann, wenn bei forciertem Marsch große Gasmengen durch die Gasuhr getrieben werden, wachsen die Fehler bei den Voluminis, die diese anzeigt, sehr rasch und auch die Korrektur für eine analoge Durchströmungsgeschwindigkeit läßt sich experimentell nur recht unvollkommen feststellen. Das Gas passiert übrigens unter solchen Verhältnissen gewiß nicht mehr unter ganz zu vernachlässigenden Überdrücken durch den Gasmesser und es müssen daher jene Werte, die wir für den Umsatz pro Meterkilogramm Steigarbeit fanden, als Minimalwerte angesprochen werden. Zur Charakterisierung der Verhältnisse sei nur erwähnt, daß unsere trockene Gasuhr von Elster in Berlin bei 5 l Durchgang pro Minute um 0.7% zu hohe Werte gab, also eine entsprechende Korrektur der Volumina forderte, während bei einer Durchströmung mit 50 l pro Minute (Arbeit) die Werte um fast 3% zu nieder ausfielen. Natürlich ist die Geschwindigkeit, mit der der Gasstrom durch die Gasuhr streicht, während eines Atemzuges eine ständig wechselnde¹ und daher auch die anzubringende Korrektur stets ungenau.² Für die Beobachtungen über die Marscharbeit kommt übrigens auch der Widerstand der Gasuhr der Ventile und der Zuleitungsröhren bereits merkbar in Betracht. Während man beim Ruheversuch gar nicht die Empfindung hat, gegen irgend welche Widerstände zu atmen und gar nicht selten beobachtet, daß die Versuchsperson während des Versuches einschläft, ist die Atemarbeit beim Marschversuch unter dem Einflusse der Versuchsanordnung gewiß eine gesteigerte. Wie wenig die Atmung im Ruheversuch durch die Ventile und die Gasuhr beeinflusst wird, ergibt sich wohl aus der Tatsache, daß man zum Beispiel den Typus des Cheyne-Stokes'schen Atmens mittels der Ablesungen an der Gasuhr ganz so verfolgen kann, wie wenn die Aufzeichnungen mit der Marey'schen Kapsel gemacht worden wären. Dem scharf formulierten Vorwurf Zwaardemakers, daß das Atmen bei Verwendung einer Gasuhr zu einem abnormen werden müsse, möchten wir daher jedenfalls für geübte Versuchspersonen nicht vollkommen beistimmen.³ Auch das Halten des Mundstückes führt im Ruheversuch gewiß keine Umsatzsteigerung und keine Änderung der Atmung herbei, da dies derart über dem Lager aufgehängt werden muß, daß die Kautschukplatte sich von selbst ohne Zerrung zwischen den Wangen und den Alveolarfortsätzen hält und die Lippen sich nur leicht dem Rohr des Mundstückes anzulegen brauchen.

Sehr fühlbar werden die Widerstände beim forcierten Bergaufmarsch im Hochgebirge und ohne Zweifel entstehen hierbei auch Drucksteigerungen in der Lunge, die sich rückwirkend auf den Lungenkreislauf und auch auf das Herz geltend machen, wie dies ziemlich zweifellos aus den Versuchen auf dem Bilkengrat hervorging.⁴ Trotzdem wir annehmen müssen, daß hierdurch sicher Änderungen in der Mechanik der Atmung ausgelöst werden, können wir derzeit diesem Übelstande nicht begegnen, und deshalb müssen unzweifelhaft die bei der Arbeit, ganz besonders aber die bei forcierter Arbeit gewonnenen Resultate als nicht mehr absolut richtige bezeichnet werden, jedenfalls nähern sie sich aber absoluten Werten und ohne Zweifel besteht auch die Berechtigung, sie zu Vergleichen einwandfrei heranzuziehen.⁵

¹ H. Zwaardemaker und C. D. Ouwenhand, Arch. f. Anat. Phys. 1904, Suppl. p. 241.

² Siehe übrigens auch Durig: Arch. f. Anat. u. Physiologie 1903, Suppl. p. 209.

³ l. c., p. 261.

⁴ Durig, Pflügers Arch. 113, p. 254.

⁵ Siehe das Kapitel über den Gaswechsel beim Gehen.

Diese kritische Ausführung über die Methodik mußte vorangeschickt werden, da im folgenden eine sehr große Zahl von Versuchen zu besprechen sein wird, die mit dem Geppert-Zuntz'schen Verfahren durchgeführt wurden. Obwohl in der letzten Zeit einige Handbücher erschienen sind, in denen speziell die Arbeitsmethoden Berücksichtigung gefunden haben, wurde doch in keinem derselben auf die Fehlerquellen bei der erwähnten Methode und die Möglichkeit, inwieweit diese vermieden werden können, in ausreichender Weise hingewiesen. Bezüglich der Technik, derer wir uns bei den Respirationsversuchen bedienten, erübrigt nur mehr wenig anzuführen, da die Einzelheiten des Verfahrens ja von anderer Seite wiederholt beschrieben wurden. Als eine recht zweckmäßige Neuerung erwies sich die von uns bereits im Jahre 1903 benützte Federspannung, die das Nachrücken des Hebers mit der Auslaufspitze unterstützt. Durch den stetig ausgeübten Zug wird die Drehung der Gasuhr im Sinne ihrer Vorwärtsbewegung beim Durchatmen wesentlich erleichtert und der Widerstand verringert.

Gegen ungleiche Erwärmung durch Wind und direkte Wirkung der Sonnenstrahlen war die weiß lackierte Gasuhr noch mit einem dicht schließenden weißen Filzmantel umgeben. Für die Sonderung von In- und Expirationsluft dienten uns wieder die bereits auf der Spörner Alpe und auf dem Bilkengrat verwendeten Hausenblasenventile, die, soweit unsere Erfahrung reicht, in bezug auf die geringe Größe des Widerstandes und verläßlich dichten Schluß allen anderen Ventilen weit überlegen sind. Sie waren, wie üblich, mit Glycerin und Wasser befeuchtet. Wir möchten uns der Anschauung von Schenck¹ daß Ventile aus festen Teilen mit genau kongruenten Flächen vorzuziehen seien, wenigstens was ihre Verwendbarkeit im Hochgebirge betrifft, nicht anschließen. Es ist selbstverständlich nötig, jedes Ventil vor der Verwendung sorgfältig auf dichten und prompten Schluß gegen Druck und Saugzug zu prüfen. Für die Abgrenzung der Versuche und den Wechsel zwischen der Atmung in freier Luft oder durch die Gasuhr verwendeten wir wieder den auf Dichtigkeit wiederholt geprüften, allerdings etwas schwereren Metallhahn da wir mit dem sogenannten »Cloverschen« Wechselhahn recht üble Erfahrungen hinsichtlich seiner Verläßlichkeit gemacht hatten und jedenfalls bei Verwendung eines solchen zu großer Vorsicht mahnen möchten.

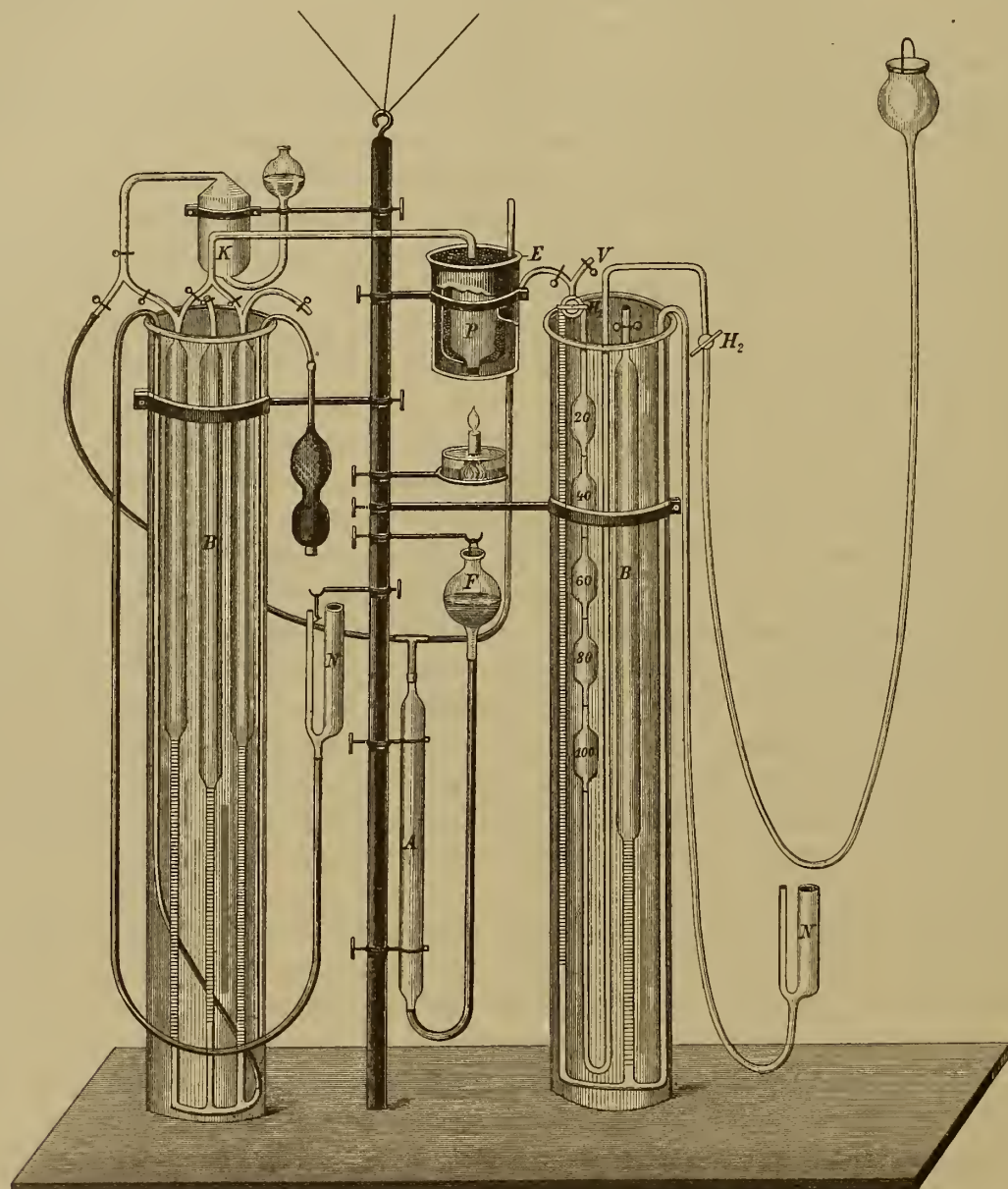
Die Gasanalysen wurden als Doppelanalysen durchgeführt und zu diesem Zwecke auf dem Monte Rosa zwei Analysenapparate mit gesondertem Thermobarometer aufgestellt, von denen der eine identisch ist mit jenem, den ich für unsere Versuche im Jahre 1903 gebaut hatte,² der zweite Apparat sollte außer zu den Kontrollanalysen auch für die Untersuchung stark sauerstoffhaltiger Gemische dienen. Die folgende Abbildung zeigt, unter Weglassung der Gaspipetten am neuen (rechtsseitigen) Apparat, die getroffene Anordnung. (Siehe Figur auf p. 12 [126.]

Der linksseitige Apparat enthält in einem Glaszylinder (Wasserwanne) ein Sammelrohr, das auch für die Rückmessung des Gasvolums nach Absorption der Kohlensäure dient, das Thermobarometer und eine Gasbürette mit » $\frac{2}{100}$ Teilung« von 78 bis 81 cm^3 Inhalt, den Heber der zum Niveauröhr *N* führt und das Mischrohr, verbunden mit dem Kautschukgebläse für das Durchlüften des Wasserbades. Im zweiten — rechtsseitigen — Analysenapparat ist außer dem Thermobarometer nur ein gegabeltes Eudiometer vorgesehen, das oben durch einen Hahn mit einfacher, weiter Bohrung verschlossen werden kann. Der eine Ast des Eudiometers besteht aus einem 20 cm^3 fassenden, in $\frac{2}{100}$ geteilten Rohr, dessen O-Punkt mit der Bohrung im Hahn zusammenfällt. Dieser Schenkel ist mit dem zugehörigen Niveauröhr in Verbindung. Der zweite Ast des Eudiometers besteht aus fünf aufeinander folgenden, je 20 cm^3 fassenden Kugeln, die durch enge, aber nicht kapillare Rohrstücke verbunden sind, auf denen die Marke angeätzt ist. Das äußere Ende des Schenkels ist mittels eines Hahnes verschlossen und mit einer Füllkugel verbunden. Das zur Analyse bestimmte Gas wurde aus dem Rohr *A*, in dem es während des Versuches aufgefangen wurde, zum Teil in den linksseitigen, zum Teil in den rechtsseitigen Analysenapparat durch Heben der Füllkugel *F* übergetrieben. Im gegabelten Eudiometerrohr füllt man zuerst gerade 100 cm^3 in den Ast mit den

¹ Tigerstedt, Handbuch der physiologischen Methodik, 1908, p. 32.

² Höhenklima, Bergwanderungen etc. p. 167.

Kugeln bis zur Marke über und sperrt den Hahn H_2 . Hierauf stellt man durch Wenden des Hahnes H_1 Kommunikation zwischen A und dem engen Schenkel des Eudiometers her, um noch etwas Gas in dieses Rohr eintreten zu lassen, und dreht dann den Hahn so, daß durch dessen weite Bohrung nunmehr beide Schenkel des Eudiometers in Verbindung gesetzt sind. Nun wird durch Visieren über die beiden Menisken des Niveaurohres und den Meniskus im engen Schenkel das Gas im ganzen Eudiometer unter den



Apparat für Doppelanalysen und für die Untersuchung sehr differenter Gasmengen.

herrschenden Atmosphärendruck gebracht und das Volumen wiederholt abgelesen. Zu jeder solchen Volumbestimmung gehört natürlich die Ablesung des Thermobarometerstandes in B . Durch die Kapillare V gelangt das Gas in die Absorptionspipetten und wieder in das Eudiometer zurück. Nach Schluß der Analyse und Entleerung des Proberohres A läßt man das Gas durch ein seitliches T-Stück entweichen das auch beim Vorspülen der zuführenden Kapillaren vor jeder Analyse benötigt wird. Die Bohrung des Hahnes bedingt keinen Fehler, da die Nullmarke für das ganze Eudiometer an der Stelle wo das kapillare T-Stück an den Hahn angeblasen ist, liegt. Der Apparat gestattet Gasvolumina von 0.1 bis 120 cm^3 auf 0.01 cm^3 abzulesen.

Für die Bestimmung des Sauerstoffes hat sich die Verwendung des Natriumhydrosulfit¹ ganz außerordentlich bewährt. Bei richtigem Arbeiten gewinnt man den Eindruck ungleich größerer Sicherheit. Es ist ganz besonders wertvoll, daß man bei Verwendung dieser Substanz am Beginn von Analysen nicht nutzlos eine Menge Zeit durch »Luft-Kontrollen« verliert. Bekanntermaßen dauert es nach der Neufüllung einer Phosphorpipette meist ziemlich lange, bis man mit dieser richtige Werte für die Sauerstoffmenge in einem Gase erzielt.² Bei Verwendung der Hydrosulfitlösung kann man sicher sein, daß, wenn die Pipette ohne Luftblasen gefüllt wurde und wenn keine Hydrosulfitlauge gegen die Eudiometer vorgebracht ist, bereits die erste, zur Kontrolle ausgeführte Luftanalyse, ein vollkommen richtiges Prozentverhältnis für die Zusammensetzung der atmosphärischen Luft ergibt. Wir haben uns durch viele Analysen während langer Zeit und durch gleichzeitiges Arbeiten mit der Phosphorpipette und der Hydrosulfitpipette überzeugt, daß letztere ganz besonders dann, wenn es sich um das Arbeiten bei niederen Temperaturen handelt, weit überlegen ist. Die Phosphorpipette mußte auf dem Monte Rosa stets in einem Wasserbade auf etwa 25° C angewärmt gehalten werden. (Siehe Abb. P).

Obwohl auch andere Autoren mit der Verwendung der Hydrosulfitlösung ebenso gute Erfahrungen gemacht haben wie wir, erfuhren wir doch von mancher Seite, daß mit der Methode unbefriedigende Resultate gewonnen worden seien. Die Ursache hierfür dürfte darin gelegen sein, daß das gelieferte Präparat nicht immer verlässlich gut ist. Auch ist es nicht zweckmäßig, bei der Herstellung der Lösung das Hydrosulfit in Substanz in 10% Lauge einzutragen, sondern es muß die unter Luftabschluß bereitete, wässrige Hydrosulfitlösung mit der bereits ausgekühlten, konzentrierten Lauge versetzt werden. Auch ist bei allen Manipulationen wie beim Einfüllen der Lösung in die Gaspipetten der Luftzutritt nach Möglichkeit zu vermeiden. Die Gaspipette muß mit einem Wasserverschluß versehen werden und dieser ist durch eine Paraffinölschicht weiter zu sichern, wobei darauf zu achten ist, daß das Paraffinöl nicht in die gegen die Bürette zu gelegene Verschlusskugel gelangt, da dieses sonst allmählich in die Gaspipette übertritt und das Gas in der Pipette gegen das Absorptionsmittel schützt. Die Gaspipetten werden übrigens durch die Hydrosulfitlauge stark angegriffen und müssen durch einen dünnen, kautschukhaltigen Paraffinüberzug vor der Einwirkung des Reagens bewahrt werden.³

B. Über den Einfluß der Jahreszeit auf den Erhaltungsumsatz.

Bei den Versuchen, die im Hochgebirge behufs Erforschung des Erhaltungsumsatzes — wir verstehen unter diesem den Umsatz bei vollständiger Körperruhe⁴ — angestellt wurden, kommt eine ganze Summe von Momenten in Betracht, die den Gaswechsel zu beeinflussen vermögen und als Ursache für das geänderte Verhalten angesprochen werden können. Von allen Besonderheiten, die das Höhenklima gegenüber dem Klima in der Ebene aufweist, ist natürlich das Verhalten des Luftdruckes, der um so tiefer absinkt, je höher wir im Gebirge vordringen und die Abnahme der Lufttemperatur mit zunehmender Höhe am auffallendsten. Der vorliegende Abschnitt soll nun zur Erledigung der Frage dienen, ob solche Unterschiede in der Umgebungstemperatur, wie wir sie während des Aufenthaltes in Wien und auf dem Monte Rosa-Gipfel beobachteten, den Anlaß zu Veränderungen im Erhaltungsumsatz geben können. Bekanntermaßen liegt über diese Frage eine ganze Fülle mehr oder minder eindeutiger Forschungsergebnisse vor, die von Loewy in neuester Zeit in übersichtlicher Weise zusammengestellt wurden, weshalb es wohl

¹ Durig, Biochem. Zeitschrift, IV, p. 68.

² Eykman, Pflüger's Archiv, 64, p. 69.

³ Die Hydrosulfitlösung hält sich in der Bürette nicht länger als etwa fünf Tage, später gibt sie unverlässliche Resultate. Es ist daher nötig, die Lösung auch dann, wenn sie nicht verwendet wurde, nach dieser Zeit in der Pipette zu erneuern.

⁴ A. Loewy in Oppenheimer's Handbuch der Biochemie, IV, p. 172.

unnötig sein dürfte, auf die bisherige Diskussion über diese so strittige Frage im Detail einzugehen.¹ Es kann wohl als sicher festgestellt betrachtet werden, daß vorübergehende Abkühlung, sofern sie nicht zu Muskeltätigkeit Anlaß gibt, von keiner Steigerung des Umsatzes begleitet ist (Loewy, Speck, Johansson). Für die Entscheidung der Frage, wie sich der Umsatz des Menschen verhält, wenn er durch lange Zeit hindurch niedrigen Temperaturen ausgesetzt ist, liegen bis heute jedoch, soweit uns bekannt, keinerlei wirklich einwandfreie Versuche vor. Während man sich für gewöhnlich dem Einflusse der Temperatur, die in verschiedenen Jahreszeiten oder Klimaten herrscht, durch passende Wahl der Kleidung möglichst zu entziehen sucht und sich der direkten Wirkung weder im Sommer noch im Winter aussetzt, bringt es der Aufenthalt in großen Höhen während des Sommers mit sich, daß man wirklich niedere Temperaturen durch geraume Zeit hindurch auf sich wirken lassen muß, ohne sich künstlich gegen diese ebenso wie in der Ebene schützen zu können, da man doch im Wintermantel keine Touren ausführen kann. Im Sommer wie im Winter lebt man in der Ebene meist in Räumen, deren Temperaturen selten zwischen größeren Werten als 15 bis 28° C schwanken dürften, und wenn man sich ins Freie begibt, so sorgt man meist durch die entsprechende Kleidung dafür, daß die Temperatur der Luftschichte, die unseren Körper umgibt, ebenfalls keinen allzugroßen Schwankungen unterworfen ist. Sinken die Außenlufttemperaturen sehr stark ab, so wird einzig und allein das Gesicht und ein kurzes Stückchen des Halses der direkten Einwirkung der Kälte preisgegeben, während der ganze übrige Körper vor Wärmeverlust möglichst bewahrt wird. Wesentlich anders lagen aber die Dinge während des Aufenthaltes auf dem Monte Rosa. Es dienten eigene Versuche, die Reichel übernahm und die in einem späteren Abschnitte besprochen werden sollen, dazu, das Temperaturgefälle von der Körperoberfläche durch die Kleidung hindurch zu verfolgen, und mit jenem, wie es sich beim ebenso bekleideten Menschen in der Ebene findet, zu vergleichen.

Auf dem Monte Rosa steigt die wahre Lufttemperatur während des Sommers im Freien selten bis auf 0° C und es gab Tage, an denen wir unsere Arbeitsversuche auf dem Gletscher bei 20° C unter Null ausführen mußten. Aber auch die Zimmertemperatur ist von jener in der Ebene sehr verschieden, da diese sich tagelang um 0° C hielt und selten wesentlich über 0° stieg. Nur während der letzten Zeit unseres Aufenthaltes war es wärmer. Am Beginne des August hatten wir einmal sogar —9° C als Zimmertemperatur beobachtet. Wenn auch in bewohnten Höhenstationen die Temperaturen natürlich nicht annähernd so tief absinken, so treten doch auch an diesen Orten bei Regenwetter so merkliche Abkühlungen ein, daß die Kurgäste in ihrer Sommerkleidung sich dort der Einwirkung viel niedriger Temperaturen aussetzen dürften, als etwa im Winter in den Talstationen. Die Frage nach der Einwirkung niedriger Umgebungstemperatur streift daher auch das Problem, ob der günstige Einfluß des Aufenthaltes in Höhenstationen nicht auf eine Anregung des Umsatzes infolge der Wirkung der Temperaturkomponente im Höhenklima zurückzuführen sei. »Es scheint fast selbstverständlich, daß die frischere und reinere Luft in den Höhenstationen gegenüber der drückenden und erschlaffenden Sonnenschwüle in einer Großstadt zu einer Steigerung der Oxydationsvorgänge führen müsse.«² Die Steigerung des Umsatzes, die man in der Tat in größeren Höhen zahlenmäßig festlegen kann, rückt eine solche Anschauung noch mehr in den Bereich der Möglichkeit.

Zur Klärung der Frage über die Einwirkung der Umgebungstemperatur auf den Stoffumsatz stellten wir eine Reihe von Versuchen bei Körperruhe im Sommer und im Winter in verschiedenen Höhen an, und zwar derart, daß die Verhältnisse in allen Fällen möglichst die gleichen waren, also Störungen durch anderweitige Einflüsse die Resultate nicht beeinträchtigen konnten. Die Versuche im Winter wie im Sommer und im Frühjahr führten wir zum größten Teile (es war dies nämlich nicht bei allen Versuchspersonen der Fall) in genau derselben Kleidung durch, auch befanden wir uns möglichst unter denselben Ernährungsverhältnissen. Wir ließen im Winter in Wien die Kälte ebenso auf uns wirken, wie auf dem

¹ A. Loewy: Oppenheimers's Handbuch der Biochemie IV, p. 199.

² Siehe Speck: Über Luftkuren, Arch. f. exp. Pathologie XVII, p. 278.

Monte Rosa und trugen während der kalten Jahreszeit in der Ebene ebensowenig Überkleider, wie im Sommer in einer Höhe von 4560 *m*. Um auch die Zimmertemperatur annähernd auf einer Höhe wie auf dem Monte Rosa-Gipfel zu halten, sperrten wir die Heizkörper im Laboratorium ab und öffneten zeitweise die Fenster auch die Nächte verbrachten wir im kalten, ungeheizten Zimmer. Speziell Durig war bestrebt, diesen Forderungen auf das peinlichste gerecht zu werden. Auch Reichel trug während des ganzen besonders strengen Winters 1906/07, in welchem wir Morgentemperaturen bis zu -22° C beobachteten, dieselben Kleidungsstücke wie in den Sommersversuchen oder während der Fahrt durch die heiße Po-Ebene im August 1906. Genau ebenso verhielten wir uns bei dem Versuch auf dem Semmering.

Die Untersuchungen über den Gaswechsel führten wir stets morgens an der nüchtern im Bette liegenden Versuchsperson aus¹ und achteten darauf, daß diese vorher keinerlei Muskelarbeit geleistet hatte. Wie wir aus den Beobachtungen von Zuntz und seinen Mitarbeitern entnehmen, vermag ja bereits der Gang von der Wohnung zum Laboratorium noch geraume Zeit nachher auf die Größe des Erhaltungsumsatzes einzuwirken. Wir wanderten deshalb mit unseren Apparaten in die Wohnung der einzelnen Versuchsteilnehmer und führten dort, noch bevor der zu Untersuchende das Bett verlassen hatte, die Respirationsversuche aus. Da wir als wahrscheinlich voraussetzen konnten, daß, wenn wir einen Unterschied im Erhaltungsumsatz zwischen Sommer- und Winterbeobachtungen finden würden, dieser jedenfalls sehr gering sein würde, mußte eben auf die Ausschaltung jeder, nur irgendwie vermeidbaren Fehlerquelle geachtet werden. Mit Recht betont Ranke, daß speziell Ernährungs- und Verdauungsstörungen die Resultate bei der Bestimmung des Gaswechsels zu verschieben imstande sind und dadurch scheinbare Änderungen des Umsatzes durch das Klima vorzutäuschen vermögen. Wir trachteten daher die Respirationsversuche mit wenigen Ausnahmen stets gleichzeitig mit unseren Stoffwechselversuchen durchzuführen, während derer wir uns im Zustande genau kontrollierter Ernährung befanden und täglich ganz gleichartige Kost verzehrten. Wir konnten also erwarten, sicher miteinander vergleichbare Werte während verschiedener Jahreszeiten an denselben Versuchspersonen zu gewinnen und so jenen Einwänden zu entgehen, die man den bisherigen Versuchen über den Einfluß des Klimas verwerfen kann.

Von bereits vorliegenden, einschlägigen Beobachtungen muß nur wenig erwähnt werden. Eykman² untersuchte den Einfluß des Tropenklimas, indem er den Umsatz in den Tropen, berechnet auf das Quadratmeter Körperoberfläche, durch Beobachtungen über den Gaswechsel von 12 Malayen feststellte und die Resultate mit jenen verglich, die von anderen Autoren in Europa gewonnen wurden. Er kam zum Schlusse, daß Unterschiede nicht bestehen. Allerdings ist zu berücksichtigen, daß der Vergleich zwischen dem Gaswechsel ganz verschiedener Versuchspersonen, auch wenn sie von ähnlichem Körpergewichte sind, kaum zu sicheren Schlüssen berechtigt.

Versuche über den Erhaltungsumsatz von Personen während des Sommers und Winters scheinen nicht vorzuliegen. Zahlreich sind die Beobachtungen über die Einwirkung vorübergehender Abkühlung, und in bezug auf diese steht es fest, daß innerhalb nicht zu weit gezogener Grenzen jedenfalls keine chemische, sondern nur eine rein mechanische Wärmeregulation im Sinne einer Sperrung der Wärmeausfuhr stattfindet. Jede Umsatzsteigerung war auf Muskelzittern oder Muskelspannung, die einzige Form chemischer Regulation, die wir kennen, zurückzuführen, wie dies die Versuche im kalten Bade von Speck und Loewy erwiesen. Auch die Beobachtungen, die Johansson am bekleideten und unbekleideten Menschen³ ausführte, sprechen ganz entschieden gegen eine Steigerung des Erhaltungsumsatzes durch Abkühlung. Diesen Tatsachen gegenüber vermögen die Beobachtungen Rubner's, die teilweise im Sinne einer chemischen Wärmeregulation beim Menschen sprechen, nicht zu überzeugen, da in manchem seiner Versuche sogar ausgesprochenes Muskelzittern von keiner Umsatzsteigerung begleitet war. Man darf

¹ Vor den Versuchen im Frühling hatte Durig eine Tasse Tee mit etwas Zucker genossen.

² Pflüger's Arch., Bd. 64, p. 57.

³ Skand. Arch., 7. Bd., p. 123.

nach diesen Ergebnissen bei einem Menschen, der seine mechanische Wärmeregulation noch durch Kleidung und Heizung unterstützt, wohl kaum eine Änderung im Umsatz im Winter gegenüber den Sommermonaten erwarten.

Einen Hinweis auf die Bedeutung der Kleidung geben übrigens die Beobachtungen von Rubner über die Kohlensäureausscheidung bei einer Versuchsperson, deren Gaswechsel in leichter Kleidung, im Überzieher und im Pelz bei einer Umgebungstemperatur von 11–12°C untersucht wurde, wenn auch Bedenken gegen die festgestellten Zahlen nicht zu umgehen sind, da in ihnen gewiß auch zum guten Teile variable Muskelspannung zum Ausdruck kommt.

Für die Lösung der Frage können also nur Versuche entscheidend sein, in denen man den Organismus ganz auf seine eigenen Einrichtungen zum Schutze gegen Übererwärmung oder Wärmeverlust verweist und ihn durch keine künstliche Mithilfe in seinem Bestreben, die Körperwärme konstant zu erhalten, unterstützt oder indem man die künstlichen Schutzmaßregeln stets unverändert läßt und die Wirkung der Winterkälte durch keinerlei Zugabe schützender Hüllen abschwächt, sie also geradeso wie die Wärme des Sommertages auf den hinreichend gekleideten Menschen einwirken läßt. Dadurch wird der Winterversuch eben erst zu einem Versuch über den Stoffumsatz im Winter. Ein Teil der Frage kann hierbei allerdings nicht beantwortet werden. Wenn man vom Sommer beginnend bis zum Versuch in der kalten Jahreszeit ständig in derselben Kleidung lebt, so muß gegenüber der Einwirkung der niedriger werdenden Temperatur ganz allmählich und schon während der Herbstmonate eine Gewöhnung eintreten. Der Erfolg, den wir in unserem Versuch beobachteten, ist daher sicher im wesentlichen ein anderer, als wenn wir bis zum Jänner stets mit dem Winterrock bekleidet ins Freie gegangen wären oder unter Tags im geheizten Zimmer gelebt hätten und dann plötzlich alle Zulagen an Kleidungsstücken bis auf unser Tourenkleid, das wir tatsächlich trugen, entfernt hätten. Gewiß sehen wir im Ausfall des Winterversuches schon den Erfolg einer Gewöhnung vor uns, und wir können auf Grund neuer Versuche daher nur entscheiden, wie sich der »Abgehärtete« bei Winterkälte verhielt.

Für den Hund liegen übrigens Versuche vor, die, soweit sie auf den Menschen übertragbar sind, besagen, daß auch zur Zeit, zu der die Anpassung erfolgte, keine Steigerung des Umsatzes eintreten dürfte, also auch nicht einmal vorübergehend eine chemische Regulation stattfindet.

Die Versuche Nasaroffs und jene von Durig und Lode¹ weisen nach, daß Hunde, deren Körpertemperatur im kalten Bade sinkt, bei Wiederholung der Bäder immer geringere Temperatursenkungen aufweisen und endlich an ihrer Körperwärme festhalten, dabei konnte von Durig und Lode nachgewiesen werden, daß dieser Anpassungsvorgang von keiner Steigerung der Kohlensäureproduktion begleitet ist.

Nun zu unseren eigenen Versuchen! Diese ergeben Parallelen zwischen dem Erhaltungsumsatz im Sommer, Winter und Frühling in Wien und zwischen Sommer und Winter in einer Höhe von 1000 *m* (Semmering und Alagna). Hieran reihen sich die Versuche bei Winterkälte auf dem Monte Rosa im August der Jahre 1903 und 1906 und im Sommer auf der Sporner Alpe in einer Höhe von etwas über 1300 *m*.

Überblickt man die Resultate, die bei der Bestimmung des Gaswechsels an Durig gewonnen wurden, so fällt vor allem die Gleichartigkeit der respiratorischen Quotienten (Stab 11) auf. Der Versuch vom März liegt außerhalb der eigentlichen Versuchsserien, wurde also an der Versuchsperson nicht unter denselben Verhältnissen wie die anderen Beobachtungen durchgeführt.² Der respiratorische Quotient dieser Reihe fiel auch wesentlich anders aus als in den übrigen Reihen. Obwohl die sämtlichen Versuche zeitlich sehr weit auseinanderliegen, stimmen die Resultate doch sehr befriedigend überein. Da das Körpergewicht im Verlaufe des Jahres nicht konstant blieb, ist der Erhaltungsumsatz auf das Quadratmeter umgerechnet, was auch den Vorteil bietet, die an den einzelnen Versuchspersonen erhaltenen Werte untereinander vergleichen zu können. (Stab 12.) Um auch einen guten Überblick über die Resultate der

¹ Arch. für Hygiene, Bd. 39.

² Wie erwähnt, war vorher etwas Tee mit Zucker getrunken worden.

Tabelle II.

Mittelwerte für den Erhaltungsumsatz im Sommer und im Winter.

Durig.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
O r t	Meeres- höhe	Jahreszeit	Körper- gewicht	Pro Minute		Pro Minute und Kilogramm		Pro Minute und Quadratmeter		Respiratorischer Quotient	Kalorien pro Quadrat- meter und Minute
				CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂		
				cm ³							
Wien	250	Juli	59·8	174·6	211·6	2·920	3·538	92·4	112·0	0·827	0·542
		8. und 9. Jänner	60·0	173·5	211·8	2·825	3·534	92·2	112·2	0·806	0·540
		17. und 18. Jänner	59·1	176·4	210·9	2·903	3·552	93·84	112·2	0·837	0·545
		März	62·5	196·9	214·5	3·153	3·363	101·32	110·1	0·922	0·545
Semmering	1000	Jänner	59·5	192·7	226·9	3·230	3·804	102·27	120·4	0·849	0·585
Alagna II	1190	5.—9. September	58·7	175·2	212·4	2·795	3·607	93·72	113·6	0·825	0·550
Sporner Alpe	1326	Sommer	63·3	188·1	240·3	2·968	3·794	95·86	122·4	0·782	0·585

¹ Die entsprechenden Grundwerte sind in den Anhangtabellen enthalten.

¹ Die entsprechenden Grundwerte sind in den Anhangtabellen enthalten.

Arbeiten anderer Autoren zu schaffen, bei denen sich ausschließlich die Werte für die Kohlensäureproduktion angegeben finden, wurde in Stab 7 und 8 die Größe der Kohlensäureausscheidung und des Sauerstoffverbrauches pro Körperkilo und Minute angeführt.

Den besten Einblick in die Verhältnisse gibt jedenfalls Kolumne 12, in der der Umsatz pro Minute bezogen auf die Oberflächeneinheit eingetragen ist. Die Berechnung dieses Wertes erfolgte von den bekannten durch Zuntz gegebenen Prinzipien aus auf Grund der ermittelten Größen des Sauerstoffverbrauches und der Höhe der respiratorischen Quotienten, wobei die Verbrennungswärme des umgesetzten Eiweißes nicht gesondert berücksichtigt ist. Die Zulässigkeit dieser Art der Berechnung ist durch Magnus Levy ¹ eingehend begründet worden. In unseren Versuchen erscheint diese Berechnung um so begründeter, als der calorische Wert, der dem Verbrauch von 1 cm³ Sauerstoff entspricht, bei den respiratorischen Quotienten unserer Versuche ohnedies nahezu der nämliche ist wie jener bei Eiweißverbrennung.

¹ v. Noorden, Handbuch etc., I, p. 207.

Denkschr. d. mathem.-naturw. Kl. Bd. LXXXVI.

Die Kalorienwerte sind auf drei Stellen gekürzt, da ja selbst bei der dritten Stelle die Sicherheit schon eine recht problematische ist.

Die Versuche an Durig ergeben, daß die Größe des Erhaltungsumsatzes im Juli, im Jänner und im März fast genau dieselbe gewesen ist und ohne Zweifel fallen alle Unterschiede zwischen den angeführten vier Mittelwerten noch vollkommen in die Fehlergrenzen.

Wir können daher auf Grund der vorliegenden, bei Durig gewonnenen Ergebnisse mit voller Bestimmtheit aussagen, daß bei ihm keinerlei Einfluß der Jahreszeit und der Umgebungstemperatur auf den Ruheumsatz nachzuweisen war, obwohl er sich der Kälte des strengen Winters in derselben Kleidung wie den höheren Temperaturen während des Frühlings und Sommers aussetzte. Es hat sich also bei ihm sicher keine chemische Regulation ausgebildet, da diese in einer Steigerung der Oxydationsvorgänge zum Ausdruck gekommen sein müßte, sondern es ist anzunehmen, daß einem größeren Wärmeverluste im Winter nur durch entsprechend ausgiebige Sperrung der Wärmeabgabe entgegen gewirkt wurde. Diese Feststellung kann sich einwandsfrei natürlich nur auf das Gesamtniveau erstrecken, auf das sich der Erhaltungsumsatz im Winter eingestellt hatte, sie besagt aber nicht, ob nicht etwa während des Aufenthaltes im Freien unter der Einwirkung der niederen Umgebungstemperatur eine Erhöhung des Stoffwechsels im Sinne chemischer Wärmeregulation eingetreten sei.

Wir glauben aber annehmen zu können, daß auch unter Tags eine Erhöhung der Verbrennungsvorgänge zu diesem Zwecke nicht stattgefunden hat. Es ist aus den bereits oben angeführten Arbeiten bekannt, daß eine Umsatzsteigerung bei vorübergehenden Wärmeentziehungen nur dann eintritt, wenn gleichzeitig Muskelzittern und erhöhte Spannung der Muskulatur besteht, was aber immer mit subjektivem Kältegefühl, dem »Frösteln« verbunden ist. Letzteres trat nun bei Durig trotz der leichten Kleidung während der ganzen Winterperiode nie auf, und selbst an Tagen, an denen das Thermometer in der Innentasche des Rockes Werte unter 0° zeigte,¹ empfand er noch das Gefühl behaglicher, wohliger Wärme. Sicherlich kommt für das Eintreten des Fröstelns und Muskelzitterns bei niederer Umgebungstemperatur nicht bloß die tatsächliche Größe des Wärmeverlustes in Betracht, sondern es spielen dabei gewiß auch psychische Momente eine große Rolle.

Für die zweite Höhenstufe liegen von Durig Werte von der Sporner Alpe im Sommer, vom Semmering im Winter und von Alagna im Sommer vor. Der Wert, der auf der Sporner Alpe im Sommer gefunden wurde, stimmt mit jenem vom Semmering aus dem Winterversuch vollkommen überein, in beiden Fällen ergaben sich 0·585 Kalorien für den Umsatz pro Quadratmeter Körperoberfläche und die Zeit einer Minute.

Also auch hier finden wir im Sommer wie im Winter den nämlichen Erhaltungsumsatz. Der Wert, der von den Versuchen in Alagna stammt, ist etwas niedriger, die Gründe hierfür liegen aber sicherlich wie später erwähnt werden wird, nicht in Verschiedenheiten der Temperatur, sondern in einer Nachwirkung des vorangegangenen Aufenthaltes auf dem Monte Rosa-Gipfel. Der Energieverbrauch während der Ruhe war nämlich in den ersten Tagen nach dem Abstieg ganz merkbar vermindert, er stieg erst allmählich während des Aufenthaltes in Alagna wieder an und erreichte bereits am 6. Tage des Aufenthaltes 0·562 Kalorien. Es ist wohl wahrscheinlich, daß der Umsatz bei längerem Verweilen sich noch weiterhin etwas gesteigert hätte.

Übrigens entspricht die für den Umsatz auf dem Semmering gefundene Größe ebenfalls durchaus keinem Verhalten, das während des ganzen Aufenthaltes daselbst konstant gewesen wäre, denn es zeigte sich, daß einer anfänglichen, erheblichen Erhöhung des Ruheverbrauches bald eine Abnahme folgte, da am vorletzten Tag des Aufenthaltes ein Wert von 0·575 Kalorien für die Größe der Verbrennung pro Quadratmeter berechnet wurde. Die beiden Werte, jener der dem Aufenthalt in Alagna im Sommer entsprach

² Bis zu - 5° C.

und jener der von den Versuchen auf dem Semmering im Winter stammt, stehen sich also in der Tat wesentlich näher, als es auf den ersten Blick scheinen möchte.

Bezüglich des Umsatzes auf der Sporner Alpe müssen ebenfalls noch einige Bemerkungen nachtragen werden. Auch dieser Mittelwert, der die Größe des Verbrauches pro Minute anzeigt, ist ebenso wie jener vom Semmering aufzufassen. Er birgt in sich erhöhte Werte von der ersten Zeit des Aufenthaltes auf der Sporner Alpe, aber auch wesentlich später daselbst für den Umsatz ermittelte Größen, die niedriger sind als die anfänglich erhaltenen. Zudem muß noch erwähnt werden, daß für den Sauerstoffverbrauch und die Kohlensäureproduktion in den ersten Versuchen auf der Sporner Alpe wohl sicher etwas zu hohe Werte ermittelt wurden, da bei diesen kaum eine vollkommene Erschlaffung der Muskulatur der Versuchsperson und absolute Bewegungslosigkeit eingehalten worden sein dürfte. Durig folgte nämlich während der ersten Versuche noch stets mit den Augen den Bewegungen seiner Frau bei Anstellung der Ablesungen, um sich von der richtigen Handhabung der Apparate zu überzeugen. Wenn wir auch aus der Übereinstimmung und der absoluten Höhe der Werte schließen können, daß wesentliche Umsatzsteigerungen dadurch nicht ausgelöst wurden, so ist doch anzunehmen, daß der anfänglich gefundene Verbrauch eine Vergrößerung des angeführten Mittelwertes mit sich brachte und den Tatsachen entsprechend etwas niedriger einzusetzen sein dürfte.

Im Verhältnis zu jener Erhöhung der Kohlensäureproduktion und des Sauerstoffverbrauches, die sich bei einigermaßen beträchtlicher Unruhe der Muskulatur findet, ist die hier in Betracht zu ziehende Größe jedenfalls verschwindend, so daß wir mit vollem Recht von einer Gleichartigkeit des Umsatzes bei der Versuchsperson Durig im Sommer wie im Winter in Höhen von ungefähr 1000 *m* sprechen können.

Es weichen die für den Verbrauch pro Quadratmeter gefundenen Größen, ob sie nun von Winterversuchen auf dem Semmering oder von Sommersversuchen in Alagna oder auf der Sporner Alpe stammen, nur um Beträge voneinander ab, die die zulässige Fehlergrenze nicht übersteigen, wenn wir die Besonderheiten im Umsatz in solchen Höhen und speziell in den vorliegenden Fällen berücksichtigen.

Es scheint nicht unzweckmäßig, an dieser Stelle darauf hinzuweisen, wie groß bei merklich verschiedener Muskelspannung die Unterschiede im Umsatz sind und wie sehr dies speziell bei Versuchspersonen zum Ausdruck kommt, die das Atmen im Respirationsversuch nicht gewöhnt sind und die die möglichste Entspannung der Muskulatur nicht geübt haben.

Bekanntermaßen hat Johansson dieses Verhalten in eigens ausgeführten Beobachtungen untersucht und gefunden, daß Muskelunruhe den Umsatz um ein Viertel erhöht, seine Werte geben aber nur die Größe der Änderung in der Kohlensäureproduktion wieder. Ebenso anschaulich geht dies aus den Versuchen von Zuntz¹ und seinen Mitarbeitern hervor, in denen auch der Sauerstoffverbrauch bestimmt wurde. Die Autoren führen die Unterschiede in der Kohlensäureproduktion und dem Sauerstoffverbrauch, die sie in Berlin gegenüber Brienz gefunden hatten, auf die Nachwirkung vorangegangener Muskeltätigkeit oder auf Spannungen in der Muskulatur während der Versuche zurück.

Diese sind besonders bei dem damals noch am wenigsten an Respirationsversuche gewöhnten Kolmer am ausgesprochensten. Selbst die unmittelbar nacheinander am selben Tage ausgeführten Beobachtungen weisen hier auf Schwankungen im Umsatze hin, die jene weit übertreffen, die oben bei den Versuchen an Durig erwähnt wurden, obwohl letztere in ganz verschiedenen Jahreszeiten, ja nicht einmal im selben Jahre durchgeführt wurden.

¹ L. c., p. 291.

Tabelle III.

Werte für den Erhaltungsumsatz bei Kolmer im Jahre 1901 am selben Tage ermittelt.

(Atmung eines Ungeübten bei unvollkommener Entspannung der Muskulatur.)

T a g	5	6	9	10	11	12	13
	Pro Minute		Pro Minute und Quadratmeter		Respira- torischer Quotient	Kalorien pro Quadratmeter und Minute	Differenz in Prozent
	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂			
	cm ³						
7. August	200·1	231·9	97·1	112·6	0·863	0·54	4
	203·9	216·5	98·9	105·1	0·942	0·52	
9. August	221·3	262·6	107·5	125·6	0·843	0·62	8·3
	222·6	278·0	108·1	135·0	0·801	0·65	
	222·0	271·6	107·9	131·9	0·818	0·64	
	201·2	269·3	97·9	127·8	0·747	0·60	
24. August	178·6	247·2	86·4	119·5	0·722	0·56	12
	196·9	202·6	95·1	97·9	0·970	0·50	
28. August	205·7	253·0	99·9	122·9	0·813	0·59	0
	205·5	250·1	99·8	121·4	0·822	0·59	

Es schwankten also hier die Werte in den Kontrollversuchen, die an ein und demselben Tag unmittelbar nacheinander gewonnen wurden, um Größen bis zu 12%, während die größte Differenz bei Versuchen, die wohl als analog anzusehen sind, aber nicht auf den nämlichen Tag fallen, die Höhe von 30% erreicht. Immerhin könnte bei den Beobachtungen vom 9. und 24. August vielleicht doch eine wirkliche Änderung des Ruheumsatzes (Nachwirkung des Höhengaufenthaltes) zur Entstehung dieser großen Unterschiede beigetragen haben, dies ist aber bei den Versuchen am 7. und 9. August ausgeschlossen, und doch betragen auch hier die Abweichungen der Werte bis zu 26%. So sehr vermögen also scheinbar ganz geringfügige Spannungen in der Muskulatur und ungleichmäßiges Atmen die Resultate zu beeinflussen. Es kann daher wohl als gerechtfertigt betrachtet werden, daß wir den Wert, den wir für den Umsatz auf der Sporner Alpe fanden, schon infolge der Aufmerksamkeit auf den Experimentator als etwas erhöht betrachten, wenn auch sonst vollkommen Muskelruhe bestanden hatte.

Die Versuche an Durig können daher als beweisend dafür angesehen werden, daß ein nachweisbarer Einfluß der Umgebungstemperatur, innerhalb eines Temperaturintervalles von zirka $+30$ bis -20°C^1 nicht bestanden hat.

Tabelle IV.

Mittelwerte für den Erhaltungsumsatz im Sommer und im Winter.

