

(Aus dem thierphysiologischen Laboratorium der landwirthschaftlichen
Hochschule in Berlin.)

Ueber den Einfluss der verdünnten Luft und des Höhenklimas auf den Menschen.

Von

Priv.-Doc. Dr. **A. Loewy**

in Gemeinschaft mit

Dr. **J. Loewy** und cand. med. **Leo Zuntz**.

Die Untersuchungen, die der eine von uns über den Einfluss der Luftverdünnung auf den Stoffwechsel angestellt ¹⁾, hatten zum Theil zu neuen, und mit den gangbaren Vorstellungen nicht übereinstimmenden Resultaten geführt, die, wenn sie auch in genügender Weise erklärt werden konnten, doch zu einer Nachprüfung auffordern mussten. Diese Versuche waren gewissermaassen Laboratoriumsversuche, sie waren im pneumatischen Cabinet ausgeführt, wo, abgesehen von der Verdünnung und der damit verbundenen Sauerstoffverarmung, die Atmosphäre keine sonstige Veränderung erlitt, die auf den Stoffwechsel hätte einwirken können. Wir hatten es somit mit der reinen Wirkung der Luftverdünnung zu thun.

Die seit lange gekannten Beschwerden, die man bei Luftballonfahrten oder beim Aufenthalt im Hochgebirge beobachtet, werden von den meisten Physiologen zwar gleichfalls auf die Düntheit der Luft bezogen, aber zugleich handelt es sich dabei doch auch um Aenderungen einer Reihe anderer meteorologischer Faktoren, deren Bedeutung für den Organismus man zwar schon seit

1) A. Loewy, Untersuchungen über die Respiration und Circulation bei Aenderung des Druckes etc. Berlin 1895.

geraumer Zeit zu würdigen wusste, deren Einfluss aber gerade in jüngster Zeit besonders exakt erwiesen wurde.

Unter diesen Umständen mussten Untersuchungen nicht im Cabinet, sondern direkt im Hochgebirge besonders wichtig erscheinen. Seit dem Erscheinen der genannten Arbeit ist von zwei Seiten von solchen berichtet worden.

Zunächst wollen wir die erst in einer kurzen vorläufigen Mittheilung an die Accademia dei Lincei vorliegende von U g o l i n o M o s s o ¹⁾ erwähnen. Er benutzte zu seinen Versuchen einen von A n g. M o s s o angegebenen Apparat ²⁾, der allerdings nur die Messung der exspirirten Kohlensäure gestattet. Er bestimmte an drei Soldaten der Alpentruppen zunächst in Turin in 276 m Höhe, dann in 1627 m, 2515 m, 3047 m, 3620 m und in 4560 m die bei Körperruhe gebildete Kohlensäuremenge. Der Aufstieg geschah langsam, so dass auf jeder der genannten Höhen 5—8 Tage verweilt wurde.

Modificationen des Athmungstypus waren erst auf der obersten Station (capanna Regina Margherita) zu constatiren, am meisten bei M o s s o selbst, weniger bei den an den Aufenthalt in der Höhe gewöhnten Soldaten, und bestanden in dem Auftreten der periodischen Athmungsform.

Die Kohlensäureausscheidung und das Athemvolum pro Minute blieben bei den Soldaten u n g e ä n d e r t.

Die zweite Mittheilung rührt von S c h u m b u r g und Z u n t z ³⁾ her. Auch sie haben am Monte Rosa ihre Versuche ausgeführt, aber an der Nordseite desselben, in Zermatt bei 1632 m, an der Bétemps-(Plattje-)Hütte bei circa 2800 und auf dem Monte Rosa-gletscher in circa 3800 m. Höhe; sie maassen neben der Kohlensäureausscheidung auch den Sauerstoffverbrauch, nicht nur bei Körperruhe, sondern auch bei durch Bergansteigen geleisteter Muskelarbeit. — Bei Körperruhe waren beide Werthe sowohl bei S c h u m b u r g wie bei Z u n t z bis zur Bétemphütte gegen die in Berlin kaum geändert, nur auf dem Monte Rosagletscher trat eine gleichmässige Erhöhung von CO₂-Ausscheidung und O-Verbrauch ein, so dass der respiratorische Quotient constant blieb.

1) U g o l i n o M o s s o, La respirazione dell' uomo nel monte Rosa. Rendiconti della Accad. dei Lincei. 1896. p. 273.

2) U g o l i n o M o s s o, ibidem p. 221.

3) S c h u m b u r g und Z u n t z, Dieses Archiv Bd. 63, p. 461.

Im Gegensatz zu *Mosso's* Soldaten war übrigens eine mit der Höhe wachsende Vermehrung des *Athemvolums* zu constatiren, die schon in Zermatt deutlich war.

Ganz dasselbe Ergebniss fand sich auch an *A. Loewy*, der sich der Expedition angeschlossen hatte.

Auffallender als das Ergebniss der Ruheversuche war das bei der Arbeit; hier fand sich schon auf der *Bétempshütte* eine beträchtliche Steigerung des Sauerstoffverbrauches pro Kilogrammmer Arbeit gegenüber Berlin. — Gerade für die Arbeit hatten *Cabinetversuche* von *A. Loewy* ein vollkommenes Constantbleiben ergeben, selbst für Verdünnungen, welche die in den eben genannten Versuchen noch weit übertrafen. Entweder lagen hier individuelle Differenzen vor oder der Aufenthalt in der Höhe wirkte doch noch anders als der im pneumatischen Cabinet auf den Stoffverbrauch bei Arbeit ein auf Grund der Aenderung sonstiger meteorologischer Faktoren.

Diese Differenz in den Resultaten konnte nur durch neue Versuche geklärt werden, in denen an denselben Individuen die Wirkung des Cabinets mit der der Höhenluft direkt verglichen wurde. Bei dem Interesse, das die Entscheidung der Frage hatte, haben wir im vergangenen Sommer eine grössere Untersuchungsreihe in dieser Richtung unternommen. — Die Versuche zerfallen in mehrere Gruppen. Zunächst betreffen sie den Gaswechsel bei Ruhe und bei durch Drehen am *Gärtner'schen* Ergostaten geleisteter, gemessener Arbeit, erstens bei Atmosphärendruck, zweitens bei Luftverdünnung. Diese Versuche wurden im *pneumatischen Cabinet* des Berliner jüdischen Krankenhauses ausgeführt, das mir in liberalster Weise wiederum von dem Leiter desselben, Herrn Sanitätsrath *Lazarus*, zur Verfügung gestellt wurde. Ferner wurden Marschirversuche auf dem von *Zuntz* wiederholt, zuletzt in der oben erwähnten Arbeit beschriebenen Tretwerke ausgeführt. Die Steigung der Tretbahn variierte in den einzelnen Versuchen zwischen ca. 13° und ca. 21°. Endlich schlossen sich daran Untersuchungen im Hochgebirge an, in denen die Arbeit durch Bergansteigen geleistet wurde unter genauer Messung der Weglänge und des Anstieges. Mit diesen die Respiration betreffenden Untersuchungen wurden zugleich solche des Blutes, speciell der Blutdichte und der Zahl der rothen Blut-

zellen in der Höhe verbunden, um eventuell auch diese, bis jetzt so wenig befriedigend gelöste Frage, etwas zu fördern.

Um die Ausführung des Planes zu ermöglichen, musste eine ganze Reihe günstiger Momente zusammenwirken.

Zunächst mussten die Versuchspersonen nicht nur mit Ziel und Zweck der Arbeit, sondern auch mit den einschlägigen Methoden vertraut sein, da nicht allein ein wechselseitiges Vertreten, sondern eine selbstständige Uebernahme bestimmter Theile der Arbeit nothwendig war.

Nur durch die Vereinigung dreier, mit den zu erledigenden Fragen Vertrauter und in den in Betracht kommenden Methoden genügend Geübter war es möglich, die Summe von Arbeit in der kurzen Zeit zu bewältigen, die dafür zur Verfügung stand. Die Arbeit erforderte nicht unbeträchtliche Mittel. Sie wurden uns vom Curatorium der Gräfin Bose-Stiftung zur Verfügung gestellt, dem wir dafür unseren wärmsten Dank aussprechen. Weiter fühlen wir uns zu Dank verpflichtet Herrn Prof. Z u n t z, der uns die nothwendigen Apparate, soweit sie von der vorjährigen Expedition noch vorhanden waren, in zuvorkommendster Weise zur Verfügung stellte und uns dauernd durch seinen Rath unterstützte. Endlich Herrn Prof. A. M o s s o, der uns mit seinem Rathe bei unserem Aufstiege von Gressoney la Trinité zur Gnifettibütte in liebenswürdigster Weise zur Seite stand.

Ueber die Versuchsmethodik können wir uns kurz fassen. Was die Versuche im pneumatischen Cabinet betrifft, so wurden sie genau so ausgeführt, wie es in der vorerwähnten Arbeit von A. L o e w y beschrieben ist. Im Cabinet stand die Gasuhr, in die mittelst eines L ö b 'schen Klappenventilapparates expirirt wurde. Die Athmung geschah durch den Mund mit Hülfe eines in das Vestibulum geschobenen Mundstücks aus Weichkautschuk. Die Nase war durch eine Klemme verschlossen. Von der Gasuhr ging eine Nebenleitung ab, welche den zur Analyse bestimmten Theilstrom der Expirationsluft zu einem Stativ führte, auf dem im Umkreise sechs senkrechte Röhren angeordnet waren, welche unten mit einem Horizontalrohr in Verbindung standen, das seinerseits durch einen dickwandigen Kautschukschlauch mit einer Füllkugel in Verbindung gesetzt war. Durch Heben dieser konnte das ganze System mit der Sperrflüssigkeit — als solche diente Quecksilber — gefüllt, durch Senken entleert werden. Oben standen die Röhren gleich-

falls mit einem horizontalen — capillaren — Rohr in Beziehung, das durch ein capillares Schlauchstück mit dem Ableitungsrohr der Gasuhr communicirte. Jede der sechs Auffängeröhrn war natürlich beiderseits durch Quetschhähne abschliessbar. Es war so möglich in jeder Versuchsreihe sechs Athemproben nacheinander zu nehmen, die mittelst der bekannten G e p p e r t - Z u n t z 'schen Einrichtung eine genaue Durchschnittsprobe der Athemluft darstellten.

Die Arbeitsleistung bestand, wie schon erwähnt, in Drehen am Ergostaten, der auf Grund früherer Erfahrungen, die A. Loewy¹⁾ sowie andere im Z u n t z 'schen Laboratorium ihn benutzende Herren gemacht hatten, zu jedem Versuche neu geschmiert und wiederholt geaicht wurde. — Gewöhnlich wurden bei demselben Luftdruck drei Versuche hintereinander gemacht, wechselnd entweder zuerst bei Atmosphärendruck, dann bei Luftverdünnung oder umgekehrt. Jedem eigentlichen Versuche ging eine Vorperiode von mehreren Minuten voran, während der schon bei gleicher Belastung und in demselben Tempo gedreht, also die gleiche Arbeit geleistet wurde.

Die Analysirung der Proben geschah dann ausserhalb der Kammer nach dem H e m p e l 'schen Princip, die Kohlensäureabsorption durch Kalilauge, die des Sauerstoffs durch Phosphorstangen, deren Zuverlässigkeit durch Luftanalysen geprüft wurde. Wir benutzten die neue Z u n t z 'sche Einrichtung, die früher schon kurz von A. Loewy, ausführlich von M a g n u s - L e v y²⁾ beschrieben wurde, bei der alle Büretten in eine Wasserwanne versenkt sind und etwa eintretende geringe Schwankungen der Temperatur und des Barometerdruckes durch ein gleichfalls in der Wanne angebrachtes Thermobarometer angezeigt werden.