Reichel.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
O r t	Meeres- höhe	Jahreszeit	Körper- gewicht	Pro Minute		Pro Minute und Kilogramm		Pro Minute und Quadratmeter		Respiratorischer Quotient	Kalorien pro Quadrat- meter und Minute
				CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂		
				cm ³							
Wien	250	Juni	81·1	214·4	271·0	2·642	3·348	92·6	117·3	0·791	0·572
		Jänner	80·2	222·6	274·9	2·775	3·428	96·9	119·6	0·809	0·576
			78·5	220·9	266·5	2·814	3·395	97·6	117·7	0·829	0·569
		März	79·2	209·9	262·1	2·650	3·309	92·2	115·1	0·799	0·557
Semmering	1000	Jänner	79·4	219·6	267·0	2·805	3·363	91·2	117·2	0·822	0·56 ∞
Alagna	1190	September	75·0	206·9	252·3	2·759	3·364	94·2	114·9	0·824	0·557

Gerade so gut wie die Werte bei Durig untereinander vergleichbar sind, sind auch jene, die an Reichel gewonnen wurden, einwandfrei in eine Parallele zu stellen. Auch bei ihm fällt vorerst die Gleichartigkeit der respiratorischen Quotienten auf, die für die Güte der Versuche spricht. Die Werte, welche im Juni und im Jänner in Wien ermittelt wurden, können als vollkommen identisch angesehen werden, ein kleines wenig niedriger fällt die Größe für den Umsatz im März aus, doch beträgt auch hier die Abweichung im Maximum nicht einmal 4%, fällt also wohl noch ganz nahe an die Fehlergrenzen.

In der Höhenstufe von 1000 m liegt wieder der Wert aus Alagna etwas niedriger als jener vom Semmering, der Unterschied ist aber nur ein ganz verschwindender, auch hier ist die Nachwirkung des vorangegangenen Gipfelaufenthaltes mit im Spiele gewesen. Die Ergebnisse der Versuche in Wien wie jener, die in den beiden Höhenstationen ausgeführt wurden, sprechen eindeutig dafür, daß auch bei Reichel die Jahreszeit keinen Einfluß auf den Erhaltungsumsatz ausübt, daß also das Absinken der Umgebungstemperatur keine Steigerung der Stoffzersetzung herbeiführt. Ebenso wie Durig hat Reichel gegenüber der Wirkung der Winterkälte »mechanisch« und nicht »chemisch« reguliert.

¹ Hierunter sind die Temperaturextreme gemeint, denen sich die Versuchsperson unter Tags aussetzte.

Tabelle V.
Mittelwerte für den Erhaltungsumsatz im Sommer und im Winter.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
O r t	Meeres- höhe	Jahreszeit	Körper- gewicht	Pro Minute		Pro Minute und Kilogramm		Pro Minute und Quadratmeter		Respiratorischer Quotient	Kalorien pro Quadrat- meter und Minute
				CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂		
				cm ³							
Kolmer.											
Wien		Sommer	76·42	195·3	256·8	2·555	3·361	87·8	115·5	0·761	0·546
		Winter	77·48	200·5	253·6	2·589	3·272	89·3	112·9	0·791	0·541
		Frühling	81·42	214·5	257·7	2·634	3·165	88·3	111·2	0·833	0·544
Rainer.											
Wien		Sommer	64·58	176·3	233·3	2·730	3·606	86·7	114·9	0·756	0·556
		Frühling (März)	62·90	183·1	218·4	2·911	3·472	93·7	111·8	0·838	0·542

Von Kolmer und Rainer liegen nur einschlägige Beobachtungen aus Wien vom Sommer, Winter und Frühling vor. Die Betrachtung der Kolonne 12 ergibt, daß auch bei Kolmer der Umsatz während der drei Jahreszeiten unter sonst gleichen Bedingungen keine Änderung erfuhr. Bei Rainer liegt der Wert für die Verbrennungsvorgänge im Sommer etwas höher als im Winter, doch ist auch hier der Unterschied nur ein geringer. Der größere Verbrauch im Juni dürfte bei ihm wohl eine Erklärung darin finden, daß Rainer damals an die Respirationsversuche noch nicht gewöhnt war und deshalb seine Muskulatur noch nicht hinreichend vollkommen entspannte. Auffallend ist, wie viel besser die Übereinstimmung der Werte nunmehr bei Kolmer geworden ist, wenn man diese mit jenen in Tab. III vergleicht. Es ist übrigens vielleicht auch nicht vollkommen auszuschließen, daß der Tonus der Muskulatur jugendlicher Personen überhaupt einem größeren Wechsel unterworfen ist. In diesem Sinne würde die Ungleichmäßigkeit der Werte bei Rainer sprechen, die noch später zu erörtern sein wird. Auch bei Waldenburg, neben Kolmer dem jüngsten Teilnehmer an der Expedition 1901, zeigten sich ab und zu sprunghafte Unterschiede in den gewonnenen Resultaten. Bezüglich der vorliegenden Versuche wäre übrigens noch nachzutragen, daß Kolmer wie Rainer sich weit weniger intensiv der Einwirkung der Temperatur aussetzten. Sie trugen auch während des Winters meist Überkleider und nicht dieselben Anzüge wie im Sommerversuch. Die bei

ihnen gefundene Übereinstimmung der Sommer- und Winterwerte ist daher viel weniger beweisend als bei Durig und Reichel.

Die Versuche über den Einfluß der Jahreszeit und der Umgebungstemperatur auf den Erhaltungsumsatz haben demnach zu einem eindeutigen Resultat geführt. Es war bei keiner Versuchsperson eine Änderung des Sauerstoffverbrauches und der Kohlensäureproduktion nachzuweisen, die darauf hindeuten würde, daß die Verbrennungsprozesse im Körper bei absoluter Körperruhe im Sommer andere wären, als im Winter oder Frühjahr; wir müssen im Gegenteil daran festhalten, daß die Temperaturkomponente bei der Einwirkung des Klimas keinen Einfluß auf die Höhe des Umsatzes ausübt, sei es nun, daß es sich hierbei um einen Aufenthalt in der Ebene oder um einen solchen in Höhen von zirka 1000 *m* oder 4500 *m* handelt.

C. Über die Größe des Erhaltungsumsatzes in verschiedenen Höhenlagen.

Im vorigen Abschnitte wurde gezeigt, daß recht merkliche Unterschiede in der Höhe der Umgebungstemperatur keine Änderung des Stoffumsatzes beim Höhengaufenthalt herbeiführen. In einwandfreier Weise haben aber die Versuche von Durig und Zuntz im Jahre 1903 dargetan, daß auf dem Monte Rosa-Gipfel eine Steigerung des Sauerstoffverbrauches und der Kohlensäureproduktion beobachtet wird, die in der Erhöhung der Atemarbeit allein keine ausreichende Erklärung findet. Beobachtungen Mossos und zwei Respirationsversuche an einem Teilnehmer der Expedition im Jahre 1901 scheinen dagegen darauf hinzuweisen, daß es Menschen gebe, bei denen der Erhaltungsumsatz in so großen Höhen keine Veränderung erfährt oder vielleicht sogar geringer wird. Es war deshalb nötig, noch an weiteren Versuchspersonen festzustellen, ob die Zunahme des Umsatzes in einer Höhe von 4560 *m* dennoch eine gesetzmäßige ist, und ob nicht etwa längerer oder wiederholter Aufenthalt in solchen Regionen die Erhöhung der Verbrennungsprozesse zu verringern oder zu verwischen vermag. Es galt ferner zu ermitteln, wie sich der Gaswechsel bei einem möglichst unvermittelten Übergang aus der Ebene in die Höhenstation verhält, und festzustellen, ob ein lange dauernder Aufenthalt im Hochgebirge zu Nachwirkungen führt, die sich in der Größe des Erhaltungsumsatzes ausdrücken.

Gute Zusammenstellungen der bisher vorliegenden Ergebnisse finden sich ebenfalls in den wiederholt namhaft gemachten Veröffentlichungen von Kronecker, Jaquet, Zuntz und dessen Mitarbeitern, wie bei A. Löwy in Oppenheimer's Handbuch; dort haben auch die einschlägigen Versuche im pneumatischen Kabinett gebührende Berücksichtigung gefunden. Bezüglich der Versuche in der pneumatischen Kammer genügt es daher wohl hier nur hervorzuheben, daß erst bei Luftverdünnungen, wie sie dem Luftdruck in der Höhe des Monte Rosa entsprechen, die ersten Erscheinungen eintreten, die auf die Wirkung eines Sauerstoffmangels hindeuten. Es zeigt sich nämlich, daß erst von einem Barometerstand von 400 bis 500 *mm* an eine merkliche Erhöhung des Atemvolumens eintritt, wodurch eine Ausschwemmung von Kohlensäure aus dem Körper herbeigeführt wird, was beim Gleichbleiben des Sauerstoffverbrauches zu einem Ansteigen der respiratorischen Quotienten führt.

Eine Änderung der Verbrennungsprozesse im Sinne einer Verringerung des Sauerstoffverbrauches stellt sich im pneumatischen Kabinett jedoch auch bei weiterem Absinken des Luftdruckes nicht ein.¹

Derartige Versuche sind aber aus verschiedenen Gründen mit jenen im Hochgebirge nicht vergleichbar, wie schon im III. Teile dieser Abhandlung betont wurde. (Raschheit der Kompression und

¹ Es ist wenigstens bei keiner der bisher untersuchten Personen ein zwingender Nachweis hierfür erbracht. Die Unterschiede in den Einzelbeobachtungen schließen aber eine eventuelle Steigerung des Umsatzes nicht aus. So findet sich bei Zuntz und an einem Tage auch bei Waldenburg eine deutliche Erhöhung des Sauerstoffverbrauches während des Atmens unter vermindertem Luftdruck. Die Versuche an Kolmer, Caspari, Müller und Loewy wie die übrigen Beobachtungen an Waldenburg schwanken im pneumatischen Kabinett allerdings um ähnlich weit auseinander liegende Extreme wie im Normalversuch. (Siehe auch »Höhenklima«, Anhangtabelle XVI.)

Dekompression, kurze Versuchsdauer, Körpergase, Mangel an Raum, Muskelunruhe etc.) Es darf daher nicht wundernehmen, wenn die Resultate von Untersuchungen hier wie dort nicht die nämlichen sind. Auch Beobachtungen über die Nachwirkung eines Aufenthaltes im pneumatischen Kabinett können zu Analogieschlüssen in bezug auf das Verhalten des Umsatzes nach der Rückkehr aus einer Höhenstation nicht herangezogen werden. Bei den hierüber vorliegenden Versuchen haben übrigens stets mehrere verschiedene Versuchsbedingungen zusammengewirkt, so daß die Resultate derzeit noch keine Schlüsse zulassen.

Noch weniger als Beobachtungen am Menschen können natürlich Tierversuche als entscheidend über die Frage nach dem Ruheumsatz ins Feld geführt werden.

Wenn auch Speck, Loewy, Terray, Durig und Tissot nachweisen konnten, daß eine Abnahme des Sauerstoffgehaltes in der Inspirationsluft bis auf etwa 8% noch keine Veränderung des Ruheumsatzes herbeiführt, so ist dadurch noch lange kein Beweis dafür erbracht, daß erst dann, wenn der Atmosphärendruck tiefer als auf 360mm absinkt, Störungen im Umsatze beim Aufenthalte im Hochgebirge eintreten. Bei den Respirationsversuchen mit Gasgemischen handelt es sich immer nur um kurz dauernde Beobachtungen, und es ist wohl sehr gut möglich, daß die Erscheinungen manifesten Sauerstoffmangels oder Änderungen in der Größe der Verbrennungsvorgänge eintreten würden, wenn die Gasgemische tagelang geatmet würden und zeitweise der Sauerstoffverbrauch erheblich gesteigert wäre, wie dies bei der Muskelarbeit der Fall ist. Es ist naheliegend anzunehmen, daß bei absoluter Körperruhe in derartigen Versuchen vorübergehend ein Gleichgewicht zwischen Sauerstoffanbot und Sauerstoffverbrauch bestehen kann, dieses würde aber unter der gegebenen Voraussetzung bei geringer Steigerung des Erfordernisses gestört werden, und es wäre dann auch in vollkommener Körperruhe nicht mehr möglich, bei dem herrschenden niederen Sauerstoffdruck die ursprünglichen Verhältnisse wieder herzustellen. Sicherlich wäre es vom größten Interesse, wenn im Respirationskalorimeter, das lange dauernde Versuche am Menschen gestattet und dessen Kreisstrom es auch ermöglicht, den Sauerstoffgehalt des Atmungsgases durch verminderten Ersatz des verbrauchten Sauerstoffes auf ein niedrigeres Niveau einzustellen, Versuche am Menschen ausgeführt würden, die dessen Verhalten bei lange dauernder Einatmung sauerstoffarmer Gasgemische näher beleuchten würden.

Die Wertigkeit der Angaben, die über den Gaswechsel des Menschen in verschiedenen Höhen vorliegen, ist eine außerordentlich verschiedene und die Durchsicht des bisher geförderten Zahlenmaterials lehrt, daß gar manche der veröffentlichten Resultate überhaupt unverwertbar sind, weil die Respirationsversuche nicht bei nüchternem Zustande der Versuchsperson ausgeführt wurden und während der Experimente auch nicht hinreichend auf eine vollkommene Entspannung der Muskulatur geachtet wurde. Wesentlich erschwert ist natürlich eine begründete Beurteilung der Resultate auch in allen jenen Versuchen, bei denen die Kohlensäureproduktion ausschließlich zur Untersuchung gelangte, da gerade die Ausscheidung der Kohlensäure in denjenigen Beobachtungen, bei denen nicht eine absolute Gleichheit aller Versuchsbedingungen eingehalten wurde, sich sehr stark zu ändern pflegt, so daß der Anschein von Veränderungen im Umsatz hervorgerufen wird, die tatsächlich nicht bestanden haben. Die gleichzeitige Bestimmung des Sauerstoffverbrauches liefert nicht nur in der Größe und Gleichartigkeit der Sauerstoffwerte eine vorzügliche Kontrolle, sondern auch speziell in der Beziehung des Sauerstoffverbrauches zur Kohlensäureproduktion, dem respiratorischen Quotienten, den wertvollen Rückschluß darauf, ob die Größe der Kohlensäureproduktion richtig bestimmt wurde. Ganz besonders schwierig ist es, sich gegenüber den kurzen, auszugsweisen Publikationen mancher französischer Autoren in den »Comptes rendus« volle Klarheit zu verschaffen, da allein aus der tabellarischen Aufzählung von wenigen Werten keine oder nur sehr unsichere Rückschlüsse auf die Durchführung der Versuche gezogen werden können. Auf diese Erfahrung aufbauend, schien es uns auch nötig, zu allen unseren anzuführenden Resultaten die gesamten Belege beizugeben, die für die Kontrolle der Arbeiten erforderlich sind. Im folgenden sollen nur einige Daten aus der Literatur angeführt werden.

Ziemlich zahlreiche Versuche liegen aus dem Jahre 1877 von Mermod¹ vor, der bestrebt war, stets unter möglichst gleichartigen Bedingungen — es handelt sich um morgens, nüchtern ausgeführte Ruheversuche — zu arbeiten. Er beobachtete in St.-Croix, das in einer Höhe von 1100 *m* gelegen ist, eine Steigerung der Kohlensäureausscheidung gegenüber den Werten, die er in Straßburg gefunden hatte, diese ist so gering, daß sie wohl nur dann als beweisend angesehen werden könnte, wenn die Methodik eine ganz zuverlässige gewesen wäre und wenn es möglich wäre, auf Grund des Körpergewichtes und des Sauerstoffverbrauches den Umsatz an beiden Orten auf denselben Grundlagen zu berechnen. Auch der Verwendung des Spirometers bei derartigen Versuchen stehen gewichtige Bedenken entgegen, dagegen scheint der Einwand A. Loewy's, daß die Fehlergrenze der Versuche eine zu weite sei, doch etwas zu scharf formuliert. Für den damaligen Stand der Methodik können die Resultate als gewiß nicht so schlecht stimmend erachtet werden, denn wir begegnen Dezennien später bei viel weiter vervollkommelter Methodik noch breiteren Schwankungen in den gefundenen Werten.

Gewiß weniger beweiskräftig sind die Beobachtungen, die Marcet² in der Schweiz und auf dem Pic von Teneriffa anstellte. Man gewinnt fast den Eindruck, als wenn das Zutrauen des Verfassers zu seinen eigenen Resultaten kein allzugroßes wäre. Demgegenüber scheint wenigstens ein Teil der Beobachtungen von Veragut³ über den Gaswechsel in Zürich und St. Moritz (1769) relativ verwertbarere Daten zu liefern, die im Sinne einer Steigerung des Umsatzes im Höhenkurort sprechen. Überblickt man aber seine Ergebnisse, so läßt die Übereinstimmung der Werte allerdings ziemlich viel zu wünschen übrig und auch die absolute Höhe der Kohlensäureausscheidung erweckt Bedenken. Liegt doch die Größe der Kohlensäureausscheidung bei ihm so, daß sicher ganz erhebliche Muskelarbeit mit im Spiele gewesen sein muß. Werte von mehr als 400 *cm*³ pro Minute reichen schon fast an die Kohlensäureproduktion bei ganz langsamem Gehen (600 *cm*³ pro Minute) heran! Die Steigerung der Kohlensäureproduktion in St. Moritz ist daher jedenfalls zu einem guten Teile, wenn nicht ganz, durch Muskelarbeit zustande gekommen, und die Tatsache, daß er in Zürich niederere Werte fand, die immer noch abnormal hoch sind, besagt wohl nur, daß Veragut dort unter bequemerem Verhältnissen, unter geringerer Beteiligung seiner Muskulatur manipulierte als in St. Moritz. Auf die Versuche Bürgis⁴ haben wir schon an anderem Orte hingewiesen. Die sorgfältigen, von ihm ausgeführten Beobachtungen krankten alle an dem Umstande, daß ihnen die vergleichbare Grundlage, der reine Wert für den Erhaltungsumsatz fehlt. Auch bei ihm ist der sogenannte Ruhewert durch Muskelaktion fast um das Doppelte über seine wahre Größe gesteigert. Übrigens lassen die Ergebnisse schon unter sich jene Übereinstimmung vermissen, die wir bei einwandfreien Versuchen fordern müssen. Als Ursache hierfür ist wohl sicherlich eine wechselnde Muskelinervation anzunehmen. Diese erklärt voll und ganz die in seinen Resultaten vorkommenden Schwankungen.

Eine ganze Summe von Bestimmungen über die Kohlensäureausscheidung in verschiedenen Höhenlagen zwischen Turin und der Capanna Margherita führte U. Mosso aus, doch auch diese können einer freimütigen Kritik nicht standhalten. Zum Teil liegt die Ursache für das Zustandekommen der so abweichenden Resultate in der damals noch nicht hinlänglich ausgebildeten Methodik, zum Teil auch an der Durchführung der Versuche. Diese wurden zu den verschiedensten Stunden des Tages ausgeführt, auch auf die Kost wurde wenig Rücksicht genommen, und jedenfalls ist trotz der horizontalen Lage der Versuchspersonen ein Umsatz bestimmt worden, der durch reichliche Muskelbewegungen erhöht war. So fand Mosso bei zwei Versuchspersonen in der nämlichen Meereshöhe Werte wie 0.284 *g* und 0.574 *g* CO₂-Produktion pro Kilogramm und Stunde⁵, Größen, die wohl am besten die Höhe der vorhandenen Fehlergrenzen

¹ Diss. Straßburg 1877.

² Proc. of the Royal Society of London, XXVII.

³ Diss., Paris 1887.

⁴ Arch. für (Anat.) und Physiologie, 1900.

⁵ Der Mensch auf den Hochalpen, p. 270.

Denkschr. d. mathem.-naturw. Kl. Bd. LXXXVI.

versinnbildlichen. Und doch wurden diese Zahlen noch unter den bequemen Versuchsbedingungen in Gressoney gewonnen.

Wenn wir auch das Körpergewicht der beiden Soldaten zu dieser Zeit nicht genau kennen,¹ so sind die Unterschiede der Kohlensäureausscheidung pro Kilogramm bei Personen von ganz extrem verschiedenen Körpergewichten dagegen verschwindend.

Als Beispiel hierfür mögen zwei Versuchspersonen von Magnus Levy dienen:

Sch	48.0 kg schwer	0.339 g CO ₂ pro Stunde
Schm	88.3 »	0.317

Es scheint ferner, daß in Mosso's Beobachtungen eine ziemlich große Zahl von Werten für die Kohlensäureproduktion gefunden wurde, die so sehr zu niedrig sind, daß sie tatsächlichen Verhältnissen nicht entsprochen haben können. Wir wollen daher die Resultate Mosso's für die Entscheidung der Frage nach dem Einflusse des Höhenklimas auf den Erhaltungsumsatz bei unseren späteren Auseinandersetzungen nicht mehr in Diskussion ziehen, so wünschenswert es wäre, wenn die Früchte der so mühevollen Arbeiten verwertet werden könnten. Das große Verdienst U. Mosso's, diese Untersuchungen in so großen Höhen systematisch aufgenommen zu haben und die Vorarbeit für spätere Forschungen geleistet zu haben, wird hierdurch gewiß nicht geschmälert.

Die Resultate der Versuche von Zuntz und Schumburg² lauten nach den Angaben der Autoren dahin, daß bei Schumburg ein Anwachsen des Umsatzes beobachtet wurde, das aber nur der Vergrößerung der Atemarbeit entsprach, während bei Zuntz ein Effekt der Höhenwirkung noch weniger deutlich wahrgenommen werden konnte. Im Jahre 1896 folgten dann die Versuche von A. Loewy, J. Loewy und Leo Zuntz³ auf dem Monte Rosa, die zu dem Ergebnisse führten, daß »in keinem Versuche Sauerstoffmangel eine Rolle spielte«; bei A. Loewy hatte keine Steigerung des Umsatzes stattgefunden, während bei J. Loewy eine solche bereits auf der Gnifetti-Hütte in 3647 m Höhe zu beobachten war; L. Zuntz wies dagegen schon in 2856 m Zunahme des Sauerstoffverbrauches und der Kohlensäureproduktion auf. Es sind demnach die Resultate der Versuche sehr mannigfaltig gewesen. Es soll an späterer Stelle noch ausführlicher auf diese Beobachtungen eingegangen werden.

Zur Entscheidung der Frage über den Einfluß des Höhenklimas auf den Stoffwechsel, die bis dahin noch kaum in Angriff genommen war, führten Jaquet mit Staehelin⁴ gemeinsame Untersuchungen über den Stoffwechsel (Stickstoff- und Salzumsatz) im Höhenklima durch, indem sie ihr Verhalten in Basel und auf dem Chasseral (1600 m) verglichen. An diese Versuche, auf die in einem späteren Abschnitte des näheren eingegangen werden wird, schlossen sich Respirationsversuche, die nach dem Geppert-Zuntz'schen Verfahren ausgeführt wurden, an.

Die von den Verfassern in den Anhangstabellen mitgeteilten Versuchsprotokolle gestatten einen sehr guten Einblick in die Durchführung der Beobachtungen, und ergeben, daß die gefundenen Einzelwerte recht befriedigend untereinander übereingestimmt haben. Die Respirationsversuche sind morgens in nüchternem Zustande bei vollkommener Entspannung der Muskulatur ausgeführt.

Jaquet und Staehelin kommen auf Grund ihrer Resultate zum Schlusse, daß bereits in einer Höhe von 1600 m eine Steigerung des Erhaltungsumsatzes eintritt. Die Zunahme des Sauerstoffverbrauches betrug 8.8%, jene der Kohlensäureproduktion 14.8% und es erscheinen den Verfassern die Ausschläge auf keinen Fall so gering, als daß diese noch in die Fehlergrenzen der Methodik fallen würden.

¹ Der Mensch auf den Hochalpen. Anhangtabelle, 1. Seite. Beide Soldaten wogen nach einer Bestimmung fast gleich viel, nämlich 64.1 und 64.8 kg.

² Pflüger's Arch., 63, p. 461.

³ Pflüger's Arch., 66, p. 477.

⁴ Arch. für exp. Path., XXXVI, p. 274.

Überblickt man die Mittelwerte und die Abweichungen der gut stimmenden Versuche untereinander, so ergibt sich in der Tat, daß im Chasseral-Versuch eine derartige Zunahme der Kohlensäureproduktion und des Sauerstoffverbrauches erfolgt ist, so daß diese weder durch die Steigerung der Atemarbeit noch durch einen etwaigen, während dieser Zeit eingetretenen Eiweißansatz oder durch die Fehlerbreiten erklärt werden kann.

Es möge hier bereits als auffallende Tatsache erwähnt werden, daß nach der Deutung der genannten Autoren die gefundene Umsatzsteigerung noch durch drei Wochen nach der Rückkehr vom Chasseral fast ungeändert fortbestand, ja sogar nach drei Monaten noch nicht abgeklungen war. Es wäre wohl von größter Wichtigkeit, wenn ein derart nachhaltender Einfluß eines vorangegangenen Aufenthaltes in einer Höhenstation, die noch niedriger als manche Engadiner Hotels liegt, tatsächlich bestehen würde. Natürlich ist erst zu entscheiden, ob eine im Höhenklima ausgelöste Umsatzsteigerung während ihres Bestehens der Ausdruck einer Beeinflussung des Körpers in günstigem Sinne ist (s. p. 48, 50 [162, 164]).

Das reichste Material in bezug auf die Einwirkung des Höhengaufenthaltes auf den Gaswechsel förderten seit Beginn dieses Jahrhunderts Zuntz und seine Schule. Auch diese Ergebnisse sollen vorerst nur in ihren allergrößten Grundzügen berücksichtigt werden, da es nötig sein wird, die einzelnen Resultate im Zusammenhalt mit unseren neuen Beobachtungen noch genauerer Besprechung zu unterziehen. Im Jahre 1901 trat Zuntz¹ mit fünf Mitarbeitern eine auf breiten Grundlagen aufgebaute Expedition ins Hochgebirge an, während welcher die Versuchsteilnehmer stets im Stoffwechselversuch lebten und durch einen vollen Monat nur gewogene und analysierte Kost in genau berechneten Tagesrationen verzehrten. An die Stoffwechselversuche waren ebenfalls Respirationsversuche in großer Zahl angereiht, von welcher letzteren in diesem Abschnitte ausschließlich gesprochen werden soll. Die Beobachtungen begannen mit Kontrollversuchen in Berlin, an diese schloß sich ein 12 bis 18tägiger Aufenthalt in Brienz (500 *m*), 5 bis 11 Versuchstage auf dem Briener Rothorn (2130 *m*), 6 Versuchstage auf Col d'Olen (2858 *m*) und ebensoviel in der Capanna Margherita (4560 *m*). Die Verfasser gelangten hinsichtlich des Erhaltungsumsatzes zu folgenden Schlüssen. In Brienz wurde gegenüber Berlin eine Abnahme des Umsatzes gefunden und auch nach dem Abstiege vom Rothorn sank die Größe von Sauerstoffverbrauch und Kohlensäureproduktion noch weiter ab. Erstere Verminderung bezogen die Verfasser auf mehr akzidentelle Momente, letztere auf eine Wirkung des vorangegangenen Höhengaufenthaltes, was somit im Gegensatz zu den von Jaquet gewonnenen Ergebnissen steht. Auf dem Rothorn konstatierten sie bloß bei Kolmer (auffallenderweise dem am meisten ans Hochgebirge Gewöhnten) eine Steigerung des Erhaltungsumsatzes, bei den übrigen vier untersuchten Personen fehlte eine solche. Die auf Col d'Olen gewonnenen Werte sprechen bei dem einen der beiden Versuchsteilnehmer für eine Umsatzsteigerung, bei dem andern für eine Verminderung der Verbrennungsvorgänge in Körperruhe. Auf dem Monte Rosa-Gipfel trat bei vier Versuchspersonen eine Erhöhung des Erhaltungsumsatzes ein, bei einer wurde eine Verminderung gefunden. Die Resultate lauten also auch hier ziemlich ähnlich wie jene der früheren Expeditionen von Zuntz und Schumburg sowie von A. Loewy und seinen Mitarbeitern, und zwar in dem Sinne, daß bereits in mäßigen Höhen eine Steigerung der Verbrennungsvorgänge eintreten kann, daß aber eine solche möglicherweise bei manchen Individuen selbst in einer Höhe von 4560 *m* fehlt.

Die Unsicherheit der Ergebnisse der Gasanalysen mangels eines geeigneten, in großen Höhen verwendbaren Analysenapparates veranlaßte Zuntz im Jahre 1902, neuerliche Versuche über den Gaswechsel im Höhenklima anzuregen. Er rüstete deshalb zu diesem Zwecke gemeinsam mit Durig im Sommer 1903 eine neue Expedition auf den Monte Rosa aus, die sich ausschließlich mit der Klarstellung der Frage nach dem Gaswechsel des Menschen in einer Höhe von 2900 und 4560 *m* in lange ausgedehnter Versuchsreihe befassen sollte. Die bereits vor Erscheinen des Buches über Höhenklima und Bergwanderungen veröffentlichten und daher in diesem Werke schon berücksichtigten Resultate lauteten dahin,² daß

¹ Höhenklima und Bergwanderungen. Bong, Leipzig, Berlin 1906.

² Arch. f. (Anat. und) Physiologie 1904. Suppl., p. 417.

in Col d'Olen während der wenigen Aufenthaltstage bei der einen Versuchsperson (D) eine deutliche, bei der anderen (Z) eine weniger ausgesprochene Erhöhung des Umsatzes beobachtet wurde. Während des fast drei Wochen dauernden Aufenthaltes auf dem Monte Rosa-Gipfel zeigte sich bei beiden Versuchspersonen eine ganz eindeutige und vollkommen klar ausgesprochene Steigerung des Verbrennungsprozesses in Körperruhe. Auch hierüber soll die Diskussion an späterer Stelle eröffnet werden.

Im Jahre 1905 veröffentlichte Kuss¹ die Ergebnisse von Respirationsversuchen in Angicourt, Chamonix und dem Refuge Vallot auf dem Mont Blanc. Die Resultate scheinen auf den ersten Blick recht vertrauenerweckend und viel verlässlicher als jene, die Bayeux mit seiner Frau bei zwei Besteigungen des Mont Blanc gewann. Die Veröffentlichung von Kuss ist aber so knapp gehalten, daß man aus ihr kaum mehr als die vom Verfasser abgeleitete Folgerung entnimmt, nach der bei einem Wechsel im Aufenthalt zwischen der Ebene und dem Refuge Vallot keine Änderung im Umsatz eintreten soll. Kuss arbeitete auch wie ältere Autoren mit einem äquilibrierten Spirometer, in dem er die Expirationsgase auffing. Die großen Bedenken, die gegen die Verwendung dieser Methodik im Höhenklima bestehen, sind wohl naheliegend. Über die Durchführung der Beobachtungen erfahren wir nur, daß sich die Versuchspersonen in nüchternem Zustande befanden und möglicher Körperruhe befleißigten. Die an sieben Teilnehmern gewonnenen Ergebnisse sind in einer einzigen, kargen Übersichtstabelle zusammengefaßt, aus der wir nur je einen Wert entnehmen, der der Kontrolle zugänglich ist. Es ist dies der Gaswechsel an der Versuchsperson G. K. Der Genannte wog im Jahre 1903 und 1904 gleichmäßig 52 kg. Das Atemvolum betrug aber bei ihm am selben Orte in einem Jahre 5·88 l, im anderen 4·63 l. Das entspricht einer Differenz von 27 %, die dann, wenn es sich um Mittelwerte handelt, gewiß sehr groß ist. Für den Sauerstoffverbrauch der untersuchten Person liegen ebenfalls nur die gewiß sehr wenig stimmenden Werte von 221 und 200 cm³ pro Minute vor. Die mitgeteilten Zahlen sprechen übrigens keineswegs für die Anschauung, daß das Höhenklima ohne Einfluß auf den Erhaltungsumsatz sei, denn man kann aus den angeführten Zahlen sehr wohl herauslesen, daß bei sechs von den sieben Versuchsteilnehmern eine Steigerung des Umsatzes in einer Höhenstation aufgetreten ist. Dies geht zum Beispiel aus dem Verhalten des Herrn »Dav« hervor. Bei diesem betrug der Sauerstoffverbrauch in Chamonix (1065 m) 239 cm³ pro Minute, während beim selben Individuum in Angicourt nur ein Verbrauch von 205 cm³ Sauerstoff pro Minute zur Beobachtung gelangte. Es ist demnach in der Höhenstation eine Zunahme um 17 % erfolgt. Kuss gibt nun an, daß er ebensolche Schwankungen in den Werten für den Sauerstoffverbrauch in der Ebene beobachtet habe. Da wir doch annehmen müssen, daß die mitgeteilten Zahlen nicht die Ergebnisse von Einzelbeobachtungen sind, sondern Mittelwerte aus mehreren Beobachtungen vorstellen, so sind die Unterschiede zwischen den Einzelversuchen noch als wesentlich größer anzunehmen, und man darf wohl nicht erwarten, daß derartige Versuche Umsatzsteigerungen im Hochgebirge anzeigen werden, da wir sehen werden, daß diese nicht höher sind als jene Fehlergrenzen, die Kuss in seinen Versuchen zugesteht. Man wird den mitgeteilten Resultaten daher nicht allzu viel Vertrauen entgegenbringen dürfen. Keinesfalls kann man aber auf Grund des Erwähnten die vom Verfasser angeführten Größen als absolute ansehen.

Auf eine Bemerkung in der Veröffentlichung von Kuss müssen wir übrigens noch eingehen. Kuss glaubt, daß die Annahme einer Umsatzsteigerung im Hochgebirge durch Zuntz nur in irriger Weise gemacht wurde, da die von Zuntz gewonnenen Resultate nur scheinbar für eine Erhöhung der Stoffwechselvorgänge sprechen. Zuntz habe die respiratorischen Quotienten nicht hinreichend berücksichtigt. Diese Auffassung entspricht nicht den Tatsachen. Es wurde in den Versuchen von Zuntz und seinen Mitarbeitern nicht nur eine eigene Diskussion der Höhe des respiratorischen Quotienten gewidmet, sondern mit Hilfe des respiratorischen Quotienten und unter Bezugnahme auf die Größe des Sauerstoffverbrauchs, durch die von Zuntz selbst ersonnene Methode der Berechnung, die Größe des kalorischen Umsatzes festgestellt. Übrigens beweisen die früheren, wie unsere neuen, zahlenmäßigen Ergebnisse, daß eine

¹ Comptes rendus, t. CXIV, p. 273—275.

Änderung des respiratorischen Quotienten im Hochgebirge in diesen Höhen nicht eintritt. Ferner ist es wohl jedem, der mit der Methodik der Respirationsversuche vertraut ist, bekannt, daß mit dem Beginne der Beobachtungen zugewartet werden muß, bis die Atmung eine gleichmäßige geworden ist, um der Gefahr einer Fälschung der Resultate durch ein Auswaschen von Kohlensäure aus dem Körper zu begegnen. Diese Vorsichtsmaßregel wurde speziell von Zuntz und seinen Schülern betont und natürlich auch stets berücksichtigt.

In das Jahr 1905 fallen auch die Beobachtungen von Durig auf der Sporner Alpe, bei denen die Durchführung von Ruherespirationsversuchen nötig war, um die Grundlagen für die Arbeitsversuche zu gewinnen. Die hierbei erzielten Resultate berechtigten zu dem Schlusse, daß bei der einen der beiden Versuchspersonen in der Höhe von 1326 *m* eine lange dauernde Steigerung der Verbrennungsvorgänge eingetreten war, während eine solche bei dem zweiten Teilnehmer an den Versuchen nur vorübergehend zur Beobachtung gelangte. Im Jahre 1906 schließen sich daran unsere neuen Respirationsversuche an, deren Veröffentlichung Gegenstand dieser Abhandlung ist.

So weit reicht das bisher vorliegende, bemerkenswerteste Tatsachenmaterial. Überblickt man die Schlüsse, die aus den Resultaten der verschiedenen Expeditionen von deren Leitern gezogen wurden, so ergibt sich, daß in der Mehrzahl der Fälle das Auftreten einer Umsatzsteigerung im Hochgebirge abgeleitet wurde, während in einzelnen Fällen eine solche gefehlt haben soll, oder sogar eine Verminderung der Verbrennungsvorgänge als wahrscheinlich angenommen wurde. Im folgenden sollen nur die einschlägigen Beobachtungen von Jaquet und Staehelin und jene von Zuntz und seinen verschiedenen Schülern weitere Berücksichtigung finden, da diese Versuche sämtlich mit einer einheitlichen Methodik durchgeführt wurden, von der wir wissen, daß sie bei richtiger Handhabung absolut richtige Werte liefert. Es wird jedoch nötig sein, auch die mit den Geppert-Zuntz'schen Verfahren gewonnenen Resultate hinsichtlich ihrer Verlässlichkeit und Verwertbarkeit zu prüfen.

Zu diesem Zwecke wollen wir auf Grund der bereits veröffentlichten Versuchsprotokolle in älteren Versuchen, ebenso wie bei den in vorliegenden, erst zu besprechenden neuen Werten, die Breite der Abweichungen in zusammengehörigen Versuchen nach einem einheitlichen Prinzip abzuleiten trachten, um ein Urteil darüber gewinnen zu können, ob die, aus der Verschiedenheit der Mittelwerte der einzelnen Versuchsserien, gezogenen Schlüsse berechtigt sind, oder ob die Unterschiede sich noch mit den möglichen, aus dem Verhalten der Versuchspersonen und der Methodik entspringenden Schwankungen decken.

Die nachfolgende Tabelle enthält, zu diesem Zwecke zusammengestellt, die Größe des Sauerstoffverbrauches, die in jenen Beobachtungen ermittelt wurde, welche zur Feststellung der sicheren Tatsachen in der folgenden Auseinandersetzung berücksichtigt werden sollen. Bezüglich der Anordnung der Werte muß erwähnt werden, daß die Kolonne *c* die Zahl der Beobachtungen angibt, die von den einzelnen Autoren zur Berechnung des Mittelwertes in ihren Veröffentlichungen verwertet wurden. In den Versuchen der Expedition 1901 sind dabei die ganz aus der Reihe fallenden oder aus anderen Gründen unsicheren Werte bereits eliminiert, während wir bei den Versuchen von Jaquet, von Durig auf der Sporner Alpe und unseren Beobachtungen anlässlich der Expedition 1906 keine Auswahl trafen und die Resultate so wie sie sich aus Analyse und Berechnung ergaben sämtlich in die Mittelwerte einbezogen; dadurch sind die absoluten und relativen Abweichungen gegenüber den Beobachtungen der anderen Autoren natürlich verhältnismäßig größer ausgefallen, als sie geworden wären, wenn wir alle jene Beobachtungen, bei denen Notizen im Protokoll eine Rechtfertigung für einen abnormen Wert geben, ausgeschaltet hätten. Wir zogen diese Ungleichförmigkeit, die auf unsere Resultate ungünstiger wirkt, vor, um diese nicht in irgendeinem Sinne zu beeinflussen. Ganz aus der Reihe fallende Werte, die eine Ausschaltung sicher gerechtfertigt hätten, finden sich übrigens in unseren Beobachtungen vom Jahre 1906 nur sehr selten.

[illegible]

Ergebnisse der Monte Rosa-Expedition.

145

Tabelle VI a (1. Fortsetzung).

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>i</i>	<i>k</i>
Name	Ort	Zahl der Versuche	Mittelwert <i>cm</i> ³ O ₂	Extreme Werte	Differenz <i>cm</i> ³ O ₂	$\frac{100 f}{d}$ Prozent	Arithmet. Mittel der Abweichungen <i>cm</i> ³ O ₂	$\frac{100 h}{d}$ Prozent	Literaturangabe
Loewy	Rothorn	6	211	193 230	37	17·5	13·3	6·3	»Höhenklima« von Zuntz und Mitarbeitern
	Monte Rosa	5	262	227 324	107	40·8	19·8	7·5	
Caspari	Berlin	4	224	221 229	8	3·6	2·7	1·2	
	Brienz	6	224	212 241	29	12·9	6·8	5·2	
	Rothorn	3	226	224 228	4	1·8	1·2	0·5	
	Monte Rosa	4	325	244 445	201	61·8	44·8	13·8	
Müller	Berlin	3	248	247 249	2	1	0·7	0·2	
	Brienz	10	237	217 258	41	17·3	11·6	4·9	
	Rothorn	4	249	234 258	24	18·5	7·5	2·9	
	Col d'Olen	4	229	213 237	24	10·5	8·2	3·5	
Waldenburg	Brienz	5	257	239 270	31	12·3	13·0	5·0	
	Rothorn	4	252	231 262	31	10·5	10·5	4·1	
	Col d'Olen	4	279	251 312	61	24·8	24·8	8·8	
Zuntz	Brienz	3	231	219 244	25	9·0	9·0	3·9	
	Rothorn	4	248	223 287	64	19·2	19·2	7·7	
	Monte Rosa	3	332	298 372	74	26·3	26·3	7·9	

Tabelle VIa (2. Fortsetzung).

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>i</i>	<i>k</i>
Name	Ort	Zahl der Versuche	Mittelwert <i>cm</i> ³ O ₂	Extreme Werte	Differenz <i>cm</i> ³ O ₂	$\frac{100 f}{d}$ Prozent	Arithmet. Mittel der Abweichungen <i>cm</i> ³ O ₂	$\frac{100 h}{d}$ Prozent	Literaturangabe
Durig	Wien	12	232	223 239	16	6·8	5·0	2·1	Archiv für Anatomie und Physiologie, 1904, Suppl.
	Col d'Olen	3	224	231 261	30	12·4	12·3	5·2	
	Monte Rosa	14	277	260 289	29	10·4	9·8	3·5	
Zuntz	Col d'Olen	3	232	223 241	18	7·7	9·0	3·9	
	Monte Rosa	16	259	242 282	40	15·6	10·5	4·0	
Durig	Sporner Alp	18	240	221 263	42	17·5	12·8	5·3	Pflüger's Archiv, Bd. 113.
Frau Durig	»	11	213	196 228	32	15·0	8·7	4·1	
Jaquet	Basel	12	227	212 247	35	15·4	7·0	3·8	Archiv für exp. Pathologie 46, p. 309
	Chasseral	21	247	210 270	60	24·3	12·8	5·2	
	Basel	12	259	240 308	68	26·2	15·9	6·1	
Kolmer	Wien	10	257	249 265	15	5·8	3·5	1·3	Expedition 1906
	»	5	254	243 266	23	9·0	8·8	3·4	
	»	5	258	255 259	4	1·6	1·0	0·4	
	Alagna	6	239	230 248	18	7·4	4·0	1·7	
	Monte Rosa	6	279	266 290	24	8·2	9·3	3·3	
Rainer	Wien	10	233	221 252	31	13·2	11·5	5·2	

Ergebnisse der Monte Rosa-Expedition.

147

Tabelle VIa (Schluß).

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>i</i>	<i>k</i>
Name	Ort	Zahl der Versuche	Mittelwert $\text{cm}^3 \text{O}_2$	Extreme Werte	Differenz $\text{cm}^3 \text{O}_2$	$\frac{100 f}{d}$ Prozent	Arithmet. Mittel der Abweichungen $\text{cm}^3 \text{O}_2$	$\frac{100 h}{d}$ Prozent	Literatur-angabe
Rainer	Wien	4	218	215 222	7	3·2	3·0	1·4	Expedition 1906
	Alagna	5	220	201 236	35	16·9	11·5	5·2	
	Monte Rosa	6	260	254 268	14	5·4	4·0	1·6	
Durig	Wien	6	212	201 220	19	9·0	5·8	2·8	
	»	10	213	209 226	15	4·0	1·5	0·7	
	Semmering	7	227	221 240	19	7·9	5·4	2·2	
	Alagna	5 ¹	212	206 219	13	6·1	4·8	2·2	
Reichel	Monte Rosa	6	271	261 284	23	8·5	8·8	3·2	
	Wien	10	271	262 284	22	8·0	6·0	2·2	
	»	12	268	251 279	28	10·5	3·5	1·3	
	Semmering	3	286	276 305	29	10·1	10·0	3·5	
	»	4	247	241 254	13	5·2	4·2	1·7	
	Alagna	6	252	242 259	17	6·7	4·8	1·9	
	Monte Rosa	6	309	283 328	45	14·2	10·2	3·3	

¹ Außerdem 2 Versuche am 5./IX.

Stab *d* gibt den Mittelwert wie er in den Generaltabellen angeführt ist. Stab *e* enthält den größten und kleinsten Wert der betreffenden Versuchsreihe, die natürlich in jenen Beobachtungen, bei denen nur zwei Versuche ausgeführt wurden, wie bei der Expedition vom Jahre 1896, das ganze Versuchsmaterial vorstellen. Stab *f* enthält die Differenz der extremen Werte, die darin enthaltenen Größen stellen demnach die maximalen Unterschiede in jeder Versuchsreihe vor. In Stab *g* ist das Verhältnis eingetragen, in dem die maximale Abweichung der Werte einer Reihe zum Mittelwert steht; wir möchten dies als die »relative, maximale Abweichung« bezeichnen. Kolonne *h* enthält die Summe sämtlicher Abweichungen vom Mittelwert einer Reihe, die ohne Rücksicht auf das Vorzeichen addiert wurden, dividiert durch die Zahl der Versuche in der betreffenden Reihe. Bleiben wir bei den üblichen Bezeichnungen für die Berechnung des mittleren Fehlers der einzelnen Messung

$$\pm \sqrt{\frac{\sum d^2}{n-1}},$$

so würden wir unsere Form der Berechnung mit $\frac{\sum d}{n}$ kennzeichnen müssen. Es schien uns zwecklos, in

unserem Falle die Methode der kleinsten Quadrate anzuwenden, da diese wegen der Berechnung der vielen Quadrate und deren Summen recht umständlich gewesen wäre und uns kaum mehr über die größere oder geringere Güte der Versuche ausgesagt hätte, als unser vereinfachtes Verfahren; denn es war ja nicht der Zweck, der bei der ungefähren Feststellung der Breite der Abweichungen erreicht werden sollte, den wahrscheinlichen Fehler des Mittelwertes oder der einzelnen Beobachtung mit einer trügerischen Genauigkeit feststellen zu wollen. Man denke hierbei nur an die vielfach so geringe Zahl der Einzelwerte in den Versuchsreihen! Stab *i* gibt endlich das, was wir als relative, mittlere Abweichung¹ bezeichnen möchten; die Werte zeigen an, in welchem Verhältnis die Größe der mittleren Abweichung zum Mittelwert steht. Wir sind uns wohl bewußt, daß auch diese objektive Form der Beurteilung der Wertigkeit der Versuche einer gewissen Härte und Einseitigkeit nicht entbehrt; es ist aber wohl in anderer Form sehr schwer möglich, ohne die Anführung sämtlicher Einzelwerte, das was man über deren Brauchbarkeit zu sagen hätte, zum Ausdruck zu bringen. Natürlicherweise kommen Versuchsreihen, die nur aus zwei unmittelbar anschließenden Doppelbeobachtungen bestehen, die ja untereinander ganz übereinstimmen sollten, zu einem sehr guten Kalkül, wenn sie nicht allzusehr voneinander abweichen; deshalb möge stets ein Blick auf die Kolonne *c* lehren, durch welches Beweismaterial die Resultate, die an einem Orte gewonnen wurden, gestützt sind.²

Überblickt man die Größen in den letzten vier Kolonnen vor der Spalte *k*, so sieht man, daß die Werte in allen Spalten durchschnittlich kleiner werden je weiter wir in der Durchsicht der Tabelle vorschreiten. Wir wollen nur die relative, mittlere Fehlerbreite betrachten. Diese steigt im Jahre 1895 noch bis zu 12·8 % an und erreicht in keiner der Reihen einen unter 6 % gelegenen Wert. Im Jahre 1901 wurden so hohe Werte wie 1895 bereits nicht mehr erreicht, immerhin steigen die Quotienten in Spalte *i* noch einmal auf nahezu 14 und nur die Hälfte der Werte liegt unter einer Größe von 5 %. Wesentlich günstiger ist bereits der Eindruck, den man über die Verlässlichkeit der Versuche von der Expedition 1903 gewinnt; hier liegt nur mehr einer der fünf Quotienten über fünf und bei den Versuchen der Expedition, die Gegenstand dieser Ausführungen sind (1906), finden sich unter 20 Werten nur zwei, welche für die relative mittlere

¹ Es wird hier das Wort Durchschnittsfehler absichtlich vermieden, da die Abweichungen nicht schlechtweg als Fehler gedeutet werden dürfen. Es können beträchtliche Schwankungen in den Werten vorliegen, ohne daß es sich hierbei aber um Fehler zu handeln braucht. Die Abweichungen sind bedingt einerseits durch die Grenzen der Leistungsfähigkeit der Methodik und unvermeidliche, physiologische Schwankungen im Verhalten der Versuchsperson, denen eine gewisse Breite eingeräumt werden muß und andererseits durch wirkliche Fehler, denen außer den analytischen, Messungs- und Berechnungsfehlern auch jene zugezählt werden dürfen, die durch ungeschicktes Verhalten der Versuchsperson entstehen. Hierzu wären zu rechnen mangelnde Entspannung der Muskulatur, unregelmäßige oder sonstig modifizierte Atmung, Gasverlust etc.

² Im späteren werden Ergebnisse, die nicht durch mehr als mindestens zwei Beobachtungen gestützt sind, in der Regel übergangen werden und nicht weiter in der Diskussion verwertet.

Fehlerbreite die Höhe von 5% erreichen. Beide Werte stammen aus Versuchen, die an Rainer angestellt wurden. Rainer war, wie bereits oben erwähnt, derjenige, der mit der experimentellen Methodik am wenigsten vertraut war und vielleicht auch infolge seines jugendlichen Alters am meisten zu Ungleichförmigkeiten in der Spannung seiner Muskulatur neigte.

Einer besonderen Erwähnung bedürfen noch die Versuche von A. Loewy aus dem Jahre 1896 sowie jene von Jaquet und von Durig und seiner Frau. Die genannten Versuche Loewys zeigen ganz auffallend geringe Fehlergrenzen, die Ursache hierfür dürfte aber kaum an der Güte der Analysen und der Durchführung der Beobachtungen gelegen sein, die damals noch in recht primitiver Form ausgeführt werden mußten. Man muß bedenken, daß es sich auf der ganzen Expedition um 16 Ruheversuche handelte, die sich auf drei Versuchsteilnehmer und zwei Höhenstationen verteilen, so daß sich als Mittel für die Festlegung der Resultate an einer Versuchsperson unter denselben Verhältnissen nicht einmal drei Einzelbeobachtungen ergeben. Dadurch müssen natürlich, wie schon oben erwähnt, die Fehlergrenzen scheinbar recht geringe werden. Wie groß diese aber in der Tat gewesen sein dürften, ergibt sich, wenn man die Mittelwerte für den Sauerstoffverbrauch, die bei Loewy in diesem Jahre und fünf Jahre später bestimmt wurden, vergleicht (siehe Tab. VII, Spalte *a*); diese weichen um 22% voneinander ab, obwohl das Körpergewicht Loewy's sich nicht geändert hatte.

Die Größe für die relative, mittlere Abweichung liegt bei Jaquet höher als in den Versuchen von Durig und Zuntz, sowie von Durig und Frau Durig, sie nähert sich aber sehr jener, die für die Expedition des Jahres 1901 gelten kann, es ist dabei nur zu berücksichtigen, daß bei den Versuchen von Zuntz und seinen Mitarbeitern speziell die Beobachtungen auf dem Monte Rosa, die unter sehr ungünstigen Verhältnissen ausgeführt werden mußten, die relative Abweichungsbreite erhöhten. Unter Berücksichtigung dieses Umstandes erscheinen daher die Schwankungen in Jaquet's Versuchen größer. Wenn auch absolut genommen nieder, sind doch die relativen Abweichungen in den Versuchen von Durig und Frau auf der Sporner Alpe beträchtlich. Die Ursache hierfür ist darin gelegen, daß hier Werte zum Mittel vereinigt sind, die nach den Versuchsbedingungen nicht als vollkommen vergleichbar aufzufassen sind. Ähnliches gilt übrigens auch für einen Teil der Werte aus Brienz von der Expedition 1901. Bei Durig dürfte sich die größere Ungleichförmigkeit der Resultate, wie schon oben erwähnt, zum Teile auf die Aufmerksamkeit zurückführen lassen, die er der Tätigkeit seiner Frau bei den Apparaten anfänglich zuwendete.

Der nachstehende, kleine Überblick gibt in rohem Umriß das Gesagte zahlenmäßig wieder, indem die Mittelgrößen der relativen Abweichungen für eine jede der Expeditionen in chronologischer Reihenfolge angeordnet wurden. Sieht man von dem einzigen Sprung in der Reihe ab, der in der geringen Zahl der Beobachtungen bei Loewy's Expedition im Jahre 1896 begründet ist, so ergibt sich zahlenmäßig die fortschreitende Verbesserung, die die Methodik von einer Expedition zur andern erfahren hat. So sind denn die maximalen wie die mittleren relativen Abweichungen seit den ersten Versuchen von Zuntz und Schumburg auf den vierten Teil der ursprünglichen Größe abgesunken, gleichzeitig hat aber mit der größeren Bequemlichkeit des Arbeitens auch die Zahl der auf einer Expedition ausgeführten Versuche über den Erhaltungsumsatz wesentlich zugenommen.

Die Hauptursache für die Verbesserung der Resultate, die speziell in den Höhenstationen nunmehr ungleich weniger voneinander abweichen, liegt wohl darin, daß in den neuesten Beobachtungen die Analysen der Gase stets im gelüfteten Wasserbad ausgeführt wurden und bei den Beobachtungen des Jahres 1906 sogar ein Doppelanalysenapparat zur Verwendung gelangte, während bis zum Jahre 1903 auf Col d'Olen wie in der Gnifetti- und Margherita-Hütte die Ablesungen an dem frei in der Luft aufgehängten Eudiometer ausgeführt werden mußten. Die außerordentlich stark wechselnde Temperatur in den Schutzhütten und die Wirkung der strahlenden Wärme des Körpers, eventuell sogar des Ofens (wie Loewy bei seinem Versuche erwähnt) mußte naturgemäß einen nachteiligen Einfluß auf die Ergebnisse der Gasanalysen ausüben, der seinerseits wieder die Feststellung der Höhe des Gesamtumsatzes sehr ungünstig beeinflusste. Nach den zahlreichen Beobachtungen, die an vier verschiedenen Versuchspersonen im Jahre 1906 und 1907 ausgeführt wurden, können wir daher wohl mit einiger Berechtigung die Forderung auf-

Tabelle VIb.

Jahr	Expedition (Versuche) von:	Zahl der berück- sichtigten Versuche	Relative Breite der maximalen Abweichungen	Relative mittlere Abweichungs- breite
1895	Zuntz und Schumburg	23	30·2	9·4
1896	A. Loewy, J. Loewy und L. Zuntz . .	16	7·6	2·7
1899	Jaquet und Staehelin	45	23·0	5·0
1901	Zuntz, Loewy, Müller, Caspari, Kolmer und Waldenburg	103	17·5	5·0
1903	Zuntz und Durig	48	10·6	3·1
1905	Versuche von A. und S. Durig auf der Spörner Alp	39	16·2	4·6
1906	Expedition von Durig, Kolmer, Rainer und Reichel	134	7·0	2·4

stellen, daß die »Breite der relativen, mittleren Abweichung« in guten Versuchen 3 % des Mittelwertes womöglich nicht wesentlich übersteigen soll.

Der Erhaltungsumsatz in Höhen unter 1000 m.

Über den Erhaltungsumsatz in so geringen Höhen liegen, wie sich aus dem Vorangehenden ergibt, sofern es sich nicht um Versuche in der Ebene handelt, keine Beobachtungen vor, die wir in Diskussion zu ziehen hatten, als jene aus dem Jahre 1906, bei denen der Gaswechsel in Brienz in 500 m Höhe mit dem in Berlin verglichen wurde. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle geordnet; die Überschriften der Stäbe ergeben ohne weiteres die Bedeutung der in diesen enthaltenen Zahlen. Kolonne *h* und *i* enthalten die mittleren, relativen Breiten der Abweichungen (siehe den voranstehenden Abschnitt) für die beiden Höhenstationen, in Spalte *k* wurde die maximale Abweichung vom Mittelwert (gegenüber der Anführung der größten Abweichung der Werte in Tabelle VI) eingeführt.

Diese Werte dienen zum Vergleich mit der absoluten Größe der gefundenen Unterschiede zwischen Ebene und Höhenstation, beziehungsweise der relativen Änderung des Sauerstoffverbrauches.

Tabelle VII.

Brienz.

500 Meter.

(Verwertbare Ergebnisse über den Umsatz in 500 m Höhe liegen nur von Zuntz und seinen Mitarbeitern vor.)

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>i</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>		
N a m e	Berlin Mittelwerte für die Ebene <i>cm</i> ³ pro Minute		Brienz Mittelwerte für die Höhenstation <i>cm</i> ³ pro Minute		Änderung des Sauerstoffver- brauches		Relative, mittlere Breite der Ab- weichungen		Maximale Ab- weichungen vom Mittel ¹		Körper- gewicht <i>kg</i>			
	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	absolut	relativ	Ebene	Höhe	Ebene	Höhe	Ebene	Höhe		
					<i>e</i> — <i>c</i>	$\frac{100f}{c}$								
					<i>cm</i> ³	Prozent							<i>cm</i> ³ O ₂	
Zuntz	181·7	228·0	183·0	230·7	+ 2·7	1·1	—	3·9		14·7		68		
A. Loewy {	1896 ¹	134·2	185·8	155·3	202·4	+16·6	8·0		6·7		19·0	59 ³	61	
	1903 ²	177·7	227·0			—24·6	12·4					60		
	Mittel	150·8	206·4			— 4·0	7·0							
Müller	196·1	248·2	183·2	237·2	—11·0	4·6	0·2	4·9	1·0	21·0	73	73		
Caspari	171·8	223·7	174·5	224·0	+ 0·3		1·2	5·2	3·2	17·4	66	65		
Kolmer	212·4	267·5	205·8	248·3	—17·2	7·6	3·0	6·9	13·6	30·3	71	71		
Waldenburg . .	180·9	248·3	204·9	257·2	+ 8·9	3·5	1·3	5·0		18·4	56	56		

¹ Siehe auch A. Loewy. Oppenheimer's Handbuch der Biochemie, IV, p. 226.

² Pflüger's Archiv 103, p. 459. Die Sauerstoffwerte schwanken von 215 bis 239 cm^3 , die Versuche sind nach dem Frühstück ausgeführt.

³ Nach dem Gewicht A. Loewy's mit der Gasuhr siehe Pflüger's Archiv, Bd. 66.

⁴ Um einen einfacheren Einblick geben zu können, wurde die maximale Abweichung vom Mittelwert als Kriterium für die Beweiskraft der Versuche eingeführt, während oben in Tab. VI die Güte der Versuche außer durch die relative, mittlere Breite der Abweichungen durch die extremen Werte und deren Abweichung charakterisiert war. Es ist hierbei zu bemerken, daß die von dem Autoren selbst als wahrscheinlich unrichtig bezeichneten und daher von diesen eingeklammerten Werte auch in dieser Tabelle nicht in die Diskussion einbezogen sind.

Ein Überblick über die Tabelle lehrt, daß wir etwa $20cm^3$ Abweichungen vom Mittelwert nach oben und unten als maximal ansehen dürfen und 6% als relative, mittlere Abweichungsbreite betrachten können. Den Versuch an Loewy dürfen wir übrigens wegen der unsicheren Ruhewerte in Berlin wohl ausschalten. Es ergibt sich daher der Schluß, daß die Größe der Abweichungsbreiten eine hinreichende Erklärung für die beobachteten Änderungen im Sauerstoffverbrauch liefert und daher Schlüsse auf die Veränderung

des Umsatzes bei einem Flachländer, der aus der Ebene kommt und sich der Einwirkung eines Aufenthaltes in 500 *m* Höhe aussetzt, derzeit noch nicht gezogen werden können. Unzweifelhaft kann Brienz für einen Großstädter jedoch schon als Höhenstation bezeichnet werden, da die Höhendifferenz zwischen der Ebene und den Sommeraufenthalten, die von der Stadtbevölkerung aufgesucht werden, vielfach 400 *m* nicht übersteigt. Loewy leitet zwar aus dem Befund vermehrter Aminosäuren im Harn¹ die Anschauung ab, daß in solchen Höhen bei Muskularbeit schon Sauerstoffmangel zustande komme (hierüber an späterer Stelle), der auf Grund von Respirationsversuchen festgestellte Umsatz besagt aber nach obigen Resultaten, daß jedenfalls Schwankungen in der Höhe der Verbrennungsprozesse, die mehr als ganz wenige Prozente betragen, nicht eintreten dürften.²

Es wird noch weiterer Versuche bedürfen, diese gewiß wichtige Frage zu klären, um so mehr, als wir nach den oben angeführten Versuchen über die Einwirkung der Temperatur auf den Gaswechsel wissen, daß wir von dieser Seite aus eine Störung nicht zu erwarten haben werden.

Der Umsatz in 1000 *m* Höhe.

In einer Höhe von 1000 *m* verglichen Durig und Reichel den Umsatz mit jenem, den sie in Wien unmittelbar vor und nach einem Aufenthalte auf dem Semmering aufwiesen. Sie lebten während der zusammengehörigen Versuchsreihen ständig im Stoffwechselversuch und Durig befand sich auch im Stickstoffgleichgewicht.

Tabelle VIII.

Semmering. 1000 Meter.

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>i</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>				
N a m e	Wien Mittelwerte für die Ebene <i>cm</i> ³ pro Minute		Semmering Mittelwerte für die Höhenstation <i>cm</i> ³ pro Minute		Änderung des Sauerstoffver- brauches		Relative, mittlere Breite der Ab- weichungen		Maximale Ab- weichungen vom Mittel		Körper- gewicht <i>kg</i>					
	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	absolut	relativ	Ebene	Höhe	Ebene	Höhe	Wien	Semme- ring				
					<i>e</i> — <i>c</i>	$\frac{100f}{c}$										
					<i>cm</i> ³	Prozent							Prozent		<i>cm</i> ³ O ₂	
Durig	173·6	211·8	192·7	226·9	+16·3	+ 7·2	2·4	2·2	8·7	6·1	60·0	59·7				
Reichel	222·6	274·9	229·6	286·6	+11·7	+ 4·1	1·0	4·3	4·4	18·3	79·4	79·7				
			209·2	247·4	—27·5	— 11·1	1·0	1·6	4·4	6·7						
Mittel	—	—	—	—	—	—	1·5	2·7	5·9	13·3						

¹ Deutsche med. Wochenschrift 1905, Nr. 48.

² Mit Ausnahme der Versuche an Kolmer, bei dem der Ausschlag (Spalte *g*) 7·6 ‰, die relative mittlere Breite der Abweichungen 6·9 ‰ beträgt (Spalte *i*), übersteigt die Größe der relativen Änderung des Sauerstoffverbrauches die mittlere Breite der Abweichungen nicht, wie sich aus dem Vergleich der übrigen Werte der Spalten *g* und *i* ergibt.

Bei Durig wie bei Reichel sind die absoluten Größen für die Änderung des Sauerstoffverbrauches im Mittelwert so bedeutend, daß diese durch die möglichen Fehler, selbst wenn sich die relativen Fehlerbreiten für Wien und für den Semmering addiert hätten, nicht erklärt werden könnten. Für Durig steht daher eine ganz beträchtliche Erhöhung des Umsatzes auf dem Semmering gegenüber Wien außer allem Zweifel, bei Reichel ist durch einen auffallend abweichenden Wert am ersten Versuchstag die maximale Abweichung vom Mittelwert größer, so daß die Zunahme des Umsatzes¹ im Beginne des Semmeringaufenthaltes bei ihm in Zweifel zu ziehen ist, jedenfalls hat sich aber bei ihm im Anschluß daran eine auffallende Abnahme der Verbrennungsvorgänge eingestellt, die nicht mehr durch die Fehlerbreite zu erklären ist. Wenn man übrigens die einzelnen Versuche bei Durig betrachtet,² so findet man ein Verhalten, das jenem Reichel's nicht unähnlich ist. Die deutliche Umsatzsteigerung erstreckt sich ganz besonders auf den ersten Versuchstag, während sie am zweiten Versuchstag schon wesentlich vermindert war. Bei beiden Versuchspersonen hatte demnach der Aufenthalt auf dem Semmering zuerst zu einer Umsatzsteigerung Anlaß gegeben, die bei Durig sicher ausgesprochen, bei Reichel weniger einwandfrei zu erkennen war, bei beiden Personen bildete sich diese Zunahme der Verbrennungsvorgänge bald zurück, so daß bei Reichel direkt eine Verminderung des Erhaltungsumsatzes zustande kam.

Der Umsatz in Höhen von 1000 bis 2000 *m*.

Aus diesen Regionen stammen die Beobachtungen von Mermod (1100 *m*), Mosso (1627 *m*), Veraguth (1769 *m*), Zuntz und Schumburg (1632 *m*), Jaquet und Staehelin (1600 *m*), Durig und Frau (1326 *m*) und von Kuss 1065 *m*.

Auf die Bewertung der Resultate der Mehrzahl der genannten Autoren wurde schon oben eingegangen. Es sei nur erwähnt, daß die Zahlen, die Mermod, Veraguth, Zuntz und Schumburg, Jaquet und Staehelin, Durig und Kuss erhielten, teilweise im Sinne einer Zunahme der Verbrennungsprozesse sprechen und in keiner dieser Reihen ein wirklicher Gegenbeweis gegen eine solche erbracht ist. In folgender Tabelle sollen die beweiskräftigsten der Versuche nach den erwähnten Gesichtspunkten geordnet zur Diskussion gestellt werden.

Durig fand bei seiner Frau eine ausgesprochene Zunahme des Umsatzes auf der Sporner Alpe, die unzweifelhaft über den Fehlergrenzen liegt. Für ihn selbst liegt der Mittelwert sämtlicher Versuche zwar ebenfalls etwas höher als der in Wien gewonnene, aber nur so unwesentlich, daß hieraus keine Schlüsse gezogen werden dürfen, um so mehr, wenn man in Betracht zieht, daß Durig durch das Training auf der Sporner Alpe sicher Stickstoff angesetzt hatte. Berücksichtigt man bei ihm jedoch die Werte, die an den beiden ersten Versuchstagen gewonnen wurden, gesondert von jenen, die später erhalten wurden, so ergibt sich, wie Tabelle IX lehrt, eine deutliche Zunahme des Erhaltungsumsatzes im Beginne des Aufenthaltes in der Höhenstation, die aber bald rückgängig gemacht wurde. Die Umsatzwerte sind bezogen auf dasselbe Körpergewicht wie in Wien, in den späteren Versuchen sicher erniedrigt.³ Durig verhielt sich also hier ganz analog wie Reichel auf dem Semmering und auch die an ihm daselbst gewonnenen Ergebnisse deuten darauf hin, daß die anfänglich vorhandene Erhöhung der Verbrennungsvorgänge wieder rückgängig gemacht wurde.

Es waren übrigens auch bei seiner Frau die Werte für Sauerstoffverbrauch und Kohlensäureproduktion an den späteren Tagen des Aufenthaltes niedriger als am Beginne, wenn sie auch stets die Wiener Werte noch übertrafen.

In den Beobachtungen Jaquet's halten sich maximale Abweichung vom Mittelwert und Änderung des Sauerstoffverbrauches ungefähr das Gleichgewicht, die relative, mittlere Breite der Abweichungen liegt

¹ Siehe Generaltabelle XI.

² Siehe Generaltabelle IX.

³ Aus den Werten, die in der Tabelle IX eingetragen sind, kann dies nicht abgeleitet werden, sondern nur aus den Originalzahlen. Aus der Tabelle ergibt sich nur beweisend eine Verminderung aus den Werten 261 gegen 234.

aber jedenfalls niedriger als die relative Änderung des Sauerstoffverbrauches, so daß die Werte wohl unzweifelhaft für eine Umsatzsteigerung sprechen, die Sicherheit derselben ist jedoch, wie später erwähnt werden wird, wegen ihrer absoluten Höhe eine zweifelhafte. Wenn man aber annimmt, daß der angeführte Wert für den Sauerstoffverbrauch, der aus der Ebene stammt, durch die nämlichen Bedingungen beeinflusst war wie jener vom Versuch auf dem Chasseral, so kann man an dem Schluß auf eine Erhöhung des Erhaltungsumsatzes festhalten.

Tabelle IX.

Sporner Alpe, Chasseral, Zermatt.

1000 bis 2000 Meter.

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>i</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>
N a m e	Mittelwerte für die Ebene <i>cm</i> ³ pro Minute		Mittelwerte für die Höhenstation <i>cm</i> ³ pro Minute		Änderung des Sauerstoffverbrauches		Relative, mittlere Breite der Abweichungen		Maximale Abweichungen vom Mittel		Körpergewicht <i>kg</i>	
	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	absolut	relativ	Ebene	Höhe	Ebene	Höhe	Ebene	Höhe
					<i>e</i> — <i>c</i>	$\frac{100f}{c}$						
					<i>cm</i> ³	Prozent	Prozent		<i>cm</i> ³ O ₂			
Durig	178.4 —	231.7 —	202.0 183.6	261.2 234.2	+39.4 + 2.5	15.9 1.0	2.1 —	1.5 5.6	9.1 —	6.1 17.8	59.0 —	62.8 63.7
Frau Durig . . .	151.1	194.6	161.9	213.2	+18.6	8.9	3.1	4.1	6.2	17.7	45.0	46.0
Jaquet	179.5	227.0	206.0	247.0	+20.0	8.0	3.8	5.2	20.0	23.0	81.5	—
Zuntz	186.4	242.0	187.2	219.2	—23.8	10.8	9.4	10.0	37.0	39.0	—	—
Schumburg . . .	228.6	275.3	236.6	278.1	+ 3.2	1.2	12.8	5.9	33.6	57.3	—	—

Die Versuche von Zuntz und Schumburg zeigen, als die ersten Gebirgsversuche, in denen mit der Geppert- Zuntz'schen Methode gearbeitet wurde, wie erwähnt, die größten Abweichungsbreiten; die relativen wie die absoluten Abweichungen vom Mittelwert decken die gefundene Änderung im Sauerstoffverbrauch in der Höhenlage vollkommen, es kann daher aus ihnen nur abgeleitet werden, daß größere Änderungen im Sauerstoffverbrauch als den damaligen Fehlergrenzen entsprachen, nicht anzunehmen sind. Die Grenzen sind hierdurch aber so weit gezogen, daß man diese Beobachtungen, so wertvoll sie für die Sammlung von Erfahrungen über das Arbeiten im Hochgebirge waren, wohl am besten ausschalten dürfte.

Für den Umsatz in Höhen von 1000 bis 2000 *m* liegt daher eigentlich recht wenig beweiskräftiges Material vor. Die einwandfreiesten Versuche bleiben immer noch jene von Durig und Frau, die eine anfängliche, allmählich sich vermindernde Zunahme des Umsatzes in 1326 *m* Höhe ergaben; doch auch diese Beobachtungen bedürfen noch weiterer Ergänzung und Sicherung, da die Zahl der Versuche gering ist und die Reihen nicht täglich fortgesetzt wurden.

Die in Alagna angestellten Versuche dürfen hier nicht angeführt werden, da sie sich nicht auf das Verhalten des Umsatzes beim Übergang von der Ebene in die Höhenstation beziehen; sie werden im Kapitel über die Nachwirkung des Höheng Aufenthaltes behandelt werden.

Der Erhaltungsumsatz in Höhen von 2000 bis 3000 m.

In diesen Höhen, die schon über jenen Regionen liegen, die noch für Höhengsanatorien in Betracht kommen, stellten Marcet, Zuntz und Schumburg, A. Loewy, J. Loewy und L. Zuntz, ferner Bürgi, Zuntz, Loewy, Müller, Caspari, Kolmer und Waldenburg, und endlich Zuntz und Durig sowie Kuss Beobachtungen an. Bürgi's Versuche haben wir schon oben besprochen und wollen sie darum, weil sie nicht Werte über den Erhaltungsumsatz lieferten, ausschalten; auch auf die Beobachtungen von Kuss glauben wir nach dem bereits Angeführten nicht mehr eingehen zu sollen. Es erübrigen daher nur mehr die Versuche, die von der Zuntz'schen Schule ausgeführt wurden.

Beim ersten Überblick über Tabelle X scheint mit Ausnahme von drei Versuchspersonen bei allen eine Steigerung des Umsatzes in der Höhe ausgeprägt. Beim näheren Zusehen müssen wir die Sicherheit dieses Urteiles allerdings sehr stark einschränken. Es seien vorerst die Befunde an jenen Personen, die eine Umsatzverminderung zeigten, besprochen. Der Versuch an A. Loewy dürfte wegen der unsicheren Berliner Werte, die die Grundlage für den Vergleich geben sollten, kaum diskutiert werden können. Wie oben erwähnt, liegt aus dem Jahre 1896 ein Mittelwert für den Sauerstoffverbrauch pro Minute von 185.8 cm^3 vor und ferner finden wir sechs Versuche von zwei Tagen aus dem Jahre 1903, und auch an jedem dieser Tage schwankten die Größen für den Sauerstoffverbrauch um rund 11%. Trotz der zufälligen Übereinstimmung der allerdings äußerst spärlichen Werte aus der Höhenstation, die ja unter ungleich ungünstigeren Bedingungen als in Berlin gewonnen wurden, übertreffen die Fehlergrenzen der Berliner Versuche die gefundenen Unterschiede so sehr, daß diese zu keiner Aussage über eine mäßige Änderung des Umsatzes berechtigen. Bezüglich des Ergebnisses an A. Loewy nehmen die Verfasser¹ selbst an, daß die geringe Abnahme des Sauerstoffverbrauches noch innerhalb der »physiologischen Schwankungen« gelegen sei. Endlich kommt Müller in Betracht. Der Versuch scheint wirklich für eine Abnahme des Umsatzes zu sprechen und auch nach den Werten über die Größe der Abweichungen kann man kaum umhin zuzugeben, daß wirklich eine Abnahme des Umsatzes vorliegt. Hier handelt es sich aber um eine der Schwächen unserer Fehlerrechnung, weshalb die Originaldaten angeführt sein mögen.

Die Höhe des Sauerstoffverbrauches bei Müller wurde nämlich folgendermaßen (Kubikzentimeter pro Minute) ermittelt:

2. September	253.0	6. September	232.0
4. » 	213.0	6. » 	236.6
4. » 	235.9		

Wegen eines gewiß unrichtigen Wertes für die Kohlensäureproduktion wurde der Wert am 2. September ausgeschaltet. Bedenkt man, daß die Respirationsversuche an Müller von dem damals noch recht unerfahrenen Waldenburg ausgeführt wurden, und daß die Gase auf Col d'Olen unter sehr ungünstigen Bedingungen analysiert werden mußten, so kann man kaum mehr zweifeln, daß die Breite der Abweichungen infolge der Grenzen der Genauigkeit allein schon die Größe des Ausschlags bedingte, jedenfalls ist der Ausschlag nach unten nicht als bewiesen zu erachten. Vergleicht man, wie schön die an Müller in Berlin ausgeführten Versuche untereinander übereinstimmen mit der Unstimmigkeit der auf Col d'Olen gewonnenen Werte, so wird dieses Urteil begründet erscheinen. Es ließe sich übrigens aus den Zahlen unschwer das Gegenteil, nämlich eine Zunahme des Umsatzes ableiten. Der vor dem Aufstieg auf den Monte Rosa in Brienz (also in der Ebene gegenüber dem Monte Rosa) gewonnene Mittelwert für den

¹ Pflüger's Arch., 66, p. 522.

Tabelle X.

Brienzer Rothorn 2130, Bétempshütte 2800, Col d'Olen 2856 Meter.

2000 bis 3000 Meter.

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>
Name und Höhenstation	Mittelwerte für die Ebene <i>cm</i> ³ pro Minute		Mittelwerte für die Höhen- station <i>cm</i> ³ pro Minute		Änderung des Sauerstoff- verbrauches	
	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	absolut	relativ
					<i>e-c</i>	$\frac{100f}{c}$
					<i>cm</i> ³	Prozent
Kolmer (2130 <i>m</i>)	212·4	267·5	222·4	268·4	+ 0·9	+ 0·3
Waldenburg (2130 <i>m</i>)	180·9	248·3	198·5	252·4	+ 4·1	+ 1·6
Caspari (2130 <i>m</i>)	171·8	223·7	186·9	226·3	+ 3·4	+ 1·5
Müller (2130 <i>m</i>)	196·1	248·2	182·9	248·5	+ 0·3	+ 0·1
Loewy (2130 <i>m</i>) { 1896	134·2	285·8	170·9	211·4	+ 5·0	+ 2·4
1901	177·7	227·0				
Mittel	150·8	206·4				
Zuntz (2130 <i>m</i>)	181·7	228·0	192·7	247·9	+19·9	+ 8·1
A. Loewy (2856 <i>m</i>) { 1896	134·2	185·8	187·2	197·8	- 8·6	- 4·8
1901	177·7	227·0				
Mittel	150·8	206·4				
J. Loewy (2856 <i>m</i>)	187·0	239·0	198·9	225·7	-13·3	- 5·8
L. Zuntz (2856 <i>m</i>)	206·6	232·5	225·4	340·4	+ 7·9	+ 2·3
Waldenburg (2856 <i>m</i>)	180·9	248·3	227·0	279·1	+30·8	+10·7
Müller (2856 <i>m</i>)	196·1	248·2	186·4	229·4	-18·8	- 8·2
Durig (2856 <i>m</i>)	178·4	231·8	183·6	242·1	+10·3	+ 4·1
Zuntz (2856 <i>m</i>)	181·7	228·0	171·7	231·9	+ 3·9	+ 1·7
Zuntz (2800 <i>m</i>)	186·4	242·0	197·9	246·0	+ 4·0	+ 1·2
Schumburg (2800 <i>m</i>)	228·6	275·3	243·0	289·9	+14·6	+ 5·0

Tabelle X (Schluß).

Name und Höhenstation	<i>h</i>	<i>i</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>
	Relative mittlere Breite der Abweichungen		Maximale Abweichungen vom Mittel		Körpergewicht <i>kg</i>	
	Ebene	Höhe	Ebene	Höhe	Ebene	Höhe
	Prozent		<i>cm</i> ³ O ₂			
Kolmer (2130 <i>m</i>)	3·0	3·0	13·6	15·4	71·6	68·1
Waldenburg (2130 <i>m</i>)	?	4·1	?	18·6	56·3	56·7
Caspari (2130 <i>m</i>)	1·2	0·5	3·2	3·5	66·0	64·3
Müller (2130 <i>m</i>)	0·2	2·9	1·0	14·8	73·4	71·7
Loewy (2130 <i>m</i>)	8·0	6·3	16·6	18·6	59·8	60·1
Zuntz (2130 <i>m</i>)	?	7·7	—	40·6	68·1	67·0
A. Loewy (2856 <i>m</i>)	8·0	—	16·6	3·3	—	—
J. Loewy (2856 <i>m</i>)	2·4	2·9	—	6·2	—	—
L. Zuntz (2856 <i>m</i>)	4·3	3·8	16·0	35·8	—	—
Waldenburg (2856 <i>m</i>)	?	8·8	—	32·7	56·2	56·2
Müller (2856 <i>m</i>)	0·2	3·5	1·0	16·1	73·4	70·2
Durig (2856 <i>m</i>)	2·1	5·2	10·1	18·6	—	—
Zuntz (2856 <i>m</i>)	?	3·9	—	8·9	—	—
Zuntz (2800 <i>m</i>)	9·4	8·6	37·0	61·8	—	—
Schumburg (2800 <i>m</i>)	12·8	6·3	33·6	28·5	—	—

Sauerstoffverbrauch bei Müller lautet $227·8 cm^3$, das Mittel für die sämtlichen Versuche auf Col d'Olen $234·1 cm^3$ und, wenn wir den niedrigsten Wert als unwahrscheinlichsten ausschalten wollten, sogar $239·4 cm^3$; es läßt sich also auch eine Steigerung des Verbrauches um 5% konstruieren. Wir möchten daher in bezug auf die negativen Werte in Kolonne *f* zum Schlusse kommen, daß derzeit Beweise für das Vorkommen einer Abnahme des Sauerstoffverbrauches in 2000 bis 3000 *m* Höhe noch nicht erbracht sind und daß die gefundenen Anschläge sich ganz hinreichend auf Grund der Methodik erklären lassen.

Wie steht es nun mit den Zunahmen?

Auf dem Briener Rothorn findet sich bei allen untersuchten Personen eine geringe Erhöhung der Verbrennungsvorgänge gegenüber der Ebene. Da die Versuche im heimischen Laboratorium die grund-

legendsten sein sollten, wurden diese und nicht die Werte, die bei den Versuchen in Brienz gewonnen, in Parallele gestellt; berücksichtigt man übrigens die großen Schwankungen in den Brienzer Resultaten bei selbst am nämlichen Tag ausgeführten Beobachtungen, so ändert es an der Sachlage ebenfalls nichts, wenn die Brienzer Versuche mit jenen auf dem Rothorn verglichen werden. Man gelangt beim Durchsehen der Werte, speziell wenn man die Abweichungen vom Mittelwert ins Auge faßt oder auch die relative Änderung des Sauerstoffverbrauches (g) mit der relativen, mittleren Abweichung (i) zusammenhält, zum Schlusse, daß die Ausschläge durch die Grenzen der Methodik erklärt werden können. Es kann sich in der Wirklichkeit sowohl um erheblichere Umsatzsteigerungen handeln, es können solche aber auch gefehlt haben. Sicher ist durch die Versuche das eine Ergebnis gefördert, daß große Zunahmen im Umsatz bei Körperruhe nicht stattgefunden haben.¹

Die Autoren haben übrigens selbst auf Grund der Berechnung des Verbrauches in Kalorien eine Parallele zwischen den in Brienz und auf dem Rothorn gewonnenen Resultaten gezogen;² sie gelangen dabei zum Resultate, daß bei Kolmer eine ausgesprochene Steigerung im Umsatz bestanden habe, die bei den anderen wenig deutlich und von zu vernachlässigender Größe war. Aber auch Kolmer's Wert kann wohl kaum in diesem Sinne gedeutet werden, denn die Zunahme des Energieverbrauches betrug bei ihm zwar 58·5 Kalorien pro Minute, dem gegenüber ist aber zu bedenken, daß sich bei ihm in einem einzigen zusammengehörigen Kontrollversuchspaar vom selben Tage in Brienz eine Differenz von 124·4 Kalorien findet.

In den Versuchen bei L. Zuntz kann die Zunahme um 2·3% gegenüber 3·8 bis 4·3% relativer, mittlerer Breite der Abweichungen nur ebenso beurteilt werden wie die Steigerung in den Beobachtungen auf dem Rothorn.

Es folgen nun die Resultate der Versuche, die auf Col d'Olen an Waldenburg, Durig und Zuntz ausgeführt wurden.

Bei Waldenburg scheint tatsächlich eine Erhöhung des Sauerstoffverbrauches vorzuliegen, die die Fehlergrenzen übersteigt, aber auch hier ist die Sicherheit doch keine sehr große, denn von sechs Versuchen mußten zwei wegen Unstimmigkeit der Analysen ausgeschaltet werden und die übrigen Werte differieren außerordentlich weit. Sie lauten:

2. September	312·8 cm ³ O ₂	3. September	251·8 cm ³ O ₂
2. »	294·4 cm ³ O ₂	3. »	(219·5) cm ³ O ₂ eliminiert
2. »	257·6 cm ³ O ₂	3. »	(203·3) cm ³ O ₂ »

Hier ist eben mit Mittelwerten nicht wohl etwas anzufangen, weshalb auch die beobachtete Zunahme nicht hinreichend sicher bewiesen ist. Man könnte übrigens noch allenfalls daran denken, daß anfangs eine höhere Umsatzsteigerung bestand, die aber allmählich rückgängig gemacht wurde, wie wir dies bei einigen Versuchspersonen beobachten konnten.

Nicht viel günstiger können wir übrigens auch über die Werte urteilen, die Durig und Zuntz auf Col d'Olen ermittelten. Sowohl die mittlere, relative Breite der Abweichungen, wie auch die Größe der maximalen Abweichungen vom Mittelwert spricht dafür, daß die Änderung im Umsatz noch in den Bereich der Fehlergrenzen unserer Methodik und in die Breite der physiologisch vorkommenden Schwankungen fällt. Die Zahl der Versuche ist auch auf jeden Fall eine viel zu geringe, um einigermaßen sichere Schlüsse zu gestatten.

¹ Wir sprechen von einer Zunahme und nicht von einer Abnahme, da in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle Werte, die im Sinne einer Zunahme zu deuten sind, gefunden wurden.

² »Höhenklima und Bergwanderungen«, p. 235.

Gewiß noch weniger verläßlich sind die acht Jahre früher ausgeführten Versuche von Zuntz und Schumburg. Wir können von diesen Beobachtungen nur aussagen, daß bei ihnen die möglichen Grenzen für etwaige Abweichungen, wie es dem damaligen Stande der Versuchstechnik entsprach, noch wesentlich weiter gesteckt sind.

Das Resultat dieser Beobachtungen über die in 2000 bis 3000 *m* Höhe ausgeführten Beobachtungen geht daher dahin, daß derzeit Beweise für eine Änderung im Umsatz weder im Sinne einer Steigerung noch einer Abnahme vorliegen. Im allgemeinen herrscht eine Tendenz der Werte nach der Richtung einer Steigerung hin vor. Es kann heute auf Grund der ausgeführten Versuche angenommen werden, daß die Änderung im Erhaltungsumsatz bei keiner Versuchsperson einen Wert erreicht haben kann, der mehr als ganz wenige Prozente von dem Umsatzes derselben Versuchsperson in der Ebene beträgt. Bezüglich der Tatsache, daß die Größen für den Sauerstoffverbrauch pro Minute in der Höhenlage im allgemeinen die Tendenz zeigen, gegenüber der Ebene anzuwachsen und ein Ansteigen speziell an den ersten Versuchstagen zu bestehen scheint, ist zu bemerken, daß auch dies Verhalten durch mehrerlei Ursachen begründet sein könnte, die mit der eigentlichen Wirkung des Höhenklimas nichts zu tun haben.

Bei manchen, und zwar besonders älteren Beobachtungen ist zu berücksichtigen, daß die frisch gefüllte Phosphorpipette bei der Neueinrichtung eines Analysenapparates in der Höhenstation leicht zur Ermittlung fälschlich zu hoher Größen für den Prozentgehalt der Luft an Stickstoff führen kann, was natürlich zu einer scheinbaren Erhöhung des Sauerstoffverbrauches im berechneten Resultat führen muß. Auch die niedere Temperatur in der Höhenstation wirkt im selben Sinne. Das Hydrosulfitverfahren kann diesen Übelständen begegnen. Wir trachteten diesen Fehlern vor Verwendung des Hydrosulfits durch Anfertigung der Phosphorstangen in der Dunkelkammer, durch Füllen der Pipette im Dunkeln und durch Anwärmen bei der Analyse zu begegnen.

Ein weiteres Moment kann im Verhalten beim Versuch liegen. Die Ungewohntheit und Unbequemlichkeit, in einem anderen als dem gewohnten Orte das erstemal zu arbeiten, trifft natürlich die Versuchsperson und den Experimentator; so wird wohl nach den ersten Versuchen fast stets noch etwas zu verbessern oder zu ändern sein, so daß die späteren Beobachtungen glatter verlaufen, und es ist sicher nicht unwahrscheinlich, daß der Untersuchte an dem ersten Versuchstage mehr zu Muskelspannungen und Unruhe geneigt ist als später, wenn die Umgebung und das Lager, auf dem er liegt, für ihn nichts mehr Neues und Fremdartiges haben. Im Sinne einer Erhöhung der Verbrennungsvorgänge wirkt auch die gesteigerte Atemarbeit. Wegen der Unsicherheit, die die Werte an und für sich bieten, wurde diese bei den bisherigen Besprechungen nicht berücksichtigt, die nur den Zweck hatten festzustellen, ob eine Umsatzsteigerung überhaupt bewiesen worden sei. Es ist aber eine Entscheidung über das Verhalten des Umsatzes in den bisher besprochenen Höhen noch nicht gefallen.

Der Erhaltungsumsatz in Höhen von 3000 bis 4000 *m*.

Hier wären nur die Beobachtungen von A. Loewy, J. Loewy und Leo Zuntz, die in der Capanna Gnifetti angestellt wurden, hervorzuheben. Wegen des unsicheren Berliner Wertes sind die Versuche an A. Loewy auch hier von vornherein auszuschalten; bezüglich J. Loewy und L. Zuntz wurden in den wenigen Beobachtungen folgende Zahlen für den Sauerstoffverbrauch gefunden:

J. Loewy	L. Zuntz
{ 288·04	276·5 }
{ 286·73	281·1 }
	273·0 }
	243·7 }

gegenüber dem für Berlin festgestellten Sauerstoffverbrauch von 239.0 cm^3 für J. Loewy und 231.1 für L. Zuntz. In beiden Fällen findet sich eine so ausgesprochene Zunahme des Umsatzes, daß diese selbst durch die Größe der Fehlergrenzen, die trotz der Stimmigkeit der Werte anzunehmen sind, nicht mehr erklärt werden kann. Es ist jedoch jedenfalls nicht zulässig, den niederen Wert im zweiten Doppelversuch, der an L. Zuntz nach einem Ausflug auf die Margherita-Hütte gefunden wurde, als Ausdruck einer Anpassungserscheinung an das Höhenklima aufzufassen. Man kann also für die Höhenlage von 3647 m auf Grund der obigen, allerdings sehr spärlichen und wenig sicheren Beweise annehmen, daß in dieser Höhe bereits eine deutliche Umsatzsteigerung einsetzt, die auch durch größere Abweichungen nicht mehr ganz verdeckt wird.

Der Erhaltungsumsatz in Höhen über 4000 m .

In so großen Höhen wurden bisher Respirationsversuche nur auf dem Mont Blanc, und zwar im Refuge Vallot und in der Capanna Margherita auf dem Monte Rosa ausgeführt. Von den in Betracht gezogenen Angaben aus der Literatur wurden diejenigen von Kuss und Mosso wegen der angewendeten Untersuchungsmethodik bereits ausgeschaltet. Auch der Respirationsversuch an L. Zuntz, der bald nach dessen Ankunft in der Margherita-Hütte angestellt wurde, ist als nicht einwandfrei in der Durchführung auszuschalten. Dieselben Gründe veranlassen uns auch, die einzige von Müller herrührende, eventuell für die Höhe des Erhaltungsumsatzes in Diskussion zu ziehende Beobachtung vom 10. September auszuschalten, die knapp vor dem Abstieg ins Tal ausgeführt wurde, weil dem Wert wegen der wesentlich später in Berlin ausgeführten Gasanalyse wohl keine beweisende Bedeutung mehr zukommt. Es erübrigen daher nur mehr die in der folgenden Tabelle XI zusammengestellten Versuche, die während der Expeditionen des Jahres 1901 von »Zuntz und seinen Mitarbeitern«, im Jahre 1903 von Zuntz und Durig und im Sommer 1906 während unserer letzten Expedition gewonnen wurden.

Das Material, das Zuntz und seine Mitarbeiter bei ihrem sechstägigen Aufenthalt in der Margherita-Hütte förderten (15 Beobachtungen), ist natürlich ein geringeres gegenüber demjenigen, das während unserer mehr als siebenwöchentlichen, späteren Arbeitsperioden gewonnen werden konnte (rund 180 Versuche), weshalb schon ihrer Zahl nach den letzteren Versuchen eine ganz andere Beweiskraft zukommt. Auch die Abweichungsbreiten führen uns zum Ergebnis, daß, wie nicht anders zu erwarten, die Werte vom Jahre 1901 nur mit großer Reserve zu verwerten sind.

Der Überblick über die Tabelle ergibt eindeutig, daß bei den Versuchspersonen der Expedition 1901 eine ganz ausgesprochene Steigerung des Umsatzes bestand, die in allen Versuchen die absolute und relative Breite der Abweichungen übertrifft mit Ausnahme des einzigen Wertes bei Caspari, der durch den sicher ganz abnormen Sauerstoffverbrauch in einem Versuche stark entstellt ist. Von Zuntz und Durig liegen aus dem Jahre 1903 54 (77) einwandfreie Beobachtungen vor, die mit der verbesserten Methodik ausgeführt wurden, sie geben sämtlich ebenfalls eine mächtige Erhöhung des Sauerstoffverbrauches über die Norm und im selben Sinne sprechen unsere neuen Resultate. Es hat sich demnach unter allen sieben Versuchspersonen nicht eine gefunden deren Erhaltungsumsatz nicht gesteigert gewesen wäre. Man muß berücksichtigen, daß die Versuche an berggewöhnten, geübten Alpinisten, aber auch an Flachländern ausgeführt wurden, die vorher noch nie einen Hochgipfel betreten hatten. Ein Teil der Teilnehmer an den Untersuchungen war bergkrank gewesen, ein anderer hatte sich auf dem Gipfel dauernd wohl befunden. Kolmer, der neben Caspari im Jahre 1901 am stärksten bergkrank geworden war, zeigte damals die geringste Erhöhung des Umsatzes, bei Caspari fand sich die mächtigste Steigerung, die nur von jener ungefähr erreicht wird, die an dem wenig bergkranken Leiter der Versuche, Zuntz, ermittelt wurde. Allerdings dürfen wir, wie erwähnt, auf die absolute Höhe der damals bestimmten Größen des Sauerstoffverbrauches nur einen geringen Wert legen. Interessant ist jedenfalls auch die Tatsache, daß sich bei Zuntz wie Durig, die beide zweimal durch längere Zeit auf dem Monte Rosa weilten, auch während des zweiten Aufenthaltes auf dem Gipfel wieder die Erhöhung des Erhaltungsumsatzes einstellte.

Tabelle XI.
Capanna Margherita.
4560 Meter.

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>i</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>
N a m e	Mittelwerte für die Ebene cm^3 pro Minute		Mittelwerte für die Höhenstation cm^3 pro Minute		Änderung des Sauerstoffverbrauches		Relative, mittlere Breite der Abweichungen		Maximale Abweichungen vom Mittel		Körpergewicht kg	
	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	absolut	relativ	Ebene	Höhe	Ebene	Höhe	Ebene	Höhe
					$e-c$	$\frac{100f}{c}$						
					cm^3	Prozent						
Kolmer	212·4	267·5	234·3	293·0	+ 26·5	+11·3	3·0	2·6	13·6	11·3	71·6	65·8
Caspari	171·8	223·7	238·0	324·6	+100·9	+45·1	1·2	13·8	3·2	120·0	66·0	61·3
Loewy ¹	177·7	227·0	179·0	262·2	+ 35·2	+15·5	?	7·5	?	62·0	59·8	57·8
Zuntz	181·7	228·0	255·9	331·7	+103·7	+45·5	?	7·9	?	39·8	68·1	63·9
Zuntz	181·7	228·0	192·7	259·2	+ 31·2	+13·7	?	4·0	—	21·4	—	—
Durig	178·4	231·8	210·0	277·5	+ 45·7	+19·3	2·1	5·3	9·1	20·9	—	—
Durig ²	173·6	211·8	207·5	271·0	+ 60·7	+28·9	2·4	3·2	8·7	12·6	60·0	60·7
Kolmer ²	200·5	253·6	218·9	278·7	+ 25·1	+ 9·9	1·5	3·3	13·3	12·2	77·5	73·1
Rainer	183·1	218·4	211·5	260·4	+ 42·0	+19·3	4·9	1·8	14·4	14·4	62·9	64·0
Reichel ²	222·6	274·9	249·7	309·6	+ 34·7	+12·1	1·0	3·3	5·1	27·0	80·4	78·0

¹ Der Mittelwert für die Ebene ist nicht sicher (siehe Tab. VII).