Die Tretbahnversuche und die Steigversuche im Gebirge wurden in ein und derselben Weise ausgeführt. Der Marschirende hatte die 6,6 kg wiegende „trockene“ Gasuhr auf den Rücken geschnallt, sie ruhte zur Erleichterung des Tragens auf einem im Kreuz befestigten Kissen. Von der Gasuhr ging ein weiter Schlauch über die Schulter zu dem schon in den Cabinetversuchen benutzten L ö b 'schen Ventilapparat. Die Gasuhr trug zwei Thermometer zur

1) A. Loewy, Die Wirkung ermüdender Muskelarbeit auf den respiratorischen Stoffwechsel, dieses Arch. Bd. 49.

2) Magnus-Levy, Pflüger's Archiv Bd. 55.

Temperaturbestimmung der ein- und austretenden Luft, und war gleichfalls mit der Zuntz-Geppert'schen Einrichtung zum Auffangen einer Durchschnittsprobe der Expirationsluft ausgestattet. Das Sammelrohr für die aufzufangende Probe war mittelst zweier Zwingen direkt an der Uhr befestigt und wurde nach jedem Marsche ausgewechselt. Die Nase war auch in den Marschirversuchen durch eine Klemme geschlossen.

Dem eigentlichen Versuche ging in jedem Falle eine mehr oder weniger lang dauernde Vorperiode voran, in der gleich wie im Versuch marschirt wurde, während derer jedoch die Expirationsluft nicht durch die Gasuhr geleitet wurde, sondern ins Freie entwich. Vor Beginn und am Ende jedes Versuches wurden die Thermometer und der Stand der Gasuhr abgelesen, die Athemfrequenz zählte der Marschirende selbst. Die Dauer des Versuches wurde auf Sekunden genau von einem Assistenten bestimmt.

Die Marschleistung wurde am Tretwerk derart festgestellt, dass die an einem Tourenzähler abgelesene Zahl der Umläufe der Tretbahn während des eigentlichen Versuches multiplicirt wurde mit der bekannten Länge derselben: die so gefundene Zahl wiederum multiplicirt mit dem Sinus des durch Nivellement bestimmten Steigungswinkels ergab die dabei erstiegene Höhe, aus der sich unter Berücksichtigung des Körpergewichtes, vermehrt um das Gewicht von Kleidung, Gasuhr, Ventilapparat und Kreuzkissen, die Steigarbeit in mkg berechnete. Im Gebirge wurde die Weglänge durch eine genaue Messleine, die Steigung durch Nivelliren bestimmt.

Zur Analyse der Expirationsluftprobe dienten in Berlin wie am Monte Rosa dieselben Apparate, die, auf Hempel's Princip beruhend, so modificirt und vereinfacht waren, wie es die Umstände nothwendig machten. Wegen ihrer genaueren Construction verweisen wir auf die Schumburg-Zuntz'sche Arbeit, und wollen nur erwähnen, dass auf Grund der von diesen gemachten Erfahrungen die Phosphorpipette aus Glas gefertigt war und nur zu grösserer Sicherheit in einer Metallkapsel steckte.

Wir hatten zwei vollkommen gleiche Analysenapparate mitgenommen, die fertig montirt waren und an Ort und Stelle nur aus ihrem Kasten herausgenommen und an der Wand befestigt zu werden brauchten. So konnten zu gleicher Zeit die Gasproben von zwei Untersuchern auf CO_2 und O bestimmt werden.

Endlich führen wir an, dass die Barometerbestimmungen mit-

telst eines Quecksilberbarometers mit wasserdampfgesättigtem Vacuum ausgeführt wurden.

Einige Worte noch über die Exaktheit der Analysen in den Versuchen am Monte Rosa. Vielfältige Prüfungen des Analysenapparates in Berlin hatte ergeben, dass er genaue Werthe gibt. Unter den etwas primitiven Verhältnissen im Gebirge war die Analysenarbeit erschwert, wobei besonders die manchmal erheblichen Schwankungen der Temperatur des Untersuchungsraumes zu häufigen, sechs- bis achtmaligen, gleichzeitigen Ablesungen der Messbüretten und des Thermobarometers zwangen, bis die erhaltenen Werthe sicher erschienen.

Daneben haben wir eine grosse Anzahl Luftanalysen ausgeführt, deren Resultate zunächst unbefriedigend waren, da in ihnen ein das Normale weit übersteigender Kohlensäuregehalt vorgespiegelt wurde. Es zeigte sich schliesslich, dass der Fehler durch eine falsche Messung des zur Untersuchung kommenden Luftvolums bedingt war. Wir liessen nämlich zur Gewinnung der zu untersuchenden Luftprobe die mit saurem Wasser gefüllte Bürette schnell auslaufen, liessen sie dann eine zeitlang senkrecht stehen und massen nun mittelst Niveaurohrs das in ihr enthaltene Luftvolum. Dabei war nun eine wechselnde Quantität Wasser in Tropfenform an den Wänden des Rohrs hängen geblieben, um die die Ablesung zu hoch ausfiel. — Diese Fehlermöglichkeit liegt bei den Analysen unserer Athemgase nicht vor, da die Entleerung des Rohrs, und das ist die Hauptsache, langsam erfolgte, eben in der Zeit, die der Versuch währte, und da die Analyse der Proben erst nach sehr langer Zeit, oft nach Stunden, erfolgte, innerhalb deren das wenige noch die Wände benetzende Wasser zusammenlaufen konnte. Wenn unsere Gebirgsversuche vielleicht auch nicht den Grad höchster Exactheit haben, den wir den übrigen vindiciren können, so ist, wie sich zeigen wird, der Einfluss, den das Höhenklima auf unseren Athmungsprocess hat, doch ein so mächtiger, dass selbst bei etwaigen kleinen Mängeln der Analyse, die Realität der Ergebnisse ausser Zweifel steht.

Indem wir uns sofort zu den Resultaten wenden, wollen wir zuerst die **Cabinetversuche** an der Hand der folgenden Tabellen (I—III) besprechen.

Von den acht Versuchsreihen kommen zwei auf A. Loewy, je drei auf J. Loewy und auf Zuntz.

Tabelle I.
Cabinetversuche an A. Loewy.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
Nr.	Barometer- druck mmHg	Dauer des Versuchs Minuten	Zahl der Um- drehungen pro Minute	Dreharbeit mkg	Athemvo- lumen pro Minute ccm abgelesen	Athemvo- lumen pro Minute ccm reducirt	Athemfrequenz	Athemtiefe ccm	CO ₂ -Aus- scheidung in %	O-Verbrauch in %	CO ₂ -Aus- scheidung pro Minute ccm	O-Verbrauch pro Minute ccm	Respiratorischer Quotient	Alveol. O-Spannung mm Hg	O-Verbrauch pro mkg Arbeit ccm
1. 20./6.	466,5	11'	15,31	172,20	16236	8859	10	1623,6	6,72	8,21	561,7	686,2	0,818	51,63	2,112
	"	13'	15,9	178,32	17715	9317	$\frac{9^a}{4}$	1817	6,66	8,11	620,5	755,6	0,821	52,31	2,399
	"	15'	17,1	125,39	15570	8188	10	1557	—	—	—	—	—	—	—
	766,5	6'	16,83	189,17	15167	13429	$10\frac{1}{2}$	1444,6	4,33	[6,53?]	581,4	[876,8?]	[0,663?]	88,53	2,869
	"	6'	17,0	191,08	15783	13978	10	1578,3	4,23	5,52	591,2	771,6	—	109,21	2,283
	"	7'	20,7	151,21	16140	14290	11	1467	—	—	—	—	—	—	—
	"	7'	17,14	192,65	16510	8629	15	1100	6,89	7,68	594,5	662,7	0,897	49,365	1,694
2. 27./6.	451,0	6'	16,5	185,46	17000	8868	14	1214	—	—	—	—	—	—	—
	"	7'	18,29	134,91	16310	8502	15	1087,3	6,69	7,86	568,8	668,3	—	48,85	2,394
	761	8'	18,38	206,6	16250	14542	16	1015,6	4,43	5,55	644,4	807,0	0,798	106,7	2,232
	"	7,5'	20,3	228,17	17671	15799	12	1472,5	4,56	5,20	720,4	821,5	0,877	109,59	2,020
	"	8'	19,38	142,95	15175	13578	16	948,4	4,13	4,84	560,7	657,1	0,853	110,31	2,123

Mittel des Sauerstoff-Verbrauchs pr. mkg Dreharbeit: } bei Atmosphärendruck = 2,3054 ccm.
 } bei 451,0—466,5 mm Hg = 2,150 ccm.

Die an A. Loewy angestellten Versuche sind nur Arbeitsversuche. Aus vielfältigen früheren Versuchen waren dessen Ruhewerthe genau bekannt und wir wussten auch, dass bei der Verdünnung, um die es sich hier handelte, eine Aenderung gegenüber Atmosphärendruck nicht eintritt. Im einzelnen handelt es sich um sechs Arbeits-Proben, die bei Atmosphärendruck, um sechs die bei Luftverdünnung genommen wurden. Diese entspricht bei den Proben der Versuchsreihe 1 einem Höhenwerth von ca. 3900 m, bei den der Reihe 2 ca. 4100 m. Drei Proben gingen durch Unachtsamkeit verloren, sodass neun zur Analyse kamen, von denen die Sauerstoffbestimmung a in Reihe 2 fehlerhaft zu sein scheint. Auch die in Versuch 1 d ist zweifelhaft, da jedoch der Versuch wie die Analyse tadellos verliefen, auch mehrfache Berechnungen keinen Fehler entdecken liessen, muss er mit in Rechnung gezogen werden.

Der Sauerstoffverbrauch pro mkg Dreharbeit. Um genau vergleichbare und exakte Werthe zu erhalten, genügt es nicht einfach die in Stab 13 verzeichneten Werthe nach Abzug des Ruhewerthes durch die in Stab 4 angegebene Dreharbeit in mkg zu dividiren. Man erhält so nicht den Werth für die beim Drehen geleistete Arbeit im Sinne der Mechanik, sondern zugleich den Sauerstoffverbrauch, der erforderlich wird für die auch mit einer widerstandslosen Umdrehung einhergehende Körperbewegung.

Die beiden unbekanntenen Faktoren lassen sich jedoch nach der vor Katzenstein¹⁾ zuerst angewendeten Methode unter Einsetzung in zwei Gleichungen berechnen. Wegen den Einzelheiten verweisen wir auf diese Arbeit und auf die obenerwähnte Zuntz-Schumburg'sche.

Die so berechneten Werthe sind in Stab 16 aufgeführt. Sie zeigen, dass der Sauerstoffverbrauch pro mkg Dreharbeit in den Einzelversuchen nur in engen Grenzen schwankt, die für Atmosphärendruck wie für die verdünnte Luft fast die gleichen sind. Vereinen wir die bei Atmosphärendruck und Verdünnung erhaltenen Werthe zu je einem Mittel, so ergiebt sich, dass das mkg Dreharbeit in beiden Fällen fast den gleichen Verbrauch an Sauerstoff erforderte.

Der O-Verbr. pro mkg Dreharbeit ist b. Atmosphärendruck = 2,305 cem
 „ „ „ „ „ „ „ „ Luftverdünnung = 2,150 „

1) G. Katzenstein, Pflüger's Arch. Bd. 49.

Tabelle II.
Cabinetversuche an L. Zuntz.