² Winterversuch bei Stoffwechselkost.

Unsere Beobachtungen über das Verhalten der Verbrennungsvorgänge bezogen sich bis jetzt auf den Bruttowert, in dem auch die Änderung, des Umsatzes die durch die Steigerung der Atemgröße bedingt ist, mit inbegriffen ist. Um den reinen Einfluß des Höhenklimas kennen zu lernen, müssen wir aber jenen Aufwand an Energie, der für die größere Leistung der Atmungsmuskeln benötigt wurde, mit in Rechnung stellen. Da man nach den Ergebnissen der Untersuchungen von Zuntz über den Mehraufwand bei Steigerung der Ventilation derzeit noch immer am besten einen Verbrauch von $5 cm^3$ Sauerstoff pro Liter mehr geatmeter Luft einsetzen wird,¹ kann man unter Berücksichtigung eines mittleren respiratorischen

¹ Eine während der Drucklegung dieses Abschnittes in meinem Laboratorium ausgeführte Untersuchung von Reach und Röder ergab, daß dieser Wert etwas zu hoch gegriffen ist, daß also der Verbrauch für das Liter Mehrventilation pro Minute bei der hier in Betracht kommenden Atemtiefe niedriger eingesetzt werden muß, wie von den Genannten auch nachgewiesen wurde, daß es nicht das pro Minute geatmete Volumen, sondern die Tiefe der Atemzüge ist, die als ausschlaggebendes Moment für den Eintritt oder das Fehlen einer Umsatzsteigerung bei Änderung der Ventilationsgröße in Betracht kommt.

Quotienten von 0·80 einen Verbrauch von 24 Kalorien pro Liter Mehrventilation und pro Minute in Rechnung stellen und von dem für die Minute in Kalorien ausgedrückten Umsatz abziehen. Ein Vergleich der Erhöhung des Umsatzes bei den einzelnen Versuchspersonen wird nur dann möglich sein, wenn man diesen auf die nämliche Einheit bezieht. Es sollen daher jene Versuche, aus denen man mit Sicherheit oder doch wenigstens mit einiger Wahrscheinlichkeit auf eine Änderung des Sauerstoffverbrauches schließen kann, unter diesem Gesichtspunkte geordnet wiedergegeben werden. Natürlich birgt auch diese Berechnung ebenfalls ihre Härten und Unrichtigkeiten in sich, da ja eine Änderung des Körpergewichtes nicht stets als eine Änderung des atmenden und oxydierenden Gewebebestandes aufzufassen ist, denn wenn wir am Zusammenhang zwischen Verbrennungsvorgängen und Körpergewicht oder Körperoberfläche streng festhalten wollten, würden wir uns demselben Vorwurfe aussetzen, den wir in unserer Einleitung gegen die Aufstellung eines Quotienten zur Charakterisierung der Leistungsfähigkeit eines Menschen erhoben haben.

Für die Höhenstufe von 500 *m* kann die Anführung der Mittelzahlen wohl unterbleiben, da alle Ausschläge jedenfalls ganz verschieden gedeutet werden können. Sie sind zum Teil sicher auf die Breite der Fehler in der Methodik, zum Teil auf das individuelle Verhalten der Versuchsperson, zum Teil endlich auf nicht abschätzbare, akzidentelle Momente zurückzuführen. Es scheint nur das eine hinsichtlich des Verhaltens des respiratorischen Stoffwechsels in diesen Höhen festzustehen, daß Änderungen, die mehr als etwa 5% von den in der Ebene gefundenen Werten für den Umsatz betragen, in solchen Höhen nicht auftreten dürften. Auch die Versuche aus den Jahren 1895 und 1896 wurden wegen der geringen Zahl der Beobachtungen und der Unsicherheit der Werte ausgelassen, derselbe Grund veranlaßte uns, die Versuche von Durig und Zuntz auf Col d'Olen und die Versuche auf dem Rothorn ebenfalls zu übergehen. Dagegen glaubten wir die Beobachtungen an Loewy auf dem Monte Rosa unter Berücksichtigung des einen der beiden weit differierenden Berliner Werte aufnehmen zu sollen.

Die Einteilung der Tabelle XII, welche die corrigierten Werte enthält, bedarf wohl keiner weiteren Erläuterung. Die Versuche sind nach den Höhenstationen, in denen sie ausgeführt wurden, geordnet. Spalte 3 enthält den Namen der Versuchsperson und das Versuchsjahr. Spalte 5 den Nettowert für den Erhaltungsumsatz, der durch Abzug des Verbrauches für die Zunahme der Atemarbeit in der Höhe korrigiert ist und dadurch mit dem Werte vergleichbar wurde, der für die in der Ebene befindliche Versuchsperson festgelegt erscheint. Wir möchten noch bemerken, daß wir bei der Korrektur für die Umsatzsteigerung durch Erhöhung der Atemarbeit den alten Zuntz'schen Wert den von Bornstein und Gartzon¹ in neuerer Zeit hierfür ermittelten Größen darum vorgezogen haben, da wir den letzteren nur ein sehr beschränktes Vertrauen entgegen bringen können.

Stab 7 gibt die Differenz zwischen der in der Höhe und der in der Ebene gewonnenen Größe für den Umsatz pro Minute und Stab 8 das relative Verhältnis der Umsatzsteigerung gegenüber den Normalwerten.

Die Tabelle besagt, daß in allen angeführten Versuchen über den Gaswechsel in Höhen von 1000 *m* angefangen vorerst Abweichungen im Nettowert des Erhaltungssatzes beobachtet wurden, die im Sinne einer Zunahme ausgefallen sind. Diese Zunahme erreichte in mittleren Höhen kaum den Wert von 6% und es ist daher wohl verständlich, daß in dem Rothorn- und Col d'Olen-Versuche des Jahres 1901 eine solche nur sehr unsicher zum Ausdruck kommen konnte, auch wenn diese bei den damaligen Teilnehmern an den Experimenten wirklich bestanden hätte.

Ganz auffallend hoch sind die Umsatzsteigerungen, die Jaquet und Staehelin auf dem Chasseral fanden. Es wurde bereits oben darauf hingedeutet, daß gegen die Respirationsversuche dieser Autoren Einwände erhoben werden könnten. Diese beruhen auf der absoluten Höhe des für den Umsatz pro Minute an Jaquet gefundenen Wertes und es liegt die Deutung nahe, daß die Größe des Gaswechsels, die an Jaquet vor dem Aufstiege zum Chasseral in der Ebene ermittelt wurde, eine zu niedrige war, denn wir

¹ Pflüger's Arch., 109, p. 628.

Tabelle XII.

Die Größe des Erhaltungsumsatzes abzüglich der Erhöhung des Umsatzes durch die Atemarbeit, bezogen auf die Einheit der Körperoberfläche.

1	2	3	4	5	6	7	8
Meeres- höhe <i>m</i>	Ort	N a m e	Kalorien pro Quadratmeter und Minute	Kalorien, korrigiert auf das Atemvolum in der Ebene	Kalorien pro Quadratmeter und Minute in der Ebene	Differenz	Änderung in Prozenten ³
1000	Semmering	Durig	0·585	0·571	0·540	+ 0·031	+ 5·7
		Reichel I	0·600	0·600	0·576	+ 0·024	+ 4·1
		Reichel II	0·527	0·527	0·576	— 0·049	— 8·5
1326	Sporner Alpe ¹	A. Durig I	0·638	0·616	0·582	+ 0·034	+ 5·8
		A. Durig II	0·567	0·552	0·582	— 0·030	— 5·2
		S. Durig I	0·659	0·639	0·597	+ 0·042	+ 7·0
		S. Durig II	0·633	0·615	0·597	+ 0·018	+ 3·0
1600	Chasseral	Jaquet I ²	0·542	0·542	0·468	+ 0·074	+ 15·7
		Jaquet II	0·522	0·517	0·468	+ 0·019	+ 10·4
4560	Monte Rosa	Kolmer 1901	0·704	0·680	0·598	+ 0·082	+ 13·7
		Loewy 1901	0·672	0·657	0·576	+ 0·081	+ 14·1
		Zuntz 1903	0·620	0·589	0·552	+ 0·037	+ 6·7
		Durig 1903	0·674	0·665	0·582	+ 0·083	+ 14·3
		Durig 1906	0·674	0·613	0·540	+ 0·073	+ 13·6
		Kolmer 1906	0·617	0·578	0·541	+ 0·037	+ 6·8
		Rainer 1906	0·636	0·599	0·556	+ 0·043	+ 7·7
		Reichel 1906	0·661	0·618	0·576	+ 0·042	+ 7·1

¹ Nicht im Stoffwechselversuch.² Erster Versuchstag.³ Die Änderung würde größer ausfallen, wenn wir auf Grund der neuen Erfahrungen über den Aufwand für die Atemarbeit (siehe Anm. p. 47 [161]) einen niedrigeren Wert für die Mehrventilation in Anrechnung gebracht hätten.

begegnen in dem erwähnten Versuche für den Ruheumsatz eines erwachsenen, normalen Menschen einem Verbrauch von 0·468 Kalorien pro Quadratmeter und Minute. Unsere sämtlichen Beobachtungen an verschiedenen Versuchspersonen weisen Größen von ungefähr 0·55 Kalorien auf und dieses Resultat steht wie im Eingange dieses Abschnittes ausgeführt wurde, in sehr guter Übereinstimmung mit den Ergebnissen, die andere Autoren mittels ganz anderer Untersuchungsmethoden gewonnen haben. Ist jedoch der Grundwert für den Erhaltungsumsatz in der Ebene zu niedrig, so muß unter dieser Voraussetzung, wenn der in der Höhenstation ermittelte Wert richtig war, die Umsatzsteigerung in der Höhe als eine zu große bestimmt worden sein. Die Zunahme des Umsatzes vermindert sich übrigens auch bei Jaquet bereits nach dem ersten Aufenthaltstage, sie würde sich also, wenn sie zurecht besteht, ähnlich verhalten, wie auf dem Semmering bei Durig und Reichel und auf der Sporner Alpe bei Durig und dessen Frau. Ganz ähnliches ergibt sich übrigens auch vielleicht aus einigen Versuchen auf dem Rothorn und in Sylt,¹ obwohl die großen Schwankungen, die in den Werten an und für sich vorkommen, diese Erscheinung auch vorgetäuscht haben könnten. Die anfänglich bei Reichel² auf dem Semmering beobachtete Zunahme, wie jene, die bei Durig auf der Sporner Alpe gefunden wurde, bildete sich soweit zurück, daß schließlich eine Verminderung des reinen Erhaltungsumsatzes resultierte. Ganz klar liegen die auf der Capanna Margherita gewonnenen Ergebnisse. Hier ist bei allen Personen, von denen einwandfreie Versuche vorliegen, eine Umsatzsteigerung eingetreten, die zwischen 6·7 und 14% jenes Wertes liegt, der für den Umsatz in der Ebene bestimmt wurde. Wie schon oben erwähnt, ist im Jahre 1901 bei Müller eine solche Steigerung nicht beobachtet worden, wir glaubten diesen (einzigen) Versuch jedoch ausschalten zu müssen.

Es muß also, insolange die Untersuchung weiterer Personen nicht das Gegenteil beweist, angenommen werden, daß schon in Höhen wie sie für Sanatorien, Sommerfrischen und klimatische Höhenstationen in Betracht kommen, eine geringfügige und vorübergehende Erhöhung des Erhaltungsumsatzes zu erwarten ist, die sich ganz unabhängig von der Umgebungstemperatur ausbildet. Diese Steigerung beträgt jedenfalls nur wenige Prozente des Ruheumsatzes in der Ebene, ist daher so gering, daß sie fast ganz an die Grenze der physiologischer Weise und durch das Experiment gegebene Abweichungen heranreicht. Es ist jedoch nötig, noch das Verhalten zahlreicher Versuchspersonen in diesen Höhen festzustellen, und es müssen durch einwandfreie Beobachtungen die bisher spärlich vorliegenden Ergebnisse erst eine wesentliche Bereicherung erfahren, bis eine entscheidende Aussage darüber gemacht werden kann, ob und inwieweit bereits die für die Anlage von Heilstätten und für Sommeraufenthalte in Betracht kommenden Höhen einen gesetzmäßig festzustellenden Einfluß auf den Erhaltungsumsatz ausüben.

Es ist merkwürdig, daß man nach dem Dargelegten gestehen muß, daß wir über das Verhalten des Gaswechsels in Höhen bis zu 4000 *m* noch keine gesicherten Kenntnisse besitzen, und daß die Ursache hierfür speziell darin liegt, daß aus diesen Regionen weit weniger zahlreiche, aber auch weniger eindeutige Versuche vorliegen, als aus der Höhe des Monte Rosa-Gipfels. Es hatte eben das Absonderliche und fast könnte man sagen Romantische des Aufenthaltes und des Arbeitens in so großer Höhe viel mehr Anziehendes an sich, als die praktisch ungleich interessantere und wichtigere, aber auch wesentlich schwierigere Lösung der Frage nach dem Verhalten in Höhen, die dem Alltagsmenschen zugänglich sind, und wir müssen gestehen, daß wir durch dieses Resumé, das sich nach dem Überblick über die feststehenden Tatsachen ergab, selbst überrascht wurden.

Können wir als bewiesen annehmen, daß ein Aufenthalt in 4560 *m* zu einer ganz erheblichen und wie wir sehen werden, dauernden Steigerung des Erhaltungsumsatzes führt, so muß der Wunsch ausgesprochen werden, es mögen bald auch die Stationen des Mittelgebirges und der Voralpen gebührender Aufmerksamkeit in bezug auf das Studium der Frage nach dem Umsatz gewürdigt werden.

Von größtem theoretischen Interesse würde es aber auch sein, in noch wesentlich größere Höhen als auf den Monte Rosa-Gipfel vorzudringen und zu ermitteln, ob wir dort jener Erscheinung begegnen,

¹ Pflüger's Arch. 103.

² Als zweifelhaft zu bezeichnende. (Siehe p. 39 [153].)

die sich bei der Einatmung sauerstoffarmer Gemische einstellt, der Verminderung der Oxydationsvorgänge. Während man im Gegensatz zum Verhalten bei der Verbrennung lebloser Materie auf dem Monte Rosa ein Ansteigen der Oxydationsvorgänge unter wesentlich erniedrigtem Sauerstoffdruck beobachtete, dürfte vielleicht einmal der Umkehrpunkt eintreten, bei dem die Verbrennung im menschlichen Körper unter Verringerung der Sauerstoffzufuhr herabgesetzt wird, bevor sie vollständig sistiert wird. Wie hoch steigt aber vorher der Erhaltungsumsatz an und in welcher Höhe und wie tritt dann die Abnahme auf, oder geht der Mensch unter steter Steigerung seines Umsatzes, also im Zeichen einer anscheinend unzweckmäßigen Regulation in sehr großen Höhen dem Tode infolge des Sauerstoffmangels entgegen? Diesen Fragen stehen wir heute noch vollkommen ununterrichtet gegenüber, denn die Versuche im pneumatischen Kabinett haben uns bisher nicht den gewünschten Aufschluß gebracht und können auch keinesfalls das aufgestellte Problem lösen, das nur im Hochgebirge bearbeitet werden kann.

In so großen Höhen stehen der Durchführung der Versuche enorme technische Schwierigkeiten gegenüber. Es ist ein Resultat auf Grund von Beobachtungen bei einem einzigen, kurzdauernden Aufenthalt nicht zu erwarten, während ein längeres Verweilen in diesen Regionen große Anforderungen an die Ausrüstung und Leistungsfähigkeit der Versuchsperson stellt. Die bedeutendsten Schwierigkeiten liegen aber nicht darin, sondern in der Messung und Verarbeitung der Gase. Feuchte Gasuhren sind nicht zu verwenden, Spirometer natürlich ganz ausgeschlossen und der trockene Gasmesser ist der Gefahr des Frierens der Lederbälge ausgesetzt, indem der aus der Respirationsluft ausfrierende Wasserdampf bei der niederen, in solchen Höhen herrschenden Temperatur direkt zur Zerstörung des Gasmessers führen muß. Die Frage, ob die Analyse von Gasen bei den Temperaturen auf Bergen von 5000 und mehr Metern Höhe überhaupt noch mit hinreichender Genauigkeit gelingen wird, kann kaum als zweifelhaft bezeichnet werden; anstatt der Verwendung von Salzlösungen für das Wasserbad, die nicht mehr ausreichen dürften, könnte ganz wohl an die Füllung der Zylinder mit Alkohol gedacht werden, und auch bei den Absorptionsmitteln in den Pipetten wäre durch Heizung der Pipetten ein Ausweg zu finden, als Sperrflüssigkeit käme aber für den Analysenapparat jedenfalls nur mehr Quecksilber in Betracht. Von dieser Seite würde daher eine unüberwindliche Schwierigkeit nicht bestehen, denn durch geeignete Konstruktion des Analysenapparates ließe sich das Arbeiten immer noch ziemlich expeditiv gestalten, auch würde es möglich sein, die proportionale Entnahme von Gasproben aus dem Exspirationsgemisch mit Hilfe von Quecksilbersperrung für Ruheversuche ganz gut durchzuführen. Das einzig wirklich Problematische bei der Durchführung solcher Versuche würde also nur an der Bestimmung des geatmeten Gasvolums liegen.

D. Die Anpassung an den Höhengaufenthalt.

Die im vorangehenden Abschnitte wiedergegebenen Tatsachen beziehen sich auf das Verhalten des Umsatzes bei ziemlich unvermitteltem Übergang aus einem niederen gelegenen Aufenthaltsort in eine höhere Station. Es soll uns daher nunmehr die Frage beschäftigen, ob sich die Umsatzsteigerung in jenen Fällen anders verhält, in denen der Aufstieg allmählich erfolgte, als in denen, in welchen plötzlich aus der Ebene ins Hochgebirge aufgestiegen wurde. Da wir einzig die Versuche auf dem Monte Rosa-Gipfel als ausschlaggebend bezeichnen konnten, kann sich unsere Betrachtung daher ebenfalls nur auf die dort ausgeführten Beobachtungen erstrecken. Im Jahre 1901 stiegen Zuntz und seine Mitarbeiter langsam in vier-tägiger Etappe zum Monte Rosa-Gipfel auf, zudem sollten sie sich durch die Rothornperiode schon mehr an das Höhenklima gewöhnt haben. Auch Durig und Zuntz verweilten vorerst fast einen Tag in Varallo, einen Tag in Alagna, dann mehrere Tage auf Col d'Olen und gelangten so allmählich zum Gipfel. Von den Teilnehmern an unserer Expedition im Jahre 1906 hatten sich zwei, nämlich Kolmer und Rainer bereits

durch Touren in den Alpen an das Höhenklima gewöhnt, während Reichel und Durig möglichst unvermittelt zur Punta Gnifetti gelangten. Allerdings vollzog sich der Aufstieg bei unserer letzten Expedition nicht ganz so unvermittelt als wir gewünscht hatten, da wir, wie in der Einleitung erwähnt, durch die Verzögerung des Transportes unseres Gepäcks gezwungen waren, einen Tag auf Col d'Olen zu verweilen. Desungeachtet kann doch der Übergang aus der Talstation zum Gipfel noch als ein ganz schroffer bezeichnet werden, denn 48 Stunden, nachdem wir die glühend heiße Po-Ebene verlassen hatten, befanden wir uns schon in einer Höhe von 4000 *m* auf dem Lysjoch.

Vergleichen wir die Umsatzsteigerung, die bei Durig im Jahre 1903 und dann im Jahre 1906 nach der Ankunft auf dem Gipfel gefunden wurde — beide Werte stammen aus ganz einwandfreien Versuchsreihen — so sieht man, daß die Schnelligkeit, mit der der Wechsel zwischen Tal und Hochgebirge ausgeführt wurde, keinen Einfluß auf die Höhe der Steigerung ausübt. Die beiden, in den verschiedenen Jahren gefundenen Größen, stimmen gut überein. Auch vorheriges Training im Hochgebirge vermochte die nachherige Erhöhung der Verbrennungsvorgänge auf dem Monte Rosa nicht zu beeinflussen, das besagt die Ähnlichkeit der bei Reichel (untrainiert), Rainer und Kolmer (trainiert) gefundenen Umsatzsteigerung (Tab. XII, Spalte 8).

Es wurde schon an früherer Stelle erwähnt, daß Kolmer trotz des vorhergegangenen Trainings bergkrank geworden ist und während des ganzen Gipfelaufenthaltes, also während eines Monats unpfählig blieb.¹ Dies Resultat scheint uns mit der sonstigen Erfahrung in Einklang zu stehen, daß auch ein recht unvermittelter Aufstieg aus dem Tale in große Höhen für das Zustandekommen von abnormen Erscheinungen nicht ausschlaggebend ist. Wir beobachteten wiederholt Einheimische, und zwar Frauen wie Männer, die in einem Tage von Alagna oder Gressoney zum Gipfel emporstiegen, ohne irgend welche auffallendere Störungen zu zeigen oder auch unter Appetitmangel zu leiden, während weniger leistungsfähige Personen, die ebenso wie die Teilnehmer an der Expedition 1901 im Tale, auf Col d'Olen und in der Gnifetti-Hütte übernachtet hatten, also drei Tagereisen zum Aufstieg auf dem Gipfel benötigt hatten, in desolatem Zustande in der Hütte eintrafen.

Übrigens ergibt sich auch aus dem Verhalten Kolmers anlässlich der Expedition 1901 bereits beim Aufenthalt auf dem Rothorn ein ähnliches Resultat. Obwohl Kolmer damals die geübteste und leistungsfähigste Versuchsperson war und vorher wiederholt auf dem Rothorn gewesen war, um die Bestimmungen der Blutkörperchen bei den Versuchshunden auszuführen, zeigte doch er von allen seinen Kameraden diejenigen Werte, die am ehesten für eine Umsatzsteigerung infolge der Höhenwirkung sprechen.

Wir können also annehmen, daß ebensowenig wie die Raschheit des Aufstieges aus der Ebene auch die vorherige Anpassung an das Klima in einer Höhenstation einen Einfluß auf die Umsatzsteigerung ausübt. Die fast dreiwöchentliche Dauer des Aufenthaltes Durigs in der Margherita-Hütte im Jahre 1903 hat sich bei den Versuchen im Jahre 1906 nicht geltend gemacht. Der Erhaltungsumsatz hielt sich in der zweiten Aufenthaltsperiode in denselben Grenzen wie in der ersten. Allerdings scheint bei Zuntz die Steigerung des Sauerstoffverbrauchs im Jahre 1903 geringer zu sein, als bei den Versuchen im Sommer 1901. Diesen Unterschied dürften wir aber keinesfalls im Sinne einer nachhaltenden (an und für sich nach so langer Zeit unwahrscheinlichen) Anpassung auffassen, da wir die Resultate, die 1901 auf dem Monte Rosa gewonnen wurden, ja nicht als wirklich quantitative ansehen dürfen.

Die Versuche an Durig und Zuntz wie auch unsere neuen Beobachtungen aus dem Jahre 1906 besagen ferner, daß auch während eines lange dauernden Aufenthaltes in diesen Höhen eine Änderung des Erhaltungsumsatzes im Sinne einer Anpassung nicht stattfindet, daß also die anfänglich eingetretene Umsatzsteigerung nicht rückgebildet wird. Wir möchten diesbezüglich auf die beiden Tabellen, die Durig und Zuntz veröffentlichten,² verweisen. Im Jahre 1906 führten wir zur

¹ Kolmer hatte sich auch länger in Alagna aufgehalten.

² Arch. für (Anat. und) Physiologie 1904, Suppl. p. 429 und 430.

nochmaligen, gesicherten Feststellung dieses Befundes am Schlusse unseres einmonatlichen Gipfelaufenthaltes eine zweite Serie von Kontrollversuchen durch, die in den Generaltabellen V, VI, VII und VIII enthalten ist. Übersichtlich zusammengestellt, folgen hier die Mittelwerte für den Umsatz in großen Kalorien pro Minute und Quadratmeter.

Durig	Kolmer	Rainer	Reichel
0·674	0·617	0·636	0·661 Anfangsperiode
0·701	0·614	0·634	0·618 Schlußperiode.

Bei Durig findet sich am Schluß der Versuche eine geringe Steigerung des Umsatzes, bei Reichel eine Abnahme, bei Kolmer und Rainer bleiben die Werte ganz konstant. Die Abnahme bei Reichel kann sich zum Teile dadurch erklären, daß er in den Versuchen der Schlußperiode ein geringeres Gasvolumen atmete als in der Anfangsperiode, weshalb der erhebliche Unterschied im Aufwand für die Atemarbeit von dem größeren Wert in Abzug zu bringen ist, zum Teil dürfte die Ursache darin gelegen sein, daß Reichel in den Versuchen auf dem Monte Rosa weniger ruhig lag. Da er stets als der Erste bei den Respirationsversuchen an die Reihe kam, und bei seiner Körpergröße und seinem Gewicht sich mit einiger Anstrengung auf dem niederen Lager in der »Kiste« zum Versuch zurechtlegen mußte, ist diese Annahme nicht unwahrscheinlich. Schaltet man daher die Werte, die bei ihm in den ersten Respirationsversuchen am 9. August gewonnen wurden, aus (es waren dies die ersten Respirationsversuche, die überhaupt während der Expedition ausgeführt wurden), so nähert sich der Wert für den Erhaltungsumsatz mit 0·630 Kalorien pro Minute jenem der späteren Periode mit 0·618 bis auf fast normale Fehlergrenzen; so daß man daher auch bei ihm von einer bemerkenswerten Anpassung nicht mehr sprechen kann. Der an Durig in der Schlußperiode erhaltene Wert ist infolge von Muskelspannung sicher etwas zu hoch, es wird dies an späterem Orte begründet werden.

Über die Entwicklung der Umsatzsteigerung beim Übergang aus der Ebene in das Höhenklima haben wir bei unserer letzten Expedition keine Beobachtungen angestellt. Die Resultate, die Durig und Zuntz im Jahre 1903 gewonnen hatten, sprechen aber unzweifelhaft dafür, daß sofort mit dem Eintreffen auf dem Gipfel auch die Umsatzsteigerung in ihrer ganzen Größe ausgebildet ist. Durig wies nach der Ankunft in der Margherita-Hütte dieselben Werte für den Erhaltungsumsatz auf, wie in den späteren Versuchen und auch bei Zuntz fand sich eine Größe, die ganz den späteren Resultaten entsprach und nur infolge der noch fortbestehenden Nachwirkung der vorangegangenen Anstrengung etwas höher ausgefallen ist. Es kann demnach als kein sonderlich großes Mißgeschick bezeichnet werden, daß durch den Unfall unseres Trägers und durch die Verzögerung des Transportes um einen Tag im Jahre 1906 die geplanten Beobachtungen, die sich gleich an den Aufstieg anschließen sollten, nicht so rasch wie beabsichtigt zur Durchführung gelangen konnten.

Auch diese Frage ist übrigens noch einer weiteren Bearbeitung zugänglich und es wäre gewiß nicht uninteressant, in einigen Beobachtungen, die hiefür genügen würden, das Verhalten des Gaswechsels während des Überganges in die Höhenstation festzustellen.

Wir kennen die Veränderungen des Gaswechsels derzeit nur auf Grund der Untersuchungen in wenigen, und zwar in verschiedener Höhe gelegenen Stationen. Der Ausbau von Bergbahnen, die speziell in Amerika bis zur Höhe des Monte Rosa emporklimmen, ermöglicht es aber, den Verlauf der Umsatzänderung losgelöst von der Einwirkung der Steigarbeit untersuchen zu können. Es würde keiner Schwierigkeit unterliegen, ebenso wie Durig auf dem Bilkengrat in fortgesetztem Respirationsversuch den Umsatz beim Marsch während eines ganzen Gipfelaufstieges untersuchte, der Erhöhung des Erhaltungsumsatzes von der Talstation bis zum Gipfel kontinuierlich zu folgen und zu ermitteln, ob die Veränderung sprunghaft von einer gewissen Höhe an einsetzt, oder ob sie sich allmählich zugleich mit der Emporfahrt ausbildet. Gewiß wird man letzteres für wahrscheinlicher halten müssen. Auf diesem Wege könnte viel leichter der Nachweis erbracht werden, daß auch in geringen Höhen bereits Umsatzsteigerungen

bestehen, da man durch den Verlauf der Kurve, die die deutlich zu beweisende Änderung des Umsatzes in den großen Höhen ausdrücken würde, den Verlauf der Prozesse in niederen Höhen, selbst wenn die Steigerung dort schon in die Fehlergrenzen der Methodik fällt, zu erschließen imstande wäre.

E. Über die Wirkung einzelner klimatischer Faktoren auf die Größe des Erhaltungsumsatzes.

Es wurde bereits im zweiten Abschnitte (*B*) dieses Aufsatzes ausgeführt, daß es die Temperaturunterschiede zwischen dem Monte Rosa und der Ebene nicht sein können, die die Steigerung des Erhaltungsumsatzes im Hochgebirge herbeiführen. Von den anderen, uns derzeit bekannten Komponenten im Klima kommen außer der Luftverdünnung auch noch die Feuchtigkeit der Luft, beziehungsweise deren Sättigungsdefizit in Betracht, ferner muß auf den Wind Rücksicht genommen werden und auch die Wirkung der Sonnenstrahlung wäre nicht außer acht zu lassen. In neuester Zeit hat man speziell die elektrischen Erscheinungen in der Atmosphäre mit in den Kreis der Beobachtungen gezogen, daher sollte auch ermittelt werden, ob zwischen diesen und dem Verhalten des Gaswechsels ein Zusammenhang nachzuweisen sei. In dem fünften Kapitel dieses Bandes wiesen wir auch auf die Veränderungen, die die Körpertemperatur im Hochgebirge erfährt, hin. Es ist aus zahlreichen Abhandlungen bekannt, daß in vielen Fällen eine geradezu gesetzmäßige Abhängigkeit des Umsatzes von der beobachteten Temperatursteigerung des Körpers besteht. Da sich diese jedoch als typische Folge der Klimawirkung auf dem Monte Rosa bei uns allen ausbildete, mag es gerechtfertigt erscheinen, auch den Einfluß der Steigerung der Körperwärme auf den Umsatz als eine indirekte Wirkung des Klimas an dieser Stelle zu besprechen.

Unser positives Wissen über das Verhalten gegenüber wechselnden derartigen Einflüssen ist ein recht geringes. Im Hochgebirge führten eigens auf die Lösung dieser Frage hinzielende Versuche wohl nur Zuntz und Durig aus. Eine größere Zahl meteorologischer Daten haben bei physiologischen Versuchen im Hochgebirge nur Zuntz und seine Mitarbeiter im Jahre 1901 gesammelt, doch konnten nur ganz wenige von diesen veröffentlicht werden. Ferner finden wir in Mosso's Buch »Der Mensch auf den Hochalpen« einige Angaben über Barometerstand und Lufttemperatur, und endlich wären auch noch die Resultate der Bestimmungen der Elektrizitätzerstreuung zu erwähnen, die Caspari veröffentlichte. Diese können bedauerlicher Weise an und für sich kaum verwertet werden und auch ein Vergleich mit gleichzeitig ausgeführten, brauchbaren Respirationsversuchen ist bei ihnen nicht möglich.

Anlässlich unserer Expedition im Jahre 1906 führten wir selbst Messungen über die Lufttemperatur (mit dem Aspirationsthermometer), der Zimmertemperatur, der Luftfeuchtigkeit (Aspirationspsychrometer) und des Luftdruckes aus. Auch schlossen wir Beobachtungen über die Luftionisation an. Diese mußten leider früher als beabsichtigt unterbrochen werden, da anscheinend infolge der niederen Temperaturen Zähne aus dem Rad des Uhrwerkes, das den Aspirator bewegt, aussprangen und den Apparat dadurch vorzeitig unverwendbar machten. Wohl hätten wir Messungen ohne den Aspirator auch ausführen können, diese schienen aber noch weniger Bedeutung für die Feststellung quantitativer Werte zu haben als die mit dem intakten Apparat ausgeführten Bestimmungen.

Mit den meteorologischen Beobachtungen befaßte sich Reichel. Weitere Werte verdanken wir unserem verehrten Freunde Prof. Alessandri, dem Direktor des Monte Rosa-Observatoriums. Wegen Mängeln, die an den registrierenden Instrumenten bestanden, sind auch manche seiner Beobachtungen unverwertbar geworden. Die brauchbaren Ergebnisse finden sich in der Anhangstabelle, am Schlusse der

Einleitung angeführt.¹ Die Beobachtungen Alessandri's über Potentialgefälle und am Aktinometer² wie diejenigen über die Ionisation gewonnenen Werte sind daselbst nicht mitgeteilt.

Wie wir aus den Untersuchungen Rubners und seiner Schüler wissen, ist der Wassergehalt der Luft in der Ebene ohne nachweisbaren Einfluß auf den Stoffwechsel; dasselbe fanden wir auch in unseren Beobachtungen auf dem Monte Rosa. Die Feuchtigkeit der Luft war im August und im September sehr verschieden (13. August 39·0 %, 1. September 12·1 % relative Feuchtigkeit). Eine Rückwirkung auf die Größe der für den Erhaltungsumsatz gefundenen Werte bestand nicht. Auch abnormale Erscheinungen in unserem subjektiven Befinden, die stets in den Versuchsprotokollen verzeichnet wurden, lassen keinen Zusammenhang mit dem wechselnden Feuchtigkeitsgehalt der Luft erkennen. Übrigens war die relative Feuchtigkeit in der ersten Zeit unseres Aufenthaltes auf dem Monte Rosa von ganz ähnlicher Höhe wie im Sommer in Wien, während sie Ende August und Anfangs September außerordentlich niedrig lag.

Auch dem Wind darf man nach Wolpert's Untersuchungen keinen Einfluß auf den Erhaltungsumsatz zuschreiben. Er wird sich wohl bei der Bestimmung des Aufwandes für die Steigarbeit sehr stark bemerkbar machen, bei der Feststellung des Erhaltungsumsatzes vermag er nur insoweit beeinflussend zu wirken, als bei niederen Temperaturen ausgelöstes Muskelzittern natürlich eine Umsatzsteigerung vortäuschen könnte.

Wir waren bei unseren Marschversuchen sehr oft heftiger Windbewegung ausgesetzt und auch in der Hütte machten sich stets feine kalte Windströme bemerkbar, die bei schlechtem Wetter den Schnee durch die Fugen auf den Stubenboden bließen. Ein Teil unserer Beobachtungen fällt auf herrliche, dem subjektiven Befinden nach windstille Tage, an denen allerdings das Anemometer immer noch eine ganz beträchtliche Luftbewegung registrierte. Wir konnten einen sicheren Einfluß auf unseren Ruhegaswechsel in jener Periode, in der wir den ganzen Tag windgeschützt in der Hütte verbrachten, gegenüber den Versuchen, die im Anschluß an die Versuchstage ausgeführt wurden, während derer wir uns viel dem Wind im Freien ausgesetzt hatten, nicht beobachten. Nur in den Versuchen an Durig könnte man an einem Tage an einen solchen Einfluß denken, die Umsatzsteigerung während dieser Beobachtung erklärt sich aber vollkommen dadurch, daß Durig anfänglich fror und sich erst allmählich erwärmen konnte.

Um den Einfluß direkter Bestrahlung des Körpers durch die Sonne auf den Gaswechsel kennen zu lernen, stellten Durig und Zuntz im Jahre 1903 eine Reihe von Versuchen im Freien an, die zum Teile auf dem Corno del Camoscio, zum Teile auf dem Dache der Capanna Margherita und auf dem obersten Plateau des Grenzgletschers ausgeführt wurden; während unserer letzten Expedition nahmen wir dieses Thema nicht mehr neuerlich auf.

Bezüglich des Verhaltens des Menschen in der Ebene gegenüber direkter Sonnenbestrahlung wissen wir aus Wolpert's³ Untersuchungen, daß keine charakteristische Änderung der Kohlensäureproduktion eintritt, wenn man die Versuchsperson der Besonnung aussetzt oder die Sonne abblendet und dabei verhindert, daß das Resultat nicht etwa durch die Wirkung einer Wärmeentziehung kompliziert wird. Allerdings zeigen die von Wolpert für die Größe des Umsatzes gefundenen Werte eine solche Höhe und derart große Schwankungen, daß man sicher auf die Mitwirkung reichlicher Spannung der Muskulatur schließen muß.

Übrigens hat schon Speck⁴ viel früher darauf hingewiesen, daß die Belichtung keinen wesentlichen Einfluß auf die Höhe des Umsatzes ausübt. Den Einfluß künstlicher Lichtquellen auf die Höhe des Erhal-

¹ Die von Reichel ausgeführten Ionisationsbestimmungen sind in Abschnitt IX besprochen.

² Siehe Rendiconti della R. Accademia dei Lincei. Cl. d. scienze fisiche etc. XVII, p. 58 und 214.

³ Arch. für Hygiene XLIV. 1902.

⁴ Arch. für exp. Pathologie, XII, 1879.

tungsumsatzes untersuchten Hasselbach¹ und Salomon,² beide Autoren kamen zum selben Resultate, daß Belichtungen des Körpers mit den Strahlen der Bogenlampe keinen Einfluß auf die Höhe des Erhaltungsumsatzes ausüben.

Unsere Versuche³ wurden in vollkommener Köperruhe ausgeführt. Anfangs waren wir besonders bei den Versuchen auf dem Gemshorn der Meinung gewesen, es sei die geringe Erhöhung der Verbrennungsvorgänge, die wir auf Grund unserer Analysen berechneten, durch die direkte Besonnung und die unmittelbare Einwirkung der klimatischen Faktoren im Freien bedingt. Kontrollbeobachtungen belehrten uns aber eines besseren. Diese zeigten, daß es nur die Nachwirkung der vorangegangenen Muskelarbeit war, die in der Umsatzsteigerung zum Ausdruck gelangte. Eine Erhöhung der Verbrennungsvorgänge trat im selben Ausmaße wie im Freien ein, wenn wir nach Ausführung gleich großer Muskelarbeit wie vor den Gemshornversuchen unseren Gaswechsel in Bettruhe untersuchten. Noch intensiver war die Besonnung, der wir uns auf dem Monte Rosa-Gipfel aussetzten. Als Beweis für die Wirkung der Sonnenstrahlung mag der Umstand dienen, daß wir während eines der Versuche⁴ am Sonnenscheinthermometer eine Temperaturdifferenz von 48°C gegenüber dem gewöhnlichen Thermometer fanden. Im selben Sinne sprechen übrigens auch die diesjährigen Temperaturbestimmungen, bei denen wir in praller Sonne zwischen dem Schwarzkugel- und dem Aspirationsthermometer 49·6°C Unterschied in der Angabe feststellen konnten.

Die Respirationsversuche, die wir bei so intensiver Besonnung ausführten, ergaben nun allerdings eine Erhöhung der Verbrennungsvorgänge in Körperruhe, die bei Zuntz deutlich erkennbar ist. Durig dagegen zeigte eine fast ebensogroße Abnahme des Sauerstoffverbrauches, wie folgende Mittelwerte dartun mögen.

		Durig	
		Ventilationsgröße, Liter	Sauerstoffverbrauch pro Minute (Kubikzentimeter)
In der Hütte		7·97	277·5
In der Sonne		7·79	255·5
		Zuntz	
		Ventilationsgröße, Liter	Sauerstoffverbrauch pro Minute (Kubikzentimeter)
In der Hütte		7·61	259·2
In der Sonne		9·27	272·0

Korrigieren wir die Werte auf dasselbe Atemvolum, das in der Hütte beobachtet wurde, so lautet der Wert bei Zuntz 264 cm^3 , nähert sich also schon sehr dem Ruhewert der im Bett gefunden wurde. Der Ausschlag fällt dann jedenfalls nicht größer aus als die Unterschiede, die wir bei den Versuchen auf dem Monte Rosa damals überhaupt beobachteten. Die Größen für den Sauerstoffverbrauch schwankten bei Zuntz zwischen 241 und 286 cm^3 pro Minute und es konnte in den wenigen Beobachtungen auf dem Dache natürlich auch ein Zufall, eine Verschiebung des Mittelwertes des Sauerstoffverbrauches, gegen das Minimum oder das Maximum der Normalwerte herbeiführen. Bei Zuntz dürfte übrigens der Sauerstoffverbrauch auf dem Dache jedenfalls zu hoch bestimmt worden sein, da er die Pausen zwischen den Respirationsversuchen benutzte, um auf dem Boden knieend Bestimmungen der Elektrizitätszerstreuung mit dem Elster Geitel'schen Apparat auszuführen. Durig blieb dagegen in möglichster Muskelruhe in Decken gehüllt

¹ Skandinavisches Arch., Bd. XVII, p. 431.

² v. Noorden's Handbuch, II, p. 624.

³ Arch. f. (Anat. u.) Phys. 1904, Suppl. 417.

⁴ Arch. f. (Anat. u.) Phys. 1904, Suppl., p. 433.

auf der Plattform des Daches liegen und genoß mit Muße den herrlichen Blick in den 3000 *m* tiefen sonnenschimmernden Abgrund auf der italienischen Seite des Gipfels.

Wenn wir im Anschluß an die Ruheversuche auf dem Dache der Capanna Margherita, im Bette, im Inneren der Hütte, an Durig eine Umsatzsteigerung fanden, so kann diese nicht etwa in dem Sinne aufgefaßt werden, als hätte sich nachher eine Wirkung der Besonnung geltend gemacht. Nach Abschluß der Beobachtungen auf der Plattform mußte nämlich ziemlich angestrengte Arbeit geleistet werden, um die Decken und Matratzen, die wir während des Versuches oben benutzt hatten, über die steile Treppe und durch die enge Dachtüre wieder ins Zimmer zu bringen. Es ist daher die geringe, bei der ersten Bestimmung beobachtete Umsatzsteigerung wohl nur ein Ausdruck der Nachwirkung vorangegangener Anstrengung gewesen. Auch einige weitere Respirationsversuche, die wir auf dem Grenzgletscher ausführten, und während derer wir vier Stunden in Decken eingehüllt in einer Grube lagen, die wir aus dem Firn ausgehauen hatten, ließen keine Umsatzsteigerung infolge der direkten Einwirkung der Klimareize erkennen. Eine wesentliche Erhöhung, die bei dem ersten derartigen Versuchen an Durig bestand, ist eindeutig durch die Arbeit mit dem Eispiksel beim Herrichten des Lagers zu erklären; der folgende Versuch (3. September, Nr. 32) beweist, daß, wenn diese Anstrengung vorher nicht stattfand, auch die Umsatzsteigerung nicht zustande kam. Der geringeren Arbeitsleistung entsprechend war auch bei Zuntz die Zunahme nur eine schwächere.

Es geben also unsere Versuche aus dem Jahre 1903 keinen Anhaltspunkt dafür, daß die direkte Bestrahlung oder die ungedämpfte Einwirkung des Höhenklimas im Freien eine Erhöhung des Umsatzes hervorruft. Sollte eine solche in den leicht auf andere Weise zu erklärenden Steigerungen des Sauerstoffverbrauches ausgedrückt sein, so ist diese jedenfalls so klein, daß sie für die Erklärung der ganz ausgesprochenen, dauernden Umsatzsteigerung auf dem Gipfel nicht in Betracht kommt.

Die Ruheversuche, die wir im Jahre 1906 ausführten, sprechen übrigens im selben Sinne, da sie erkennen lassen, daß kein Einfluß auf den Umsatz bestand, ob nun die Beobachtungen nach einer Serie von Märschen stattfanden, in denen wir uns täglich durch mehrere Stunden der Besonnung ausgesetzt hatten oder ob sie in eine Zeit fallen, in der wir uns direkter Klimawirkung nicht ausgesetzt hatten. Nur bei Durig findet sich nach den großen Märschen im Jahre 1906 ein erhöhter Sauerstoffverbrauch, dieser kann aber sehr wohl auf das Training zurückzuführen sein, da Durig fast während eines ganzen Jahres vor der Expedition keine größere Muskularbeit geleistet hatte und erst während der Monte Rosa-Epoche durch die Versuchsmärsche und sonstige Betätigung wieder »in Form« gekommen war. Eine solche Zunahme des Sauerstoffverbrauches nach wiederholter Muskularbeit ist von Zuntz und Schumburg, und zwar an trainierenden Soldaten ebenfalls beobachtet worden.

Einem modernen Zug entsprechend, hat man auch an einen Einfluß der Ionisation der Luft und des Potentialgefälles gedacht in der Meinung, es könnten diese Faktoren in einen Zusammenhang mit der Umsatzsteigerung im Hochgebirge stehen, da eine solche im pneumatischen Kabinett bei gleich hohem Luftdruck nicht zu beobachten ist.

Bezüglich des Potentialgefälles war es die Tatsache, daß im Hochgebirge und auf exponierten Punkten das Potentialgefälle ein besonders großes ist (F. Exner, Elster-Geitel), die den Anlaß dazu gab, daß man auch diese Frage bei Stoffwechselversuchen im Hochgebirge mit in den Bereich der Diskussion zog, während zur Beobachtung der Elektrizitätszerstreuung Versuche von Aschkinasch und Caspari¹ anregten, in denen schon auf die Möglichkeit hingewiesen wurde, daß die Steigerung der Ionisation im Hochgebirge eventuell von Einfluß auf das Zustandekommen der Bergkrankheit sein könnte.

¹ Pflüger's Arch., 86.

Über das Potentialgefälle liegen bisher nur Daten von der Expedition von Zuntz und Durig im Jahre 1903 vor, während welcher Zuntz Messungen des Gefälles an verschiedenen Orten im Anschluß an unsere Respirationsversuche ausführte. Wir kamen damals zum Ergebnis, daß die Höhe des Potentialgefälles gar keinen nachweisbaren Einfluß auf die Größe des Erhaltungsumsatzes ausübt. Im Jahre 1906 hofften wir die Messungen Prof. Alessandris benützen zu können, um sie mit den Ergebnissen unserer Respirationsversuche zusammenstellen zu können, leider sind aber infolge von Mängeln an der Apparatur nur wenige Bestimmungen verwertbar geblieben. Es fielen aber einige unserer Respirationsversuche direkt in die Zeit eines Gewitters, andere wurden bei schönem kalten Wetter und dritte bei Schneefall ausgeführt, so daß während unserer Beobachtungen sicher die verschiedensten in den Sommermonaten auf dem Monte Rosa vorkommenden Spannungen, die etwa von 1000 bis 2500 Volt schwanken, bestanden haben dürften, ohne daß unsere Respirationsversuche irgend welche, bemerkenswerte Veränderungen gezeigt hätten. Es kann übrigens erwähnt werden, daß wir auch in unserem Befinden, weder zur Zeit eines Gewitters, noch vor dem Ausbruch eines solchen, jemals irgend eine Abnormität beobachtet haben, obwohl wir eigens hierauf achteten und jede Besonderheit notiert hätten.

Wir können daher unter Berücksichtigung dessen, was wir schon im Jahre 1903 angenommen hatten, als sicher erachten, daß das Potentialgefälle keinen Einfluß auf die Höhe des Erhaltungsumsatzes oder auf Puls und Temperatur ausübt.

Ebensowenig, als wir einen wesentlichen Einfluß der elektrischen Spannung in der Atmosphäre auf den Erhaltungsumsatz finden konnten, ebenso möchten wir auch eine Wirkung von Änderungen in der Ionisation derzeit noch als ganz unbewiesen, ja als unwahrscheinlich ansehen. Die Tatsachen, die bisher hierüber vorliegen, sind recht spärliche und überhaupt kaum verwertbare. Anlässlich physiologischer Untersuchungen wurden nur während der drei wiederholt erwähnten Monte Rosa-Expeditionen Messungen über die Elektrizitätszerstreuung ausgeführt.

Die im Jahre 1901 angestellten Beobachtungen hat Caspari¹ veröffentlicht, sie sind jedoch mit den Respirationsversuchen in keinem Zusammenhang zu bringen. Die Werte, die aus der Margherita-Hütte stammen, weisen eine auffallend geringe Höhe auf, weshalb Caspari annimmt, daß sie infolge Einwirkung der Örtlichkeit (unter dem Fenster), an dem sie ausgeführt wurden, zu niedrig ausgefallen seien. Zwei, allerdings bei Nebel, im andern Fall sogar bei Nebel und Gewitter in der Gnifettihütte angestellte Beobachtungen ergaben viel höhere Werte für die Elektrizitätszerstreuung unter Überwiegen der positiven Ionen.

Zu dieser Bestimmung diente ein Elster-Geitel'scher Apparat älterer Type. Mit demselben Apparate arbeitete Zuntz auch im Jahre 1903 anlässlich unseres Aufenthaltes auf Col d'Olen und in der Margherita-Hütte. Er fand ausgesprochene Unipolarität² in knapp an unsere Respirationsversuche anschließenden Beobachtungen. Im Jahre 1906 stand uns ein Apparat mit Ebert'schem Aspirator zur Verfügung, den mein verehrter Kollege Prof. Dr. Simony eigens für die Expedition beschafft hat. Wir sind ihm hiefür zu herzlichstem Danke verpflichtet, wie wir auch Herrn Prof. Dr. Mache für seine Ratschläge über die Ausführung der Messungen aufrichtigen Dank schulden. Die Beobachtungen führte Dr. Reichel durch. Er berichtet hierüber in einer eigenen Mitteilung und zwar im folgenden Abschnitte.³ Wir hatten zwar bereits im Jahre 1903 die volle Überzeugung gewonnen, daß ein einigermaßen bemerkenswerter und mit unserer Methodik noch nachweisbarer Einfluß der geänderten Ionisation auf den Erhaltungsumsatz, aber auch auf jenen Symptomenkomplex, den wir als Bergkrankheit bezeichnen, nicht besteht. Dennoch scheint die Deutung, es könnten die Werte, die wir in den Respirationsversuchen zur Zeit starker Unipolarität im Jahre 1903 auf dem Monte Rosa fanden, der Ausdruck

¹ Siehe *Physikalische Zeitschrift* III.

² L. c., p. 464.

³ Siehe Kapitel IX.

einer Einwirkung dieses besonderen Klimafaktors seien, nicht ganz von der Hand zu weisen. In diesem Sinne sprechen besonders zwei Tabellen auf p. 464 und 465 des Buches von Zuntz und seinen Mitarbeitern, in denen unsere einschlägigen Resultate zusammengestellt sind. Diese mögen daher wegen der darangeknüpften Schlüsse hier wiedergegeben werden. Wir fügen ihnen aber auch noch den Mittelwert über die Größe des Ruheverbrauches aus 14, beziehungsweise 16 Beobachtungen bei.

Tabelle XIII.

	Atemgröße	Sauerstoff- verbrauch	Kohlensäure- produktion	Respirat. Quotienten
Zuntz				
27. August	9·500	253·6	186·4	0·735
27. August	10·183	263·5	195·6	0·742
Mittel der übrigen Versuche	8·890	280·9	195·6	0·687
Durig				
27. August	8·100	265·4	194·2	0·732
27. August	8·067	270·3	198·2	0·733
Mittel der übrigen Versuche (4. September)	7·604	247·3	182·0	0·733
Zuntz				
Mittel aus 16 Ruhever- suchen	7·613	259·2	192·7	0·738
Durig				
Mittel aus 14 Ruhever- suchen	7·970	277·5	210·0	0·757
Zuntz				
26. August, erster Versuch nach 1 $\frac{3}{4}$ Stunden Auf- enthalt auf der Plattform	9·050	299·7	217·6	0·726
Mittel der übrigen Respi- rationsversuche nach längerem Aufenthalt im Freien	8·509	282·6	199·7	0·707
Durig				
26. August, erster Versuch	8·013	283·7	211·4	0·738
Mittel der übrigen gleich- artigen	7·715	272·3	190·6	0·699

Die Werte für die Elektrizitätszerstreuung, die wir damals beobachteten, betrugen:

	<i>a</i> —	<i>a</i> +	<i>q</i>
27. August	9·96	1·47	6·78
26. »	4·47	0·67	6·67

Wie bereits oben erwähnt, lag Durig während der ganzen Versuchszeit ruhig auf dem Dache der Margherita-Hütte, Zuntz beschäftigte sich mit den Bestimmungen über die Elektrizitätszerstreuung. Nach dem Aufenthalte auf dem Dache kehrten wir in die Hütte zurück und führten dort Respirationsversuche aus. Wir müssen nun prüfen, ob es möglich ist, aus den in obiger Tabelle wiedergegebenen Zahlen den Schluß zu ziehen, es habe die an den beiden genannten Tagen beobachtete große Unipolarität einen Einfluß auf den respiratorischen Umsatz ausgeübt. Wir finden hierüber im Buche »Über Höhenklima und Bergwanderungen etc.« folgende Erwägung:¹ »...es ergab sich das sehr bemerkenswerte Resultat, daß die Daten dieser Versuche bei Zuntz sowohl wie bei Durig deutlich abweichen von jenen Werten, welche sonst unter gleichen Bedingungen gewonnen wurden. Es ergibt sich also, daß bei Durig am 27. August die Atemgröße, Sauerstoffverbrauch und Kohlensäureausscheidung deutlich gesteigert sind. Bei Zuntz ist nur die Mechanik der Atmung verändert, während der Atemchemismus keine weitere Veränderung zeigt. Wir haben aber gesehen, daß gerade die Atemmechanik eines der Momente ist, welche für ein früheres oder späteres Einsetzen der Bergkrankheit als wesentlich in Betracht kommen.«

»Am Nachmittag desselben Tages wurden ferner Versuche auf dem Schneefeld zwischen Gnifetti- und Zumsteinspitze angestellt. Auch hier sind die Werte für die Atemgröße bei Zuntz und Durig, ebenso gleichzeitig in auffallender Weise Sauerstoffverbrauch und Kohlensäureausscheidung wesentlich höher als bei den übrigen, unter gleichen Bedingungen angestellten Untersuchungen. Schon Zuntz und Durig fielen die abnormen Werte auf und sie suchten nach einer Erklärung. Sie glaubten sie für Zuntz in der Wirkung der Verdauungsarbeit, für Durig in einer vorangegangenen körperlichen Anstrengung zu finden. Es muß natürlich dahingestellt bleiben, ob für den Verbrauch auf dem Schneefelde diese Momente ausschlaggebend gewesen sind oder die genannten, elektrischen Zustände der Atmosphäre dabei mitgewirkt haben. Eine Diskussion darüber ist umsoweniger aussichtsreich, als ja keineswegs erwiesen ist, daß Nachmittag derselbe Zustand der Atmosphäre bestanden hat wie am Vormittage. Am vorhergehenden Tage am 26. August waren vormittags auf der Plattform der Gipfelhütte, während Durig und Zuntz sich daselbst aufhielten (siehe oben), ähnlich hohe Werte für die Unipolarität gefunden worden.«

»Im Freien wurden am 26. August keine Versuche ausgeführt, wohl aber wurden unmittelbar nach Verlassen der Plattform in der Hütte Respirationsversuche in Ruhe vorgenommen. Hierbei zeigte sich eine deutliche Nachwirkung der vorangegangenen, klimatischen Einwirkungen. Wir finden in dem ersten Versuche nach dem Aufenthalte auf dem Dache bei Zuntz, ebenso wie bei Durig eine deutliche Steigerung der Atemmechanik, aber diesmal bei beiden auch eine geringe Steigerung des Sauerstoffverbrauches und der Kohlensäureausscheidung.« Auch an späterer Stelle wird nochmals auf die Wahrscheinlichkeit eines Zusammenhanges zwischen Bergkrankheit, Umsatzsteigerung und Ionisation hingewiesen. Allerdings finden wir dieser Vermutung teilweise widersprechend an anderer Stelle desselben Buches eine Feststellung, die die Bedeutung der Ionisationswirkung sehr einschränkt:² »Die klimatischen Faktoren für sich haben also, wenn überhaupt, jedenfalls nur in geringem Maße den Stoffumsatz gesteigert.« »Da der Aufenthalt im Freien mehrfach zu Zeiten stattfand, wo diese für das Hochgebirge so charakteristische Unipolarität der Lufterlektrizität 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; nament-

¹ »Höhenklima«, p. 464.

² »Höhenklima und Bergwanderungen«, p. 242.

lich war einigemale Beklemmungsgefühl notiert, wenn längerer Aufenthalt im Freien bei starker Unipolarität stattgefunden hatte.«

Bevor wir auf diese Ausführungen näher eingehen, möchten wir auch noch einige andere Angaben erwähnen, die dafür zu sprechen scheinen, daß Steigerung der Luftionisation und Unipolarität den Ausbruch von Bergkrankheit bei gleichzeitig bestehendem Sauerstoffmangel begünstigen können. Zugunsten dieser Anschauung wurde der Umstand geltend gemacht, daß die Alpinisten speziell an bestimmten Örtlichkeiten von dieser befallen werden und daß der Eintritt der Erkrankung besonders bei kalter, klarer Luft und wolkenlosem Himmel stattfinden soll. Die Luftionisation ist nun bei klarem Wetter höher als an feuchten Tagen. Aus der Tatsache, daß die Ionisation der Luft an Orten, an denen sich abgeschlossene, stagnierende Luft befindet, besonders groß ist, schien sich für die Teilnehmer an der Expedition des Jahres 1901 ein weiterer Beweis im Sinne der ausgesprochenen Vermutung zu ergeben. Sie schreiben hierüber: »Zur Unterstützung der Annahme, daß die Bergkrankheit mit diesen elektrischen Vorgängen der Atmosphäre in Verbindung steht, konnten wir (1901) nur eine, allerdings bemerkenswerte, Tatsache beibringen. Auf dem Wege unseres Aufstieges zur Capanna Margherita passierten wir dicht oberhalb des Lysjoches in etwa 4000 *m* Höhe eine Stelle, welche einen der bekannten Orte darstellt, an denen die Bergkrankheit einzusetzen pflegt. Es ist dies eine »Sasso del diavolo« genannte, muldenförmige Bodensenkung am Rande einer ungeheuren Eiskluft. Nur nach Westen ist diese Stelle freigelegen, sonst rings von überragenden Eiswänden abgeschlossen. Die Ventilation muß dort zweifellos eine sehr geringe sein. Es ergaben sich sehr hohe Werte der Ionisation, vor allem eine ausgesprochene Unipolarität.«

Wie liegen nun die Dinge nach unserer heutigen Auffassung? Über die Durchführung von Ionisationsbestimmungen auf Gletschern sind die Ansichten derjenigen Fachleute, die sich speziell mit diesem Gebiete befassen, ziemlich eindeutig. Sie lauten dahin, daß man nicht erwarten darf, mit den bestehenden Methoden auf Schneefeldern, auf denen eine sichere Ableitung zur Erde unmöglich ist, absolute Werte über Ionisation und Unipolarität zu erhalten. Auch die Ableitung gegen ein großes Blech, die wir im Jahre 1906 auf dem Monte Rosa versuchten, liefert gewiß keine wesentlich anderen Werte, als wenn auf dem Schnee ohne solche Vorsichtsmaßregel abgeleitet wird, ferner wissen wir, daß bei den stetig wechselnden Verhältnissen auf einem solchen Hochgipfel durch Vorbeiziehen von kleinen Dunstschwaden, durch Änderung von Wind etc. die Ionisation auch innerhalb kurzer Zeiträume eine sehr wechselnde ist. Wir können daher wohl allen älteren, einschlägigen Messungen auf dem Monte Rosa ganz unbedenklich jede Beweiskraft absprechen, jedenfalls insofern es sich um den Vergleich quantitativ verschiedener Größen handelt. Es wird wohl erst dann möglich sein, auch von physiologischer Seite an die Untersuchung eines Zusammenhanges zwischen der Ionisation und dem Verhalten des Menschen auf Gletschern zu denken, wenn die betreffenden physikalischen Methoden so weit ausgebaut sein werden, daß sie unter solchen Verhältnissen absolute Werte liefern.

Wir legen aber auch auf unsere mit vervollkommelter Methodik ausgeführten Bestimmungen kein großes Gewicht, obwohl wir bei den Versuchen auf dem Gletscher durch ein langes Kabel, das wir an die Hütte und an den Blitzableiter anschlossen, eine sichere Ableitung zur Erde anstrebten. Die Zahl unserer Versuche ist eine zu geringe und nur wenige Beobachtungen fallen mit Respirationsversuchen zusammen. Von solchen wären nur die Versuche über die Nachwirkung der Marscharbeit in Diskussion zu stellen. Wir möchten aber in Bezug auf diese nur erwähnen (siehe Abschnitt IX), daß zwischen der Elektrizitätszerstreuung am 16. und 20. August jedenfalls bemerkenswerte Unterschiede bestanden. Aus den Respirationsversuchen ergibt sich, daß weder aus der Höhe des Atemvolums noch jener des Sauerstoffverbrauches irgend ein auffallender Unterschied abgeleitet werden kann.

Können uns direkte Messungen an Punkten des Gletschers, an denen besonders leicht Bergkrankheit auftreten soll, also derzeit keinen Aufschluß über einen Zusammenhang zwischen Ioni-

sation und respiratorischem Umsatz geben, so steht es auch um die Vermutungen auf Grund von Analogieschlüssen nicht besser. Wir verfügten wohl sämtlich über einige alpine Erfahrung und besonders Durig, der fast zwei Monate auf dem Gipfel des Monte Rosa verbrachte, hatte während dieses langen Aufenthaltes oft Gelegenheit, bergkranke Personen zu sehen. Wir können nur das bestätigen, was aus den so verschieden lautenden Angaben vieler Alpinisten und Forschungsreisender hervorgeht, daß man keine bestimmte Witterung als jene namhaft machen kann, bei der die Bergkrankheit auftritt. Wir sahen sowohl in feuchtem Nebel wie bei herrlich klarem Wetter Personen, die von Bergkrankheit befallen werden und selbst der Eintritt eines Gewitters schien uns keinen nachweislichen Einfluß zu besitzen. Wenn wir aber einen Ort angeben sollten, an dem auf dem Monte Rosa am leichtesten die Bergkrankheit eintritt, so möchten wir behaupten, daß dies das Bett ist. Es hat darauf übrigens schon Mosso in seinem Buche »Der Mensch auf den Hochalpen« hingewiesen, daß die Bergkrankheit vielfach erst nach längerem Ausruhen eintritt, und auch wir konnten wiederholt beobachten, daß Personen, die bei vollem Wohlsein in der Hütte eintrafen, erst nach einigen Stunden oder während der Nacht unwohl wurden und sich erbrechen mußten. Auch auf der Dufourspitze sahen wir Touristen, die in ganz leidlichem Zustande angekommen waren und erst dann, nachdem sie geraume Zeit ausgeruht hatten, den bekannten Symptomkomplex zeigten.

Diese Erfahrungen sprechen wohl von vorneherein sehr gegen die Ionisationshypothese. Was die als oben erwähnte besonders bedenklich bezeichnete Stelle oberhalb des Lysjoches betrifft, an der so leicht Bergkrankheit eintreten soll, so möchten wir uns der Auffassung ebenfalls nicht anschließen, daß an diesem Orte erhöhte Ionisation im Spiele sein könnte. Die ersten Zeichen von Bergkrankheit beobachteten wir an Touristen entweder noch unterhalb des Lysjoches oder oberhalb des Sesiajoches. In beiden Fällen handelt es sich um ziemlich lange, gleichmäßige Steigungen. An der zweiten dieser Stellen vermochte auch Zuntz im Jahre 1903 nur mehr schrittweise fortzukommen, während er den gefürchteten »Sasso del diavolo« ohne Beschwerden passiert hatte. Dem im Werke »Höhenklima und Bergwanderungen« so bezeichneten Punkt müssen wir übrigens seinen romantischen Namen rauben und diese Bezeichnung einem harmlosen, großen Felsblock rückerstatten, der auf einer Alpe unterhalb Col d'Olen liegt und seinen Namen nach einer hübschen Sage trägt, die sich an ihn knüpft.

Es ist allerdings möglich, daß unter bestimmten Verhältnissen in der Traverse unterhalb der Parrotspitze¹ Menschen von Bergkrankheit befallen werden — ich möchte dabei auf die Schilderung eines der Versuchsmärsche in unserer Einleitung verweisen —, denn diese kann leicht eintreten, wenn tiefes Einsinken in Neuschnee daselbst hochgradige Anforderungen an die Leistungsfähigkeit eines erschöpften oder weniger kräftigen Touristen stellt und dieser etwa noch vom Führer zur Eile angetrieben wird.

Trotz der anscheinend erhöhten² Werte, die übrigens dort für die Ionisation gefunden wurden, ist es kaum anzunehmen, daß sich an dieser Stelle stagnierende Luft finden soll.³ Die Stelle ist gegen Westen offen und wie aus einem Kamin steigt durch das Tal des Grenzgletschers, das lange im Schatten bleibt, meist ein eisiger Luftstrom direkt gegen die Parrotspitze herauf, die auf der entgegengesetzten Seite (Südseite) von der prallen Sonne angewärmt wird.

Übrigens ist es ja schon durch die Jahr für Jahr veränderliche Lage der Anstieglinie, der Spalten und der Eistürme klar, daß man diese Stelle nicht vermöge der dort herrschenden stärkeren Elektrizitätszerstreuung als besonders bergkrankheitsgefährlich bezeichnen kann.

Es wären nun nur noch die obigen beiden Tabellen zu besprechen, die unter der Voraussetzung, es seien die Messungen der Elektrizitätszerstreuung damals wirklich einwandfrei gewesen, im Sinne eines Einflusses der Elektrizitätszerstreuung auf den Gaswechsel sprechen.

¹ Siehe Abschn. II, Taf. III (bei Ziffer IX).

² Wegen der Methodik.

³ Man vergleiche die Windgeschwindigkeiten auf dem nahen Gipfel, Anhangstabelle der Einleitung, p. 32.

Am 27. August soll bei Durig Atemmechanik, Kohlensäureproduktion und Sauerstoffverbrauch erhöht gewesen sein. Eine Erhöhung der Atemmechanik ist sofort auszuschalten, wenn wir berücksichtigen, daß das gewechseite Gasvolum zufällig fast genau dasselbe ist, wie im Mittel von 14 Versuchen in der Hütte. Wenn an einem andern Tag (Mittel der übrigen Versuche) das Volum nur 7·6 l beträgt, also ganz unwesentlich niedriger ist, so stimmt dies mit den Versuchen in der Hütte ebenfalls überein, wir beobachteten dort auch 7·5 l in zwei aufeinanderfolgenden Beobachtungen.¹ Sauerstoffverbrauch und Kohlensäureproduktion sind aber ebensowenig erhöht, sondern im Vergleich zu dem Mittel der 14 Ruhewerte eher erniedrigt.² Wenn eine Erklärung für einen Wert zu schaffen wäre, müßte dies für die niedrigen Werte der Versuche vom 4. September geschehen, die etwas aus der Reihe fallen, von diesem Tag liegen aber keine auffallenden Werte für die Ionisation vor. Vielleicht hat am 4. September die behagliche Wärme mitgespielt und zu besserer Entspannung der Muskulatur Anlaß gegeben. An jenem Tage, an dem so auffallende Größen für die Ionisation bestimmt wurden, fand sich aber ganz sicher keine Abnormität im Gaswechsel Durig's.

Genau dasselbe gilt von Zuntz, bei dem die Resultate der Respirationsversuche sicher durch das vorangehende Arbeiten in gebückter Stellung (der Apparat stand auf dem Boden) beeinflußt sind. Eine Steigerung des Atemvolums hätten wir unter diesen Verhältnissen gradeso in der Ebene gefunden. Auch bei ihm war der Umsatz derselbe gewesen, wie in der Hütte.

Nicht viel anders sieht es mit der Deutung der Versuche am 26. August 1903 aus. Bei Durig ist das Atemvolum gegenüber dem Hauptmittel des Ruheversuchswertes nicht verändert, der Sauerstoffverbrauch um 2% erhöht; wir wissen aus dem oben Angeführten, daß dies zu den Fehlergrenzen³ der Methodik gehört und daß wir sehr befriedigt sein könnten, wenn alle Respirationsversuche um keine größeren Beträge schwanken würden. Übrigens ist dieser Wert sicher als zu hoch anzusehen, da der Versuch möglichst rasch an den Versuch auf dem Dache der Hütte angeschlossen wurde und sicher die Arbeit, die das Herabbefördern der Matratzen verursachte, noch nachwirkte.

Bei Zuntz spricht der Wert von 299·7 cm³ Sauerstoffverbrauch und 9·0 l Ventilation für eine Umsatzsteigerung, man bedenke aber, daß wir eine solche auf der Plattform unter direkter Einwirkung der klimatischen Faktoren nicht beobachteten und daß in dem etwa 6 Minuten nach der genannten Beobachtung angestellten Kontrollversuche 261·4 cm³ Sauerstoffverbrauch und 7·9 l Ventilation beobachtet wurden, also Werte, die wieder mit dem Mittel 7·6, beziehungsweise 259 sehr gut übereinstimmen. Wir können ganz gewiß voraussetzen, daß der erste Versuch schlecht war, weil infolge der Arbeit des Zusammenräumens der Apparate und vorangegangener, anderer Muskelbewegungen noch nicht vollkommene Ruhe eingetreten war. Derart abweichende Werte finden wir bei Zuntz im Jahre 1901 auch bei Versuchen, die ausschließlich im Bett in der Hütte ausgeführt wurden (zum Beispiel 236 cm³ und 287 cm³ Sauerstoffverbrauch). Wir können daher mit aller Bestimmtheit sagen, daß in den einzelnen Versuchen im Jahre 1903 gewiß kein Einfluß der Ionisation auf den Gaswechsel nachzuweisen ist und daß selbst dann, wenn wir die Größen der Messungen der Elektrizitätszerstreuung als positiv richtig annehmen würden, unsere damaligen Ergebnisse direkt den Gegenbeweis erbringen würden, indem sie dann aussagen müßten, daß kein Einfluß dieses Klimafaktors auf den Umsatz besteht.

Auch unsere sonstigen Erwägungen, die wir der Annahme einer Möglichkeit solcher Einwirkungen auf Grund von Analogieschlüssen entgegenhielten, sprechen sicher eher zuungunsten als zugunsten der Ionisationshypothese. Es darf endlich nicht vergessen werden, daß selbst, im Falle der Nachweis hätte erbracht werden können, daß unter dem Einflusse erhöhter Unipolarität eine Steigerung des Atemvolumens

¹ Arch. f. (Anat. u.) Phys. Suppl. 1904, p. 430.

² Der Verbrauch am selben Morgen im Bett ist übrigens 274 cm³ O₂, Kohlensäureproduktion 221 cm³ pro Minute, also ganz analog dem auf dem Dach gefundenen.

³ Einschließlich der physiologischen Schwankungen.

oder eine Änderung im Erhaltungsumsatz eintritt, darin noch lange kein Hinweis darauf gelegen wäre, daß die Elektrizitätszerstreuung einer jener Faktoren ist, der für das Zustandekommen der Bergkrankheit verantwortlich gemacht werden kann. Wir werden nämlich noch festzustellen haben, daß keinerlei Zusammenhang zwischen der Höhe der Umsatzsteigerung auf dem Monte Rosa und jenem Symptomenkomplex, den wir als manifeste Bergkrankheit bezeichnen möchten, besteht.

Eine Erhöhung der Körpertemperatur führt im allgemeinen zu einer Steigerung des Erhaltungsumsatzes. Pflüger wies nach, daß an Kaninchen, deren Körpertemperatur künstlich gesteigert wurde, auch der Sauerstoffverbrauch und die Kohlensäureproduktion erhöht wird;¹ es handelte sich hierbei um curaresierte Tiere und solche, bei denen Rückenmarksdurchschneidung ausgeführt war. Zu demselben, wenn auch quantitativ etwas verschiedenen Resultate gelangte Velten.² Beim Hunde wurde ebenfalls in heißen Bädern eine wesentliche Umsatzsteigerung beobachtet. (Quinquaud.)

Bekanntermaßen hat übrigens diese Frage eine große Bedeutung für die Theorie des Fiebers gewonnen.³ Finkler⁴ glaubt in der fieberhaften Temperatursteigerung eine Schutzvorrichtung zu sehen, die gesteigerte Oxydationsvorgänge herbeiführt; die intensive Steigerung der Verbrennungsvorgänge »soll die fiebererzeugende Substanz zerstören«,⁵ aber aus Versuchen von Loewy⁶ geht hervor, daß sich nicht einmal jene Vermehrung des Sauerstoffverbrauches, die während des Anstieges des Fiebers erfolgt, auf eine Steigerung des Erhaltungsumsatzes beziehen lasse. Ganz besonders bedeutungsvoll sind aber die Versuche von Zuntz,⁷ durch welche nachgewiesen wurde, daß curaresierte Tiere unter der Einwirkung sonst sicher Fieber erzeugender Substanzen keine Temperatursteigerung und damit auch keine Steigerung der Oxydationsprozesse aufweisen. Es spricht dies für den direkten Zusammenhang zwischen der fieberhaften Temperatursteigerung und der Muskelinnervation. Versuche, die Speck an sich selbst anstellte⁸, führten gleichfalls zu dem ganz eindeutigen Resultate, daß die Temperaturerhöhung im Fieber mit keiner Steigerung des Erhaltungsumsatzes verbunden ist.⁹ Speck selbst faßt seine Anschauung in bezug auf die febrile Temperatursteigerung in den Worten zusammen: »Die Wärmeregulation wird ausschließlich nur durch die Änderung in der Wärmeabgabe hervorgebracht und nicht durch Änderung der Wärmeproduktion und die Fiebertemperatur ist ganz allein die Folge einer verminderten Wärmeabgabe, nicht die Folge vermehrter Oxydation.«¹⁰ Die Versuche von Winternitz¹¹ vermögen diese Tatsachen nicht zu widerlegen,¹² und auch Beobachtungen, die Winternitz und Pospischill¹³ ausführten, sind nicht nur gegenüber den Argumenten Speck's unhaltbar, sondern schon auf Grund der absoluten Größe der gefundenen Werte auszuschalten. In den Untersuchungen zahlreicher Autoren ist übrigens

¹ Pflüger's Arch., XVIII, p. 247.

² Ebenda, XXI, p. 361.

³ Eine übersichtliche Zusammenstellung hierüber findet sich bei Loewit: Vorlesungen über allgemeine Pathologie, Jena. Fischer, 1897.

⁴ Pflüger's Arch., XXIV, p. 98.

⁵ L. c., p. 241.

⁶ Berliner klin. Wochenschr., 1891, p. 93.

⁷ Zentralbl. f. d. mediz. Wissensch., 1882, p. 561.

⁸ Deutsches Arch. für klin. Mediz., 1885. p. 107. V. Untersuchungen über den Einfluß warmer Bäder etc.

⁹ L. c., p. 115.

¹⁰ L. c., p. 150.

¹¹ Klin. Jahrb., VII, 1899.

¹² Speck, Abkühlung, Lichtwirkung etc. Blätter für klin. Hydrotherapie, 1902.

¹³ Ebenda 1893.

nachgewiesen worden, daß aber auch Temperatursteigerungen bei Tieren auftreten können, ohne daß eine wesentliche Steigerung des Sauerstoffverbrauches zustande kommt. In vielen Fällen, bei denen sich zugleich mit der fieberhaften Temperatursteigerung auch eine Erhöhung der Verbrennungsvorgänge nachweisen läßt, ist diese außer durch Muskelzittern auch durch die vermehrte Herz- und Atemarbeit sehr wohl zu erklären. Desungeachtet ist es aber unzweifelhaft, daß, ebenso wie jede Temperaturerhöhung eine Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit herbeiführt, auch im Tierkörper bei gesteigerter Temperatur ein rascherer Ablauf der Oxydationsvorgänge eintreten muß, so daß wir neben der Erhöhung der Verbrennungsvorgänge durch Muskelaktion auch eine Steigerung des Erhaltungsumsatzes annehmen müssen.

Auf die Frage, in welchem Umfange Temperatursteigerungen beim vollständig bewegungslos liegenden Menschen, dessen Muskulatur nach Möglichkeit entspannt ist, etwa wie bei dem Kaninchen Pflüger's den Umsatz zu verändern vermögen, können wir heute kaum eine vollkommen entscheidende Antwort geben. Das eine steht jedenfalls fest, daß das Ausmaß dieser Steigerung beim Menschen jedenfalls nicht so groß sein muß wie beim Tier.

Die Beobachtungen von Linser und Schmidt¹ sind in dieser Hinsicht nicht beweisend, denn die Ergebnisse ihrer Versuche an einem Patienten, der an Ichthyosis litt, besagen nur, daß bei derartigen pathologischen Verhältnissen der Haut eine Steigerung des Sauerstoffverbrauches im warmen Bade eintritt. Schon der Umstand allein, daß bei ihrer Versuchsperson bei einem Anstieg der Körpertemperatur um wenige Zehntelgrade bereits eine Umsatzsteigerung von nahezu 100% zustande kommt, beweist, daß wir solche Resultate mit physiologischem Verhalten, ja selbst mit dem Verhalten im Fieber nicht vergleichen dürfen. Sogar das Kaninchen zeigt nach Rückenmarkdurchschneidung oder Curarevergiftung bei so geringen Temperaturänderungen keine derartige Zunahme des Umsatzes, und nicht einmal die Kaltblüter würden unter diesen Verhältnissen ähnliche Erhöhungen des Stoffwechsels aufweisen.

Neue Beobachtungen von Salomon² über den Gaswechsel im Heißluft- und Lichtbad bestätigen aber unzweifelhaft den Befund, daß bei Steigerung der Körpertemperatur des Menschen auch eine Umsatzsteigerung eintritt, letztere ist aber ganz verschieden groß, je nach der Art, in der die Temperaturerhöhung des Körpers herbeigeführt wurde. Im Glühlichtbad, im Bade des Bogenlampenlichtes wie im Heißluftbad, war nahezu keine Umsatzsteigerung nachzuweisen, intensiver wirkte das Sandbad und am kräftigsten das heiße Wasserbad auf die Verbrennungsvorgänge im Sinne einer Steigerung. (Winternitz).³ Hierbei spielt jedenfalls der Umstand, inwieweit die Hautregulation beeinträchtigt war und inwieweit die Temperatursteigerung den ganzen Körper betraf eine große Rolle. Die Erhöhung der Körpertemperatur auf dem Monte Rosa unterscheidet sich jedenfalls von jener in den Bädern dadurch, daß das umgebende Medium eine hinreichende Abgabe von Wärme durch Leitung und Strahlung nicht verhindern sondern im Gegenteil begünstigen mußte (niedere Umgebungstemperatur); die Verhältnisse liegen also auf dem Monte Rosa jenen beim Fieber näher.

In bezug auf die Steigerung der Verbrennungsvorgänge, die wir auf dem Monte Rosa beobachteten, haben wir aber oben ausgeführt, daß bei keinem von uns allen während des ganzen, mehr als vier Wochen dauernden Aufenthaltes eine Verminderung des erhöhten Umsatzes eintrat. Ganz anders war das Verhalten der Körpertemperatur. Während wir bereits wenige Stunden nach unserer Ankunft⁴ dieselben Werte für den Erhaltungsumsatz fanden wie 27 Tage nach dem Betreten des Gipfels,⁵ zeigte es sich, daß die Temperatursteigerung, welche ihr Maximum in den ersten Tagen des Gipfelaufenthaltes erreicht hatte, dann allmählich immer geringer geworden ist, so daß sie am Schlusse des Aufenthaltes ganz oder nahezu

¹ Arch. für klin. Medizin, 79, p. 514.

² L. c., v. Noorden's Handbuch, Bd. II, besonders p. 590 v. ff. u. 627.

³ Klinische Jahrb. VII, 1899 und Habilitationsschrift Halle 1902 bei Lippert Naumburg.

⁴ Siehe oben Arch. für (Anat. u.) Physiologie, 1904, Suppl., p. 437.

⁵ Siehe die Generaltabelle über die Ruheversuche auf dem Monte Rosa im Anhang.

ganz verschwunden war. Übrigens ähnelt das Verhalten der Pulsfrequenz dem der Körpertemperatur insofern, als auch diese anfänglich am höchsten war und sich während des Monats August stetig verminderte. Da somit auf dem Monte Rosa jeder Parallelismus zwischen dem Verhalten der Pulsfrequenz (Herzarbeit) und der Temperatur einerseits und der Steigerung der Verbrennungsvorgänge andererseits fehlte, können wir es als ausgeschlossen erachten, daß diese Faktoren in entscheidendem Zusammenhang mit den Veränderungen stehen, die wir im Chemismus des Gaswechsels beobachten konnten. Nach dem im Voranstehenden Gesagten hätten wir eher zu erwarten, daß die anfängliche Temperatursteigerung eine Folge der Erhöhung der Verbrennungsvorgänge war, die später durch Ausbildung einer mechanischen Regulation verschwand, als daß wir annehmen könnten, es sei die Steigerung der Verbrennungsvorgänge eine Folge der Temperaturerhöhung gewesen.

Endlich wäre noch die Frage zu erwägen, auf die wir schon oben hingedeutet haben, ob die Bergkrankheit, die doch jedenfalls in ihrer Entstehung auf die klimatischen Verhältnisse im Hochgebirge zurückzuführen ist, in einem Zusammenhang mit der Umsatzsteigerung zu bringen ist oder nicht. Wir möchten unsere Antwort nur auf jene (manifeste) Erkrankung beziehen, die sich hauptsächlich durch Appetitmangel, Erbrechen, Kopfschmerz, Herzklopfen, fadenförmigen Puls, Schläffheit und Unfähigkeit zur Arbeit, eventuell auch durch das Gefühl der Beklemmung und Atemnot kennzeichnet. Solche Erscheinungen in anfangs ausgesprochener, später mehr verwischter Form machten sich bei Kolmer während des ganzen Aufenthaltes geltend, dennoch ist sein Erhaltungsumsatz ebenso gesteigert, wie derjenige von Zuntz im Jahre 1903, und jener von Durig, Rainer und Reichel im Jahre 1906. Die Werte, die 1901 gewonnen wurden, können wir hier zum Vergleich nicht heranziehen, da sie in quantitativer Hinsicht unsicher sind und damals sämtliche Teilnehmer von der Bergkrankheit befallen waren, sich aber während des sehr kurzen Aufenthaltes wieder ziemlich erholten. Auch die Tatsache, daß Kolmer anfänglich viel schwerer unter der Bergkrankheit zu leiden hatte als in den späteren Versuchen, ergibt, daß weder die Intensität der Erkrankung noch deren Auftreten überhaupt in einem Zusammenhang mit der Umsatzsteigerung stehen. Wir werden daher den Symptomenkomplex Bergkrankheit in dieselbe Reihe der beobachteten Erscheinungen stellen müssen, wie das Auftreten der Umsatzsteigerung, der Temperaturerhöhung etc., indem wir diese Erscheinungen alle als das nebeneinander laufende Resultat der Klimawirkung betrachten. Von den Komponenten, die sich in der Wirkung des Höhenklimas geltend machen, ist uns nach dem, was wir in diesem Abschnitte ausführten, als einziges Moment, das sicher in Betracht zu ziehen ist, derzeit nur die Abnahme des Luftdruckes bekannt, alle übrigen, bekannten Faktoren, die bisher zugleich mit der Erhöhung des Umsatzes oder mit dem Auftreten der Bergkrankheit untersucht wurden, haben sich als nebensächlich oder unwirksam erwiesen.

F. Über die Nachwirkung eines vorangegangenen Höhengaufenthaltes.

Über diese Frage liegen bisher zwei vollständig gegensätzliche Angaben vor. Als Resultat der Versuche, die nach dem Aufenthalte auf dem Chasseral in Basel ausgeführt wurden, fanden Jaquet und Staehelin eine Steigerung des Umsatzes, die zwei Monate nach der Rückkehr nach Basel noch nicht vollkommen zurückgebildet war. Es hätte nach diesen Ergebnissen der Aufenthalt in relativ niedriger Höhe zu einer nachhaltenden Erhöhung der Verbrennungsvorgänge geführt.

Anlässlich der Besprechung ihrer Versuche in der zweiten Periode des Brienzer-Aufenthaltes erwähnen Zuntz und seine Mitarbeiter, daß nach dem Abstieg vom Rothorn eine Verminderung des Ruhegas-

wechsels eingetreten sei, im Gegensatz zu Jaquet hätte also bei diesen Beobachtungen ein Aufenthalt von wenigen Tagen in mittlerer Höhe zu einer Verminderung der Verbrennungsprozesse geführt.

Über die Nachwirkung eines Aufenthaltes in sehr großer Höhe, wie zum Beispiel auf dem Monte Rosa, lagen bisher keine Beobachtungen vor. Wir können aber auch keiner der beiden angeführten Angaben, weder jener von Jaquet noch jener von Zuntz und seiner Mitarbeiter eine Beweiskraft zuerkennen.

Bezüglich der Versuche Jaquets haben wir schon oben p. 48 [162] Bedenken erhoben, da die im Vorversuche gefundenen Größen für den Umsatz einer Versuchsperson von 81.5 kg^1 sehr wahrscheinlich zu niedrige sind. Mögen wir diese nun mit unseren eigenen Resultaten oder mit jenen von Johansson zusammenhalten, indem wir die Kohlensäureproduktion in beiden Fällen vergleichen.² Wenn wir geneigt sind, den auf dem Chasseral gewonnenen Wert seiner Höhe nach für einen Normalwert zu halten, so ändert sich natürlich die Bedeutung der Größen, die für den Gaswechsel im Nachversuch gewonnen wurden. Der in Basel nach der Rückkehr vom Chasseral gefundene Umsatz weicht von jenem, der in der Höhenstation ermittelt wurde, um 5% ab; dem gegenüber beträgt die relative, mittlere Breite der Abweichungen in diesen Versuchen 6%. Es fällt also der Ausschlag noch in die Schwankungen, die durch Methodik und Verhalten der Versuchsperson gegeben sind, ja es könnte sogar noch eine Abnahme des Umsatzes verdeckt worden sein.

Ob in den Versuchen von Zuntz und seinen Mitarbeitern nach dem wenige Tage währenden Aufenthalt auf dem Rothorn eine Veränderung des Umsatzes vorhanden war oder nicht, läßt sich ebenfalls nicht mit Sicherheit entscheiden. Lesen wir die Resultate im Sinne der Verfasser, so zeigte sich nach der Rückkehr vom Rothorn Gipfel in das Tal bei Kolmer, Müller und Loewy eine Abnahme der Verbrennungsvorgänge. Die Beweiskraft sämtlicher Ausschläge wird aber durch die Schwankungen, die die gefundenen Werte unter sich zeigen, wesentlich eingeschränkt; um so mehr, als die Zahl der Versuche nach der Rückkehr vom Rothorn Gipfel eine sehr geringe ist.

Wir müssen berücksichtigen, daß bei den untersuchten Personen der Umsatz in Brienz niedriger war als in den vorhergehenden Versuchen in Berlin, daß es also nicht befremden kann, wenn er auch nach den ersten Versuchen in Brienz noch etwas weiter absank. Ferner sehen wir bei einem Einblick in die vorliegenden Tabellen über den Gaswechsel in den beiden Brienzer Perioden, daß die Verminderung des Umsatzes bei Kolmer zum Beispiel nur eine scheinbare ist. Die Werte für den Sauerstoffverbrauch pro Minute schwanken in der ersten Brienzer Periode bei ihm von 216 bis 278 cm^3 , in der zweiten Brienzer Periode von 247 bis 253 cm^3 (drei Versuche).³ Sie geben also sicher keinen Anhaltspunkt für Umsatzänderungen. Ganz ähnlich liegen die Dinge bei Loewy, wenn wir auch ganz vom unsicheren Berliner Grundwert absehen. Bei ihm finden wir vor dem Aufstieg in Brienz einen Sauerstoffverbrauch, der von 196 bis 223 cm^3 pro Minute schwankt, am Tage nach der Rückkehr wurden 222 cm^3 hierfür ermittelt, während am Tage vor dem Aufstieg 209.3 cm^3 bestimmt wurden. Am fünften Tage nach dem Abstieg wurde in einem Doppelversuch ein etwas niedriger Wert als das vorher in Brienz gefundene Minimum beobachtet. Die Abnahme liegt aber wohl noch ganz in den Abweichungsbreiten.

Man würde also, ohne den Zahlen einen größeren Zwang anzutun, auch bei Kolmer und Loewy eine Zunahme des Umsatzes anstatt einer Abnahme in den Versuchen über die Nachwirkung des Höhenaufenthaltes ableiten können, wenn auch die Mittelwerte im letzteren Sinne sprechen.

¹ Siehe Arch. für exp. Path. 46, p. 278.

² Die Personen Lm., Bg. und Fst. von Johansson produzierten bei 85, 86, beziehungsweise 87 kg Körpergewicht rund $220 \text{ cm}^3 \text{ CO}_2$ pro Minute, während wir bei Jaquet im Vorversuch 180 cm^3 , auf dem Chasseral 206 und nachher 207 und 215 cm^3 pro Minute finden (vgl. Skand. Arch., XXI, p. 2).

³ Den Wert von 202 cm^3 muß man gewiß als ganz unrichtig eliminieren, da in einem unmittelbar anschließenden Versuch der Quotient 0.97 gegenüber 0.72 vorher lautet.

Betrachtet man die Werte für den Sauerstoffverbrauch Müller's am Tage vor dem Aufstieg zum Rothorn, so lauten diese 228cm^3 im Mittel; als Mittel der Versuche nach der Rückkehr finden wir 227.8cm^3 . Es findet sich also geradezu eine ideale Übereinstimmung, aber keine Abnahme. Wir können daher aus den diesbezüglichen Versuchen des Jahres 1901 nur folgern, daß der Aufenthalt auf dem Rothorn keinen nachweisbaren Einfluß auf den Umsatz ausgeübt hat.

Die Ergebnisse unserer neuen Versuche über die Nachwirkung eines Höhengaufenthaltes finden sich in den drei Anhangstabellen (IX, X und XI). Es handelte sich in unseren Versuchen um die Feststellung, ob eine Nachwirkung eines vorangegangenen Aufenthaltes auf dem Semmering und auf dem Monte Rosa nach der Rückkehr ins Tal nachzuweisen sei. An dieser Stelle soll vorerst nur das Verhalten des respiratorischen Umsatzes berücksichtigt werden.

Tabelle XIV.

Nachwirkung des Höhengaufenthaltes.

(Semmering.)

Durig.

Reichel.

Ort	Kalorien pro Minute	Kalorien pro m^2 und Minute	Ort	Kalorien pro Minute	Kalorien pro m^2 und Minute
Wien, Vorversuch	1.021	0.540	Wien, Vorversuch	1.325	0.576
Semmering	1.101	0.585	Semmering {	1.376	0.600
				1.202	0.527
Wien, Nachversuch	1.022	0.545	Wien Nachversuch	1.290	0.569

Die voranstehende Tabelle gibt die hauptsächlichsten Zahlen vom »Semmeringversuch« wieder. Es ist dazu zu bemerken, daß der Aufenthalt auf dem Semmering vier Tage dauerte und daß die Personen im Stoffwechselversuch lebten. Übersieht man die Resultate, so ergibt sich, daß der Umsatz, der sofort nach der Ankunft auf dem Semmering eine Änderung erfuhr (siehe p. 38 u. 39 [152]), die bei beiden Versuchsteilnehmern nicht genau gleichartig war, nach der Rückkehr nach Wien sich prompt wieder auf die alte Höhe eingestellt hat. Es ist dabei besonders bemerkenswert, daß hierzu bei Reichel ein Ansteigen, bei Durig eine Abnahme des Umsatzes eintreten mußte. Wir können demnach ausschließen, daß sich in diesem Falle eine Nachwirkung des Höhengaufenthaltes auf die Verbrennungsprozesse eingestellt hat.

Nach dem Abstieg vom Monte Rosa führten wir ebenfalls Respirationsversuche aus, die uns im Anschlusse an die Beobachtungen auf dem Gipfel lehren sollten, welche Veränderungen im Gaswechsel bei dem plötzlichen Wechsel zwischen dem Aufenthalte auf der Capanna Margherita und dem 3300 m tiefer gelegenen Alagna bestehen. Wir führten den Abstieg in etwas mehr als einem halben Tage durch und begannen bereits am nächsten Morgen wenigstens an zwei Versuchspersonen mit den Respirationsversuchen.

Tabelle XV.

Nachwirkung des Höhenaufenthaltes.

(Monte Rosa.)

Durig.

Kolmer.

Ort	Kalorien pro Minute	Kalorien pro m^2 und Minute	Ort	Kalorien pro Minute	Kalorien pro m^2 und Minute
Wien (Sommer)	1·024	0·542	Wien (Sommer)	1·227	0·546
Monte Rosa	1·324	0·683	Monte Rosa	1·285	0·611
Alagna, 5. September	0·968	0·520	Alagna	—	—
Alagna, 6. bis 8. September . .	1·023	0·550	Alagna	1·165	0·545
Wien (Winter)	1·022	0·540	Wien (Winter)	1·261	0·541

Tabelle XVI.

Nachwirkung des Höhenaufenthaltes.

(Monte Rosa.)

Rainer.

Reichel.

Ort	Kalorien pro Minute	Kalorien pro m^2 und Minute	Ort	Kalorien pro Minute	Kalorien pro m^2 und Minute
Wien (Sommer)	1·107	0·556	Wien (Sommer)	1·325	0·572
Monte Rosa	1·245	0·634	Monte Rosa	1·422	0·610
Alagna	—	—	Alagna, 5. September	1·048	0·480
Alagna, 6. bis 8. September . .	1·075	0·545	Alagna, 6. bis 8. September . .	1·224	0·557
Wien (Winter)	1·059	0·542	Wien (Winter)	1·257	0·557

Der Erfolg des Abstieges vom Monte Rosa ist bei Durig und Reichel ganz eindeutig derselbe. Beide zeigen, daß nicht nur mit einem Schlage die während eines Monats kontinuier-

lich eingehaltene Umsatzsteigerung verschwunden ist, sondern daß bei Durig wie bei Reichel die Verbrennungsprozesse unter die Norm abgesunken sind. Dies ist ganz besonders stark bei Reichel hervorgetreten, so daß man fast an einen Versuchsfehler denken möchte, doch läßt sich hierfür kein Grund ausfindig machen. Die Analysen sind gut übereinstimmende Doppelanalysen. Die Luftanalysen zeigten zwar ein wenig zu hohe Werte für den Stickstoffprozentgehalt, immerhin bewiesen sie aber, daß die Resultate ganz gut brauchbare gewesen sein müssen und daß keine Störung von seiten des Phosphors in den Analysen zu befürchten ist. Zu hohe Stickstoffwerte hätten übrigens nur ein entgegengesetztes Resultat (eine Vermehrung des Sauerstoffverbrauches) vortäuschen können.