Nr.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
	Barometer- Druck	Dauer des Versuchs	Zahl der Um- drehungen pro Minute	Dreharbeit	Athmovo- lumen pro Minute	Athmovo- lumen pro Minute	Athmovo- lumen pro Minute	Atmefrequenz	Atmetiefe	CO ₂ -Aus- scheidung in %	O-Verbrauch in %	CO ₂ -Aus- scheidung pro Minute	O-Verbrauch pro Minute	Respiratorischer Quotient	Alveol. O-Spannung	O-Verbrauch pro mkg Arbeit
	mm Hg	Minuten		mkg	ccm abgelesen	ccm reduciert	ccm reduciert		ccm	%	%	ccm	ccm		mm Hg	ccm
1.	758	8'	—	—	4862,5	4298	4298	7	694,6	4,77	5,59	205,3	240,2	0,854	100,63	—
11./6.	"	7'	—	—	5000,0	4419	4419	8	625,0	4,412	5,03	195,0	222,3	0,877	105,48	—
	448	9'	—	—	5244,5	2688	2688	5 1/2	953,6	8,5	9,26	228,6	248,9	0,918	41,21	—
	"	8'	—	—	4950	2531	2531	5 1/2	900,0	7,81	9,03	197,6	228,5	0,865	42,33	—
2.	761	6'	18	202,32	14140	12281	12281	9	1571	4,934	6,26	605,9	768,8	0,788	102,79	1,933
16./6.	"	4'	18,25	205,18	15600	13561	13561	9	1733,3	5,055	6,075	685,5	823,8	0,833	103,95	2,166
	"	4'	19,75	402,35	20875	18112	18112	10 (?)	2087,5	5,228	6,004	946,9	1087,4	0,871	104,29	1,731
	461	7'	20,57	231,21	18042,9	9484	9484	10	1804,3	7,41	8,61	702,9	816,6	0,868	49,18	1,813
	"	5'	21,6	242,78	17840,0	9348	9348	10 (?)	1784,0	7,325	8,01	684,9	754,4	0,908	47,84	1,438
	"	6'	20,17	410,91	26500	13484	13484	15	1766,7	7,03	8,15	948,1	1099,2	0,863	51,09	1,773
3.	461,5	7'	19,6	220,31	17885,7	9086	9086	10	1788,6	6,75	—	613,1	—	—	—	—
18./6.	"	5'	20,4	229,30	19320	9755	9755	10	1932	7,17	8,07	699,4	787,24	0,888	51,59	1,710
	761,5	5'	21,7	213,56	15000	12923	12923	9 1/2	1578,9	4,465	6,385	576,9	825,12	0,699	102,08	2,059
	"	4'	19,25	216,37	14900	12840	12840	9 1/2	1568,4	4,885	5,97	627,2	766,5	0,817	104,58	1,753

Mittel des Sauerstoff-Verbrauchs pr. mkg Dreharbeit: $\left. \begin{array}{l} \text{bei Atmosphärendruck} = \\ \text{bei } 488-461 \text{ mm Hg} = \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{a) leichte Arbeit: } 1,978 \text{ ccm} \\ \text{b) schwere Arbeit: } 1,731 \text{ ccm} \\ \text{a) leichte Arbeit: } 1,654 \text{ ccm} \\ \text{b) schwere Arbeit: } 1,773 \text{ ccm} \end{array}$

Die Luftverdünnung entspricht in dem einen Versuche ca. 3900 m, im zweiten ca. 4100 m Höhe.

Diese Mittelwerthe stehen auch dem Katzenstein'schen Mittelwerthe für Dreharbeit ziemlich nahe, der 1,957 ccm O pro kgm. Dreharbeit ist.

Werfen wir noch einen Blick auf die respiratorischen Quotienten, so ist auch hier ein Unterschied nicht deutlich; das Mittel der respiratorischen Quotienten beträgt bei Barometerdruck = 0,847 (4 Werthe), bei Luftverdünnung = 0,824 (ebenfalls 4 Werthe). Die Arbeitsleistung, die einen bis zum Vierfachen des Ruhewerthes gesteigerten O-Verbrauch erforderte, ging also in der bis zu 451 mm Hg (= 4100 m) verdünnten Luft ebenso, wie unter vollem Barometerdruck vor sich, dasselbe Resultat, das auch in den früheren Versuchen von A. Loewy an dessen Versuchsperson W. gefunden wurde.

Gleiches ergeben bei kritischer Betrachtung auch die Versuche von L. Zuntz.

Neun Einzelversuche sind hier zu verwerthen: fünf bei Barometerdruck, vier bei Luftverdünnung, wenn wir vorläufig nur die Arbeitsversuche ins Auge fassen. — Vier Werthe, je zwei bei Atmosphärendruck, je zwei bei Luftverdünnung sind so gut wie identisch, sie liegen zwischen 1,71 und 1,77 ccm Sauerstoffverbrauch pro mkg Arbeit. Zwei davon (Vers. 2 c und f) gehören der schweren Arbeit zu (über 400 mkg pro Min.), die beiden anderen (Vers. 3 b und d) beziehen sich auf Versuche, vor denen bereits über 15 Min. ununterbrochen gedreht wurde, also eine erkleckliche Arbeit geleistet war.

Von den übrigen fünf Versuchen mit abweichendem Resultat liegt der eine unterhalb der eben mitgetheilten Werthe (1,4383 ccm), ein zweiter sehr wenig höher (Vers. 2 d = 1,813 ccm) und nur drei weichen erheblicher und zwar nach oben ab, nämlich die beiden ersten in Vers. 2 und der erste unter Atmosphärendruck in Vers. 3. In allen drei Versuchen war nun die Arbeit für einen kräftigen Mann eine geringe, der Arbeitende war noch frisch, da die Arbeit erst wenige Minuten währte. Es ist bekannt, dass unter solchen Umständen die Arbeit leicht wenig ökonomisch geleistet wird, indem eine Reihe von Muskeln unnöthigerweise mit innervirt werden. Dadurch wird natürlich der Stoffverbrauch ein übermässig hoher.

Dieses Moment kommt bei schwerer oder langdauernder Arbeit in Fortfall, wo unwillkürlich möglichst zweckmässig gearbeitet wird, und bei Vergleichung dieser Versuche finden wir die oben angegebene gute Uebereinstimmung der Werthe.

Berechnen wir das Mittel der Versuche mit schwerer Arbeit, so ergibt sich

bei Atmosphärendruck: O-Verbrauch pro mkg Arbeit = 1,731 ccm
 bei Luftverdg. (461 mm Hg) " " " " = 1,773 "

Das Mittel der Versuche mit leichter Arbeit, die jedoch aus den eben angeführten Gründen anfechtbar erscheinen, würde sein: 1,978 ccm O-Verbrauch pro mkg Arbeit bei Atmosphärendruck gegen 1,654 ccm bei Luftverdünnung.

Man hätte daran denken können, dass die Verminderung des Sauerstoffverbrauches in diesen letzten Versuchen aus demselben Grunde zu Stande gekommen ist, wie in den auf S. 28 Tab. II B vereinigten Arbeitsversuchen der oben citirten A. Loewy'schen Monographie, d. h. durch bereits eingetretenen Sauerstoffmangel in den arbeitenden Muskeln. Dass das nicht der Fall ist, geht aus den eben angeführten Verbrauchswerthen bei der stärkeren Arbeitsleistung hervor, die unter beiden Verhältnissen gleich sind, ausserdem aber aus dem Verhalten des respiratorischen Quotienten. Dieser müsste, wenn es sich wirklich um Sauerstoffmangel handeln sollte, erhöht sein. Er beträgt für die schwächere Arbeit: 0,885 bei Verdünnung, gegen 0,810 bei Atmosphärendruck, eine Differenz, die zu gering ist, um in diesem Sinne verwendet werden zu können. Bei der stärkeren Arbeit ist er: 0,863 bei Verdünnung gegen 0,871 bei Atmosphärendruck, ist also identisch. Gegen bereits vorhandenen Sauerstoffmangel spricht endlich die Höhe der alveolaren Sauerstoffspannung, auf die wir sogleich zu sprechen kommen.

Wir können sonach auch aus den Versuchen L. Zuntz' schliessen, dass die Luftverdünnung keine Aenderung im Stoffverbrauch bei Muskelarbeit gegenüber der Norm herbeigeführt hat.

Wie bei Muskelarbeit, so ist auch bei Körperruhe Art und Umfang des Gaswechsels in der verdünnten Luft identisch mit dem bei Atmosphärendruck.

Der Sauerstoffverbrauch pro Minute ist 238,7 ccm, bezw. 231,25 ccm, der respiratorische Quotient: 0,891 bezw. 0,866.

Erwähnen müssen wir noch kurz das Verhalten der alveolaren Sauerstoffspannung bei Ruhe und Arbeit. Bei Atmosphärendruck ist ein Unterschied der Sauerstoffspannungen bei Ruhe und Arbeit kaum vorhanden. Die beiden Ruhewerthe — im Mittel 103 — kommen dem Durchschnitt der 5 Arbeitswerthe — 105 — äusserst nahe. Auch die Einzelwerthe weichen nur wenig vom Durchschnitt ab. Dagegen ist bei Luftverdünnung eine deutliche Steigerung bei der Arbeit zu erkennen. Bei Ruhe haben wir: 42,33—41,21 mm, bei Arbeit 47,84—51,59 mm. Von diesen Werthen ist die Wasserdampfspannung bereits in Abzug gebracht. Die Ruhewerthe nähern sich der Grenze, bei der Sauerstoffmangel ein zutreten beginnt auf ca. 10 mm, die Arbeitswerthe liegen 15 bis 20 mm über derselben.

Diese unterste, noch einen normalen Stoffwechsel gestattende Grenze muss nach Abzug der Wasserdampfspannung auf ca. 35 mm angenommen werden. A. Loewy hatte sie auf 40—45 mm berechnet, wobei jedoch die Wasserdampfspannung in den Alveolen nicht mit berücksichtigt war.

Die bei Zuntz gefundene Erhöhung der alveolaren Sauerstoffspannung bei Arbeit ist eine Bestätigung des Resultates, das A. Loewy schon an seinem früheren Versuchsindividuum gefunden und der Schlüssel dafür, dass bei so erheblichen Luftverdünnungen noch beträchtliche Arbeit bei subjektiv gutem Befinden geleistet werden kann.

Durch entsprechende Steigerung der Athemvolumina wird eben eine stetig wachsende Sauerstoffmenge den Alveolen zugeführt, durch die der erhöhte Sauerstoffverbrauch sogar übercompensirt wird. In den früheren Versuchen von A. Loewy konnte in folge dessen Arbeit noch bei einer Luftverdünnung geleistet werden, die bei Körperruhe sehr erhebliche Beschwerden machte. (411 mm gegen 440 mm als tiefster in der Ruhe noch erträglicher Barometerdruck).