Am folgenden Tage, dem 6. September beobachteten wir bei uns beiden wieder höhere Werte für den Umsatz. Bei Durig zeigte sich überhaupt während der Versuchsperiode in Alagna ein allmähliges Anwachsen des Sauerstoffverbrauches bis zu Normalwerten (siehe Anhangstabelle) während bei Reichel die Einstellung auf höheren (ungefähr seine normalen) Sauerstoffverbrauch rascher erfolgte.

Auch bei Rainer finden sich ähnliche Verhältnisse wie bei Durig. Leider fehlten von ihm wie von Kolmer Versuche vom ersten Tage nach dem Abstieg.

Bei allen vier Versuchspersonen hat demnach der Wechsel zwischen dem Gipfelaufenthalt und jenem im Tale im Wesen ganz einheitlich dieselbe Erscheinung herbeigeführt — ein plötzliches Verschwinden der Umsatzsteigerung. Diesem war wenigstens bei zweien der Teilnehmer an der Expedition ein Absinken der Verbrennungsvorgänge unter die Norm vorangegangen. Es ist interessant zu sehen, wie unmittelbar mit der Ankunft auf dem Gipfel der Stoffumsatz in die Höhe schnellte und wie plötzlich diese Einstellung auf ein höheres Niveau unter Fortfall der Wirkung der klimatischen Faktoren wieder verlassen wurde. Gewiß bemerkenswert ist auch das Auftreten subnormaler Größen für den Erhaltungsumsatz unter dem Gefühle ausgesprochener Euphorie.

Fast zwingend erinnert uns dieses Verhalten an den Vorgang der Einstellung auf erhöhte Fiebertemperaturen und die plötzliche kritische Entfieberung unter dem Auftreten subnormaler Temperaturen und man wird auch hier an die Hypothese gemahnt, daß sich ein Reaktionsbestreben des Organismus auf Grund der Wirkung von Reizen auf höhere Zentren einstellt, das rückgängig gemacht wird, wenn diese Reize wegfallen. Wir werden im Abschnitte über die Bergkrankheit noch darauf zurückzukommen haben. An dieser Stelle wollen wir noch darauf hinweisen, daß zwischen dem Verhalten des Umsatzes bei Körperruhe und der Änderung, welche die Pulsfrequenz erfährt, eine gewisse, wenn auch nicht zeitlich zusammenfallende Übereinstimmung besteht. Auch die Pulsfrequenz fiel bei uns, wie in Abschnitt III erwähnt wurde, nach dem Abstieg vom Gipfel ab und erreichte dabei subnormale Werte.

Bemerkenswert scheint uns die außerordentlich prompte Reaktion des Stoffumsatzes auf die Wirkung des Höhenklimas. Wir sahen keine der bisher erwähnten Erscheinungen (abgesehen von der Änderung der Atemmechanik) so plötzlich eintreten und so rasch wieder verschwinden.

Über den Einfluß eines vorangegangenen Aufenthaltes in mittleren Höhen fehlen uns derzeit noch sicher gestützte Befunde, ebenso wie über die Frage, ob es in solchen Lagen, wie sie noch für klimatische Kurorte in Betracht kommen, zu einer Veränderung des Umsatzes kommt. Beide Fragen werden in zweckmäßiger Weise gemeinsam in Angriff zu nehmen sein.

Es wäre noch zu erörtern, ob wir Anhaltspunkte dafür gewinnen konnten, daß ein jäher Wechsel zwischen Höhenstation und Talstation zu vermeiden sei. Wir müssen hierauf eine verneinende Antwort geben. Ebenso wenig wie sich ein Einfluß der Raschheit des Aufstieges aus der Ebene zum Gipfel auf Grund bisher besprochener Erscheinungen experimentell nachweisen ließ, ebenso wenig können wir weder aus unseren objektiven, noch den subjektiven Befunden irgend etwas ableiten, was auf eine schädliche Wirkung des plötzlichen Abstieges aus großen oder geringen Höhen in die Ebene hindeuten würde. Auch diese Frage ist, sofern es sich um die Wirkung eines längeren Aufenthaltes in mittleren Höhen und besonders um Höhen handelt, in denen Sanatorien bestehen, erst experimentellem Studium zu unterziehen.

Wir möchten an dieser Stelle darauf hinweisen, daß es uns ferne liegt, die angeführten Ergebnisse, die sich wohl auf die Untersuchung von mehreren Personen stützen, als für alle Menschen gültig zu bezeichnen, denn wir sind nicht in der Lage, heute schon auf Grund des vorliegenden Materials allgemein gehaltene Gesetze für das Verhalten des Umsatzes in verschiedenen Höhen abzuleiten. Auch möchten wir betonen, daß wir über die Frage nach der Einwirkung des Höhenklimas auf Kinder und Frauen und Kranke derzeit noch vollkommen ununterrichtet sind. So sehr es also den Anschein haben mag, es seien schon mehr als genügend Respirationsversuche ausgeführt, so lückenhaft gestaltet sich das Bild, wenn wir den Bestand der sicheren Tatsachen feststellen.

G. Über das Verhalten der respiratorischen Quotienten und über die Nachwirkung vorangegangener Muskelarbeit.

In seinen Versuchen über die Wirkung ermüdender Muskelarbeit auf den Gaswechsel des Menschen fand Loewy¹ ein Ansteigen der respiratorischen Quotienten. Loewy schloß daraus, daß die mit der Ermüdung sich ausbildende Insuffizienz der Atmung hierfür einen Teil der Ursache bilden soll. Auch glaubt er, daß Sauerstoffmangel beim schnellen Drehen am Ergostaten im tätigen Muskel eingetreten sein müsse und die Verschiebung der respiratorischen Quotienten herbeigeführt habe. Diese Anschauung scheint noch eine Stütze darin zu finden, daß bei der Leistung von Dreharbeit unter vermindertem Luftdruck² eine Steigerung des respiratorischen Quotienten eintrat, die zum Beispiel in einer der Beobachtungen bei einem Luftdruck von 414 *mm* Quecksilber besonders auffällig war; wir finden hier einen respiratorischen Quotienten von 1.042. Der Schluß scheint aber doch nicht so gerechtfertigt, wenn wir die Tabelle über die Höhe des Gaswechsels und über das Verhalten des Quotienten für andauernde Arbeit betrachten.³ Wir sehen, daß der Quotient gerade am Beginne der Arbeit am höchsten war und gegen Schluß der Arbeit immer mehr absank, obwohl diese solange fortgesetzt wurde, bis es unmöglich war, weiter zu arbeiten.

Loewy erblickt in dem genannten Verhalten einen Beweis dafür, daß im Blute säureartige Substanzen vorhanden gewesen sein müssen, die zur Austreibung von Kohlensäure führten. Eine Zunahme der respiratorischen Quotienten selbst bei anstrengender Arbeit konnten übrigens in eigens zur Klärung dieser Verhältnisse angestellten Versuchen Porges und Pribram am Hunde nicht beobachten,⁴ und auch die Beobachtungen von Zuntz und Schumburg⁵ wie speziell jene von Durig⁶ über das Verhalten der respiratorischen Quotienten bei anstrengenden Anstiegen unter vermindertem Luftdruck sprechen dafür, daß das Verhältnis zwischen dem Volumen der produzierten Kohlensäure und jenem des verbrauchten Sauerstoffes entsprechend fortschreitender Verminderung der zuerst angegriffenen Kohlenhydrate stets niedriger wird, je länger die Arbeit dauert. Das Verhalten des Menschen bei der Arbeit unter normalen Verhältnissen oder auch im Gebirge bei vermindertem Luftdruck würde daher nicht dafür sprechen, daß in größeren Höhen Veränderungen des respiratorischen Quotienten eintreten, dagegen scheinen die Beobachtungen, die im pneumatischen Kabinett angestellt wurden, darauf hinzuweisen, daß an die Möglichkeit einer Änderung der »Quotienten« während des Aufenthaltes auf dem Monte Rosa zu denken

¹ Pflüger's Arch. 49, p. 405, siehe auch Pflüger's Arch. 66, p. 477.

² Über Respiration und Zirkulation, Berlin, Hirschwald 1895.

³ L. c., p. 36.

⁴ Biochem. Zeitschrift III, p. 453.

⁵ Physiologie des Marsches.

⁶ Pflüger, 113. Bd.

ist. Loewy führte an zwei Versuchspersonen 27 Respirationsversuche in Körperruhe unter dem Einflusse verschiedenen Luftdrucks aus¹ und auch von Zuntz und seinen Begleitern liegen aus dem Jahre 1901, 16 Kabinettversuche vor.² Die Versuche Loewy's geben kein eindeutiges Resultat, soweit es sich um ein Absinken des Luftdruckes bis auf 440 *mm* Quecksilber handelt, ja selbst bei einem Druck von zirka 360 *mm* ist nicht immer eine Änderung des respiratorischen Quotienten eingetreten, die Mehrzahl der Fälle spricht allerdings für eine Zunahme bei sehr niederen Drucken, doch wissen wir nach der Abweichungsbreite die zu jener Zeit (1895) noch für die Versuchsergebnisse auf Grund der Methodik angenommen werden muß, daß wir mit ziemlich großen, durch den Versuch gegebenen Schwankungen zu rechnen haben werden. Bei Beobachtungen, die an sitzenden (oder stehenden) Versuchspersonen ausgeführt sind, ist eine gewisse Reserve in der Deutung natürlich besonders begründet. Auch im Jahre 1901 zeigten die respiratorischen Quotienten unter Luftverdünnung ein recht wechselndes Verhalten. Bei Zuntz schwankten diese zum Beispiel bei demselben Luftdruck wie auf dem Monte Rosa zwischen 0·84 und 0·95, bei Caspari bleiben diese in zwei Versuchen bei 484 und 418 *mm* Druck auf normaler Höhe, in zwei Kontrollversuchen waren sie gestiegen, und ähnlich wechselnd sind auch die übrigen Werte. Wir müssen eben bedenken, daß zu den normalen Schwankungen, die wir zwischen gleichartigen Beobachtungen, bei den Versuchen dieses Jahres kennen gelernt haben, hier eine noch größere Beeinflussung der Werte dadurch dazu kommt, daß das Arbeiten im pneumatischen Kabinett ein höchst unbequemes und unangenehmes ist, da der Raum in der Kammer zur Ausführung eines Ruheversuches, der vollständige Entspannung der Muskulatur fordert, ein zu beschränkter war. Auch die sich entleerenden Darmgase, die die Luft in der Kammer geradezu verpesten können, müssen im Kabinett zum Teile mit eingeatmet werden, dabei steigt die Temperatur des Raumes in recht unangenehmer Weise an und zu dem ist es auch sehr schwer, die Zusammensetzung der Inspirationsluft richtig in Rechnung zu stellen.³ Zu alledem kommt natürlich noch die Auswaschung von Kohlensäure aus dem Körper durch veränderte Atemmechanik.⁴ Ferner muß man berücksichtigen, daß bei fortschreitender Verminderung des Luftdruckes sich ein Ausgleich der Körpergase mit jenen des umgebenden Raumes in der Weise vollzieht, daß Kohlensäuremengen aus dem Kohlensäurebestand des Körpers abgegeben werden, die in kurz dauernden Versuchen jene Werte, die für die CO₂-Produktion des Körpers ermittelt werden, stark beeinflussen. In einem Versuche an Waldenburg begegnen wir allerdings einer ganz ausgesprochenen Erhöhung des Sauerstoffverbrauches, in der man vielleicht ein Analogon zu der auf dem Monte Rosa beobachteten Umsatzsteigerung erblicken kann. Einer strengen, kritischen Beurteilung vermögen die Kabinettversuche aber derzeit noch nicht standzuhalten und wir können daher keine sicheren Vergleiche zwischen dem Verhalten in der Kammer und im Hochgebirge ziehen. Wenn im Hochgebirge eine Veränderung der respiratorischen Quotienten nachweisbar sein würde, so wäre dies von großer Bedeutung für die Feststellung einer Verschiebung in dem Ablaufe der Verbrennungsprozesse.

Das Verhalten von Personen, die sich geraume Zeit im Hochgebirge aufgehalten haben, kann übrigens eine zeitweise und nur vorübergehend eingetretene Änderung des respiratorischen Quotienten verdecken. Es ist sehr wohl möglich, daß sich während des Emporsteigens in die Höhe Änderungen speziell in der Kohlensäureausscheidung einstellen, die mit dem Zeitpunkte, in dem die Untersuchungen auf dem Gipfel begonnen werden können, bereits abgeschlossen sind, indem ein neuer Gleichgewichtszustand sich ausgebildet hat. Diese Frage, die auf die Auswaschung von Kohlensäure aus dem Körper beim Übergang in größere Höhen hinzielt, könnte wohl in einwandfreier Weise auch nur in dauernd fortgesetzten Beobachtungen während der Fahrt auf einen Hochgipfel erledigt werden.

¹ L. c., p. 27.

² Höhenklima etc., Anhangstabelle XVI.

³ Wegen der Notwendigkeit, die Inspirationsluft bei diesen Versuchen ebenfalls zu untersuchen und in Rechnung stellen zu müssen, verdoppelt sich natürlich die Fehlerbreite, die durch die analytische Arbeit bedingt ist.

⁴ Siehe übrigens auch Pflüger's Arch., Bd. 66.

Unsere Resultate erstrecken sich nur auf das Verhalten bei bereits vollzogener Einstellung auf den geänderten Gaswechsel in der Höhenstation, denn wir haben schon oben erwähnt, daß wir keinerlei Anpassung des respiratorischen Umsatzes an die Wirkungen des Höhenklimas nach unserer Ankunft nachweisen konnten. Wenn wir aber annehmen würden, daß durch weitere Steigerung des Sauerstoffverbrauches bei gleichmäßig geringem Anbot die Gefahr einer Störung dieses Gleichgewichtes nahegerückt wird — man denke an die Arbeitsversuche im pneumatischen Kabinett — so müßten wir im Hochgebirge nach größeren Muskelanstrengungen eine bezeichnende Änderung im respiratorischen Quotienten erwarten, die sich von jener unterscheidet, die wir in der Ebene beobachten können. Es sollen daher unsere Versuche über die Nachwirkung vorangegangener Anstrengungen ebenfalls an dieser Stelle besprochen werden. Endlich mögen die Beobachtungen über die Oxydation eingeführter Traubenzuckermengen als eigener Abschnitt folgen und einen Einblick gestatten, ob hierbei Unterschiede im Verhalten des Gaswechsels gegenüber jenem beim selben Versuche in der Ebene eintraten.

In dem Versuche Jaquet's¹ liegen die respiratorischen Quotienten im zugehörigen Versuche einander ziemlich nahe, es ergibt sich aus seinen und Staehelin's Beobachtungsreihen, daß der respiratorische Quotient auf dem Chasseral im Mittel 0·839 gegenüber 0·791 in der Ebene in der Vorperiode und rund 0·80 in den Nachperioden betrug (zweite Nachperiode 0·82). Dies sind wohl Schwankungen, die jedenfalls in den Bereich der natürlichen Abweichungen in seinen Versuchen fallen, um so mehr als die extremen Werte in allen Reihen übereinandergreifen. Es ergaben daher diese Beobachtungen keinen Einfluß des Höhenklimas auf den qualitativen Ablauf der Verbrennungsvorgänge. Die folgende Tabelle XVII gibt die während der Expedition des Jahres 1901 gewonnenen Werte für den respiratorischen Quotienten wieder; um die Schwankungsbreiten zu kennzeichnen, sind auch die Extreme angeführt, ganz unwahrscheinliche Werte wurden ausgelassen.

Tabelle XVII.

O r t	Waldenburg		Kolmer		Caspari		Müller		Loewy		Zuntz	
	Mittel	Extreme	Mittel	Extreme	Mittel	Extreme	Mittel	Extreme	Mittel	Extreme	Mittel	Extreme
Berlin	0·729		0·795	0·753 0·808	0·768	0·721 0·810	0·824	0·794 0·885	0·763			
Brienz	0·797	0·669 0·864	0·828	0·722 0·978	0·782	0·635 0·864	0·772	0·688 0·847	0·767	0·712 0·783	0·794	0·775 0·830
Rothorn	0·787	0·762 0·828	0·832	0·768 0·964	0·826	0·812 0·873	0·736	0·688 0·801	0·809	0·725 0·926	0·777	0·742 0·811
Col d'Olen	0·808	0·742 0·919					0·813	0·760 0·865				
Monte Rosa . . .			0·806	0·781 0·834	0·750	0·623 0·886	0·863	0·819 0·907	0·755	0·683 0·858	0·770	0·682 0·817

¹ Arch. f. exp. Path., Bd. 46.

Ein Überblick über die Resultate lehrt, daß in zahlreichen Reihen die Größe der Quotienten um die ganze Breite jener Grenzen schwankt, innerhalb deren unter nicht als abnorm zu bezeichnenden Verhältnissen überhaupt die respiratorischen Quotienten sich bewegen. Aus den Mittelwerten gelangt man zu dem Schlusse, daß die Schwankungen auf dem Monte Rosa wie in den übrigen Stationen ähnliche gewesen sein müssen, woraus sich das Ergebnis ableitet, daß ein Unterschied in der Höhe des respiratorischen Quotienten gegenüber der Ebene beim Aufenthalt in 4560 *m* ebensowenig zu beobachten war wie während der Versuche in mittleren Höhen.

Tabelle XVIII enthält die während unserer neuen Expedition im Jahre 1906 geförderten Ergebnisse. Die älteren Versuche können wir wohl ausschalten, da sie nach Einnahme des Frühstückes ausgeführt sind, dagegen müssen wir auf den unbedingteindeutigen Befund unserer zahlreichen Beobachtungen vom Jahre 1903 hinweisen, in denen wir feststellen konnten, daß der respiratorische Quotient auf dem Monte Rosa keine nachweisbare Veränderung erfährt.

Tabelle XVIII.

Respiratorische Quotienten.

O r t	Durig	Kolmer	Rainer	Reichel	E x t r e m e			
					Durig	Kolmer	Rainer	Reichel
Wien	0·827	0·763 ¹	0·755 ¹	0·783 ¹	0·852 0·813	0·798 ¹ 0·739	0·735 ¹ 0·770	0·814 ¹ 0·754
	0·814	0·791	—	0·816	0·869 0·779	0·785 0·801	—	0·834 0·781
	0·918 ¹	0·829 ¹	0·838 ¹	0·798 ¹	0·902 ¹ 0·944	0·816 ¹ 0·840	0·816 ¹ 0·845	0·792 ¹ 0·817
Semmering	0·843	—	—	0·823	0·814 0·870	—	—	0·790 0·863
Alagna	0·817	0·854	0·877	0·856	0·798 0·877	0·841 0·909	0·816 0·928	0·797 0·881
Monte Rosa I. Serie	0·757	0·785	0·811	0·808	0·702 0·834	0·769 0·808	0·748 0·923	0·759 0·863
Monte Rosa II. Serie	0·804	0·881	0·806	0·855	0·789 0·817	0·842 0·936	0·789 0·827	0·814 0·906
Nach Märschen	0·775	0·740	0·772	0·734	0·755 0·803	0·706 0·781	0·749 0·799	0·706 0·792

¹ Nicht im Stoffwechselversuch.

Unsere neuen Beobachtungen schränken die Möglichkeit einer Abweichung des respiratorischen Quotienten von der Norm für verschiedene Höhenlagen neuerdings wesentlich ein, da die gefundenen Werte einander näher liegen. Die vorhandenen Schwankungen erklären sich wohl leicht aus Unterschieden in der Ernährung und durch die Nachwirkung vorangegangener Arbeit in dem Sinne, als dem Körper ein ungleicher Kohlehydratvorrat zur Verfügung stand. Wir können daher derzeit wohl mit großer Sicherheit behaupten, daß das Höhenklima in jenen Stationen, in denen bisher Untersuchungen über den Gaswechsel angestellt wurden, keine Verschiebung in der Qualität der Verbrennungsprozesse bei Körperruhe herbeigeführt hat. Wenn bei Durig und Kolmer in der zweiten Monte Rosa-Periode höhere respiratorische Quotienten als in der ersten gefunden wurden, liegt der Grund hierfür wohl darin, daß ihre Kost während der zweiten Versuchsserie wesentlich kohlenhydratreicher war als während der ersten, da die Eiweißzufuhr in der zweiten Hälfte des Gipfelaufenthaltes vermindert worden war und als Ersatz für den dadurch bedingten Ausfall an Kalorien mehr Kohlenhydrat genossen wurde. Besonders hohe respiratorische Quotienten finden sich bei Durig während des Frühlingsversuches in Wien. Die Ursache hierfür ist in dem Umstande gegeben, daß diese Versuchsreihen nicht während eines Stoffwechselversuches ausgeführt wurden. Durig genoß etwa zwei Stunden vor dem Versuche eine Tasse Tee mit Zucker ohne weitere Beikost. Die Zuckerverbrennung hatte sich jedenfalls in dem erhöhten Quotienten geltend gemacht. Es erscheint daher der Schluß, daß der respiratorische Quotient während des Aufenthaltes in Höhen bis zu 4560 *m* bei Körperruhe der Versuchsperson keine Veränderung erfährt, vollkommen gerechtfertigt. Wir können ferner nunmehr auf Grund eines ziemlich umfangreichen Materials fast mit völliger Sicherheit die Behauptung aufstellen, daß unter normalen Verhältnissen, wenn es sich also um morgens bei nüchternem Zustand der Versuchsperson ausgeführte Beobachtungen handelt, weder im Hochgebirge noch in der Ebene niedrigere respiratorische Quotienten als 0.707, also jenem Werte, der der Verbrennung von Fett allein entspricht, nicht beobachtet werden und wir möchten uns der Auffassung von Magnus Levy anschließen, daß dann, wenn respiratorische Quotienten unter 0.7 beobachtet werden, dies entweder auf Versuchsfehlern oder auf dem Vorwalten abnormaler Vorgänge beruht. Wir möchten glauben, daß bisher in keiner Beobachtung der Beweis erbracht wurde, daß so niedere Quotienten tatsächlich in einwandfreien Ruherespirationsversuchen vorkommen; wohl finden sich solche Werte in Beobachtungen, bei denen Hunger, vorausgegangene Arbeit, Modifikation der Atmung oder krankhafte Vorgänge mit im Spiele gewesen waren.

Besonders leicht kann man in Respirationsversuchen an Hunden respiratorische Quotienten, die bei 0.66 und noch tiefer liegen, beobachten und es zeigt sich, daß gerade manche Hunde sehr zu Unregelmäßigkeiten in der Atmung neigen, die solche Werte provozieren. Ich konnte mich von der Richtigkeit dieser Tatsache in meinen Versuchen »über Aufnahme und Verbrauch von Sauerstoff etc.«¹ überzeugen. Die Hunde neigen sehr zu sogenannter hachelnder Atmung (es wies darauf schon A. Loewy hin) und ventilieren dadurch eine ganz beträchtliche Menge von Kohlensäure aus ihrem Körper ab. Beginnt man nun den Respirationsversuch, bald nachdem die Atmung wieder regelmäßig geworden ist, so entnimmt man nur zu leicht die Gasproben zu einer Zeit, zu der das Tier wieder Kohlensäure, die es gleichzeitig gebildet hat, retiniert und die Folge ist natürlich ein zu niedriger respiratorischer Quotient. Dies ist auch der Grund, warum wir selbst in Versuchen am Menschen viel mehr Zeit auf die Vorperiode, vor Entnahme des Versuchsgases zu verwenden pflegten als auf die eigentliche Beobachtung selbst. Für die Einwirkung vorangegangener, modifizierter Atmung liefern die Ruheversuche von Porges und Pribram² an Hunden typische Beispiele.

Betrachten wir die Mittelwerte der respiratorischen Quotienten in den Versuchen von Benedict über den Hungerstoffwechsel,³ so begegnen wir in den Versuchsmitteln nie respiratorischen Quotienten unter

¹ Arch. f. (Anatomic und) Physiologie, 1903, Suppl.

² Biochem. Zeitschr., III, p. 453.

³ Carnegie Institution of Washington 1907.

0·7, wohl aber finden sich unter den einzelnen Zwischenabschnitten der Versuche abnorm niedere Quotienten, die sogar bis auf 0·49 absinken. Es darf uns dies nach dem Gesagten gewiß nicht wundernehmen und wir werden bei dem Arbeiten mit dem Respirationskalorimeter derartige Resultate nicht nur als erklärlich, sondern sogar als selbstverständlich finden.

Es können aber abnorm niedere Quotienten tatsächlich in Ruherespirationsversuchen am Menschen unter ganz normalen Bedingungen im Hochgebirge auftreten, wenn vorher Muskulararbeit ausgeführt wurde. Wir beobachteten solche Werte unter 0·7 im Jahre 1903 an Zuntz wie an Durig. Im Jahre 1906 trat jedoch bei keinem von uns jemals eine so niedere Größe für den respiratorischen Quotienten auf, wie dies Tabelle XVIII beweist. Allerdings liegen in den Versuchen über die Nachwirkung von Arbeit die respiratorischen Quotienten niedriger als in den Ruheversuchen, dies ist jedoch nicht überraschend, da wir wissen, daß während der Arbeit der Kohlenhydratvorrat des Körpers schneller verbraucht wird und dadurch der respiratorische Quotient sich immer mehr jenem der Fettverbrennung nähern muß. Wenn in diesen Beobachtungen der Quotient aber nicht noch tiefere Werte erreicht hat, so ist die Ursache dafür nicht darin gelegen, daß unser Verhalten ein anderes war als bei unseren Versuchen im Jahre 1903, sondern es ist zu berücksichtigen, daß wir unsere Versuchsmärsche erst nach Einnahme des aus Tee, Zucker und Biskuits bestehenden Frühstückes begannen. Rainer und Kolmer, die ja einen ungefähr 5- bis 7stündigen Weg zurückzulegen hatten, genossen auch während des Marsches noch gezuckerten Tee. Es stand dem Körper also mehr Kohlenhydrat zur Verfügung als bei unseren seinerzeitigen Versuchen, die entweder Nüchternversuche waren oder nach Zufuhr kohlenhydratarmer Nahrungsmittel ausgeführt wurden.

Bei normalen Ruheversuchen im Bette fand sich im Jahre 1903, sehen wir vom Versuch am 22. August ab, in allen 29 Beobachtungen nicht eine Beobachtung, bei der ein abnormer respiratorischer Quotient beobachtet worden wäre, dagegen finden sich zahlreiche (11) abnorm niedere Werte für den Quotienten in jenen Versuchen, bei denen Muskulararbeit vorangegangen war. Dieses Verhalten beweist aber gewiß nicht, daß auf dem Monte Rosa nach vorangegangener Arbeit etwa andere Verhältnisse vorliegen als in viel tieferen Lagen.

In dem Versuche auf dem Bilkengrat beobachtete Durig ebenfalls nach kurzer Rast auf dem Gipfel beim Antritt der Märsche nach abwärts abnorm niedere respiratorische Quotienten, die die übliche Berechnung der Versuchsergebnisse nicht mehr zuließen. Es mußten daher die betreffenden Versuchsreihen ausgeschaltet werden. Um die Resultate der Abwärtsmärsche berechnen zu können, wurde deshalb bei den folgenden Versuchen auf dem Gipfel Zuckerwasser genossen und nunmehr erreichten auch die Quotienten keine abnorm niedere Größe. Ganz analog ist das Verhalten auf dem Monte Rosa. Bei lange andauernder Nüchternheit und Muskulararbeit¹ sinkt der Quotient in nachfolgender Körperruhe unter die Norm, wird Kohlenhydrat gegeben, so fällt er, wie in den Beobachtungen des Jahres 1906, niemals zu so niederen Werten ab. Dieses Verhalten ist wohl bezeichnend für den Vorgang, um den es sich hierbei handelt. Wir werden nicht fehlgehen, wenn wir annehmen, daß dann, wenn das für die Arbeit verfügbare Glykogen der Hauptsache nach verbraucht ist, der respiratorische Quotient auf jene Höhe absinkt, die er bei Verbrennung von Fett allein aufweist. Legt sich nun die Versuchsperson zu Bett, so wird Ersatz für das verbrauchte Glykogen geschaffen und dadurch muß der respiratorische Quotient sinken. Ist der Verbrauch der Kohlenhydrate kein so weit gehender gewesen oder wurde rechtzeitig für einen Ersatz der Kohlenhydrate gesorgt, so fehlt auch die Abnahme des Quotienten unter die Norm.

Ganz charakteristisch für die Annahme, daß es die Glykogenbildung sein dürfte, die zu der Erscheinung Anlaß gibt, ist ein Versuch an Zuntz im Jahre 1903. Zuntz hatte sich an den Marschversuchen beteiligt, die zuerst an Durig, dann an ihm ausgeführt wurden und die uns zwangen, lange Zeit in nüchternem Zustande bei allerdings geringer, körperlicher Arbeit auf dem Gletscher zu verweilen. Die respiratorischen Quotienten sanken während der Marschversuche bei ihm auf 0·742 ab, als er sich aber nun an Ort

¹ In den Versuchen auf dem Dache der Hütte bei Zuntz infolge des Aufstellens und Arbeitens an den Apparaten.

und Stelle niederlegte und ausruhte, und wir seinen Gaswechsel untersuchten, fand sich ein respiratorischer Quotient von 0·667, dabei zeigte die Atemgröße den gar nicht abnormen Wert von 8 l.¹

Hier kann es sich nicht um den bloßen Ersatz abventilierter Kohlensäure handeln, wie etwa in den ersten Augenblicken nach Abschluß anstrengender Arbeit in den Versuchen von Porges und Pribram, denn die alveolare Kohlensäuretension war nicht sehr wesentlich erniedrigt und die Arbeit durchaus keine anstrengende. Es ist wohl sicher anzunehmen, daß bei einem neuerlichen Marschversuche das gebildete Glykogen wieder zur Verbrennung gekommen wäre und der respiratorische Quotient wieder einen höheren, normalen Wert gezeigt hätte.

Mit dem Prozesse der Glykogenbildung ist jedenfalls der Ablauf von Vorgängen, die sich nach Aufhören der Muskularbeit abspielen, noch nicht hinreichend erklärt. Wenn wir geraume Zeit nach Beendigung der Arbeit den Stoffumsatz untersuchen, erweist sich dieser noch als gesteigert, ohne daß es sich hierbei um erschöpfende Arbeit gehandelt hat. Es geben hierüber unsere Beobachtungen, deren Ergebnisse den Tabellen über den Erhaltungsumsatz beige druckt sind, einige Auskunft. Zur besseren Übersicht möge eine Zusammenfassung der wichtigsten Daten an dieser Stelle folgen.

Tabelle XIX.

Nachwirkung von Märschen auf den Erhaltungsumsatz.

	Durig		Kolmer		Rainer		Reichel	
	pro Minute geatmetes Volumen unreduziert	Kalorien pro m^2 und Minute	pro Minute geatmetes Volumen unreduziert	Kalorien pro m^2 und Minute	pro Minute geatmetes Volumen unreduziert	Kalorien pro m^2 und Minute	pro Minute geatmetes Volumen unreduziert	Kalorien pro m^2 und Minute
	<i>l</i>		<i>l</i>		<i>l</i>		<i>l</i>	
Vor der Arbeit ¹	10·02	0·674	10·28	0·617	10·09	0·636	11·55	0·661
Nach der Arbeit	10·43	0·717	11·44	0·703	10·38	0·714	12·23	0·731

¹ Zum Vergleich ist die erste Serie der Ruheversuche angeführt, da sich die Versuche über die Nachwirkung von Märschen an diese Beobachtungen, nicht an jene der zweiten Serie der Ruheversuche auf dem Gipfel anschlossen.

Die Respirationsversuche begannen stets mehr als eine Viertelstunde nach Abschluß der Arbeit; außerdem ist zu berücksichtigen, daß ein weitgehender Mangel an Kohlehydrat gleichzeitig nicht bestanden haben dürfte, da vor den Märschen und zum Teil auch noch während dieser Kohlehydrat (gezuckerter Tee) zugeführt worden war.

Die Versuche zeigen, daß bei uns allen im Gefolge vorangegangener Märsche eine Umsatzsteigerung bestand. Diese war bei Rainer und Kolmer am höchsten, geringer bei Durig und Reichel, was wohl mit der Größe der vorangegangenen Marscharbeit zusammenhängt, da ja Kolmer und Rainer bis zur Gnifetti-Hütte, Durig und Reichel nur bis zum Lysjoch abgestiegen waren. Diese Tatsache besagt, daß auch nach Sistierung jeder willkürlichen Muskularbeit noch mehr Stoffe zur Verbrennung gelangten, als für die Bestreitung des Erhaltungsumsatzes nötig waren. Dies könnte nun seine Ursache

¹ Siehe Arch. für (Anat. und) Physiologie 1904, Suppl., p. 449, Versuch 21, p. 434, Versuch 22.

darin haben, daß gesteigerte Herzarbeit, Atemarbeit oder erhöhte Körpertemperatur auch nach Beendigung der Arbeit noch als auslösendes Moment gewirkt haben. Wir wissen aber speziell von dem Verhalten Durig's, Rainer's und Reichel's, daß deren Pulsfrequenz fast plötzlich nach Beendigung eines solchen Marsches zur Norm zurückkehrt und daß auch eine Körpertemperatursteigerung¹ bei ihnen sicher nicht der Anlaß zur Umsatzsteigerung gewesen sein kann. Bei Kolmer mag immerhin ein Teil der Erhöhung der Verbrennungsvorgänge auf solche Wirkungen zurückgeführt werden. Ganz überraschend ist aber die Tatsache, daß mit der Umsatzsteigerung nicht auch zugleich die Atemfrequenz entsprechend vermehrt und das geatmete Volum gesteigert wurde, denn letzteres hat nur bei Kolmer eine deutliche Erhöhung erfahren. Sollte dieses Verhalten sich in der Tat als ein allgemein gültiges erweisen und auch bei anderen Personen auf dem Monte Rosa zu beobachten sein, so würden wir daraus wohl interessante Gesichtspunkte über die Stoffe, die auf das Atemzentrum reizend wirken, gewinnen und auch einen Einblick in die Frage nach der Bedeutung der Säuerung des Blutes im Hochgebirge tun können. Es scheint daher sehr erwünscht, daß eine weitere Bestätigung für diese Erscheinung gefunden werde.

Wir müssen bedenken, daß durch die Beobachtungen von Geppert und Zuntz nachgewiesen wurde, daß bei der Muskelarbeit Stoffe gebildet werden, die dann, wenn sie in das zentrale Nervensystem gelangen, eine Verstärkung der Atmung herbeiführen. Diese Stoffe müssen auch bei der Steigerung der Ventilation während der Arbeit eine Hauptrolle spielen. Wir sehen also beim arbeitenden Tiere beide Momente verbunden, Umsatzsteigerung und zweckmäßige Erhöhung der Ventilation, behufs Steigerung der Sauerstoffzufuhr und Entfernung der Kohlensäure. Bei der Nachwirkung der Arbeit fanden wir in unseren Versuchen diesen Vorgang gespalten, es blieb die Umsatzsteigerung, aber die Erhöhung der Ventilation verschwand ganz oder nahezu ganz. Andererseits beobachten wir in mäßigen Höhen die Steigerung der Ventilation für sich gesondert und losgelöst von einer entsprechenden Umsatzsteigerung. In der Höhe des Monte Rosa begegnen wir bei den Normalversuchen in Körperruhe wieder beiden Vorgängen nebeneinander, beide halten unverändert während des ganzen Aufenthaltes an, denn es bleibt die Erhöhung der Verbrennungsvorgänge zugleich mit der Vermehrung des geförderten Atemvolums bestehen und zur selben Zeit sind beide wieder verschwunden, wenn man ins Tal absteigt.

Bei der Diskussion dieser Verhältnisse sind mehrere Momente in Betracht zu ziehen, insbesondere muß man dabei bedenken, daß die Umsatzsteigerung fortbestehen kann zu einer Zeit, zu der die respiratorischen Quotienten, die im ersten Beginne nach länger dauernder Arbeit unter den Wert, welcher der Fettverbrennung entspricht, abgesunken sind, bereits wieder Größen erreicht haben, die wesentlich über 0.7 liegen.

Für jene Zeit nach einer Arbeit, während welcher das Auftreten der niederen respiratorischen Quotienten zugleich mit der Umsatzsteigerung beobachtet wird, gibt die bereits oben angeführte Annahme einer Glykogenbildung eine plausible Erklärung.

Die Tatsache, daß wir einer derartigen Nachwirkung vorangegangener Muskeltätigkeit gerade im Hochgebirge begegnen, ebenso wie wir sie bei sehr forcierter Muskelarbeit auch in der Ebene finden, deutet darauf hin, daß der Eintritt unzureichender Sauerstoffversorgung des tätigen Muskels hierbei eine entscheidende Rolle spielt. In diesem Sinne sind die Versuche von Hetcher und Hopkins² besonders lehrreich. Sie beweisen, daß der anaerobiotisch arbeitende Muskel seine Energie hauptsächlich durch Milchsäurebildung aus Glykogen erzeugt. Nach Abschluß einer bei Sauerstoffmangel oder unzulänglicher Sauerstoffzufuhr ausgeführten Arbeit muß einerseits Milchsäure zur Oxydation gelangen — was allerdings,

¹ Die Frage, ob infolge der erhöhten Körpertemperatur bei den Märschen im Hochgebirge eine gesteigerte Elimination von Kohlensäure stattfindet, kann für die Erklärung des Verhaltens des respiratorischen Quotienten im allgemeinen nach Märschen außer acht gelassen werden. Bei mäßiger Arbeit und einer Lufttemperatur, die während unserer Versuche nie 0°C überstieg, ist eine Erhöhung der Körpertemperatur ganz ausgeschlossen.

² Hetcher und Hopkins. Hopkins. Journ. of physiology, Bd. 35, p. 247.

wie die Versuche von Zuntz und v. Mering¹ gezeigt haben, ohne erhebliche Veränderung des gesamten Sauerstoffverbrauches erfolgt — andererseits besteht ein dringendes Bedürfnis des Körpers, neue Glykogen-vorräte zu beschaffen.² Geschieht dies bei herrschendem Mangel an Kohlehydratvorrat aus Fett oder Eiweiß, so kann dies nur unter erheblichem Extraverbrauch von Sauerstoff geschehen.

Für die Bildung von Kohlehydrat aus Fett hat Chauveau bereits rechnerisch nachgewiesen, daß bei vollständiger Überführung des Kohlenstoffes in das neu entstandene Kohlehydrat etwa 30% der Energie unter Anlagerung reichlichen Sauerstoffes an das neue Molekül verloren gehen. Bei der Bildung von Kohlehydrat aus Eiweiß liegen die Verhältnisse offenbar analog, da es sich hierbei nur um einen Aufbau aus durch Desamidierung entstandenen Fettsäuren handeln kann, wobei an jedes Kohlenstoffatom im Inneren der Kette ein Sauerstoffatom anzulagern ist. Auf jeden Fall muß dabei der Sauerstoffverbrauch steigen und der respiratorische Quotient sinken, also anhaltende Umsatzsteigerung neben Erniedrigung der respiratorischen Quotienten auftreten.

Diese Erklärung langt aber nicht vollkommen aus für die Feststellung der Ursache des Wechsels der respiratorischen Quotienten und für das Verhalten der Ventilation. Was das anfängliche Auftreten von respiratorischen Quotienten unter 0.7 betrifft, so kann hierfür wohl eine besonders energische Glykogenbildung verantwortlich gemacht werden. Auch an eine Bildung und nachherige Verbrennung von Aceton oder Alkohol ist möglicherweise zu denken, ohne daß wir aber einer solchen Annahme bedürfen. Sehr naheliegend ist es auch, die Wirkung saurer, bei der Muskelarbeit gebildeter Stoffe, die sich besonders reichlich bei bestehendem Sauerstoffmangel bilden müssen, in Betracht zu ziehen.

Es ist wiederholt betont worden, daß die bei der Arbeit eintretende Säurebildung eine Verringerung der Blutalkalität herbeiführt und dadurch eine Austreibung von Kohlensäure aus dem Blut veranlaßt. Loewy³ wies speziell auf die Bedeutung dieses Umstandes bei der Arbeit unter verdünntem Luftdruck hin. Wir benötigen zwar nach dem Angeführten durchaus keine weitere hypothetische Erklärung für das Auftreten abnorm niedriger respiratorischer Quotienten nach Arbeitsleistungen im Hochgebirge bei einer nüchternen Versuchsperson, da wir genau dasselbe auch in geringen Höhen und selbst in der Ebene beobachteten, immerhin wird man aber die Möglichkeit einer solchen Entbindung von Kohlensäure bei der Arbeit besonders im Hochgebirge nicht außer acht lassen dürfen.

Es ist anzunehmen, daß dann, wenn infolge einer derartigen Wirkung Kohlensäure entbunden worden wäre, für diese nach Beendigung der Arbeit Ersatz geschaffen werden müßte.

Zudem kommt eine Verminderung der Alkalinität des Blutes im Hochgebirge, die schon in Körperruhe unter dem Einfluß des Sauerstoffmangels eintritt. Diese ist schon durch viele Analysen wahrscheinlich gemacht; hiefür sprechen zum Beispiel die Beobachtungen von Hammarsten über die Kohlenoxydvergiftung wie die Versuche von Herter, Loewy und Geppert.⁴

Stets werden wir auf die Bedeutung der Milchsäure bei allen Vergiftungen und Einwirkungen, die zu Sauerstoffmangel im Körper Anlaß geben, geführt. Einen Nachweis für die Verminderung der Blutalkalität in großer Höhe erbrachte aber nur Galeotti;⁵ im pneumatischen Kabinett war die Abnahme der Alkalinität bei ähnlichen Drucken aber wesentlich geringer (Aggazzotti),⁶ was wahrscheinlich an der raschen Druckverminderung und der kurzen Versuchsdauer gelegen ist. Auch über das Verhalten der Blutgase sind derzeit unsere Kenntnisse noch recht gering. Mosso's und Marro's⁷ Versuche liefern nur zweifelhafte Resultate (es erübrigen von ihren Untersuchungen nur zwei Beobachtungen an einem Hund, und auch dabei ist der Einfluß der vom Ofen gebildeten Kohlensäure auf die zur Analyse verwen-

¹ Zuntz und v. Mering. Pflügers Arch., Bd. 32, p. 173.

² Siehe die Versuche von Landergren. Skand. Arch., Bd. 14, p. 112.

³ Siehe oben, p. 71 [185].

⁴ Siehe übrigens schon Zuntz Hermann's Handbuch, IV/2, p. 64.

⁵ Atti della R. Akad. dei Lincei, 12, 646.

⁶ Ibid. XV, p. 474.

⁷ Ibid. 12, p. 466.

dete Lauge nicht auszuschließen). Es ist daher allerdings nicht erwiesen, daß die Kohlensäurespannung im Blute auf dem Monte Rosa eine wesentliche Abnahme gezeigt habe und wir sind daher beim Versuch der Erklärung der oben genannten Tatsache auf recht wenige und unsichere Grundlagen angewiesen.

Denken wir daran, daß die Einschwemmung von sauren Produkten aus dem Muskelstoffwechsel speziell von Milchsäure während der Muskularbeit zu einem Austreiben von Kohlensäure Anlaß gegeben hätte, so müßte nach Abschluß der Arbeit die Milchsäure zur Verbrennung gelangen, hiedurch würden aber die respiratorischen Quotienten gesteigert erscheinen. Wir müssen aber annehmen, daß gleichzeitig mit der Oxydation von Milchsäure das Alkali, das diese an sich gekettet hatte, sich mit Kohlensäure, und zwar in Form von Bicarbonat verbindet; es wird daher durch Retention von Kohlensäure ein Absinken des respiratorischen Quotienten unter die Norm eintreten.

Hier sei auch auf die interessanten Arbeiten von Jaquet verwiesen, die sich mit dem Einfluß der Säuerung des Blutes auf die Kohlensäurespannung¹ befassen. Jaquet verwendete die Zuntz'sche Titrier-methode, um den Einfluß der Alkaleszenzverminderung des Blutes auf das Verhalten der Blutgase zu studieren. Auch er steht auf dem Standpunkte, daß der Bildung saurer Produkte bei der Muskularbeit eine große Bedeutung zukommt. Durch deren Bindung an das Alkali des Blutes wird Kohlensäure frei gemacht und diese würde jedenfalls vorübergehend eine Steigerung der Ventilation und eine Vermehrung der Kohlensäureausscheidung auslösen.

Jaquet nimmt nun an, daß die gebildete Säure die Albuminalkalien an sich kettet, daß aber auch Alkali aus den Geweben nachströmt, so daß eine wesentliche Veränderung im Alkalinitätsgrad des Blutes nicht auftritt. Hiebei braucht die Kohlensäuretension sich nicht wesentlich zu ändern. Die Wirkung auf das Atemzentrum würde dann nach Jaquet bei der Säurevergiftung darin zu suchen sein, daß mehr Eiweißkörper von saurem Charakter im Blute kreisen, so daß indirekt durch die dem Blute zugeführten, aus dem Muskelstoffwechsel stammenden Substanzen von saurem Charakter eine Einwirkung auf die Frequenz und Tiefe der Atmung herbeigeführt würde. Es würde sich durch einen solchen Vorgang übrigens sehr wohl erklären lassen, daß auf dem Monte Rosa unter der Wirkung derartiger Stoffe (infolge von Sauerstoffarmut) eine Überventilation eingeleitet wird, die zu einer Verminderung des Kohlensäurebestandes in den Geweben führt, da diese auch eintritt, wenn hiebei die anregende Wirkung der Kohlensäure auf die Atmung durch Sinken der Kohlensäurespannung vermindert wird.

Der im Gefolge der Überventilation niedrig gehaltene Kohlensäurebestand des Körpers muß nach dem Aufhören der Ursache für die Steigerung des Gaswechsels ergänzt werden. Auf diese Weise kann abermals nach Abschluß der Arbeit ein Defizit an Kohlensäure in der Exspirationsluft gesetzt werden, das zu einem Sinken der respiratorischen Quotienten Anlaß gibt. Dieser Einfluß wird verschwinden, sobald sich in Körperruhe der ursprüngliche Gleichgewichtszustand wieder hergestellt hat. Daß hierzu keine lange Zeit erforderlich ist, erweisen jene Versuche von Porges und Pribram, die an Hunden angestellt wurden, welche nicht an Kohlehydrat Mangel litten. So zeigt einer der Versuchshunde dieser Autoren, der kurz vor Beginn des Versuches gefüttert worden war, 9 Minuten nach Schluß der Laufarbeit, wie 2 Stunden 43 Minuten später, dieselbe Kohlensäureproduktion wie im Ruheversuche vor der Arbeit.

Wenn demnach nach Abschluß einer Arbeit besonders im Hochgebirge Gründe genug vorhanden sind, die zu einer Steigerung der Ventilation und zu einem Absinken der respiratorischen Quotienten neben dem Auftreten einer Umsatzsteigerung Anlaß geben, so läßt sich das folgende Ansteigen der Quotienten und das Verschwinden der Überventilation in der folgenden Körperruhe — letzteres durch den Wegfall der Reize, die diese auslösten — erklären. Zugleich mit der Verringerung des Sauerstoffbedarfes nach Beendigung der Muskularbeit wird sicherlich die Fortschaffung der aufgehäuften, unvollkommen oxydierten, dem Muskelstoffwechsel entstammenden Produkte eingeleitet. Ihre Verbrennung dürfte rasch

¹ Arch. f. exp. Path., XXX, p. 311.

erfolgen, da wir ja wissen, daß zum Beispiel eingeführtes milchsaures Natron sehr rasch abgebaut wird.

Übrigens dürfte die Oxydation der gebildeten Milchsäure gar nicht als Bedingung für die Rückkehr der Atmung zur Norm aufgefaßt werden können, da durch die Umsetzung der Lactate in Carbonate im selben Ausmaß dem Blute Milchsäure als Reizmittel für das Atemzentrum entzogen werden dürfte, als wieder Kohlensäure als Reizmittel in dieses eintritt. Es ist also aus diesen Gründen hierbei keine Änderung der Ventilationsgröße zu erwarten. Man kann sich demnach wohl erklären, daß in einem Zeitpunkte, in dem noch reichlich Milchsäure verbrannt wird, unter Fortbestehen von Glykogenbildung eine Umsatzsteigerung besteht, ohne daß die Ventilationsgröße erhöht ist oder exzessiv niedere respiratorische Quotienten auftreten. Auf Schwierigkeiten stößt die Erklärung aber desungeachtet, wenn wir die Umsatzsteigerung neben respiratorischen Quotienten von 0·76 bis 0·80 fortauern sehen. Hier langen wir mit der Erklärung der Steigerung der Verbrennungsvorgänge durch die Annahme einer Glykogenbildung wohl kaum mehr aus.

Die Antwort auf die Frage aber, welche Substanzen diesen umsatzsteigernden Einfluß ausüben, müssen wir derzeit noch unerledigt lassen. Natürlich ist auch hier ein Vergleich mit jenen Stoffen, die als Ursache der im Fieber eintretenden Wärmesperrung wirken, naheliegend und der Gedanke an das Ermüdungstoxin Weichardt's recht nahegerückt, unsere Kenntnisse sind aber noch nicht derart, daß wir hierdurch Erklärungen für das Verhalten schaffen könnten, vermögen wir doch nicht einmal ausschließen, daß es sich während der Nachwirkung der Arbeit nicht einfach um eine Elimination während der Muskularbeit gebildeter, für den Körper nicht mehr nutzbarer Abbauprodukte durch Verbrennung handelt, etwa wie man sich irrümlicherweise eine zwecklose Verbrennung des Alkohols im Körper vorgestellt hat.

Hier ergibt sich wohl wieder ein ziemlich reiches Feld für weitere Tätigkeit. Es wird nicht nur die Trennung der Steigerung des Atemvolums und der Umsatzsteigerung neuerlich zu bestätigen sein, sondern auch der Verlauf der Umsatzsteigerung erst genauerer Analyse unterzogen werden müssen. Im Hinblick auf die Frage nach der Wirkung von Sauerstoffmangel im Hochgebirge ist nachzuweisen, ob und um wie viel länger diese nach einer ganz bestimmten Arbeit im Hochgebirge gegenüber der Ebene andauert. Das Verhalten des Atemvolums wird hierbei besonders zu berücksichtigen sein.

Wie wir erwähnten, sind unsere Kenntnisse über die Blutgase im Hochgebirge noch recht mangelhafte, ja diese reichen kaum weiter, als daß sie den Anstoß geben würden, diese Frage erst in Angriff zu nehmen und auch die Ergebnisse über die Verminderung der Blutakalinität stützen sich bisher einzig auf die von Galeotti an sich selbst und an Kaninchen ausgeführten Beobachtungen. Es wird wohl sehr zweckmäßig sein, derartige Bestimmungen bei Körperruhe der Versuchsperson auszuführen, von großem Interesse wäre es dann gewiß, wenn auch die Frage über die Veränderungen im Blute bei der Arbeit mit in den Kreis der Beobachtungen einbezogen würde.

Es wäre noch die Frage zu erörtern, ob die tägliche, ziemlich bedeutende Muskularbeit während der Periode der großen Märsche eine Nachwirkung ausgelöst hat, die sich in den Ruheversuchen der nächsten Versuchsperiode bemerkbar gemacht hat. Wir fanden folgende Werte für den Erhaltungsumsatz pro Minute in Kalorien:

	Durig	Kolmer	Rainer	Reichel
Vor den Märschen . . .	0·674	0·617	0·636	0·661
Nach den Märschen . . .	0·701	0·614	0·634	0·618.

Diese Zahlen zeigen, daß der Umsatz bei Kolmer, Rainer und Reichel vor und nach den Marschversuchen derselbe war. Es sind daher jene Stoffe, die zur Steigerung der Atemgröße und der Erhöhung des Umsatzes unmittelbar nach der Arbeit Anlaß gaben, nicht mehr wirksam gewesen und auch jene Komponenten nicht mehr in Betracht gekommen, welche die Umsatzsteigerung in den Versuchen über die Nachwirkung der Arbeit herbeiführten. Wie wir aus den Versuchen von Zuntz und Schumburg entnehmen, kann

man bei Personen, die wiederholt Muskelarbeit ausführen, eine Steigerung des Ruheumsatzes beobachten, die auf die Wirkung des Trainings zurückzuführen sein dürfte. Da Rainer und Kolmer vor dem Aufstiege auf dem Gipfel programmgemäß Hochtouren ausgeführt hatten, hätten wir bei diesen aus dem genannten Grunde auf keine Umsatzsteigerung zu rechnen gehabt und im Falle eine solche auf dem Monte Rosa eingetreten wäre, diese auf das Vorhandensein von Stoffen zurückführen müssen, die aus der Periode der Muskelarbeit stammten. Wenn wir auch bei Reichel keine Erhöhung des Umsatzes nach den Märschen finden, so dürfte dies darauf zurückzuführen sein, daß er als Turner seine Muskulatur stets in einem gewissen Training erhielt, auch hatte er während des Winters und Frühlings vor dem Aufstieg zum Monte Rosa wiederholt Ausflüge und kleinere Touren ausgeführt. Ganz untrainiert war Durig. Während der Dauer von $\frac{3}{4}$ Jahren vor der Monte Rosa-Expedition hatte er keine andere Muskelarbeit als wie sie das tägliche Leben und der Weg zum Laboratorium erforderte, ausgeführt. Bei ihm handelte es sich auf dem Monte Rosa daher jedenfalls um ein Training seiner Muskulatur. Es ist also der Umstand, daß sein Erhaltungsumsatz nach Abschluß der Versuchsmärsche ein höherer war, möglicher Weise in diesem Sinne zu deuten. Die Erhöhung des Erhaltungsumsatzes im Gefolge des Trainings ist übrigens noch nicht sicher festgelegt. So fanden Porges und Pribram¹ bei ihren Studien im Anschlusse an die große Arbeit, welche die Tiere leisten mußten, keine Zunahme des Umsatzes. Auch aus den Versuchen von Zuntz und seinen Mitarbeitern läßt sich kein Einfluß der Märsche, die während der Rothornperiode ausgeführt wurden, auf die Größe des Erhaltungsumsatzes nachweisen. Die damals gefundenen Zahlen für den Sauerstoffverbrauch sind zu wenig eindeutig und besonders auffallend mag es erscheinen, daß sich bei jener Versuchsperson, die am besten trainiert war, nach den Märschen am ehesten eine Umsatzsteigerung bemerkbar machte, während eine solche bei den sicher vorher ungeübten Teilnehmern an den Untersuchungen gewiß nicht bestand. Auch bei Durig kann der obgenannte höhere Wert, der am Schlusse des Monte Rosa-Aufenthaltes für den Erhaltungsumsatz gefunden wurde, in anderer Weise erklärt werden.

Es ist ganz gut möglich, daß es sich bei dem Zustandekommen desselben um die Wirkung rein akzidenteller Momente gehandelt habe. An den Tagen, an denen wir diese Respirationsversuche ausführten, begann nämlich in den Morgenstunden der Transport unseres Expeditionsgepäckes zu Tal und Durig war vor Beginn der Respirationsversuche stets sehr durch die Zusammenstellung und das Auswiegen der Trägerlasten in Anspruch genommen.

Es könnten daher die abweichenden Resultate, welche bei den Versuchen, die während der Schlußperiode an ihm ausgeführt wurden, ganz gut auch durch die Nachwirkung der vorangegangenen Arbeit oder durch anhaltende, stärkere Muskelspannung herbeigeführt worden sein, ohne daß es nötig wäre, die Erklärung in der Wirkung des Trainings zu suchen.

H. Traubenzuckerversuche.

Bei seinen Versuchen über das Auftreten von Milchsäure im Harn und im Blute unter dem Einfluß von Sauerstoffmangel und unter der Einwirkung verschiedener Gifte fand Araki,² daß dann, wenn es sich in seinen Experimenten um Beobachtungen handelte, die nicht an hungernden oder kranken Tieren ausgeführt wurden, stets Glykose im Harn auftrat, sobald gleichzeitig Sauerstoffmangel bestand. Die Tatsache, daß bei der Kohlenoxydvergiftung und bei Dyspnoe eine Vermehrung des Blutzuckers zustandekommt und auch Zucker im Harn erscheint, wurde übrigens schon von verschiedener Seite betont

¹ Biochemische Zeitschrift, III, p. 453.

² Zeitschr. f. physiolog. Chemie, Bd. 15, p. 335, 453, 516, 546, u. Bd. 19, p. 422.

(Richardson, Senf, Senator, Dastre, Hesse und Friedberg, Seegen, Weintraud u. a.). Und auch Straub konnte übereinstimmend mit Araki feststellen, daß bei hungernden Tieren das Auftreten von Zucker vermißt wird.¹ In Versuchen am Menschen wiesen Münzer und Palma nach, daß bei Kohlenoxydvergiftung besonders leicht Glykosurie zustande kommt.

Der Zusammenhang zwischen Sauerstoffmangel und Zuckerausscheidung hat auch zur Theorie der unvollkommenen Zuckeroxydation von Paul Mayer geführt.² In einer ziemlichen Zahl von Fällen konnte das Auftreten vermehrter Mengen von Glykuronsäure im Harn nachgewiesen werden, in denen kein Grund für eine solche Zunahme in gleichzeitiger Vermehrung der zugehörigen Paarlinge zu konstatieren war. Stets hatte es sich bei diesen Personen um gleichzeitig vorhandene Störungen der Zirkulation oder der Respiration gehandelt. Auch bei Vergiftungen mit Curare, Kohlenoxyd, Chloralhydrat und Nitrobenzol waren Zunahmen der Glykuronsäure im Harn nachzuweisen, so daß in der Tat einige Beobachtungen zu Gunsten der Annahme sprechen, daß eine mangelhafte Oxydation in ursächlichem Zusammenhang mit dieser Erscheinung steht. Es wäre noch zu bemerken, daß eine Vermehrung der Glykuronsäure speziell dann beobachtet wurde, wenn gleichzeitig Traubenzuckermengen verabreicht wurden, die an der Grenze der Toleranz der Versuchsperson für Zucker lagen oder diese überschritten.

Beide Momente, das Vorkommen von Glykosurie bei der Wirkung von Sauerstoffmangel und das Auftreten von Glykuronsäure im Harn bei vermehrter Zuckerzufuhr und verringerter Oxydation ließen es zweckmäßig erscheinen, einige vergleichende Beobachtungen über das Verhalten des Harnes auf dem Monte Rosa und in der Ebene nach Zufuhr größerer Zuckermengen auszuführen, die an der Grenze jener Quantitäten liegen, die von einem gesunden Menschen eben noch ertragen werden, ohne daß wesentliche Mengen von Zucker im Harn auftreten. Es ist hierbei jedoch zu bedenken, daß nach den Untersuchungen von Straub³ reichliche Zufuhr von Zucker das Auftreten der Glykosurie bei der Kohlenoxydvergiftung behindert, wie ja Straub auch annimmt, daß der Zucker bei Sauerstoffmangel aus dem Zerfall von Eiweiß herrührt. Es war aber nicht der Hauptzweck unserer hier mitgeteilten Untersuchungen, den Nachweis für das Fehlen oder Vorhandensein von Zucker und Glykuronsäure im Harn zu erbringen, sondern es lag in unserer Absicht, in erster Linie bei den Beobachtungen durch den Verlauf der Veränderungen, die der Chemosismus des Gaswechsels nach Zufuhr von Zucker zeigt, nachzuweisen, ob die Verbrennung des Zuckers in so großen Höhen wie auf dem Monte Rosa vielleicht langsamer geschieht, als in der Ebene. Vielleicht, so glaubten wir, ließe sich auch nachweisen, ob der Körper in so großen Höhen dazu neigt, größere Quantitäten von Zucker in Form von Glykogen aufzuspeichern. Es sollten daher 120 gr Traubenzucker genommen werden, Mengen, die bekanntermaßen so bedeutend sind, daß sie schon eine alimentäre Glykosurie auslösen können. Wir führten daher vor und nach der Einfuhr des Traubenzuckers Respirationsversuche in regelmäßigen Zwischenräumen aus.

Über das Verhalten des Gaswechsels nach Zuckergenuß liegen bereits einige Beobachtungen am Menschen aus früheren Jahren vor. So untersuchte Speck an sich Sauerstoffverbrauch und Kohlensäureproduktion nach Genuß von einigen Stücken Zucker,⁴ ferner stellte Magnus Levy den Verlauf der Verbrennungsvorgänge nach Einfuhr verschiedener Mengen von Traubenzucker und Rohrzucker⁵ an gesunden und kranken Personen⁶ fest. Die Versuche Hanriot's, bei denen offenkundige Unrichtigkeiten vorliegen, können wohl übergangen werden. Die Resultate, die Magnus Levy gewann, lauten dahin, daß nach Zuckerzufuhr eine Umsatzsteigerung eintritt, ferner wurden die respiratorischen Quotienten nach Genuß

¹ Zeitschr. f. physiolog. Chemie, XV, p. 334, XIX, p. 422.

² Zeitschr. f. klin. Medic., Bd. XLVII.

³ Arch. f. exp. Pathologie, XXXVIII, p. 139.

⁴ Physiologie des menschlichen Atmens, Leipzig 1892.

⁵ Pflüger's Arch. LV, p. 62.

⁶ Arch. f. (Anat. u.) Physiologie, 1904, p. 377.

des Zuckers höher und erreichten nach 1 bis 2 Stunden ihren größten Wert, dieser wurde einige Zeit beibehalten, nach welcher der Quotient dann allmählich zur Norm absank. Die verzehrten Traubenzuckermengen betrugen 60—85 g. In größerem Umfange und unter spezieller Berücksichtigung des Einflusses verschiedener Zuckerarten arbeiteten Johansson, Billström und Heijl¹ und Johansson;² auch von Koraen³ liegen einige Versuche hierüber vor. In allen diesen Beobachtungen begegnen wir Umsatzsteigerungen nach der Einfuhr von Traubenzucker. Hinsichtlich der Toleranz gegen Traubenzuckergaben, wissen wir aus älteren Versuchen, daß von Mengen angefangen, die etwa 70 g betragen, bis zu Dosen von 250 g die Grenze liegt, die bei der Zuckerzufuhr nicht überschritten werden kann, ohne daß bei normalen Menschen bereits Glykose im Harn auftritt, ähnliches fand auch Johansson. Bei seinen Versuchspersonen erschien bei Gaben, die zwischen 75 und 150 g Traubenzucker lagen, alimentäre Glykosurie. Die Steigerung der Kohlensäureabgabe hielt in den Versuchen Johansson's bis zu sechs Stunden, aber nie länger an. Nicht selten beobachtete er im Anschluß hieran ein Absinken der Kohlensäureproduktion unter die Norm. Durch gleichzeitige Kontrolle der Passage der eingeführten Zuckermenge durch den Darm mit Hilfe der Wismut-Röntgen-Methode konnte er nachweisen, daß die Dauer der Steigerung der Kohlensäureausscheidung der Passage des Zuckers durch den Darm, beziehungsweise der Resorption des Zuckers entspricht. Die Steigerung der Kohlensäureproduktion war bereits eine halbe Stunde nach der Einführung von Traubenzucker zu bemerken. Die Vermehrung der Kohlensäureausscheidung erreichte ihr Maximum erst in der zweiten Stunde. Johansson konnte ferner nachweisen, daß die Ausscheidung von Zucker durch den Harn nur während der Zeit der Resorption und der Umsatzsteigerung eintritt. Die Vermehrung der Kohlensäureproduktion erwies sich als abhängig von der Menge des zugeführten Zuckers, sie war nach der Annahme Johansson's jedenfalls bedeutender, als daß die Umsatzsteigerung, die hierdurch zum Ausdruck gelangte, auf die Verdauungsarbeit hätte bezogen werden können. In bezug auf die Frage nach der Bedeutung der höheren Werte für Sauerstoffverbrauch und Kohlensäureproduktion nach Zuckerzufuhr wurde übrigens durch die Beobachtungen von Zuntz, v. Mering und Wolfers⁴ nachgewiesen, daß bei intravenöser Injektion von Zucker keine Erhöhung des Umsatzes eintritt, was wohl einen deutlichen Hinweis dafür abgibt, daß die Umsatzsteigerung im Wesen auf Drüsen- und sonstige Verdauungsarbeit zurückzuführen ist. Gerade bei Zuckerversuchen scheint übrigens für die Beurteilung der Verhältnisse die Ermittlung des Sauerstoffverbrauches außer derjenigen der Kohlensäureproduktion unerlässlich. Als einschlägige Beobachtungen wären auch jene von Reach zu erwähnen⁵, bei welchen zur Kontrolle der Ergebnisse über die Resorption von Zuckerlösungen durch das Rectum auch Versuche zur Ausführung gelangten, in denen Gaben von Traubenzucker per Os eingeführt wurden. Auch Reach fand, daß die höchste Steigerung der respiratorischen Quotienten, entsprechend der größten Erhöhung der Kohlensäureproduktion bei Johansson, etwa 1½ Stunden nach der Zufuhr der Glykose eintrete. Seine Versuche beweisen ebenfalls den Eintritt einer Umsatzsteigerung nach Zuckerzufuhr.

Unsere Versuche sind sämtliche an Durig ausgeführt. Auf dem Monte Rosa besorgte Dr. Reichel, in Wien Dr. Reach die Ablesungen an der Gasuhr, wofür den betreffenden Herren an dieser Stelle der beste Dank ausgesprochen sei. Die Analysen zu diesen Versuchen, wie ja überhaupt auch alle übrigen, führte Durig aus. Die beiden Anhangstabellen XII und XIII geben die gewonnenen Resultate wieder. Bei den Versuchen auf dem Monte Rosa wie in Wien wurden wie erwähnt 120 g Traubenzucker gelöst in zirka 350 cm³ Wasser auf nüchternen Magen genommen. In Wien und auf dem Gipfel gelangte dasselbe Präparat zur Verwendung. Die Versuche wurden in horizontaler Lage im Bett, beziehungsweise im Liegestuhl ausgeführt und hierbei vollständige Körperruhe eingehalten, sowie jede Muskelspannung möglichst

¹ Skand. Arch., XVI, p. 263.

² Skand. Arch., Bd. XXI, p. 1.

³ Skand. Arch., Bd. XI, p. 183.

⁴ Zuntz v. Mering und Wolfers, Pflüger's Arch., Bd. 32.

⁵ Arch. f. exp. Patholog. XVII.

vollkommen vermieden. Zwischen den Beobachtungen waren Muskelbewegungen schon durch die Notwendigkeit von Harn- und Kotentleerung nicht zu umgehen. Zwanzig Minuten vor dem Zeitpunkte, zu dem der Versuch beginnen sollte, lag Durig meist wieder in vollkommener Muskelruhe und atmete durch die Gasuhr. Das Verhalten der Versuchsperson war auf dem Monte Rosa, wie in Wien ein möglichst gleichartiges. Die analytische Bestimmung von Sauerstoffverbrauch und Kohlensäureproduktion ermöglicht es auch, in unseren Versuchen, wie jenen von Magnus Levy und Reach die Änderungen des respiratorischen Quotienten zu verfolgen. Nachstehende kleine Tabelle soll an der Hand der für den respiratorischen Quotienten ermittelten Zahlen die hauptsächlichsten Ergebnisse der Versuche veranschaulichen.

Tabelle XX.

Respiratorische Quotienten nach Traubenzuckerzufuhr.

	Normalversuch		Nach der Zufuhr von Traubenzucker verstrichen						
			$\frac{1}{4}$ Stunde	1 Stunde	2 Stunden	3 Stunden	4 Stunden	5 Stunden	6 Stunden
Wien	0.921	0.861	0.856	0.979	0.972	0.978	0.762	0.809	—
	0.916	0.875	0.851	0.932	0.993	0.949	0.846	0.814	—
Monte Rosa	—	0.776	0.991	1.000	0.956	0.893	0.848	—	0.818
	—	0.824	0.915	0.991	0.957	0.902	0.809	—	—

In Wien wie auf dem Monte Rosa wurden je zwei Versuchsreihen ausgeführt. Die beiden Wiener Versuche stimmen mit einander sehr gut überein (siehe auch die Anhangtabellen XII und XIII). In beiden Fällen sieht man, daß nach dem ersten Normalversuch die respiratorischen Quotienten allmählich absinken. Es ist dies ein Verhalten, das man fast regelmäßig bei der Ausführung von Ruherespirationsversuchen beobachtet. Die Abnahme des respiratorischen Quotienten ist aber trotz der Zufuhr von Traubenzucker in dem eine Viertelstunde später ausgeführten Versuche noch nicht beendet, es hat sich also zu dieser Zeit die Verbrennung der eingeführten Glykose noch nicht bemerkbar gemacht. Ganz anders ist jedoch der Wert, der für den Quotienten eine Stunde später beobachtet wurde. Fassen wir den ersten Versuch ins Auge, so erweist sich nunmehr der Quotient als ganz bedeutend erhöht, er rückt nahezu an 1 heran, und auch in der zweiten und dritten Stunde ist eine Verminderung noch nicht ausgesprochen gewesen. Erst nach vier Stunden fiel er zu einem normalen (vielleicht etwas übermäßig erniedrigten) Werte ab. Wie die nach fünfstündiger Versuchszeit gewonnene Zahl zeigt, war die Verbrennung des Traubenzuckers zu dieser Zeit jedenfalls schon im wesentlichen beendet. Der zweite Wiener-Versuch unterscheidet sich vom ersten nur dadurch, daß die Steigerung des respiratorischen Quotienten geringer blieb, im übrigen finden wir dieselben Verhältnisse: Kein Ansteigen des Quotienten in der ersten Viertelstunde nach der Zuckerzufuhr, Erhöhung nach Ablauf der ersten bis zum Ende der dritten Stunde, hernach wieder Absinken auf einen niederen Wert.

Vergleicht man nun mit diesem Ergebnisse das Verhalten des Gaswechsels auf dem Monte Rosa nach Zufuhr derselben Zuckermenge, so ergeben sich eindeutige Unterschiede, diese sind aber ganz anderer Art, als wir im voraus erwarteten. Beide Versuche stimmen wieder, was den zeitlichen Verlauf

der Änderung des Quotienten betrifft, in ganz befriedigender Weise überein. Auf dem Monte Rosa schnellte bereits in der ersten Viertelstunde der respiratorische Quotient mächtig in die Höhe und wieder hält er sich durch ungefähr drei Stunden auf großen Werten, um dann rasch abzusinken. Nach vier Stunden waren die Quotienten wieder auf einen solch niederen Wert gesunken, daß eine Verbrennung reichlicher Mengen von Zucker sicher nicht mehr stattgefunden hat. Ein nach sechs Stunden ausgeführter Versuch besagt nur, daß der respiratorische Quotient, so wie wir es gewöhnt sind, langsam in geringem Maße sich weiter vermindert hat. Die in der Anhangtabelle XIII angeführten Hockversuche reihen sich zwischen die Respirationsversuche der ersten Serie auf dem Monte Rosa ein.

Die auf dem Monte Rosa angestellten Beobachtungen über den Gaswechsel nach Zufuhr von Traubenzucker zeigen übereinstimmend mit jenen in Wien, daß der Anstieg der respiratorischen Quotienten am zweiten Versuchstage (beide Reihen fielen jedesmal auf anschließende Tage) langsamer erfolgte, als am ersten. Der Anstieg des Quotienten ist aber in den Monte Rosa-Versuchen zeitlich verschoben, ebenso wie man dies wohl auch für das Absinken der Quotienten annehmen kann, dagegen ist die Zeit, während der die Steigerung der Quotienten auf ihren höchsten Wert anhielt, in beiden Fällen dieselbe gewesen. Es ergibt sich demnach das merkwürdige Resultat, daß der Traubenzucker auf dem Monte Rosa etwa während derselben Zeit zur Verbrennung gelangt sein dürfte wie in der Ebene, daß aber die Verbrennung auf dem Gipfel rascher einsetzte. Dies ist wegen der Frage, ob auf dem Monte Rosa infolge des Sauerstoffmangels ein trägerer Ablauf der Verbrennungsvorgänge stattfindet, gewiß nicht uninteressant.

Einen Beweis hierfür, daß die Verbrennung auf dem Gipfel mit derselben oder mit größerer Raschheit wie in der Ebene erfolgte, könnten wir aber nicht antreten, ein solcher wäre nur dann möglich, wenn die Respirationsversuche nach der Zuckerzufuhr ununterbrochen fortgesetzt worden wären und wir die Mengen Zucker berechnen könnten, die tatsächlich zur Oxydation gelangten. Aus den Zahlen ist nur zu entnehmen, daß die Verbrennung des Traubenzuckers auf dem Monte Rosa rascher eingesetzt hat, als in der Ebene, weshalb der Zucker bei gleich langer Zeit für die Verbrennung auch schneller aufgebraucht war, denn die respiratorischen Quotienten zeigten in Wien gleich lange Zeit nach der Einfuhr noch höhere Werte als auf dem Monte Rosa. Diese zeitliche Verschiebung der Verbrennungsvorgänge darf aber sicherlich nicht in dem Sinne gedeutet werden, als wäre auf dem Monte Rosa die Oxydation des Traubenzuckers eine intensivere gewesen. Nach Johansson's Untersuchungen müssen wir es als wahrscheinlicher annehmen, daß die Erscheinung auf eine raschere Resorption des Traubenzuckers zurückzuführen ist. Dafür würde der Umstand sprechen, daß wir auf dem Monte Rosa möglicherweise einen wasserärmeren Körper gehabt haben dürften als in Wien, da wir von dem einzigen Getränk, das uns in der Hütte zur Verfügung stand, um den Durst zu löschen, dem Eiswasser, natürlich nur sehr beschränkten Gebrauch machten. Nach der Rückkehr ins Tal tranken wir dagegen mit wahrem Behagen und in viel reichlicherer Menge das wärmere und schmackhaftere Brunnenwasser. Die Zufuhr einer größeren Menge lauwarmer Flüssigkeit zugleich mit dem Zucker kann daher wohl auf dem Monte Rosa zur rascheren Resorption Anlaß gegeben haben als in der Ebene und damit würde das schnellere Eintreten der erhöhten respiratorischen Quotienten gut zu erklären sein. Es wäre aber auch möglich, noch an eine andere Erklärung zu denken. Wir lebten auf dem Monte Rosa bei einer sehr kohlehydratreichen Kost und besonders Durig, der nur zirka 9 g Stickstoff pro Tag einführen durfte, hatte täglich sehr viel Kohlehydrat zu verzehren, so z. B. am Tage, der den Zuckerversuchen voranging, 40 g Marmelade, 150 g Zucker, 200 g Biskuits, 40 g Trockenkartoffeln, oder am ersten »Traubenzuckerversuchstag« 40 g Marmelade, 100 g Zucker, 120 g Traubenzucker, 200 g Biskuits, 60 g Reis, 60 g Makkaroni und 25 g Schokolade. Da es sich nun um Untersuchungstage handelte, an denen schwere körperliche Arbeit nicht geleistet wurde, dürfte in der Leber wohl ein reicher Glykógenvorrat vorhanden gewesen sein, um so mehr als das Körpergewicht ziemlich konstant blieb, die Nahrung also eine zureichende war. Es kann daher ganz wohl der Fall sein, daß auf dem Monte Rosa größere Mengen von Glykose zur Verbrennung gelangen mußten als in der Ebene, wo vielleicht ein Teil derselben als Glykogen angelagert worden ist. Hierdurch würde es sich auch erklären, daß auf dem Monte Rosa die Quotienten ihre höchsten Werte längere Zeit

beibehalten haben als in der Ebene, was ja auf eine ausgiebigere Verbrennung von Traubenzucker hindeutet.¹

Auf eine weitere Erklärungsmöglichkeit weist die Höhe der Umsatzsteigerung hin (siehe Anhangstabelle). Sowohl Magnus Levy, wie Koraen und Johansson heben die Steigerung des Umsatzes infolge der Zufuhr von Kohlehydrat hervor. Bei Magnus Levy finden wir dies Verhalten auf Grund der Vermehrung des Sauerstoffverbrauches, bei Johansson aus den Werten für die Kohlensäureproduktion im Zusammenhalt mit der Menge des verbrannten Traubenzuckers abgeleitet. Auch in unseren Versuchen begegen wir der Erhöhung der Verbrennungsvorgänge, die wir am besten in dem Umsatz an Calorien pro Minute ausdrücken werden (Stab O, Anhangtab. XII und XIII). Wir sehen aber, daß die Umsatzsteigerung auf dem Monte Rosa geringer ausgefallen ist als in der Ebene. Vergleichen wir die Werte, so beträgt die Erhöhung im ersten Versuch in Wien 0·268 Calorien, im zweiten 0·306 Calorien, demgegenüber stehen die Versuche auf dem Monte Rosa mit einer maximalen Umsatzsteigerung von 0·206 und 0·115 Calorien pro Minute.

Dieses Verhalten zeigt einen gewissen Zusammenhang mit der Zuckerausscheidung, wovon später die Rede sein wird, wir fanden nämlich in Wien neben der höheren Steigerung der Verbrennungsvorgänge infolge der Zuckereinfuhr auch eine deutliche Vermehrung des Zuckers im Harn.

Die Erhöhung des Umsatzes war in allen unseren Versuchen bereits in der ersten Stunde nach der Zuckerezufuhr ausgesprochen, mit ihr war aber auch eine Vergrößerung der Ventilation eingetreten, und zwar um rund 1 l. Setzen wir nun auch für das Liter Mehrventilation pro Minute den bereits erwähnten Wert von 24 Calorien ein, so erübrigt dennoch eine Steigerung der Verbrennungsvorgänge, die auf andere Ursachen zurückzuführen ist. Hier kommt natürlich in erster Linie die Arbeit der Verdauungsdrüsen und die Resorptionsarbeit in Betracht. Es scheint jedoch fraglich, ob sie in diesem Falle das allein ausschlaggebende Moment war. Wir können nämlich mit ziemlicher Berechtigung voraussetzen, daß die Drüsen- und Resorptionsarbeit für die Bewältigung der nämlichen Menge Traubenzucker in Wien und auf dem Monte Rosa dieselbe sein dürfte, damit steht aber der Unterschied in der Umsatzsteigerung auf dem Monte Rosa und in der Ebene in Widerspruch. Es ist deshalb wohl möglich anzunehmen, daß auf dem Monte Rosa, entsprechend dem wesentlich höheren Erhaltungsumsatz, den wir dort gegenüber der Ebene beobachteten (1·324 gegen 1·022 Calorien pro Minute), der eingeführte Traubenzucker auch rascher und in größerem Umfang angegriffen wird, um zur Deckung der erforderlichen Verbrennungsprozesse beizutragen, und wahrscheinlich würde unter noch größerer Steigerung des Bedarfes, etwa bei Muskelarbeit dies noch deutlicher zum Ausdruck gekommen sein. Gelingt es nun dem Körper, durch raschere Resorption (Wasserarmut?) und größeren Bedarf an Brennmaterial die schneller eingeschwemmten Zuckermassen auch schneller zur Verbrennung zu bringen, somit den ganzen Vorgang der Zuckerverbrennung zeitlich, vielleicht auch quantitativ zu verschieben (längeres Einhalten höherer Quotienten), so würde dadurch eine spezifische Wirkung in die Blutbahn gelangter Zuckermengen herabgedrückt werden können. Ein solcher natürlich hypothetischer Vorgang könnte uns die Erscheinung der geringeren Umsatzsteigerung in der Höhe ganz gut erklären, wir müssen aber immerhin bedenken, daß die Zahl der Versuche eine recht kleine ist und daß diese Unterschiede im Verhalten in der Ebene und auf dem Gipfel auch auf rein zufällige Bedingungen zurückzuführen sein können; dies ist im Hinblick auf die Injektionsversuche von Zuntz, Mering und Wolfers auch das Wahrscheinlichste. Bei der Vereinfachung, die die Methoden für die Bestimmung des Zuckers in Blut und in Organen in neuester Zeit durch Bang erfahren hat, ist es übrigens ganz gut möglich, diese Frage auf experimentellem Wege zur Entscheidung zu bringen.

Ebenso wie Koraen und Johansson nach Einführung von Zucker mitunter eine Abnahme der Kohlensäureausscheidung unter der Norm beobachten konnten, die sich nach dem Abschluß der Zuckerverbrennung geltend machte, sahen auch wir in dreien von unseren Versuchen eine solche Verminderung

¹ An eine Einwirkung der Erhöhung der Körpertemperatur auf den Abbau des Zuckers ist in unserem Versuch nicht zu denken, da die Morgenstemperatur an beiden Tagen bei Durig eine vollkommen normale war.

der Kohlensäureausscheidung. Es ist, wenn wir die Werte in den Anhangstabellen ins Auge fassen, diese Abnahme aber wohl kaum als ein Zeichen verminderter Kohlensäureproduktion aufzufassen, da wir sehen, daß die Verbrennungsvorgänge wieder auf die normale Höhe zurückgegangen sind. Die Werte für den Umsatz in Calorien pro Minute stimmen in allen diesen Versuchen mit jenen, die wir in den Vorversuchen ermittelten, gut überein. Da zugleich mit der Verminderung der Kohlensäureausscheidung, entgegen der vorhergegangenen, stark erhöhten Ventilation, die pro Minute geatmete Gasmenge wesentlich abgesunken ist, wird man annehmen müssen, daß die Erscheinung nur durch eine Retention von Kohlensäure, und zwar als natürliche Folge der früheren Überventilation aufzufassen ist. Als auffallend ist jedenfalls die prompt nach der Zuckerzufuhr auftretende Steigerung der Athemgröße, die sich zugleich mit der Erhöhung des Umsatzes einstellte, zu betrachten; es ist dabei bemerkenswert, daß zu dieser Zeit in den Wiener Versuchen noch keine Erhöhung des respiratorischen Quotienten eingetreten war. Die Steigerung der Kohlensäureproduktion hat anfangs sicher noch keine derartige Höhe erreicht, daß sie eine so bedeutende Vermehrung der Ventilation hätte herbeiführen können. Auch dies Verhalten spricht im Sinne der angedeuteten Möglichkeit einer spezifischen Wirkung größerer, in den Kreislauf eingeschwemmter Zuckermengen. Das Auftreten größerer CO_2 -Mengen, als sie sich auf Grund der Verdauungsarbeit erklären lassen, kann hiebei aber sehr wohl zu einem guten Teil auf eine Ausschwemmung aus dem Körper infolge der Überventilation zurückgeführt werden. Es scheint übrigens auch die Herztätigkeit bei dem Zucker Versuch mit beeinflußt zu werden. Wir stellten hierüber zwar keine Versuche an, doch möge auf die subjektive Empfindung von Herzklopfen, das sich bei Durig auf dem Monte Rosa während des Zuckerversuches einstellte, und auf eine Veränderung im Puls, die ihm in Wien auffiel, hingewiesen werden.

Es wurde erwähnt, daß wir an die Möglichkeit einer Zuckerausscheidung sowie an eventuelle Bildung von namhaften Mengen von Glykuronsäure infolge Sauerstoffmangels auf dem Monte Rosa dachten. Auch darüber lauten die Resultate anders als wir erwarteten.

In keinem der Harne, die Durig während der Traubenzuckerversuche auf dem Monte Rosa entleerte, fand sich eine nachweisbare, abnormale Menge von Traubenzucker. Sowohl die Trommer'sche Probe als die Phenylhydrazinprobe mit folgendem Sedimentieren fielen in diesem Sinne negativ aus, selbstverständlich konnte auch im Polarisationsapparat kein Drehungsvermögen nachgewiesen werden. Die qualitative Probe auf Glykuronsäure gab auch kein positives Resultat. Im Gegensatz hierzu wurde an Durig in beiden Wiener Versuchen Traubenzucker in deutlich nachweisbarer Menge mit dem Harn ausgeschieden, und zwar fanden wir diese in der zweiten und dritten Stunde nach der Zufuhr des Zuckers. Im Versuch vom 23. Jänner dauerte die Ausscheidung sogar noch bis in die vierte Stunde. Am 22. Jänner waren die Mengen so gering, daß sie mit Hilfe der Polarisation nicht mehr quantitativ nachgewiesen werden konnten, da die Ausschläge schon in die Fehlergrenzen fielen; am zweiten Tage fanden sich jedoch in den 500 cm^3 Harn zirka 0.5% Zucker. Für unsere Zwecke war ein qualitativer Nachweis ausreichend, weshalb wir auf eine genaue quantitative Bestimmung verzichteten.

Wir können also auf Grund unserer Zuckerversuche aussagen: daß aus ihnen keinerlei Anhaltspunkte dafür hervorgehen, daß während des Aufenthaltes auf dem Monte Rosa unter dem Einfluß verminderten Luftdruckes irgendwelche Erscheinungen aufgetreten sind, die für eine langsamere oder eine unvollständigere Oxydation eingeführter Traubenzuckermengen sprechen würden.

I. Ergebnisse.

Als hauptsächlichste Ergebnisse sollen die folgenden angeführt werden:

Das Zuntz'sche Verfahren liefert bei richtigem Arbeiten für den Sauerstoffverbrauch und die Kohlensäureproduktion des ruhenden Menschen absolute Werte.

Die Ergebnisse, welche mit Hilfe des Respirationskalorimeters sowie des Tigerstedt-Sondén'schen Respirationsapparates bei den Untersuchungen über den Erhaltungsumsatz gefunden wurden, stimmen mit jenen überein, die das Zuntz'sche Verfahren liefert.

Das Zuntz'sche Verfahren zur Untersuchung des Gaswechsels hat im Laufe der Jahre eine Vervollkommnung erfahren. Man kann die Forderung aufstellen, daß in Versuchen, die als gut bezeichnet werden sollen, die mittlere Abweichung vom Mittelwert nicht mehr als 3% der Größe, die für den Sauerstoffverbrauch gefunden wurde, betrage. Der Erhaltungsumsatz wurde für alle Teilnehmer an der Expedition im Jahre 1906 mit 0.54 bis 0.57 Kalorien pro Minute und Quadratmeter bestimmt.

Ein Einfluß der Jahreszeit und der Umgebungstemperatur auf den Erhaltungsumsatz war nicht nachzuweisen. Im Juni, Jänner und März wurden in Wien die nämlichen Werte für den Erhaltungsumsatz gefunden.

Auch in einer Höhe von zirka 1000 *m* (Semmering) war kein Einfluß der Jahreszeit auf die Höhe der Verbrennungsvorgänge nachzuweisen.

Die Regulation gegen den im Winter drohenden Wärmeverlust war bei den Versuchspersonen eine physikalische und nicht eine chemische, sie bestand ausschließlich in einer größeren Behinderung der Wärmeabgabe.

In einer Höhe von 1000 *m* (Semmering) und einer solchen von 1326 *m* (Spörner Alpe) trat bei drei Versuchspersonen anfänglich eine Steigerung des Erhaltungsumsatzes auf, diese wurde allmählich rückgebildet.

In Höhen von 1000 bis 4000 *m* tritt wahrscheinlich eine Umsatzsteigerung ein, doch dürfte diese nicht mehr als 5% des Normalwertes betragen. Entscheidende Resultate liegen hierüber nicht vor.

In 4560 *m* Höhe wurde in allen einwandfreien Versuchen über den Gaswechsel eine bedeutende Steigerung des Erhaltungsumsatzes nachgewiesen. Diese ist so groß, daß sie durch den Mehraufwand von Atemarbeit nicht erklärt werden kann.

Die Umsatzsteigerung ist in dieser Höhe sofort bei der Ankunft ausgebildet. Sie verschwindet ebenso plötzlich nach dem Verlassen der Höhenregion.

Während des einmonatlichen Aufenthaltes auf dem Gipfel fand keine Anpassung statt, die eine Verminderung der Umsatzsteigerung herbeigeführt hätte. Diese blieb bei allen vier Versuchspersonen konstant. Dasselbe war auch bei Zuntz und Durig im Jahre 1903 während eines 18tägigen Gipfelaufenthaltes der Fall gewesen.

Die Raschheit des Aufstieges zum Gipfel war ohne Einfluß auf die Höhe der Umsatzsteigerung.

Vorheriges Trainieren und Gewöhnen an den Höhengedächtnis vermochte die Größe der Umsatzsteigerung nicht herabzudrücken. Außer der Verminderung des Luftdruckes scheint keiner

der bekannten klimatischen Faktoren einen Einfluß auf die Umsatzsteigerung im Hochgebirge zu besitzen. Die ausgeführten Versuche lassen keine Abhängigkeit des Chemismus des Gaswechsels von Feuchtigkeit, Wind, Potentialgefälle oder Luftionisation erkennen.

In bezug auf das Eintreten der Bergkrankheit läßt sich ebenfalls kein Zusammenhang mit den letztgenannten Faktoren nachweisen.

Die Erhöhung der Körpertemperatur und der Herzarbeit sowie die Vermehrung der Ventilation sind nicht die Ursache der Umsatzsteigerung in großen Höhen.

Die erkennbaren Symptome manifester Bergkrankheit stehen in keinem Zusammenhang mit der Höhe der Umsatzsteigerung.

Die Raschheit des Abstieges ins Tal war ebensowenig von Einfluß auf das Befinden wie die Schnelligkeit, mit der der Aufstieg ausgeführt wurde. Ein experimenteller Beweis für die Berechtigung der Forderung, daß der Klimawechsel beim Übergang in eine Höhenstation oder bei der Rückkehr aus dieser langsam zu vollziehen sei, ist derzeit noch nicht erbracht.

Ein viertägiger Aufenthalt in einer Höhe von 1000 *m* (Semmering) hat keine Nachwirkung ausgelöst, die sich in einer Veränderung des Erhaltungsumsatzes ausgedrückt hat; die in der Höhe beobachtete Änderung des Umsatzes bildete sich sofort nach der Rückkehr in die Ebene zurück.

Nach dem Abstieg vom Monte Rosa in das Tal verschwand die auf dem Gipfel beobachtete Umsatzsteigerung sofort; bei zwei Versuchspersonen wurden hierbei sogar subnormale Werte für den Erhaltungsumsatz beobachtet.

Der respiratorische Quotient wies in keiner jener Höhen, in denen Untersuchungen über den Gaswechsel ausgeführt wurden, eine Veränderung gegenüber der Norm auf.

Unter normalen Verhältnissen wurden im »Ruheversuch« nie respiratorische Quotienten unter 0.7 gefunden. Das Auftreten von abnorm niederen respiratorischen Quotienten nach vorausgegangener Muskelarbeit ist wahrscheinlich durch Glykogenbildung zu erklären.

Die Versuche über die Nachwirkung vorausgegangener Muskelarbeit sprechen dafür, daß die nach Beendigung der Muskelarbeit noch andauernde Erhöhung des Umsatzes auf die Wirkung anderer Stoffe zurückzuführen ist, als jener, welche die Steigerung der Ventilation herbeiführen.

Eine Zufuhr von 120 g Traubenzucker hatte in Wien eine Zuckerausscheidung zur Folge, in den entsprechenden Versuchen auf dem Monte Rosa wurde im Harn derselben Versuchsperson weder Zucker noch Glykuronsäure gefunden.

Der respiratorische Quotient stieg in den Zuckerversuchen auf dem Monte Rosa rascher an als in der Ebene. Die Verbrennung des Zuckers begann auf dem Monte Rosa früher und war auch früher beendet als in der Ebene.

Die Umsatzsteigerung, die infolge der Zuckerzufuhr eintritt, erreichte in der Ebene größere Werte als während des Versuches im Observatorium. Als Ursache für dieses Verhalten kann vielleicht der größere Bedarf an brennbarem Material und der größere Vorrat an Glykogen bei der Versuchsperson in den Hochgebirgsversuchen angesehen werden.

In einigen Versuchen wurde nach der Zuckerzufuhr eine Verminderung der Kohlensäureausscheidung unter die Norm beobachtet. Diese kann durch die vorangegangene Überventilation erklärt werden.

Es dürfte nicht unzweckmäßig sein, auf einige jener einschlägigen Fragen hinzuweisen, deren experimentelles Studium in Angriff genommen werden sollte, um derzeit noch bestehende, wesentliche Lücken in unseren Kenntnissen über das Verhalten des Menschen im Höhenklima auszufüllen. Es ist der

Nachweis zu erbringen, ob Veränderungen des Erhaltungsumsatzes bereits in jenen Höhen eintreten, die für Sommerfrischen, Kuranstalten und Sanatorien in Betracht kommen (Übergang aus der Ebene in Orte von 500 bis 2000 *m* Meereshöhe). Der Verlauf der eventuellen Umsatzänderung ist daselbst zu verfolgen und nach Rückkehr in die Ebene zu ermitteln, ob eine Nachwirkung erkennbar ist.

Es ist festzustellen, wie sich der Gaswechsel in Höhen von mehr als 5000 *m* verhält unter Berücksichtigung der Frage, ob es eine Grenze der Luftverdünnung gibt, bei der an Stelle der Umsatzsteigerung Abnahme des Sauerstoffverbrauches in Körperruhe eintritt.

Die Versuche im pneumatischen Kabinett sollten in einwandfreien Beobachtungen an nüchternen Versuchspersonen wieder aufgenommen werden, um die Wirkung möglichst weitgehender Luftverdünnungen auf den Gaswechsel zu untersuchen. Es wäre erwünscht, wenn längerdauernde Beobachtungen über das Verhalten des Menschen im Respirationskalorimeter unter der Einwirkung sauerstoffarmer Luft ausgeführt würden.

Weitere Beobachtungen über die Nachwirkung des Aufenthaltes im pneumatischen Kabinett sind erforderlich.

Es wäre die Entwicklung und das Verschwinden der Umsatzsteigerung in stetig fortgesetztem, aber in Abschnitte zerlegtem Respirationsversuch bei der Fahrt auf einer der amerikanischen Hochbahnen zu verfolgen.

Die Studien über die Blutgase des Menschen bei Ruhe und Arbeit im Höhenklima sind derzeit noch nicht über Vorversuche hinaus gelangt und sollten in Angriff genommen werden. Auch die Bestimmungen über die Blutalkaleszenz sind bisher sehr wenig zahlreich und nur an einer Versuchsperson in wenigen Beobachtungen ausgeführt. Bestimmungen über das Verhalten der Blutgase und über die Blutalkaleszenz bei der Arbeit im Hochgebirge liegen derzeit noch nicht vor. Untersuchungen über die Gasspannung im Blute sind besonders mit Rücksicht auf die Bohr'schen Feststellungen erforderlich. Studien über das Verhalten des Blutzuckers im Hochgebirge dürften nicht unwichtige Resultate liefern.

Beobachtungen über die Nachwirkung gleich großer Arbeit sind in der Ebene und in verschiedenen Höhenlagen auszuführen, um den Einfluß verminderten Sauerstoffdruckes auf die im Gefolge von Muskel-tätigkeit ablaufenden Vorgänge ermitteln zu können.