Bei übermässiger und ungeschickter Arbeit freilich kann es zu lokalem Sauerstoffmangel in den arbeitenden Muskeln kommen, bevor die alveolare Sauerstoffspannung zum Minimum gesunken ist, wie dies in gleicher Weise bei Atmosphärendruck der Fall

Tabelle III.
Cabinetversuche an J. Loewy.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
Nr.	Barometer- Druck mmHg	Dauer des Versuchs Minuten	Zahl der Um- drehungen pro Minute	Dreharbeit mkg	Athmavo- lumen pro Minute ccm abgelesen	Athmavo- lumen pro Minute ccm reduirt	Athmefrequenz	Athmetiefe ccm	CO ₂ -Aus- scheidung in %	O-Verbrauch in %	CO ₂ -Aus- scheidung pro Minute ccm	O-Verbrauch pro Minute ccm	Respiratorischer Quotient	Alveol. O-Spannung mm Hg	O-Verbrauch pro mkg Arbeits ccm
1.	756	7'	—	—	6071,4	5253	17	357,1	3,42	4,46	179,7	284,2	0,767	100,38	—
9./6.	"	7'	—	—	5765,7	5002	11 1/2	503,0	3,92	4,69	196,3	284,6	0,837	105,48	—
	"	4'	—	—	6250	5402	14	446,4	3,45	4,59	186,6	247,9	0,752	103,59	—
2.	484	6'	17,00	—	20533,3	11504	11	1866,7	—	7,91	—	—	0,877	—	2,941
23./6.	"	6'	16,27	182,88	20500,0	11397	9	2277,8	6,94	7,65	790,9	901,5	0,877	51,08	2,941
	"	6'	18,67	298,48	27616,7	15363	17	1624,5	6,61	7,65	1015,5	1175,2	0,864	51,34	2,657
	764	6'	16,83	189,17	16750,0	15014	8	2094,0	4,43	5,72	665,8	858,9	0,775	108,34	2,596
	"	6'	17,67	198,61	18483,3	16541	—	—	4,51	6,74(?)	746,0	1114,9(?)	0,669(?)	—	3,729
	"	4'	16,25	259,78	19175,0	17186	8	2397,0	5,04	6,84	866,2	1178,3	0,735	101,02	3,137
3.	478	6'	19,33	217,27	17965,7	9965	10	1796,7	7,59	8,304	757,8	827,5	0,915	52,12	2,027
25./6.	"	5'	20,00	224,80	20080	11133	10	2008	7,58	8,93	843,9	994,2	0,849	50,18	2,678
	"	6'	18,33	293,04	22583,3	12467	9 1/2	2377,2	8,15	9,36	1001,6	1167	0,870	48,49	2,688
	758	6'	17,00	191,08	17500	15578	8 1/2	2058,7	4,68	5,63	729,2	877,0	0,831	106,775	2,658
	"	5'	17,00	191,08	16520	14707	9	1835,6	4,92	6,81	723,6	1001,6	0,722	99,32	3,310
	"	3'	16,67	266,498	18733,3	16682	8 1/2	2203,9	5,98	—	897,5	—	—	—	—

Mittel des Sauerstoff-Verbrauchs pr. mkg Dreharbeit: } bei Atmosphärendruck = 3,086 ccm.
 Mittel des Sauerstoff-Verbrauchs pr. mkg Dreharbeit: } bei 478—484 mm Hg = 2,598 ccm.

sein kann. Damit kommt es dann weiter zu einem Zurückbleiben des Sauerstoffverbrauches aus der inspirirten Luft hinter der Menge der gebildeten Kohlensäure, zu einem Steigen des respiratorischen Quotienten und zugleich auch durch die dabei entstehenden stärkeren Athemreize zu einer beträchtlichen Erhöhung der Athemgrösse.

Solche Verhältnisse nun liegen in den an J. Loewy angestellten Versuchen vor.

Es kommen zehn Arbeitsproben, mit einer zweifelhaften, Versuch 2 d, in Betracht. Auffallend ist zunächst, dass alle Sauerstoffverbrauchswerthe wesentlich höher liegen als bei Zuntz, auch höher als bei A. Loewy und zwar die bei Arbeit unter Atmosphärendruck noch beträchtlich höher als die in verdünnter Luft.

Das Mittel des O-Verbrauches pro mkg Arbeit beträgt bei Atmosphärendruck: 3,086 ccm, resp. unter Eliminirung des zweifelhaften Werthes, Versuch 2 d = 2,925 ccm; demgegenüber bei einem Barometerdrucke von ca. 480 mm Hg = ca. 3600 — 3700 m Höhe nur:

2,598 ccm.

Mit diesem geringeren Verbrauch von Sauerstoff aus der inspirirten Luft geht nun eine wesentliche Erhöhung des respiratorischen Quotienten einher. Er ist

bei Atmosphärendruck = 0,766

bei Luftverdünnung = 0,875

und zwar liegt, wie Tab. III lehrt, jeder respiratorische Quotient bei Luftverdünnung höher als der höchste bei Atmosphärendruck.

Dazu kommt, dass auch das Athemvolum pro mkg Dreharbeit, ich verweise in dieser Beziehung auf die sogleich folgenden Ausführungen, ausserordentlich gesteigert ist, nämlich von 27,0 ccm auf 64,8 ccm.

Fassen wir alles zusammen, so müssen wir schliessen, dass die Sauerstoffzufuhr zu den arbeitenden Muskeln in der verdünnten Luft unzureichend war. Dabei ist jedoch, wie Tab. III weiter lehrt, die alveolare Sauerstoffspannung noch eine so hohe — 48,5 mm im Minimum —, dass das Blut sich vollkommen mit Sauerstoff sättigen konnte.

Die Erklärung des scheinbaren Widerspruches liegt darin, dass J. Loewy ungeschickt und unzweckmässig drehte. Er war an den Aufenthalt in der Kammer, an die engen räumlichen Ver-

hältnisse noch nicht gewöhnt, was sich natürlich am meisten in den ersten Drehversuchen äussern musste, die bei Luftverdünnung stattfanden.

Dass aber diese Bedingungen auch in den Versuchen bei Atmosphärendruck wirksam waren, geht aus der schon erwähnten auffallenden Höhe des Sauerstoffverbrauchs in ihnen hervor. — So können diese Versuche nichts für den Einfluss der Luftverdünnung, sondern nur für den un zweckmässiger Arbeit auf den Gaswechsel etwas aussagen.

Da, wie sich weiter zeigen wird, zwischen dem Verhalten der Athemgrösse bei Ruhe wie Arbeit Differenzen bestehen einerseits beim Aufenthalt unter Atmosphärendruck, zweitens bei dem in der verdünnten Luft des pneumatischen Cabinets, endlich im Hochgebirge, die Beziehung der Athemgrösse zur Muskelarbeit aber auch einige sonstige interessante Punkte bietet, wollen wir hierauf etwas genauer eingehen.

1) Die Athemgrösse bei Körperruhe. Es ist seit langem bekannt, dass beim Aufenthalt in verdünnter Luft die Athemgrösse ansteigt. Es wird dies ausschliesslich zurückgeführt auf die frequenteren — wenn auch etwas flacheren — Athemzüge, abgesehen natürlich von dem Stadium, in dem es bereits zu Sauerstoffmangel gekommen ist. Im allgemeinen ist das Plus ein geringes. Bei A. Loewy stieg in den früheren Versuchen¹⁾ (Vers. I) die Athemgrösse von 3585 ccm bei Atmosphärendruck auf ca. 4500 ccm bei 550 mm Hg, auf ca. 5700 ccm bei 370 mm; in einem zweiten Versuche (Tab. II Nr. 5) von ca. 4000 auf 4400 bei 584 mm Hg, auf ca. 4700 bei 435 mm Hg-Druck. Das Plus beträgt im ersten Versuche: 27,6 % bei der schwächeren, 59 % bei der stärkeren, schon sehr erheblichen Druckverminderung, im zweiten nur 10 % bzw. 17,5 %.

Bei L. Zuntz, bei dem abweichend von der fast allgemeinen Regel die Frequenz nicht zu-, sondern abnahm, ist das Athemvolum fast constant geblieben. Es findet sich nur ein Plus von 4 % bei Luftverdünnung (s. Tab. II, Vers. 1). Bei J. Loewy sind Ruheversuche nur bei Atmosphärendruck angestellt, ein Vergleich ist also nicht möglich.

1) S. Tab. II A der Monographie von A. Loewy.

2) Die Athemgrösse bei Dreharbeit ist wegen der in den einzelnen Versuchen schwankenden Arbeitsgrösse aus den Tabellen I—III ohne Weiteres nicht ersichtlich. Wir geben, um eine allgemeine Uebersicht zu ermöglichen, auf der folgenden Tab. IV zunächst die Grösse der Athemvolumina, die man erhält, wenn man vom Gesamtvolum das Ruhevolum abzieht und durch die — in Stab 5 der Tab. I—III angegebenen — mkg dividirt. Die Tabelle enthält keine Einzelwerthe, die übrigens nur wenig auseinanderliegen, sondern nur das Mittel aus Versuchen, in denen die Arbeitsleistung nur wenig von einander differirte.

Tabelle IV.

Mittel der Steigerung des Athemvolums pro mkg Arbeit:

Versuchs-Person	Barometerdruck mm Hg.	Arbeitsleistung pro Min. mkg	Athemvolum pro mkg ccm
A. L.	Atmosph.	189,17—228,17	60,223
	451,0—466,5	172,2—192,65	67,055
	Atmosph.	142,95—151,21	79,652
	451,0—466,5	125,39—134,91	86,396
J. L.	Atmosph.	189,17—191,08	62,777
	478,0—484,0	182,88—224,8	69,442
	Atmosph.	259,78—266,5	52,225
	478,0—484,0	293,04—298,48	68,391
L. Z.	Atmosph.	202,32—216,37	47,677
	461,0—461,5	229,30—242,78	57,157
	Atmosph.	402,35	39,627
	461,0—461,5	410,91	52,086

Es zeigt sich, dass das Athemvolum pro mkg in den Versuchen, in denen die Arbeitsleistung pro Minute annähernd identisch, d. h. in denen sie gegen 200 mkg war, bei J. und A. Loewy identisch ist, es ist ca. 60 ccm. Es wächst bei Luftverdünnung um fast die gleiche Grösse; bei J. Loewy beträgt es 69,4 = + 6,7 ccm, bei A. Loewy ist es 67,0 ccm = + 6,8 ccm.

Bei Zuntz liegt es bei Atmosphärendruck wesentlich niedriger, sein Athemvolum steigt pro mkg Arbeit nur um 39,6 ccm an. Es steigert sich erheblicher bei Luftverdünnung, nämlich bis auf 52,1 ccm d. h. um 12,5 ccm.

Aber diese Zahlen stellen gewissermaassen complexe Grössen dar; sie enthalten die Athemsteigerung für die Leerdrehungen und die für die eigentliche beim Drehen geleistete Arbeit. Das ist auch

der Grund dafür, dass für verschiedene Minutenleistung die Werthe verschieden sind und zwar um so grösser, je geringer die Leistung. Bei der stets fast gleichen Drehungszahl wird natürlich das der Leer drehung zukommende Athemvolum um so mehr ins Gewicht fallen, je geringer die Drehleistung. Man kann beide nach demselben Princip, das oben bei der Berechnung des Sauerstoffverbrauches pro mkg Dreharbeit besprochen wurde, scheiden, und so eindeutige Reinwerthe für das mkg Dreharbeit gewinnen. Wir wollen als Beispiel die Berechnung, wie wir sie für die Versuche an A. L. ausgeführt haben, hierher setzen.

Bei Atmosphärendruck beträgt das Mittel der von A. Loewy geleisteten stärkeren Arbeit 203,75 mkg (Mittel aus vier Werthen); das Mittel der Drehungen in diesen Versuchen ist 18,13 pro Minute. — Das Mittel der gearbeiteten mkg aus den beiden Versuchen mit schwächerer Arbeit ist: 147,08 mkg; die Drehungszahl pro Minute: 20,04.

Das mittlere Athemvolum nach Abzug des Ruhewerthes im ersten Falle: 12,268 l, im zweiten 11,702 l pro Minute.

Daraus ergeben sich folgende beiden Gleichungen:

$$1) 203,75 x + 18,13 y = 12,268$$

$$2) 147,08 x + 20,04 y = 11,702.$$

Aus ihnen berechnet sich

y d. h. das Athemvolum für eine Leerdrehung = 413,4 ccm

x d. h. das Athemvolum für das mkg Dreharbeit = 23,4 ccm.

In derselben Weise wurden nun die Versuche an A. Loewy in verdünnter Luft, und ebenso die an J. Loewy und L. Zuntz berechnet. Es ergeben sich daraus die in Tab. V enthaltenen Werthe.

Tabelle V.

Versuchs-Person	Barometer- druck mm Hg.	Athemvolum pro mkg Dreharbeit ccm	Steigerung des Athem- volums bei Luftver- dünnung in Procenten
A. L.	Atmosph.-Druck 451—466,5	23,40 29,71	26,9
J. L.	Atmosph.-Druck 478—484	27,0 64,8	140,0
L. Z.	Atmosph.-Druck 461,0—461,5	29,88 45,75	53,1

Das Athemvolum bei Atmosphärendruck ist bei uns Dreien nicht erheblich differirend, es liegt zwischen 23,4—29,88 ccm für das durch Drehen geleistete mkg Arbeit.