Die Zahl der bisher untersuchten Personen ist keine so große, daß nicht weitere Untersuchungen Unterschiede im individuellen Verhalten nachweisen könnten. Ganz besonders ist der Gaswechsel an Frauen und Kindern in Höhenstationen (mit einer Ausnahme) noch keinem Studium unterzogen worden. Auch von Seite klinischer Autoren wären Beobachtungen über die Einwirkung des Höhenklimas bei Erkrankten erst in Angriff zu nehmen und bei diesen Personen wäre auch auf eventuelle Unterschiede im Verhalten zu achten, je nach der Raschheit, mit der der Klimawechsel erfolgt.

Durig.

General-

Erhaltungsumsatz

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	
T a g	Nr.	Barometer- stand	Atemgröße Liter pro Minute		Analyse in Prozenten			
			beobachtet	reduziert	CO ₂	O ₂	N ₂	
Wien,								
12. Juli	31	745·6	6·54	5·83	2·98	17·44	79·58	1
	32		6·60	5·87	3·16	17·29	79·55	2
13. Juli	33	743·4	6·42	5·70	3·04	17·50	79·46	3
	34		6·66	5·91	3·03	17·46	79·51	4
14. Juli	35	744·8	6·59	5·84	3·05	17·38	79·57	5
	36		6·33	5·60	3·00	17·45	79·55	6
Mittel . .			6·52	5·80	3·04	17·44	79·54	
Wien,								
8. Jänner	229	752·4	5·89	5·54	3·24	17·27	79·49	7
	230		5·74	5·27	3·56	16·80	79·64	8
	231		6·13	5·66	3·04	17·34	79·62	9
	235		750·3	5·60	5·16	3·32	17·01	79·67
9. Jänner	236	5·80		5·35	3·18	17·13	79·69	11
	237	5·94	5·36	3·13	17·13	79·74	12	
Mittel . .			5·60	5·39	3·24	17·19	79·64	
Wien,								
27. März	403	749·7	6·383	5·993	3·40	17·40	79·20	13
	404		6·200	5·825	3·26	17·42	79·32	14
28. März	405		6·067	5·699	3·69	17·02	79·29	15
	406		6·182	5·812	3·28	17·40	79·32	16
Mittel . .			6·208	5·832	3·41	17·31	79·28	

Ergebnisse der Monte Rosa-Expedition.

207

tabelle I.

(Körperruhe).

<i>i</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	
Expirationsluft		pro Minute		Respirat. Quotient	Kalorien pro Minute	Körper- gewicht <i>kg</i>	Kalorien pro Minute und <i>m</i> ²	Nr.
Zuwachs CO ₂ ‰	Defizit O ₂ ‰	CO ₂ <i>cm</i> ³	O ₂ <i>cm</i> ³					

Sommer 1906.

1	2·95	3·62	172·0	216·0	0·813		59·8	31
2	3·13	3·76	183·7	220·7	0·831			32
3	3·01	3·53	171·7	201·2	0·852		59·8	33
4	3·00	3·58	177·3	211·5	0·836			34
5	3·02	3·68	176·4	214·9	0·820		59·8	35
6	2·97	3·66	166·4	205·3	0·810			36
	3·01	3·64	174·6	211·6	0·827	1·024	59·8	0·542

Winter 1907.

7	3·21	3·77	178·0	209·1	0·869		60·0	229
8	3·53	4·27	185·0	209·9	0·827			230
9	3·01	3·74	170·4	211·7	0·805			231
10	3·29	4·08	169·7	210·4	0·806		60·0	235
11	3·15	3·96	168·3	211·6	0·795			236
12	3·10	3·89	169·9	218·1	0·779			237
	3·21	3·95	173·5	211·8	0·814	1·022	60·0	0·540

Frühling 1907.

13	3·37	3·57	202·0	214·0	0·944		62·5	403
14	3·23	3·58	188·1	208·5	0·902			404
15	3·66	3·97	208·6	226·2	0·921		62·5	405
16	3·25	3·60	188·9	209·3	0·903			406
	3·38	3·68	196·9	214·5	0·918	1·061	62·5	0·545

Reichel.

Erhaltungsstoffwechsel

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	
T a g	Nr.	Barometer- stand	Atemgröße Liter pro Minute		Analyse in Prozenten			
			beobachtet	reduziert	CO ₂	O ₂	N ₂	
Wien, Sommer								
9. Juni	11	742·1	7·02	6·32	3·48	16·85	79·67	1
	12		7·42	6·67	3·29	17·06	79·75	2
	13		7·43	6·68	3·39	16·77	79·94	3
	14		7·42	6·67	3·22	16·94	79·84	4
	15		7·34	6·59	3·25	17·16	79·79	5
10. Juni	16	742·5	7·30	6·60	3·33	17·03	79·64	6
	17		6·96	6·28	3·20	16·96	79·84	7
	18		7·17	6·47	3·22	16·95	79·83	8
	19		7·66	6·91	3·06	17·18	79·76	9
	20		7·42	6·68	3·12	17·00	79·88	10
Mittel . .			7·31	6·59	3·27	17·00	79·79	
Wien,								
8. Jänner	232	752·4	7·58	6·98	3·28	17·01	79·71	11
	233		7·11	6·55	3·37	16·88	79·75	12
	234		6·94	6·39	3·59	16·79	79·62	13
9. Jänner	238	750·3	7·30	6·73	3·54	16·98	79·48	14
	239		6·72	6·20	3·48	16·75	79·77	15
	240		6·90	6·37	3·52	16·73	79·75	16
Mittel . .			7·08	6·45	3·46	16·86	79·68	
Wien,								
4. März	399	755·7	7·233	6·67	3·11	17·30	79·59	17
	400		6·867	6·48	3·34	16·93	79·73	18
	401		7·414	6·84	3·16	17·12	79·70	19
	402		7·412	6·83	3·12	17·21	79·67	20
Mittel . .			7·23	6·71	3·18	17·14	79·67	

Ergebnisse der Monte Rosa-Expedition.

209

tabelle II.

(Körperruhe).

	<i>i</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	
	Expirationsluft		pro Minute		Respirat. Quotient	Kalorien pro Minute	Körper- gewicht <i>kg</i>	Kalorien pro Minute und <i>m</i> ²	Nr.
	Zuwachs CO ₂ ‰	Defizit O ₂ ‰	CO ₂ <i>cm</i> ³	O ₂ <i>cm</i> ³					
1906 (250 <i>m</i>).									
1	3·45	4·24	218·2	268·1	0·814		81·1		11
2	3·26	4·02	217·3	268·0	0·811				12
3	3·36	4·36	224·4	284·5	0·771				13
4	3·19	4·19	227·9	279·0	0·761				14
5	3·22	3·90	211·1	262·6	0·801				15
6	3·30	4·05	217·2	267·1	0·815		81·1		16
7	3·17	4·17	198·7	261·8	0·760				17
8	3·19	4·18	209·2	269·9	0·763				18
9	3·03	3·93	214·1	275·0	0·761				19
10	3·09	4·10	206·1	274·0	0·754				20
	3·24	4·14	214·4	271·0	0·783	1·325	81·1	0·572	
Winter.									
11	3·25	3·99	226·8	278·7	0·834		80·4		232
12	3·33	4·26	218·1	279·0	0·782				233
13	3·56	4·28	227·5	273·3	0·832				234
14	3·51	4·06	226·3	273·4	0·864		80·4		238
15	3·45	4·36	214·1	270·5	0·791				239
16	3·48	4·38	221·7	279·0	0·795				240
	3·43	4·22	222·6	274·9	0·816	1·325	80·4	0·576	
Frühling.									
17	3·08	3·77	205·3	251·3	0·817		78·6		399
18	3·31	4·18	209·4	264·6	0·792				400
19	3·13	3·97	213·8	271·4	0·787				401
20	3·09	3·88	211·2	265·2	0·797				402
	3·15	3·95	209·9	262·1	0·798	1·257	78·6	0·557	

Kolmer.

General-
Erhaltungsstoffwechsel

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	
T a g	Nr.	Barometer-stand	Atemgröße Liter pro Minute		Analyse in Prozenten			
			beobachtet	reduziert	CO ₂	O ₂	N ₂	
Wien,								
7. Juni	1	741·7	6·15	5·67	3·48	16·78	79·84	1
	2		6·57	6·06	3·17	16·95	79·88	2
	3		6·41	5·91	3·29	16·82	79·89	3
	4		6·15	5·68	3·32	16·72	79·96	4
	5		6·30	5·81	3·28	16·85	79·87	5
8. Juni	6	744·5	7·00	6·38	3·28	16·95	79·87	6
	7		6·57	5·92	3·33	16·78	79·89	7
	8		6·80	6·20	3·23	16·96	79·81	8
	9		6·39	5·80	3·42	16·70	79·88	9
	10		6·82	6·21	3·23	16·92	79·85	10
Mittel . .			6·42	5·96	3·30	16·84	79·86	
Wien,								
19. Jänner	272	753·2	6·98	6·52	3·03	17·25	79·72	11
	273		6·94	6·46	3·00	17·29	79·71	12
	274		7·02	6·55	3·01	17·13	79·86	13
20. Jänner	275	752·8	7·17	6·68	3·16	17·44	79·70	14
	276		7·31	6·80	3·13	17·15	79·72	15
Mittel . .			7·08	6·50	3·07	17·25	79·74	
Wien,								
1. März	388	751·5	7·52	6·97	3·06	17·36	79·58	16
	389		7·37	6·83	3·24	17·21	79·55	17
	390		7·21	6·70	3·23	17·24	79·53	18
	392		7·05	6·54	3·35	17·08	79·57	19
	394		7·20	6·67	3·18	17·21	79·61	20
Mittel . .			7·27	6·74	3·21	17·22	79·57	

Ergebnisse der Monte Rosa-Expedition.

211

tabelle III.

(Körperruhe).

<i>i</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	
Expirationsluft		pro Minute		Respirat. Quotient	Kalorien pro Minute	Körper- gewicht <i>kg</i>	Kalorien pro Minute und <i>m</i> ²	Nr.
Zuwachs CO ₂ ‰	Defizit O ₂ ‰	CO ₂ <i>cm</i> ³	O ₂ <i>cm</i> ³					
Sommer 1906.								
1	3·45	4·43	195·7	251·2	0·798	76·4		1
2	3·14	4·20	190·4	254·6	0·748			2
3	3·26	4·33	192·8	256·0	0·753			3
4	3·29	4·45	187·0	253·0	0·739			4
5	3·25	4·29	188·9	249·4	0·758			5
6	3·25	4·17	207·2 ¹	265·8 ¹	0·779	76·4		6
7	3·30	4·37	196·4	261·1	0·755			7
8	3·20	4·17	198·3	258·3	0·767			8
9	3·39	4·44	196·6	257·6	0·763			9
10	3·23	4·21	200·4	261·2	0·774			10
3·27		4·29	195·3	256·8	0·763	1·227	76·4	0·546
Winter 1907.								
11	3·00	3·81	195·4	248·6	0·786	77·5		272
12	2·97	3·76	192·1	243·4	0·790			273
13	2·98	3·96	195·3	248·3	0·785			274
14	3·13	3·91	208·8	261·1	0·801			275
15	3·10	3·91	211·1	266·3	0·793			276
3·04		3·87	200·5	253·6	0·791	1·215	77·5	0·541
Frühling 1907.								
16	3·03	3·70	211·0	257·8	0·819	81·4		288
17	3·21	3·85	219·3	257·6	0·834			289
18	3·20	3·81	214·6	255·4	0·840			290
19	3·32	3·96	217·1	259·4	0·837			292
20	3·15	3·86	210·7	258·3	0·816			294
3·18		3·83	214·5	257·7	0·829	1·261	81·4	0·544
¹ Unruhe im Hause, K. machte Bewegungen.								

Rainer.

General-
Erhaltungsstoffwechsel

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	
T a g	Nr.	Barometer- stand	Atemgröße Liter pro Minute		Analyse in Prozenten			
			beobachtet	reduziert	CO ₂	O ₂	N ₂	
Wien,								
11. Juni	21	741·7	6·93	6·20	2·85	17·37	79·78	1
	22		6·27	5·60	2·93	17·24	79·83	2
	23		7·13	6·37	2·73	17·58	79·69	3
	24		7·09	6·32	2·64	17·56	79·80	4
	25		7·17	6·37	2·98	17·28	79·74	5
12. Juni	26	742·0	6·53	5·83	2·86	17·29	79·85	6
	27		6·85	6·11	2·79	17·50	79·71	7
	28		7·64	6·83	2·74	17·53	79·73	8
	29		8·43	7·51	2·59	17·73	79·68	9
	30		7·86	6·99	2·74	17·54	79·72	10
Mittel . .			7·19	6·41	2·79	17·46	79·73	
Wien,								
2. März	394	756·9	6·778	6·345	2·91	17·64	79·54	11
	395		6·911	6·467	2·95	17·68	79·37	12
	397		6·600	6·171	2·87	17·58	79·55	13
	398		6·890	6·445	2·90	17·62	79·47	14
Mittel . .			6·79	6·36	2·91	17·63	79·48	

tabelle IV.

(Körperruhe).

	<i>i</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	
	Expirationsluft		pro Minute		Respirat. Quotient	Kalorien pro Minute	Körper- gewicht <i>kg</i>	Kalorien pro Minute und <i>m</i> ²	Nr.
	Zuwachs CO ₂ ‰	Defizit O ₂ ‰	CO ₂ <i>cm</i> ³	O ₂ <i>cm</i> ³					
Sommer.									
1	2·82	3·75	174·7	232·3	0·752		64·58		21
2	2·90	3·89	162·4	217·8	0·747				22
3	2·70	3·52	172·2	224·7	0·785				23
4	2·61	3·56	164·9	224·9	0·733				24
5	2·95	3·83	187·6	243·7	0·770				25
6	2·83	3·85	165·1	224·6	0·735				26
7	2·76	3·61	168·8	220·8	0·764		64·58		27
8	2·71	3·57	185·1	243·4	0·759				28
9	2·56	3·36	192·3	252·4	0·745				29
10	2·71	3·56	189·5	249·0	0·761				30
	2·76	3·65	176·3	233·3	0·755	1·107	64·58	0·556	
Frühling.									
11	2·88	3·41	182·8	216·4	0·845		62·90		394
12	2·93	3·43	189·5	221·8	0·854				395
13	2·84	3·48	175·3	214·8	0·816				397
14	2·87	3·42	185·0	220·4	0·839				398
	2·88	3·44	183·1	218·4	0·838	1·059	62·90	0·542	

Durig.

General-

Erhaltungsumsatz

Capanna Margherita

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	
T a g	Nr.	Barometer- stand	Atemgröße Liter pro Minute		Analyse in Prozenten			
			beobachtet	reduziert	CO ₂	O ₂	N ₂	
Anfangs-								
9. August	107	438·5	10·64	5·92	3·66	16·38	79·96	1
	108		9·86	5·49	3·54	16·24	80·22	2
11. August	115	436·6	10·00	5·61	3·67	16·41	79·92	3
	116		9·98	5·56	3·99	16·08	79·94	4
13. August	126	439·6	9·95	5·44	4·01	16·32	79·67	5
	127		9·65	5·15	3·85	16·12	80·03	6
Mittel . .			10·02	5·53	3·79	16·29	79·96	
Schluß-								
31. August	180	431·2	10·43	5·62	4·04	16·20	79·76	7
	181		9·49	5·15	4·33	15·73	79·94	8
1. September	188	433·9	10·06	5·51	4·01	16·18	79·81	9
	189		9·16	5·04	4·30	15·83	79·87	10
Mittel . .			9·79	5·22	4·17	15·98	79·85	
Nachwirkung								
16. August	134	437·5	10·71	6·17	3·78	16·36	79·86	11
	135		10·45	5·87	3·65	16·48	79·87	12
20. August	142	432·0	10·50	5·84	3·73	16·33	79·94	13
	143		10·05	5·59	3·78	16·23	80·09	14
Mittel . .			10·43	5·87	3·74	16·35	79·94	
Mittel für Wien, Winter.		751	5·60	5·39	3·24	17·19	79·64	

Ergebnisse der Monte Rosa-Expedition.

215

tabelle V.

(Körperruhe).

(Monte Rosa) 4560 m.

<i>i</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	Nr.
Expirationsluft		pro Minute		Respirat. Quotient	Kalorien pro Minute	Körper- gewicht <i>kg</i>	Kalorien pro Minute und <i>m</i> ²	
Zuwachs CO ₂ ‰	Defizit O ₂ ‰	CO ₂ <i>cm</i> ³	O ₂ <i>cm</i> ³					

periode 1906.

1	3·63	4·79	215·0	283·6	0·758		60·8	107
2	3·51	5·00	192·7	274·4	0·702			108
3	3·64	4·75	204·0	266·3	0·766			115
4	3·96	5·06	220·3	281·7	0·782		60·8	116
5	3·98	4·77	216·4	259·3	0·834			126
6	3·82	5·06	196·9	260·8	0·755		60·5	127
	3·76	4·91	207·5	271·0	0·757	1·287	60·7	0·674

periode 1906.

7	4·01	4·91	225·5	276·2	0·817		59·6	180
8	3·96	5·43	220·6	279·5	0·789			181
9	4·47	4·94	219·0	272·2	0·805		59·8	188
10	4·27	5·31	215·2	273·8	0·804			189
	4·14	5·15	220·1	275·4	0·804	1·324	59·7	0·701

von Märschen.

11	3·75	4·78	231·4	295·1	0·803		59·3 ¹	134
12	3·62	4·66	212·4	273·2	0·777			135
13	3·70	4·83	216·2	282·3	0·766		59·1 ¹	142
14	3·75	4·97	209·5	277·6	0·755			143
	3·71	4·81	217·6	282·1	0·775	1·345	59·2	0·717
	3·21	3·95	173·5	211·8	0·814	1·021	60·0	0·545

¹ Nach Weg zum Lysjoch und zurück.

Kolmer.

General-
Erhaltungsumsatz
Capanna Margherita

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	
T a g	Nr.	Barometer- stand	Atemgröße Liter pro Minute		Analyse in Prozenten			
			beobachtet	reduziert	CO ₂	O ₂	N ₂	
Anfangs-								
9. August	101	438·5	10·025	5·73	3·68	16·41	79·91	1
	102		9·850	5·52	3·84	16·07	79·89	2
11. August	113	436·6	10·301	5·73	4·12	16·06	79·82	3
	114		10·075	5·61	4·05	16·01	79·94	4
13. August	120	440·2	10·830	5·90	3·81	16·56	79·63	5
	121		10·611	5·75	3·72	16·36	79·92	6
Mittel . .			10·282	5·71	3·87	16·24	79·85	
Schluß-								
31. August	174	444·3	9·79	5·26	4·08	16·27	79·65	7
	175		10·40	5·59	4·13	16·27	79·50	8
1. September	182	443·2	11·23	6·14	3·95	16·79	79·26	9
	183		10·80	5·89	3·83	16·67	79·50	10
Mittel . .			10·55	5·72	3·99	16·50	79·48	
Nachwirkung								
16. August	138	443·1	11·68	6·55	3·89	16·21	79·90	11
	139		11·27	6·31	3·84	16·09	80·07	12
20. August	146	438·9	11·62	6·47	3·68	16·07	80·25	13
	147		11·20	6·16	3·54	16·38	80·08	14
Mittel . .			11·44	6·37	3·76	16·19	80·07	
Mittelwert für Wien, Winter			7·08	6·50	3·07	17·25	79·74	

tabelle VI.

(Körperruhe).

(Monte Rosa) 4560 m.

<i>i</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	
Expirationsluft		pro Minute		Respirat. Quotient	Kalorien pro Minute	Körper- gewicht <i>kg</i>	Kalorien pro Minute und <i>m</i> ²	Nr.
Zuwachs CO ₂ ‰	Defizit O ₂ ‰	CO ₂ <i>cm</i> ³	O ₂ <i>cm</i> ³					

periode 1906.

1	3·65	4·74	208·5	270·8	0·768		73·5	101
2	3·81	5·08	210·3	280·2	0·750			102
3	4·09	5·06	234·3	289·9	0·808		73·2	113
4	4·02	5·15	225·7	289·1	0·781			114
5	3·78	4·52	222·9	266·5	0·836		72·6	120
6	3·69	4·80	212·1	275·9	0·769			121
	3·84	4·89	218·9	278·7	0·785	1·332	73·1	0·617

periode 1906.

7	4·05	4·81	213·2	253·2	0·842		71·7	174
8	4·10	4·68	229·2	262·2	0·876			175
9	3·92	4·19	240·6	257·1	0·936		71·4	182
10	3·80	4·37	223·6	251·5	0·869			183
	3·96	4·51	226·6	256·0	0·881	1·285	71·5	0·604

von Märschen.

11	3·86	4·94	252·8	323·5	0·781		72·0 ¹	138
12	3·81	5·11	240·4	322·4	0·746			139
13	3·65	5·17	236·0	334·2	0·706		72·7 ¹	146
14	3·51	4·82	215·6	296·8	0·726			147
	3·73	5·01	236·3	319·2	0·740	1·505	72·3	0·703
	3·01	3·87	200·5	253·6	0·791	1·215	77·5	0·545

¹ Nach Weg zur Gnifettihütte und zurück.

Rainer.

General-
Erhaltungsumsatz
Capanna Margherita

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	
T a g	Nr.	Barometer- stand	Atemgröße Liter pro Minute		Analyse in Prozenten			
			beobachtet	reduziert	CO ₂	O ₂	N ₂	
Anfangs-								
9. August	103	438·5	8·12	4·549	4·29	15·61	80·10	1
	104		8·83	4·942	3·96	16·01	80·03	2
11. August	109	436·6	9·79	5·547	3·58	16·47	79·95	3
	110		9·58	5·272	3·72	16·26	80·01	4
13. August	122	440·2	12·10	6·585	3·71	17·03	79·26	5
	123		12·10	6·589	3·78	16·92	79·30	6
Mittel . .			10·09	5·495	3·86	16·38	79·77	
Schluß-								
31. August	178	444·3	8·70	4·717	4·43	15·67	79·90	7
	179		9·33	5·009	4·17	15·93	79·90	8
1. September	186	443·2	10·00	5·465	4·45	16·19	79·36	9
	187		9·59	5·239	4·49	16·20	79·31	10
Mittel . .			9·41	5·107	4·38	16·00	79·62	
Nachwirkung								
15. August	130	443·8	10·70	5·895	3·97	16·01	80·02	11
	131		10·61	5·821	3·92	16·26	79·82	12
16. August	136	443·1	10·33	5·792	4·00	16·10	79·90	13
	137		9·87	5·526	4·10	15·80	80·10	14
20. August	144	438·9	10·36	5·780	3·73	16·24	80·03	15
	145		10·43	5·819	3·86	16·27	79·87	16
Mittel . .			10·38	5·772	3·90	16·28	79·94	
Mittelwert für Wien, März			6·79	6·36	2·91	17·63	79·48	

tabelle VII.

(Körperruhe).

(Monte Rosa) 4560 m.

<i>i</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	Nr.
Expirationsluft		pro Minute		Respirat. Quotient	Kalorien pro Minute	Körper- gewicht <i>kg</i>	Kalorien pro Minute und <i>m</i> ²	
Zuwachs CO ₂ ‰	Defizit O ₂ ‰	CO ₂ <i>cm</i> ³	O ₂ <i>cm</i> ³					
periode 1906.								
1	4·26	5·59	193·8	254·3	0·762		63·5	103
2	3·93	5·17	194·2	255·5	0·760			104
3	3·55	4·72	197·3	262·2	0·752		65·3	109
4	3·69	4·93	194·3	259·8	0·748			110
5	3·68	3·99	242·3	262·4	0·923		63·3	122
6	3·75	4·07	247·1	268·2	0·921			123
	3·83	4·74	211·5	260·4	0·811	1·254	64·0	0·636
periode 1906.								
7	4·40	5·50	207·4	259·6	0·799		63·5	178
8	4·14	5·24	207·2	262·5	0·789			179
9	4·42	4·82	241·6	263·4	0·827		63·5	186
10	4·46	4·79	233·4	251·0	0·810			187
	4·35	5·09	222·4	259·1	0·806	1·245	63·5	0·634
von Märschen.								
11	3·94	5·17	232·2	304·8	0·762		62·7	130
12	3·89	4·87	226·4	283·5	0·799			131
13	3·97	5·05	230·0	292·5	0·786		62·2	136
14	4·07	5·40	224·9	298·4	0·754			137
15	3·70	4·94	213·9	285·5	0·749		62·3	144
16	3·83	4·87	222·9	283·4	0·786			145
	3·87	5·05	225·1	291·3	0·772	1·388	62·4	0·714
	2·88	3·44	183·1	218·4	0·838			

Reichel.

General-
Erhaltungsumsatz
Capanna Margherita

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	
T a g	Nr.	Barometer- stand	Atemgröße Liter pro Minute		Analyse in Prozenten			
			beobachtet	reduziert	CO ₂	O ₂	N ₂	
Anfangs-								
9. August	105	438·5	12·16	6·76	3·71	16·46	79·83	1
	106		11·00	6·12	3·98	15·98	80·04	2
11. August	111	436·6	11·67	6·48	3·97	16·40	79·63	3
	112		11·46	6·36	3·88	16·27	79·85	4
13. August	124	439·6	12·08	7·07	3·88	16·59	79·53	5
	125		11·00	6·61	3·94	16·39	79·67	6
Mittel . .			11·55	6·57	3·89	16·34	79·92	
Schluß-								
31. August	176	431·2	10·41	5·60	4·10	16·12	79·78	7
	177		11·39	6·13	3·82	16·53	79·65	8
1. September	184	433·9	10·96	5·97	4·25	16·36	79·39	9
	185		10·29	5·59	4·32	16·13	79·57	10
Mittel . .			10·76	5·66	4·12	16·28	79·60	
Nachwirkung								
15. August	128	443·8	12·03	6·63	3·72	16·27	80·02	11
	129		13·88	7·65	3·60	16·16	80·24	12
16. August	132	437·5	12·08	6·98	3·50	16·34	80·16	13
	133		11·82	6·63	3·55	16·30	80·15	14
20. August	140	432·0	11·63	6·40	4·11	16·00	79·89	15
	141		11·93	6·57	3·93	15·92	80·15	16
Mittel . .			12·23	6·81	3·73	16·16	80·10	
Mittel ohne Nr. 129								
Mittel für Wien, Winter			7·08	6·45	3·46	16·86	79·68	

Ergebnisse der Monte Rosa-Expedition.

221

tabelle VIII.

(Körperruhe).

(Monte Rosa) 4560 m.

<i>i</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	Nr.
Expirationsluft		pro Minute		Respirat. Quotient	Kalorien pro Minute	Körper- gewicht <i>kg</i>	Kalorien pro Minute und <i>m</i> ²	
Zuwachs CO ₂ ‰	Defizit O ₂ ‰	CO ₂ <i>cm</i> ³	O ₂ <i>cm</i> ³					

periode 1906.

1	3·68	4·85	248·8	327·9	0·759		78·8		105
2	3·95	5·20	241·8	318·4	0·760				106
3	3·94	4·68	255·4	303·4	0·842				111
4	3·85	4·87	244·6	309·7	0·791		77·8		112
5	8·85	4·46	272·2	315·4	0·863				124
6	3·91	4·70	235·1	282·6	0·832		77·0		125
	3·86	4·79	249·7	309·6	0·808	1·490	78·0	0·661	

periode 1906.

7	4·07	5·00	228·0	280·1	0·814		75·7		176
8	3·79	4·55	232·3	278·8	0·833				177
9	4·22	4·66	251·9	278·2	0·906		74·9		184
10	4·27	4·93	239·1	276·1	0·866				185
	4·09	4·78	237·8	278·8	0·855	1·355	75·3	0·618	

von Märschen.

11	3·69	5·01	244·7	333·2	0·737 ¹		76·5		128
12	3·57	5·06	273·0	386·8	0·706 ²				129
13	3·47	4·88	242·4	340·9	0·711 ³		76·3		132
14	3·52	4·92	233·4	326·2	0·716				133
15	4·08	5·15	261·3	329·8	0·792 ³		76·4		140
16	3·90	5·30	256·2	349·8	0·740				141
	3·78	5·05	251·8	344·4	0·734	1·625	76·4	0·731	
	3·43	4·22	222·6	274·9	0·816				

¹ Nach dem Marsch zum Sesia-Joch.² Sträubt sich gegen das Einschlafen.³ Nach dem Marsch zum Lys-Joch.

Durig.

Nachwirkung des Höhengaufenthaltes

Wien—Semmering—Wien

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	
T a g	Nr.	Barometer- stand	Atemgröße Liter pro Minute		Analyse in Prozenten			
			beobachtet	reduziert	CO ₂	O ₂	N ₂	
Wien								
8.—9. Jänner Mittelwert .		751·3	5·60	5·39	3·24	17·19	79·64	
Semme-								
12. Jänner	244		6·840	5·805	3·42	16·95	79·63	1
	245	681·6	6·242	5·328	3·65	16·67	79·68	2
13. Jänner	248		6·467	5·513	3·52	17·00	79·48	3
	249	678·5	6·801	5·746	3·33	17·17	79·50	4
	250		7·330	6·185	3·02	17·43	79·55	5
14. Jänner	262	678·8	7·012	5·923	3·31	17·26	79·43	6
	263		6·891	5·828	3·25	17·26	79·49	7
Mittel . .			6·797	5·790	3·35	17·11	79·54	
Nachversuch								
16. Jänner	270	750·4	5·599	5·125	3·50	16·94	79·55	8
	271		5·389	4·925	3·58	16·79	79·63	9
Mittel . .			5·494	5·025	3·54	16·86	79·59	
Monte								
6. August bis 4. September Mittel . .		436·0	9·905	5·38	3·95	16·13	79·91	
Alagna.								
5. September	216 <i>a</i>	660·4	5·833	4·563	3·69	16·70	79·61	10
	216 <i>b</i>		5·729	4·474	3·68	16·60	79·72	11
6. September	217 <i>a</i>	660·8	6·471	5·179	3·43	17·06	79·51	12
	217 <i>b</i>		6·143	4·798	3·46	16·81	79·73	13
8. September	226	662·6	7·000	5·507	3·46	17·11	79·43	14
	227		5·857	4·591	3·80	16·35	79·85	15
	228		5·929	4·629	3·77	16·47	79·76	16
Mittel vom 5. September			5·781	4·519	3·69	16·65	79·66	
Mittel vom 6.—8. September			6·233	4·941	3·58	16·76	79·66	

tabelle IX.

auf den Erhaltungsumsatz.

und Monte Rosa—Alagna.

	<i>i</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	
	Expirationsluft		pro Minute		Respirat. Quotient	Kalorien pro Minute	Körper- gewicht <i>kg</i>	Kalorien pro Minute und <i>m</i> ²	Nr.
	Zuwachs CO ₂ ‰	Defizit O ₂ ‰	CO ₂ <i>cm</i> ³	O ₂ <i>cm</i> ³					
	3·21	3·95	173·5	211·8	0·814	1·021	60·0	0·540	244
ring.									
1	3·39	4·13	196·8	239·7	0·821		59·7		
2	3·62	4·42	192·9	235·2	0·820				245
3	3·49	4·04	192·4	222·7	0·864				248
4	3·30	3·87	189·7	222·5	0·852		59·4		249
5	2·99	3·63	184·9	224·5	0·824				250
6	3·28	3·77	194·4	223·4	0·870		59·5		262
7	3·22	3·78	187·7	220·8	0·852				263
	3·32	3·95	192·7	226·9	0·843	1·101	59·5	0·585	
Wien.									
8	3·47	4·11	178·0	210·6	0·845		59·1		270
9	3·55	4·29	174·8	211·3	0·828				271
	3·51	4·20	176·4	210·9	0·836	1·022	59·1	0·545	
Rosa.									
	3·92	5·15	213·8	273·2	0·780	1·304	59·7	0·683	
10	3·66	4·38	167·0	199·8	0·835		58·5		216 <i>a</i>
11	3·65	4·50	163·3	201·2	0·812				216 <i>b</i>
12	3·40	3·99	176·1	206·6	0·852		58·9		217 <i>a</i>
13	3·43	4·30	164·6	206·3	0·798				217 <i>b</i>
14	3·43	3·91	188·9	215·3	0·877		58·9		226
15	3·77	4·78	173·1	219·5	0·789				227
16	3·74	4·63	173·2	214·5	0·808				228
	3·66	4·44	163·7	200·5	0·820	0·968	58·5	0·520	
	3·55	4·40	175·2	212·4	0·814	1·023	58·7	0·550	

Kolmer.

General-
Nachwirkung des Höhengaufenthaltes

(Monte Rosa—

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	
T a g	Nr.	Barometer-stand	Atemgröße Liter pro Minute		Analyse in Prozenten			
			beobachtet	reduziert	CO ₂	O ₂	N ₂	
Monte								
6. Aug. bis 4. Sept. Mittel .		443·7	10·55	5·72	3·99	16·50	79·48	
Alagna.								
6. September	213	660·8	8·561	6·731	3·14	17·57	79·29	1
	214		9·200	7·259	3·02	17·65	79·33	2
	215		8·502	6·673	3·01	17·53	79·46	3
8. September	223	662·6	8·850	7·011	3·14	17·57	79·29	4
	224		8·060	6·372	3·16	17·33	79·51	5
	225		8·250	6·506	3·13	17·40	79·47	6
Mittel . .			8·580	6·790	3·10	17·51	79·40	
Mittel für Wien . .			7·08	6·50	3·07	17·25	79·74	

Rainer.

Nachwirkung des Höhengaufenthaltes

(Monte Rosa—

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	
T a g	Nr.	Barometer- stand	Atemgröße Liter pro Minute		Analyse in Prozenten			
			beobachtet	reduziert	CO ₂	O ₂	N ₂	
Monte								
Mittel . .		443·7	9·75	5·301	4·12	16·19	79·69	
Alagna.								
6. September	207 <i>b</i>	660·8	7·20	5·758	3·27	17·49	79·24	7
	208		7·30	5·845	3·17	17·67	79·16	8
8. September	210	662·6	7·78	6·208	3·17	17·52	79·31	9
	218		7·88	6·285	3·09	17·32	79·59	10
	220		7·84	6·253	3·08	17·36	79·56	11
Mittel . .			7·60	6·070	3·16	17·47	79·37	
Mittel für Wien . .			6·79	6·36	2·91	17·63	79·48	

tabelle X.

auf den Erhaltungsumsatz.

Alagna.)

<i>i</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	Nr.
Expirationsluft		pro Minute		Respirat. Quotient	Kalorien pro Minute	Körper- gewicht <i>kg</i>	Kalorien pro Minute und <i>m</i> ²	
Zuwachs CO ₂ ‰	Defizit O ₂ ‰	CO ₂ <i>cm</i> ³	O ₂ <i>cm</i> ³					
Rosa.								
3·96	4·51	226·6	256·0	0·881	1·285	71·5	0·611	
3·11	3·42	209·3	230·2	0·909		71·8		213
2·99	3·43	217·0	248·0	0·872				214
2·98	3·50	198·9	233·5	0·851				215
3·11	3·42	218·0	239·8	0·909		72·0		223
3·13	3·72	199·4	237·0	0·841				224
3·10	3·64	201·6	236·8	0·855				225
3·07	3·52	204·0	239·2	0·854	1·165	71·9	0·545	
3·04	3·87	200·5	253·6	0·791	1·215	77·5	0·541	

auf den Erhaltungsumsatz.

Alagna.)

<i>i</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	Nr.
Expirationsluft		pro Minute		Respirat. Quotient	Kalorien pro Minute	Körper- gewicht <i>kg</i>	Kalorien pro Minute und <i>m</i> ²	
Zuwachs CO ₂ ‰	Defizit O ₂ ‰	CO ₂ <i>cm</i> ³	O ₂ <i>cm</i> ³					
Rosa.								
4·09	4·91	217·0	259·8	0·809	1·250	63·7	0·635	
7	3·24	3·49	186·5	201·0	0·928		63·9	207 <i>b</i>
8	3·14	3·28	196·3	214·6	0·912			208
9	3·14	3·47	194·9	215·4	0·905		63·9	210
10	3·06	3·75	192·3	236·3	0·816			218
11	3·05	3·70	190·7	231·4	0·824			220
	3·13	3·54	192·1	219·7	0·877	1·075	63·9	0·545
	2·88	3·44	183·1	218·4	0·838	1·059	62·9	0·542

Reichel.

Nachwirkung des Höhengaufenthaltes

Wien—Semmering—Wien

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	
T a g	Nr.	Barometer- stand	Atemgröße Liter pro Minute		Analyse in Prozenten			
			beobachtet	reduziert	CO ₂	O ₂	N ₂	
Wien.								
8. u. 9. Jänner, Mittelwert .		751·3	7·08	6·45	3·46	16·86	79·68	
Semme-								
12. Jänner	241	681·6	7·038	5·965	3·79	16·44	79·77	1
	242		6·950	5·903	3·81	16·44	79·55	2
	243		7·180	6·099	3·98	16·14	79·88	3
Mittel . .			7·056	5·990	3·86	16·34	79·73	
13. Jänner	246	678·5	6·750	5·705	3·58	16·86	79·56	4
	247		6·963	5·875	3·57	17·04	79·59	5
14. Jänner	260	678·8	7·188	6·093	3·63	16·87	79·40	6
	261		6·956	5·881	3·55	16·88	79·57	7
Mittel . .			6·964	5·881	3·56	16·91	79·53	
Wien.								
16. Jänner	268	750·4	6·500	6·000	3·79	16·57	79·64	8
	269		6·649	6·103	3·57	16·77	79·66	9
Mittel . .			6·574	6·052	3·68	16·67	79·65	
Monte								
6. Aug. bis 4. Sept. Mittel .		436	10·53	6·12	4·00	16·46	79·76	
Alagna.								
5. September	209 ^a	660·4	7·575	6·052	3·07	17·56	79·37	10
	209 ^b		7·467	5·948	3·21	17·34	79·45	11
6. September	210	660·8	7·625	6·072	3·55	16·89	79·56	12
	211		7·300	5·796	3·50	16·89	79·61	13
	212		7·210	5·692	3·61	16·59	79·80	14
8. September	219	662·6	7·375	5·895	3·53	16·90	79·57	15
	221		7·551	6·031	3·57	16·79	79·64	16
	222		7·442	5·928	3·55	16·86	79·59	17
Mittel vom 5. September .			7·521	6·000	3·14	17·45	79·41	
Mittel vom 6. u. 8. Sept. .			7·617	5·902	3·55	16·82	79·63	

tabelle XI.

auf den Erhaltungsumsatz.

und Monte Rosa — Alagna.

	<i>i</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	
	Zuwachs Expirationsluft		pro Minute		Respirat. Quotient	Kalorien pro Minute	Körper- gewicht <i>kg</i>	Kalorien pro Minute und <i>m</i> ²	Nr.
	CO ₂ ‰	Defizit O ₂ ‰	CO ₂ <i>cm</i> ³	O ₂ <i>cm</i> ³					
	3.43	4.22	222.6	274.9	0.816	1.325	80.4	0.576	
ring.									
1	3.76	4.68	224.8	279.2	0.803		79.7		241
2	3.78	4.67	223.2	275.8	0.809				242
3	3.95	5.00	240.9	304.9	0.790				243
	3.83	4.78	230.0	286.6	0.801	1.376	80.0	0.600	
4	3.55	4.22	202.4	240.8	0.841		79.4		246
5	3.54	5.23	208.0	248.5	0.837				247
6	3.60	4.17	219.4	254.1	0.863		79.4		260
7	3.52	4.18	207.0	245.8	0.843				261
	3.53	4.20	209.2	247.5	0.846	1.202	79.4	0.527	
8	3.76	4.51	225.8	270.2	0.836		78.5		268
9	3.54	4.31	216.0	262.8	0.822				269
	3.65	4.40	220.9	266.5	0.829	1.290	78.5	0.569	
Rosa.									
	3.98	4.78	243.8	294.0	0.832	1.422	76.5	0.640	
10	3.04	3.45	184.0	208.8	0.881		74.2		209a
11	3.18	3.69	189.1	219.5	0.862				209b
12	3.52	4.16	213.7	253.2	0.846		74.3		210
13	3.47	4.23	201.1	242.3	0.830				211
14	3.58	4.53	203.8	257.9	0.797				212
15	3.50	4.15	206.4	250.4	0.841		75.7		219
16	3.54	4.29	213.5	259.6	0.825				221
17	3.52	4.21	208.7	250.4	0.836				222
	3.11	3.57	186.5	214.2	0.872	1.018	74.2	0.480	
	3.52	4.21	206.9	252.3	0.841	1.224	75.0	0.557	

General-
Traubenzuckerversuch

Durig.

Erhaltungsumsatz

<i>a</i>	<i>b</i>		<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	
T a g	Stunde	Zeit verstrichen seit der Zucker- zufuhr	Barometer- stand	Atemgröße Liter pro Minute		Analyse	
				beobachtet	reduziert	CO ₂	
Wien.							
22. Jänner	8 ^h 15	normal ¹	751·9	6·733	6·15	2·98	1
	8 ^h 37	»		6·513	5·97	2·98	2
	9 ^h 05	15'		7·069	6·45	3·12	3
	10 ^h 06	1 ^h 06'		7·924	7·22	3·31	4
	11 ^h 06	2 ^h 16'		7·960	7·24	2·82	5
	12 ^h 06	3 ^h 16'		7·871	7·15	2·73	6
	1 ^h 17	4 ^h 27'		6·398	5·80	2·95	7
	2 ^h 8	5 ^h 18'		7·015	6·35	2·70	8
Normale Versuche, Mittelwert der Periode				6·20	5·83	3·41	
23. Jänner	7 ^h 54	normal ¹	750·2	6·697	6·12	3·21	9
	8 ^h 14	»		6·317	5·76	3·18	10
	8 ^h 33	15'		7·475	6·85	2·89	11
	9 ^h 33	1 ^h 15'		8·225	7·51	3·37	12
	10 ^h 35	2 ^h 17'		9·043	8·24	2·80	13
	11 ^h 38	3 ^h 19'		7·399	6·73	3·20	14
	12 ^h 41	4 ^h 23'		6·972	6·34	2·91	15
	1 ^h 34	5 ^h 16'		7·358	6·68	2·79	16
Normale Versuche, Mittelwert der Periode				6·20	5·83	3·41	

¹ »normal« bezeichnet die Versuche vor der Zuckerzufuhr.

¹ »normal« bezeichnet die Versuche vor der Zuckerzufuhr.

tabelle XII.

(120 g Traubenzucker zugeführt).

(Körperruhe).

	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>i</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>o</i>
	in Prozenten		Expirationsluft		pro Minute cm^3		respiratorischer Quotient	Kalorien pro Minute
	O ₂	N ₂	Zuwachs CO ₂ 0/0	Defizit O ₂ 0/0	CO ₂	O ₂		
1	17.78	79.24	2.95	3.20	181.4	196.8	0.921	0.974
2	17.61	79.41	2.95	3.42	174.9	202.8	0.861	0.990
3	17.44	79.54	3.09	3.61	199.3	232.9	0.856	1.134
4	17.59	79.10	3.28	3.35	236.8	241.8	0.979	1.240
5	18.07	79.11	2.79	2.87	202.9	207.8	0.972	1.039
6	18.18	79.09	2.70	2.76	193.1	197.4	0.978	1.011
7	17.31	79.74	2.92	3.83	169.4	222.1	0.762	1.054
8	17.76	79.54	2.67	3.30	169.7	209.6	0.809	1.008
	17.31	79.28	3.38	3.68	196.9	214.5	0.918	1.022
9	17.51	79.28	3.18	3.47	194.6	212.4	0.916	1.050
10	17.42	79.40	3.15	3.60	181.4	207.4	0.875	1.014
11	17.67	79.44	2.86	3.36	195.9	230.3	0.851	1.120
12	17.44	79.19	3.34	3.59	250.8	269.6	0.932	1.338
13	18.11	79.06	2.80	2.82	232.4	232.4	0.993	1.198
14	17.56	79.24	3.17	3.42	230.3	230.2	0.949	1.147
15	17.60	79.49	2.88	3.44	184.5	218.1	0.846	1.062
16	17.67	79.54	2.76	3.38	184.3	226.4	0.814	1.091
	17.31	79.28	3.38	3.68	196.9	214.5	0.918	1.022

General-
Traubenzuckerversuch
Erhaltungsumsatz
Capanna Margherita

Durig.

<i>a</i>	<i>b</i>		<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	
T a g	Stunde	Zeit verstrichen seit der Zucker- zufuhr	Barometer- stand	Atemgröße Liter pro Minute		Analyse	
				beobachtet	reduziert	CO ₂	
2. September 1906	8 ^h 30	normal ¹	432·5	9·21	5·017	4·10	1
	9 ^h 51	16'		11·18	5·984	4·43	2
	10 ^h 37	1 ^h 2'		11·89	6·501	4·49	3
	11 ^h 43	2 ^h 8'		10·37	5·675	4·28	4
	12 ^h 58	3 ^h 23'		10·13	5·545	4·34	5
	1 ^h 35	4 ^h 5'		9·11	4·974	4·38	6
	4 ^h 10	6 ^h 35'		10·34	5·647	3·93	7
Normalversuche, Mittelwert der Periode				9·79	5·22	4·17	
3. September 1906	9 ^h 25	normal ¹	432·1	9·98	5·418	3·98	8
	10 ^h 5	15'		10·91	5·974	4·17	9
	11 ^h 5	1 ^h 15'		10·97	6·032	4·40	10
	12 ^h 5	2 ^h 15'		10·30	5·688	4·36	11
	1 ^h 0	3 ^h 10'		9·59	5·298	4·35	12
	2 ^h 0	4 ^h 10'		9·27	5·092	4·04	13
Normalversuche, Mittelwert der Periode				9·79	5·22	4·17	
Hock-							
2. September	11 ^h 58	2 ^h 23'	432·5	13·80	7·505	3·80	14
	1 ^h 25	3 ^h 50'		11·67	6·366	3·67	15
	5 ^h 15	7 ^h 40'		14·62	7·956	3·33	16

¹ »normal« bezeichnet die Versuche vor der Zuckerzufuhr.

tabelle XIII.

(120 g Traubenzucker zugeführt).

(Körperruhe).

(Monte Rosa) 4560 m.

	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>i</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>o</i>
	in Prozenten		Expirationsluft		pro Minute cm^3		respiratorischer Quotient	Kalorien pro Minute
	O ₂	N ₂	Zuwachs CO ₂ ‰	Defizit O ₂ ‰	CO ₂	O ₂		
1	15.92	79.98	4.07	5.25	204.2	263.3	0.776	1.257
2	16.49	79.08	4.40	4.44	263.3	265.7	0.991	1.369
3	16.45	79.06	4.46	4.46	283.4	283.4	1.000	1.463
4	16.51	79.21	4.25	4.45	241.2	252.6	0.956	1.261
5	16.19	79.47	4.13	4.83	239.2	267.9	0.893	1.317
6	15.95	79.67	4.35	5.13	216.3	255.1	0.848	1.240
7	16.24	79.83	3.90	4.89	220.2	276.1	0.818	1.332
	15.98	79.85	4.14	5.15	220.1	275.4	0.804	1.324
8	16.30	79.72	3.95	4.79	214.0	259.8	0.824	1.255
9	16.48	79.35	4.14	4.51	247.4	269.9	0.915	1.334
10	16.52	79.08	4.37	4.41	263.6	266.0	0.991	1.370
11	16.44	79.20	4.33	4.52	245.8	256.9	0.957	1.283
12	16.23	79.42	4.32	4.79	228.9	253.8	0.902	1.251
13	16.16	79.80	4.01	4.96	204.2	252.6	0.809	1.210
	15.98	79.85	4.14	5.15	220.1	275.4	0.804	1.324
versuche.								
14	17.01	79.19	3.77	3.95	282.9	296.4	0.954	
15	16.92	79.41	3.64	4.10	231.6	261.0	0.888	
16	17.17	79.50	3.30	3.77	262.5	299.9	0.875	