Es steigt bei jedem von uns unter Luftverdünnung; am wenigsten bei A. Loewy, nämlich um nur 26,9 % (= + 6,31 ccm), stärker bei Zuntz: um 53,1 % (= + 15,867 ccm), am meisten bei J. Loewy: um 140 % (= + 37,8 ccm). Dieser letztere Werth ist jedoch nicht mehr physiologisch. Er beruht darauf, dass J. Loewy, ungewohnt der engen Raumverhältnisse in der Kammer, nicht im Stande war, die Art der Arbeit zweckmässig den gegebenen Bedingungen anzupassen, was bei den ersten Versuchen, die zufällig in verdünnter Luft ausgeführt wurden, sich natürlich am stärksten äussern musste.

Wir werden sehen, dass bei den Steigversuchen im Gebirge die Athemvolumina gleichfalls höher als in Berlin sind, dass aber die Erhöhung weit stärker ausgeprägt ist, als in der verdünnten Luft der Kammer.

II. Die Marschirversuche auf dem Tretwerk in Berlin.

Es wurden vierzehn Versuchsreihen ausgeführt mit im Ganzen vierzig Einzelversuchen. Davon entfallen auf A. Loewy zwölf, auf J. Loewy vierzehn, auf L. Zuntz gleichfalls vierzehn. — Ein Theil der Versuche ist bei horizontaler Tretbahn ausgeführt, ein Theil bei geneigter. Die Steigung war eine dreifache, nämlich 13°17' (bei J. Loewy 13°22') entsprechend einer Steigung von 22,98_x% bzw. 23,12_a%, dann 17°47' = 30,54 %, und 21° 27' 12" = 36,57 %. — Die Versuche bei der letzten, stärksten Steigung wurden nach den Versuchen im Hochgebirge unternommen, da sich gezeigt hatte, dass die Steigung dort eine etwas stärkere war, als in unseren zuvor ausgeführten Berliner Versuchen und sich ein Einfluss des Steigungswinkels auf den Gaswechsel herausgestellt hatte.

Da die allgemeine Anordnung der Versuche schon oben besprochen, können wir uns sogleich zu den Ergebnissen wenden: Sie sind in den folgenden Tabellen VI— VIII zusammengestellt.

Ta-
Marschirversuche auf dem

1.	2.	3.	4.		5.	6.	8.			10.	11.
Versuchs-Nummer.	Barometerdruck mm Hg	Weg pro Minute Meter	Steigung		Steigarbeit in mkg	Athemmechanik					CO ₂ -Aus- scheidung %
			Bahnneigung in Winkelgraden	pro Minute in Metern		Athemvolum pro Minute abgelesen ccm	Athemvolum pro Minute reduciert ccm	Frequenz der Athemzüge	Athemtiefe ccm		
1.	765,5	61,64	—	—	—	14436	13023	9,6	1503,1	4,26	
22./7.	"	62,446	—	—	—	16440	14892	12,0	1370,0	4,73	
2.	766,0	33,522	13°17'	7,702	559,2	24063	21226	17,16	1403,7	5,38	
6./7.	"	21,327	"	4,90	355,75	18894	17054	—	—	5,60	
3.	756,68	38,639	13°17'	8,876	644,36	26887	23594	18,0	1496,4	4,94	
8./7.	"	35,08	"	8,067	585,7	25336	22216	15,4	1640,4	5,43	
4.	766,00	24,661	17°47'	7,532	546,83	23116	20650	12,2	1859,7	5,17	
11./7.	"	25,438	"	7,769	564,07	23373	20771	12,5	1823,3	4,59	
	"	25,991	"	7,983	576,33	23367	21236	13,9	1728,9	4,85	
5.	755,00	20,427	21°27'12"	7,471	555,1	23323	22013	11,66	2000,0	4,98	
16./11.	"	21,772	"	7,963	591,6	23280	22018	12,33	1940,0	5,04	
	"	20,295	"	7,423	551,5	23967	22296	12,66	1893,2	4,66	

Ta-
Marschirversuche auf dem

1.	765,50	62,841	—	—	—	20778	18835	17,58	1181,9	3,61
22./7.	"	60,859	—	—	—	17760	16145	11,8	1505,1	4,39
	"	59,005	—	—	—	18222	16564	9,65	1888,2	3,61
2.	759,98	34,638	13°22'	8,008	649,43	26654	—	15,64	1704,6	—
18./7.	"	33,855	"	7,882	634,36	24606	21992	12,46	1975,0	4,98
	"	27,592	"	6,379	517,32	24080	21418	15,40	1563,5	4,62
	"	23,857	"	5,515	417,29	24787	22083	13,44	1843,9	4,58
3.	764,00	27,103	17°47'	8,278	671,33	26331	23330	15,0	1754,0	5,51
15./7.	"	30,503	"	9,316	755,55	29370	25935	16,3	1762,2	5,14
	"	30,085	"	9,189	745,20	29369	25783	16,8	1746,6	4,87
	"	24,59	"	7,510	609,07	27373	24063	14,3	1914,2	4,77
4.	762,81	21,848	21°27'12"	7,9906	620,79	22816	21534	12,66	1802,0	5,11
21./11.	"	19,951	"	7,2918	566,22	22138	20895	11,23	1971,4	5,14
	"	19,527	"	7,1417	554,19	20599	19430	11,23	1834,3	4,83

belle VI.

Tretwerk an A. Loewy.

12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.
Athmungsschemismus					O-Verbrauch pro Meter Weg			O-Verbrauch pro mkg Steigarbeit	Alveolare Sauerstoff-Spannung	Dauer der Arbeit	Körpergewicht
O-Verbrauch %/o	CO ₂ -Aus-scheidung pro Minute ccm	O-Verbrauch pro Minute ccm	O-Verbrauch nach Abzug des Ruherwerthes ccm	Respirator. Quotient	im Ganzen	horizontal	steigend				
6,23	554,75	811,3	606,13	0,679	9,868	9,865	—	—	104,42	8'3"	72,6
5,84	704,37	869,66	664,49	0,810	10,641	10,644	—	—	103,9	4'50"	"
6,02	1142,05	1299,03	1093,86	0,879	32,631	10,256	22,375	1,341	102,02	3'9"	"
6,09	955,04	1038,6	833,43	0,919	39,079	"	28,823	1,728	—	3'8"	"
6,02	1165,57	1420,40	1215,29	0,821	31,46	10,256	21,204	1,271	102,81	3'7"	"
6,11	1206,33	1357,41	1152,24	0,889	32,819	"	22,563	1,353	102,34	3'22"	"
6,15	1067,61	1270,0	1064,83	0,840	43,179	10,256	32,923	1,485	104,36	4'11"	"
6,02	953,38	1222,0	1016,83	0,762	39,794	"	29,538	1,332	106,00	3'40"	"
5,97	1030,0	1267,8	1062,63	0,812	40,885	"	30,629	1,381	105,73	3'46"	"
—	1096,3	—	—	—	—	—	—	—	—	3'15"	74,3
6,61	1110,7	1456,7	1251,53	0,762	57,483	10,256	47,227	1,738	100,42	2'55"	"
5,91	1038,9	1317,6	1112,43	0,788	54,812	"	44,556	1,640	105,13	3'00"	"

belle VII.

Tretwerk an J. Loewy.

4,09	679,95	770,35	531,40	0,883	8,456	8,456	—	—	118,14	3'55"	81,1
4,78	708,78	771,76	532,81	0,918	8,755	8,755	—	—	113,29	4'33"	"
4,87	598,15	806,66	567,71	0,741	9,621	9,621	—	—	114,36	4'25"	"
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2'45"	81,1
6,28	1096,6	1381,1	1142,15	0,794	33,758	8,944	24,814	1,324	103,40	3'3"	"
5,23	989,5	1120,2	881,25	0,883	31,938	"	22,994	1,227	109,37	3'7"	"
4,99	1011,4	1101,0	862,05	0,918	36,134	"	27,190	1,450	111,41	3'3"	"
6,32	1285,5	1474,5	1235,55	0,872	45,587	8,944	36,643	1,479	102,14	2'55"	81,1
6,30	1333,06	1596,7	1357,79	0,816	44,513	"	35,569	1,436	103,01	2'42"	"
6,37	1255,69	1642,3	1403,38	0,764	46,648	"	37,704	1,522	102,97	2'37"	"
5,84	1147,82	1405,06	1166,11	0,817	47,423	"	38,479	1,554	106,66	2'57"	"
6,62	1110,4	1425,6	1186,65	0,772	54,314	8,944	45,37	1,599	101,06	3'38"	77,6
6,21	1070,4	1297,4	1058,45	0,828	53,052	"	44,108	1,554	103,25	3'7"	"
6,14	938,5	1193,0	954,05	0,786	48,859	"	39,915	1,406	104,46	3'7"	"

Ta-
Marschirversuche auf dem

1.	2.	3.	4.		5.	6.	7.			8.	9.	10.	11.
Versuchs-Nummer.	Barometerdruck mm Hg	Weg pro Minute Meter	Steigung		Steigarbeit in mkg	Athemmechanik				CO ₂ -Aus- scheidung %			
			Bahneigung in Winkelgraden	pro Minute in Metern		Athemvolum pro Minute abgelesen	Athemvolum pro Minute reducirt	Frequenz der Athemzüge	Athemtiefe ccm				
1.	765,50	59,534	—	—	—	16668	15201	8,6	1937,2	4,06			
22./7.	„	58,211	—	—	—	22038	19872	10,92	2018,1	3,37			
2.	760,4	54,500	—	—	—	17910	17305	10,57	1695	3,62			
27./11.	„	54,765	—	—	—	17403	16882	9,47	1837	3,92			
„	„	55,697	—	—	—	22436	21817	10,73	2091	3,06			
3.	756,68	37,668	13°17'	8,655	695,0	27630	24341	11,4	2410	5,25			
6./7.	„	44,757	„	10,284	825,8	31659	27815	12,9	2460	5,50			
4.	759,97	38,579	17°47'	11,783	946,18	29940	26946	12,3	2430	5,54			
11./7.	„	34,769	„	10,611	852,72	29849	26038	11,6	2542	5,66			
„	„	38,102	„	11,633	934,48	30191	27124	12,0	2548	5,19			
„	„	29,847	„	9,116	732,02	26932	24150	11,28	2449	5,16			
5.	756,04	27,28	21°27'12''	9,977	794,2	25560	24147	10,32	2470	5,63			
12./11.	„	27,399	„	10,021	797,64	26981	25466	10,84	2489,1	5,20			
„	„	28,71	„	10,50	835,8	28177	26559	10,25	2748,1	5,43			

1. Der Sauerstoffverbrauch beträgt bei A. Loewy für 1m Horizontalgang im Mittel 10,256 ccm (9,868 und 10,644 ccm), bezogen auf 1 mkg bewegter Masse = 0,141 ccm.

Der Sauerstoffverbrauch pro mkg Steigarbeit ist verschieden. Er wurde hier einfach so berechnet, dass vom Gesamt-sauerstoffverbrauch pro Minute der Ruhewerth und der aus der ersten Versuchsreihe jeder Tabelle direkt zu berechnende Verbrauch für die jeweilige Horizontalbewegung subtrahirt und durch die Zahl der gehobenen kg dividirt wurde.

Der Sauerstoffverbrauch ist erhöht bei der stärksten Steigung der Bahn¹⁾.

1) Man vergleiche hiermit die ein ähnliches Verhalten zeigenden Versuche, die Zuntz, Lehmann und Hagemann am marschirenden Pferde angestellt haben. Landwirthsch. Jahrbücher XVIII, 1889, S. 120 ff.

belle VIII.

Tretwerk an L. Zuntz.

12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.
Athmungsschemismus					O-Verbrauch pro Meter Weg			O-Verbrauch pro mkg Steigarbeit	Alveolare Sauerstoff-Spannung	Dauer der Arbeit	Körpergewicht
O-Verbrauch %	CO ₂ -Ausscheidung pro Minute ccm	O-Verbrauch pro Minute ccm	O-Verbrauch nach Abzug des Ruherwerthes ccm	Respirator. Quotient	im Ganzen	horizontal	steigend				
4,40	617,9	668,82	429,07	0,924	7,207	7,207	—	—	116,21	5'2"	80,3
4,23	669,68	848,36	608,59	0,796	10,455	10,455	—	—	123,36	3'40"	„
4,09	626,46	707,78	468,83	0,885	8,602	8,602	—	—	118,42	5'35"	79,6
4,85	661,79	818,78	579,83	0,808	10,588	10,588	—	—	110,59	2'51"	„
3,70	667,59	807,22	568,27	0,827	10,201	10,201	—	—	122,20	5'31"	„
6,43	1277,91	1565,14	1325,39	0,816	35,168	9,41	25,776	1,397	101,94	2'37"	80,3
6,20	1529,83	1724,52	1485,77	0,887	33,196	„	23,786	1,260	103,04	2'21"	„
6,24	1492,83	1681,42	1441,67	0,888	37,371	9,41	27,961	1,140	103,19	2'31"	80,3
6,93	1473,77	1804,42	1564,67	0,817	45,002	„	35,592	1,451	99,00	2'17"	„
6,48	1407,78	1775,68	1535,93	0,810	40,311	„	30,901	1,260	102,4	2'37"	„
6,54	1246,14	1579,43	1339,68	0,789	44,885	„	35,475	1,446	102,0	2'56"	„
7,45	1359,5	1799,0	1559,25	0,756	57,159	9,41	47,749	1,640	102,12	3'17"	79,6
6,48	1324,2	1650,2	1410,45	0,802	51,477	„	42,067	1,442	101,72	2'35"	„
6,65	1442,1	1766,2	1526,45	0,816	53,168	„	43,758	1,503	100,76	2'38"	„

Im Mittel ist er bei:

13° 17' = 1,423 ccm (Max.: 1,372 ccm, Minim.: 1,271 ccm)

17° 47' = 1,400 „ „ 1,485 „ „ 1,340 „

21° 27' = 1,689 „ „ 1,748 „ „ 1,640 „

Bei J. Loewy beträgt der Sauerstoffverbrauch für den Meter Horizontalbewegung 8,944 ccm, im Mittel (Max. 9,621 ccm, Minim.: 8,456 ccm) d. h. für das kg bewegter Masse 0,112 ccm.

Der Sauerstoffverbrauch pro mkg Steigarbeit wächst hier mit der Steigung der Bahn. Er ist

bei 13° 22' = 1,337 ccm (Max.: 1,450 ccm, Minim.: 1,227 ccm)

„ 17° 47' = 1,498 „ „ 1,554 „ „ 1,436 „

„ 21° 27' = 1,520 „ „ 1,599 „ „ 1,406 „

Zuntz verbraucht für einen Meter Horizontalbewegung im Mittel: 9,41 ccm (Max.: 10,588 ccm, Minim.: 8,602 ccm), für ein kg bewegter Masse heisst dies: 0,118 ccm O.

Für den Sauerstoffverbrauch bei Steigarbeit berechnet sich

bei 13° 17' = 1,328 ccm (Max.: 1,397 ccm, Minim.: 1,260 ccm)
„ 17° 47' = 1,324 „ „ 1,451 „ „ 1,140 „
„ 21° 27' = 1,528 „ „ 1,640 „ „ 1,442 „

Ein Vergleich der Werthe mit einander zeigt, dass sie bei allen Dreien fast identisch sind. Eine vollkommene Gleichheit besteht zwischen den Horizontalwerthen von J. Loewy und den von Zuntz; die von A. Loewy liegen um weniges höher. Eine weitere vollkommene Uebereinstimmung findet sich bei J. L. und L. Z. für die Steigwerthe bei 13°17'. — Bei Zuntz und A. Loewy ändern sie sich bei 17°47' nicht, dagegen tritt bei dieser Steigung bei J. Loewy ein Mehrverbrauch an Sauerstoff ein, der bei 21° 27' noch erheblicher wird und auch bei Zuntz und A. Loewy sich deutlich bemerkbar macht.

Wir setzen weiter die Mittelwerthe hierher, die Katzenstein bei seinen in gleicher Weise ausgeführten Versuchen erhielt: Horizontalgang pro Kilo und Meter:

Maximum: 0,1682 ccm O-Verbrauch

Minimum: 0,0858 „ „

Steigarbeit pro mkg: Maximum: 1,5036 ccm O-Verbrauch

„ „ „ Minimum: 1,1871 „ „

Unsere Werthe entsprechen fast genau dem Mittel, das man aus den an den vier Personen Katzenstein's gewonnenen Zahlen berechnen kann.

Man könnte daran denken, das Anwachsen des Sauerstoffverbrauches bei zunehmender Steigung der Bahn auf eine zunehmende Arbeitsleistung und Ermüdung zu beziehen. Das ist jedoch nicht der Fall. Die Marschleistung auf der Bahn, abhängig von dem Schritttempo, war ganz in das Belieben des Marschirenden gestellt und regelte sich ganz nach dem Behagen desselben. So kommt es, dass trotz zunehmender Steigung die Arbeitsleistung nicht oder nur unwesentlich anstieg, jedenfalls Ermüdungserscheinungen nicht eintraten. Wir stellen zur besseren Uebersicht die Steigarbeiten noch einmal zusammen (Tab. IX).

Die Erklärung der Zunahme des Sauerstoffverbrauches bei steilerem Anstieg kann wohl nur darin gefunden werden, dass die mangelnde Uebung zu einer unzuweckmässigeren, weniger ökonomischen Art des Gehens geführt hat. Dafür spricht auch, dass

Tabelle IX.

Vers.-Person	Steigung	mkg Steigarbeit
A. L.	13° 17'	457,47
		615,03
	17° 47'	546,83
		564,07
	21° 27'	555,11
		591,60
J. L.	13° 22'	551,5
		649,43
		634,36
		517,32
	17° 47'	417,29
		671,33
		755,55
		745,20
	21° 27'	609,07
		620,79
		566,22
		554,19
L. Z.	13° 17'	580,4
		695,0
	17° 47'	825,8
		946,18
		852,72
		934,48
21° 27'	732,02	
	797,64	
	794,20	
	835,80	

Zuntz, der körperlich gewandteste von uns, erst bei der stärksten Steigung einen Mehrverbrauch erkennen lässt und zwar einen viel geringeren als A. Loewy.

2. Von Interesse ist auch in diesen Versuchen, zumal im Hinblick auf die Monte Rosa-Versuche, die Beziehung des Athemvolums zur Arbeitsleistung. Das darauf Bezügliche enthalten die folgenden Tabellen. Die Berechnung der Werthe wurde so vorgenommen, dass vom Gesamttathemvolum der Ruhewerth abgezogen wurde, ferner die Luftmenge, die den durchlaufenen Metern bei Horizontalbewegung zukommen würde. Der Rest wurde durch die Zahl der gehobenen mkg (Stab 6 der Tab. VI—VIII) dividirt.

Zur Berechnung des Athemvolums pro Meter Horizontalbewegung wurde das Mittel der Athemgrösse der Horizontalver-

suche genommen, das Ruhevolum subtrahirt, durch das Mittel der durchschrittenen Meterzahl dividirt. Es ergaben sich folgende Werthe:

Tabelle Nr. X. Athemvolum pro mkg Steigarbeit in Berlin.

A. Loewy.

Athemvolum in der Ruhe pro Minute = 3,95 L.

Athemvolum pro Meter Horizontalweg = 185,47 cc.

Barometerdruck mm Hg	Weg pro Min. Meter	Steigung in Metern pro Meter Weg	mkg Steigarbeit pro Minute	Gesamthathem- volum Liter	Athemvolum pro mkg Steigarbeit ccm	Bemerkungen
766,0	33,522	0,2298	559,2	24,063	26,638	
"	21,327	"	355,75	18,894	30,918	
756,68	38,639	"	644,36	26,887	24,474	
"	35,08	"	596,68	25,336	24,938	
766,0	24,661	0,3054	546,83	23,116	26,685	
"	25,438	"	564,07	23,373	26,07	
"	25,991	"	576,33	23,867	26,194	
755,0	20,427	0,3657	555,10	23,323	28,075	
"	21,772	"	591,60	23,28	25,846	
"	20,295	"	564,35	23,967	28,799	
Mittel					26,86	

Für einen Meter Horizontalbewegung schied A. Loewy im Mittel: 185,47 cc Luft über den Ruhewerth aus d. h. pro kg horizontal bewegter Masse = 2,55 cc.

Für ein mkg Steigarbeit erhöhte sich sein Athemvolum im Durchschnitt um 26,86 cc. — Dieser Mittelwerth setzt sich aus zehn im Allgemeinen nur wenig schwankenden Einzelwerthen zusammen.

Bei J. Loewy, dessen Werthe die folgende Tab. XI enthält ergibt sich: für 1m horizontale Fortbewegung = 224,98 cc, für 1 kg horizontaler Bewegung um 1 m = 2,77 cc über das Ruhevolum;

für 1 mkg Steigarbeit im Mittel von gleichfalls 10 Versuchen (der in der Tabelle mit einem Fragezeichen versehene Versuch ist nicht mit berücksichtigt) eine Steigerung von 25,35 cc.

Endlich bei Zuntz — siehe Tab. XII — erhöht sich das

Tabelle XI.

J. Loewy.

Athemvolum pro kgm Steigarbeit in Berlin.

Barometerdruck mm Hg	Weg pro Min. Meter	Steigung in Metern pro Meter Weg	mkg Steigarbeit pro Minute	Gesamtathem- volum Liter	Athemvolum pro mkg Steigarbeit ccm	Bemerkungen
759,98	34,648	0,2312	649,43	26,654	21,003	
"	33,855	0,2312	634,36	24,606	18,556	Athemvolum pro Min. Ruhe: 5,219 L.
"	27,592	"	517,32	24,08	26,393	Athemvolum pro m Hori- zontalweg: 224,98 ccm (ab- züglich des Ruhewerthes).
"	23,857	"	417,29	24,786	34,29(?)	
764,0	27,103	0,3054	671,33	26,331	20,876	
"	30,503	"	755,55	29,370	22,882	
"	30,085	"	745,2	29,369	23,326	
"	24,59	"	689,07	27,373	24,741	
762,81	21,848	0,3657	620,79	22,816	20,429	
"	19,951	"	566,22	22,138	21,954	
"	19,527	"	554,19	20,599	19,374	
Mittel					25,35	

Tabelle XII.

L. Zuntz.

Barometerdruck mm Hg	Weg pro Min. Meter	Steigung in Metern pro Meter Weg	mkg Steigarbeit pro Minute	Gesamtathem- volum Liter	Athemvolum pro mkg Steigarbeit ccm	Bemerkungen
756,68	37,668	0,2298	695,0	27,63	18,547	
"	44,757	"	825,8	31,659	18,253	Athemvolum pro Min. in Ruhe: 4,931 L.
759,97	38,579	0,3054	946,18	29,94	15,519	Athemvolum pro Meter Hori- zontalweg: 260,53 ccm (ab- züglich des Ruhewerthes).
"	34,769	"	852,72	29,849	18,597	
"	38,102	"	934,48	30,191	16,257	
"	39,847	"	732,02	26,932	19,437	
756,04	27,28	0,3657	794,2	25,56	17,031	
"	27,399	"	797,64	26,981	18,699	
"	28,71	"	835,8	28,177	18,867	
Mittel					17,91	

Athemvolum für 1 m Horizontalbewegung um	260,53 ccm
1 kg u. Meter „	3,24 „
1 mkg Steigarbeit	17,91 „

Vergleichen wir auch hiermit die Werthe, die Katzenstein für seine am meisten untersuchte Versuchsperson Kohanski berechnete. Er fand eine Zunahme des Athemvolums

für 1 m u. kg Horizontalbewegung =	1,765 ccm
„ 1 kgm Steigarbeit	= 20,557 „

Das Athemvolum für das horizontale Gehen war wesentlich niedriger, als das bei uns direkt bestimmte; das für das Steigen fällt in unsere Werthe; es ist höher als bei Zuntz, niedriger als bei J. Loewy und bei A. Loewy.

Weitere Betrachtungen, die an die Beziehung zwischen Athemvolum und Arbeitsleistung zu knüpfen sind, sollen später nach Mittheilung der Monte Rosa-Versuche folgen.

3. Was den respiratorischen Quotienten anlangt, so zeigen auch die vorstehenden Versuche, dass eine Erhöhung desselben bei Muskelarbeit oder gar ein Ansteigen mit der Muskelarbeit nicht zu konstatiren ist. Es ist das in Uebereinstimmung mit den Angaben Katzensteins.

III. Die Respirationsversuche am Monte Rosa.

Die äusseren Bedingungen, unter denen sie unternommen wurden, waren folgende.

Am 7. August früh verliessen wir Mailand und trafen Abends in Gressoney la Trinité (1627 m über dem Meere) ein.

Am 9. August früh marschirten wir nach dem Col d'Olen, (ca. 2840 m hoch gelegen), wo wir bis zum 16. August blieben. An diesem Tage begaben wir uns nach der Capanna Gnifetti, in Höhe von 3620 m. Hier hielten wir uns bis 22. August auf, wo wir den Abstieg antraten. Am 18. August, d. h. am zweiten Tage nach unserer Ankunft auf der Hütte, ging Zuntz zur Capanna Regina Margherita 4560 m hoch und stellte auch dort einige Ruheversuche an sich an. — Das Wetter war, entsprechend der allgemeinen Witterungslage dieses Sommers, sehr ungünstig.

Auf Col d'Olen hatten wir nur zwei Tage, an denen für Stunden die Sonne durchbrach, an den übrigen Tagen war es trübe und neblig mit häufigem Schneefall. Es thaute dort der

Schnee nur in den wenigen Stunden des Sonnenscheins, da jedoch, wo wir unsere Marschirversuche anstellten, d. h. einige hundert Meter unterhalb des Cols auf dem Wege nach Alagna (Val Sesia) verschwand er stets in den späteren Vormittagsstunden, sodass wir auf schneefreiem, zwar nassem, jedoch nicht schlüpfrigem Wege marschiren konnten.

Während unseres achttägigen Verweilens in der Capanna Gnifetti war das Wetter ebenso ungünstig, so dass wir nur an einem einzigen Tage es wagen konnten, auf dem Indrengletscher unsere Versuche anzustellen. Die Schneeverhältnisse waren an diesem Tage günstig; die Schneedecke so hart, dass sie gut trug und doch wieder nicht so, dass man nicht hätte festen Fuss fassen können.

Was die Ernährungsverhältnisse betrifft, so waren sie auf Col d'Olen ausgezeichnete; auf der Hütte, die nicht bewirtschaftet ist, und wo wir selbst für unsere Verpflegung sorgen mussten, waren sie zwar etwas mangelhaft, aber doch nicht derart, dass es zu einer Unterernährung gekommen wäre. Irgend welche körperlichen Indispositionen traten bei keinem von uns auf. Bergkrankheitserscheinungen oder auch nur dyspnoische Zustände waren nie vorhanden, wenigstens nie während der Anstellung der Versuche.

Symptome, die man als Beginn der Bergkrankheit deuten kann, und die ganz mit dem übereinstimmen, was Saussure schon gelegentlich seiner ersten Mont Blanc-Besteigung an sich erfahren hat, machten bei Zuntz sich beim Aufstiege zur Cap. Reg. Margherita nach Ueberschreitung des Lysjoches in ca. 4100 m Höhe geltend, und bestanden in auffälliger Muskelschwäche, die ihn zwang, während des Zeitraumes von ca. einer Stunde alle 30—40 Schritte halt zu machen und zu ruhen. Es scheinen diese Symptome mit dem Darne in Beziehung gestanden zu haben, denn sie verschwanden nach einer reichlichen Entleerung, worauf der Marsch ohne Beschwerden bis zur Hütte (4560 m) fortgesetzt werden konnte.

Alle Versuche wurden in den Vormittagsstunden angestellt, einige Stunden, nachdem ein geringes Frühstück eingenommen war, das vornehmlich aus Flüssigem bestand, da das vorhandene Gebäck, zumal auf der Gnifettihütte bald so hart wurde, dass es fast ungeniessbar war. Eine Ausnahme machen nur die Ruheversuche auf Col d'Olen. Sie wurden früh Morgens im Bette ausgeführt,

Ta-
Monte-Rosa-Versuche

Nr	Datum	Barometerdruck mm Hg	Arbeit					Athemmechanik				CO ₂ - Ausscheidung %
			Dauer	Weg pro Minute	Steigung pro Minute	Körpergewicht	Steigarbeit in mkg	Volum pro Minute in Liter abgelesen	Volum pro Minute in Liter reducirt	Frequenz	Tiefe ccm	
1	13./8.	535	—	—	—	—	—	5 550	3,714	9	616,66	5,01
2	13./8.	"	—	—	—	—	—	5,718	3,801	12	476,52	4,96
3	13./8.	"	—	—	—	—	—	5,841	—	13	—	—
4	14./8.	530	5'15"	61,8	—	—	—	17,467	11,190	10,86	1608,82	6,07
5	14./8.	"	4'22"	69,3	—	—	—	19,930	12,489	12,6	1581,7	5,59
6	14./8.	"	4'15"	70,21	—	—	—	19,882	12,670	10,6	1877,8	5,52
7	14./8.	"	3'18"	18,52	5,844	72,6	424,296	24,394	15,805	14,23	1712,83	5,54
8	14./8.	"	3'2"	19,68	6,24	"	453,024	25,582	16,609	15,78	1616,67	(6,51)
9	14./8.	"	3'11"	18,16	5,88	"	426,888	25,806	16,817	16,00	1621,9	5,03
10	15./8.	536	2'53"	20,04	6,48	"	470,448	27,329	18,459	16,64	1641,7	5,10
11	15./8.	"	3'13"	18,00	5,62	"	408,01	29,860	20,177	15,24	1960,2	5,18
12	15./8.	"	2'58"	19,60	6,31	"	458,106	24,27	17,163	18,18	1333,3	5,22

Mittel: Sauerstoffverbrauch pro Min. bei Ruhe:
Athemvolum " " " " :

13	17./8.	482	—	—	—	—	—	6,235	3,767	14,5	0,430	4,7
14	17./8.	"	—	—	—	—	—	5,690	3,424	14,0	0,406	5,2
15	17./8.	"	—	—	—	—	—	5,911	3,559	15,0	0,394	5,37
16	19./8.	489	2'3"	17,14	5,928	72,6	430,306	34,08	20,719	21,48	1,57	5,34
17	19./8.	"	2'17"	19,09	6,612	"	479,987	35,34	21,262	20,58	1,717	5,23
18	19./8.	"	1'45"	20,53	7,104	"	515,75	36,629	21,96	21,1	1,732	5,29
19	20./8.	483,5	—	—	—	—	—	6,667	3,860	12,0	0,555	4,83
20	20./8.	"	—	—	—	—	—	6,788	3,919	15,5	0,488	4,37

Mittel: Sauerstoffverbrauch pro Min. bei Ruhe:
Athemvolum " " " " :

das die Versuchsperson erst nach Beendigung der Versuche verliess.

Ueber die Anordnung der Analysenapparate wollen wir erwähnen, dass sie an zwei Wänden des Zimmers derart aufgehängt waren, dass sie der strahlenden Wärme des Ofens möglichst entrückt waren. In der Gnisthütte analysirten wir in dem Raume, der zugleich als Küche und Wohnraum diente; er wurde durch dauerndes Heizen des Kochherdes auf einer Temperatur von 20—25° C. gehalten. Auf Col d'Olen befanden sich unsere Apparate in einem Zimmer, durch das das Dampfrohr aus dem Zimmer der tiefer gelegenen Etage hindurchging, das allein geheizt wurde. — Ein

belle XIII.
an A. Loewy.

A t h m u n g s c h e m i s m u s						O-Verbrauch pro Meter Weg			O-Verbrauch pro mkg Steigarbeit
O-Verbrauch %	CO ₂ -Aus- scheidung pro Minute ccm	O-Verbrauch pro Minute ccm	O-Verbrauch nach Abzug des Ruhewerthes	Respirator. Quotient	Alveolare O-Spannung	im Ganzen	horizontal	steigend	
5,41	186,06	200,92	—	0,926	68,95	—	—	—	—
5,12	188,51	194,60	—	0,969	67,335	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7,87	679,27	880,68	602,92	0,771	61,577	—	11,05	—	—
7,07	693,13	882,98	685,22	0,791	65,203	—	9,88	—	—
7,28	699,42	922,42	724,66	0,758	65,147	—	10,32	—	—
5,98	875,6	945,15	747,39	0,926	70,222	40,364	10,42	29,944	1,368
—	(1081,25)	—	—	—	—	—	—	—	—
5,97	845,92	1004,00	806,24	0,843	70,707	44,396	10,42	33,976	1,445
6,53	941,15	1205,0	1007,24	0,781	69,16	50,261	10,42	39,841	1,697
6,61	1045,22	1333,76	1136,00	0,784	69,222	63,111	10,42	52,691	2,324
6,52	895,90	1119,00	921,24	0,801	68,333	47,001	10,42	36,581	1,565

197,76 ccm; pro mkg Steigarbeit: 1,68 ccm.
5,70 Liter; " " " : 38,17 "

6,14	177,06	231,27	—	0,765	53,744	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6,09	191,11	216,73	—	0,882	51,38	—	—	—	—
6,21	1106,4	1286,7	1073,28	0,860	61,69	62,619	10,42	52,20	2,079
6,14	1112,0	1305,5	1092,88	0,852	63,98	57,20	10,42	46,78	1,860
5,83	1161,8	1280,3	1066,88	0,907	65,10	51,966	10,42	41,55	1,654
5,34	186,39	206,07	—	0,904	61,10	—	—	—	—
5,55	181,22	217,45	—	0,787	57,72	—	—	—	—

217,9 ccm; pro mkg Steigarbeit: 1,8644 ccm.
6,26 Liter; " " " : 55,20 "

Schwanken der Zimmertemperatur um mehrere Grade liess sich nicht immer vermeiden.

Die folgenden drei Tabellen enthalten alle Versuche, die wir oben anstellten, auch die, bei denen die aufgefangene Luftprobe vor der Analysirung verloren ging.

Versuche an A. Loewy.

Auf Col d'Olen, ca. 2840 m Höhe, entfallen: drei Ruheversuche, drei Marschirversuche auf horizontaler Bahn, wozu uns ein kleines Plateau vor dem Hotel diente, und sechs Steigver-

suche. Letztere wurden auf einem etwas steinigen, aber gut gangbaren, fast gleichmässig ansteigenden Fusspfade ausgeführt. Die Steigung betrug zwischen 26 und 33 %.

Bei den Ruheversuchen beträgt im Mittel das Athemvolum pro Minute: 5,703 l, der Sauerstoffverbrauch: 197,76 ccm pro Minute. Die alveolare Sauerstoffspannung ist auf 68,14 mm herabgegangen.

Bei den Marschversuchen auf horizontaler Bahn stellt sich der Sauerstoffverbrauch auf 10,42 ccm pro Meter Weg, resp. pro Kilo bewegter Masse auf: 0,143 ccm. Die alveolare Sauerstoffspannung ist niedriger als in den Ruhewerthen, nämlich nur 63,97 mm.

In den Steigversuchen ist der Sauerstoffverbrauch pro mkg Steigarbeit = 1,68 ccm; die alveolare Sauerstoffspannung ist = 69,51 mm, also höher als in den anderen Versuchen.

Auf der Gnifettihütte ergibt sich:

bei Körperruhe: Athemvolum: 6,26 l, Sauerstoffverbrauch 217,9 ccm. Horizontalversuche sind nicht ausgeführt worden.

Um für die Steigversuche den Sauerstoffverbrauch pro mkg Steigarbeit zu berechnen, haben wir den O-Verbrauch für Horizontalbewegung in Abzug gebracht, den die Versuche auf Col d'Olen ergeben hatten. Wir glauben dies um so eher thun zu können, als er, wie aus einer Vergleichung zwischen Tab. VIII und Tab. XIII hervorgeht, mit dem in Berlin vollkommen übereinstimmt.

So berechnet sich der Sauerstoffverbrauch pro mkg Steigarbeit — die Steigung ist 34,6 % — auf: 1,864 ccm.

Von Wichtigkeit ist endlich eine Betrachtung des Athemvolums in den Marschversuchen. Schon die Rohwerthe auf Tab. XIII lassen eine auffallende Steigerung zwischen Col d'Olen und der Gnifettihütte erkennen, ebenso wie eine Vergleichung ersterer mit den in Berlin gewonnen (s. Tab. X) ein, wenn auch geringes, Plus für Col d'Olen ergibt.

Es wurde auch für diese Versuche das Athemvolum pro mkg Steigarbeit in der für die Berliner Marschversuche angegebenen Weise berechnet.

Tabelle XIV. Athemvolum pro mkg Steigarbeit am Monte-Rosa.

A. Loewy.

Barometerdruck mm Hg	Weg pro Min. Meter	Steigung in Metern pro Meter Weg	mkg Steigarbeit pro Minute	Gesamtathem- volum Liter	Athemvolum pro mkg Steigarbeit ccm	Bemerkungen
530,0	18,51	0,3167	424,30	24,394	35,343	Versuche: auf Col d'Olen.
"	19,68	0,3170	453,02	25,502	35,212	Athemvolum pro Meter Ho-
"	18,16	0,3156	426,89	25,806	38,603	orizontalweg = 199,55 ccm.
536,0	20,04	0,3233	470,45	27,529	37,469	Athemvolum in der Ruhe
"	18,00	0,3122	408,01	29,86	50,402	pro Min. = 5,703 L.
"	19,60	0,3129	458,11	24,27	31,992	
Mittel		0,315			38,17	
489,0	17,14	0,3458	430,31	34,08	57,998	Versuche an der Capanna Gni-
"	19,05	0,3462	479,99	35,34	55,836	fetti.
"	20,53	0,3460	515,75	36,629	51,779	Athemvolum in der Ruhe
						pro Min. = 5,8005 L.
						Athemvolum für Meter Ho-
						orizontalbewegung wie auf
						Col d'Olen angenommen.
Mittel		0,346			55,204	

Aus den in Tab. XIV zusammengestellten Werthen geht hervor, dass der Zuwachs an Athemvolum, den ein mkg Arbeit bedingt, schon auf Col d'Olen in allen Versuchen höher liegt als in Berlin, dass die Differenz aber auf der Hütte besonders erheblich wird. — Im Mittel beträgt das Athemvolum pro mkg Arbeit:

in Berlin = 26,86 ccm
 auf Col d'Olen = 38,17 „
 auf der Cap. Gnifetti = 55,20 „

Dabei ist bemerkenswerth, dass die Arbeitsleistung wesentlich geringer als in Berlin war, eine Thatsache, die an sich schon auffallend erscheint, da auch hier das subjektiv angenehmste Marschtempo eingehalten wurde, und die Steigung, wie angegeben, sogar geringer als die stärkste in Berlin war.

Wegen der Schlüsse, die sich hieraus ergeben, verweisen wir auf die später folgenden Ausführungen.

Ta-
Monte-Rosa-Versuche

Nr.	Datum	Barometerdruck mm	Arbeit					Athemmechanik				
			Dauer	Weg pro Minute m	Steigung pro Minute m	Körpergewicht	Steigarbeit in mkg	Volum pro Minute in Liter abgelesen	Volum pro Minute in Liter reducirt	Frequenz	Tiefe Liter	CO ₂ - Ausscheidung %
1	11./8.	517,68	—	—	—	—	—	4,890	3,220	8,5	0,575	6,09
2	11./8.	"	—	—	—	—	—	4,989	3,282	9,5	—	—
3	11./8.	"	—	—	—	—	—	5,167	3,396	"	0,544	5,93
4	12./8.	539,32	3'12"	24,03	6,57	81,1	532,83	27,48	18,559	13,44	2,044	6,24
5	12./8.	"	2'10"	24,78	6,60	"	535,26	27,646	18,676	12,9	2,142	6,78
6	12./8.	"	2'39"	21,84	5,83	"	472,91	27,882	18,893	13,92	1,997	6,21
7	13./8.	535,00	2'43"	22,44	5,81	"	471,51	27,48	17,853	13,98	1,996	6,365
8	13./8.	"	3'	18,94	5,70	"	462,84	27,40	17,463	12,67	2,163	6,145
9	13./8.	"	3'	18,10	5,51	"	447,02	28,067	17,585	13,00	2,16	6,2
10	13./8.	"	2'48"	62,04	—	"	—	22,428	15,014	9,96	2,243	5,55
11	13./8.	"	3'50"	59,4	—	"	—	21,624	14,449	11,22	1,93	5,546
12	13./8.	"	3'51"	60,18	—	"	—	20,58	13,646	10,38	1,985	4,99
13	14./8.	530,00	2'32"	19,8	6,54	"	530,39	27,04	17,37	12,24	2,21	4,891
14	14./8.	"	2'27"	22,2	7,2	"	583,92	30,69	19,488	16,32	1,88	5,482

Mittel: Sauerstoffverbrauch pro Min. in der Ruhe:

	Athemvolum " " " " " :											
15	17./8.	482,00	—	—	—	—	—	7,357	4,459	15,00	0,490	5,26
16	17./8.	"	—	—	—	—	—	7,128	4,309	12,5	0,570	—
17	17./8.	"	—	—	—	—	—	6,750	4,073	11,00	0,613	5,05
18	19./8.	489,00	2'21"	18,54	6,42	81,1	521,15	32,958	20,228	15,72	2,093	5,59
19	19./8.	"	1'53"	21,3	7,38	"	598,52	36,162	22,126	16,98	2,128	5,81

Mittel: Sauerstoffverbrauch pro Min. in der Ruhe:

Athemvolum " " " " " :

Versuche an J. Loewy.

Col d'Olen: Aus den drei Ruheversuchen ergibt sich als Mittel für das **Athemvolum**: 5,021, für den O-Verbrauch: 225,3 ccm. Die alveoläre Sauerstoffspannung in der Ruhe ist: 57,13 mm Hg.

Bei den horizontalen Marschversuchen ist der O-Verbrauch pro Meter Weg = 14,135 ccm, d. h. pro Kilo und Meter = 0,175 ccm, die alveoläre O-Spannung = 64,79 mm, ist also höher als in der Ruhe. Der Athemvolumzuwachs pro Meter beträgt: 273,02 ccm oder pro Kilo und Meter = 3,36 ccm.

belle XV.
an J. Loewy.

Athemungsschemismus						O-Verbrauch pro Meter Weg			O-Verbrauch pro mkg Steigarbeit
O-Verbrauch %	CO ₂ -Ausscheidung pro Minute ccm	O-Verbrauch pro Minute ccm	O-Verbrauch nach Abzug des Ruhewerthes	Respirat. Quotient	Alveolare O-Spannung	im Ganzen	horizontal	steigend	
6,79	196,12	218,66	—	0,897	57,47	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6,83	201,37	231,93	—	0,868	56,79	—	—	—	—
7,44	1157,8	1380,3	1155,0	0,838	64,989	48,06	14,295	33,765	1,530
7,94	1266,3	1482,9	1257,6	0,854	62,578	50,75	14,295	36,455	1,695
7,53	1173,7	1422,7	1197,4	0,825	64,704	54,751	14,295	40,456	1,875
7,94	1136,3	1417,5	1192,2	0,802	63,373	53,129	14,295	38,834	1,855
7,77	1073,2	1356,9	1131,6	0,791	63,518	59,746	14,295	45,451	1,866
7,92	1090,2	1392,8	1167,5	0,783	62,571	64,512	14,295	50,217	2,039
7,54	833,26	1132,0	905,7	0,736	65,121	14,615	14,615	—	—
7,78	801,44	1124,9	899,6	0,712	63,409	15,14	15,14	—	—
7,44	680,94	1015,3	790,0	0,67	65,852	13,13	13,13	—	—
6,82	849,68	1184,7	962,4	0,717	68,032	48,606	14,295	34,311	1,286
7,55	1068,3	1471,3	1246,0	0,726	64,14	56,126	14,295	41,831	1,596

Col d'Olen.

225,3 ccm; pro mkg Steigarbeit: 1,718 ccm.

5,02 Lit.; „ „ „ 34,06 „

6,46	234,54	288,04	—	0,814	53,553	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7,04	205,69	286,73	—	0,717	53,923	—	—	—	—
—	1130,75	—	—	—	—	—	—	—	—
7,82	1285,3	1729,9	1442,52	0,743	57,446	67,723	14,295	53,428	1,901

Capanna
Gnifetti

287,38 ccm; pro mkg Steigarbeit: 1,901 ccm.

7,08 Lit.; „ „ „ 39,41 „

In den Steigversuchen — die Steigung beträgt 25,9 bis 33,0 % — ist der O-Verbrauch pro mkg Steigarbeit = 1,72 ccm (gegen 1,33 bis 1,52 in Berlin), die alveolare O-Spannung ist = 64,26 mm, also höher als in der Ruhe.

Das Verhalten der *Athemvolumina* ergibt sich aus der folgenden Tabelle XVI:

Auch hier liegt die *Athemsteigerung* pro mkg Arbeit höher als in Berlin: sie ist im Durchschnitt = 34,06 ccm, trotzdem auch bei J. Loewy die *Arbeitsleistung* viel niedriger lag als in den Berliner Steigversuchen.

Tabelle XVI. Athemvolum pro mkg Steigarbeit am Monte-Rosa.

J. Loewy.

Barometerdruck mm Hg	Weg pro Min. Meter	Steigung in Metern pro Meter Weg	mkg Steigarbeit pro Minute	Gesammiathem- volum Liter	Athemvolum pro mkg Steigarbeit ccm	Bemerkungen
539,32	24,03	0,2734	532,83	27,48	29,849	Versuche: auf Col d'Olen.
"	24,78	0,2663	535,26	27,646	29,643	Athemvolum pro Min. in Ruhe: 5,02 L.
"	21,84	0,2670	472,91	27,882	35,745	Athemvolum pro Met. Ho- rizontalweg: 273,02 ccm (ab- züglich des Ruhewerthes).
535,00	22,44	0,2591	471,51	27,48	34,651	
"	18,94	0,2878	462,84	27,40	37,192	
"	18,10	0,3046	447,82	28,067	40,515	
530,0	19,8	0,3303	530,39	27,04	31,354	
"	22,2	0,3243	583,92	30,67	33,589	
Mittel		0,2889			34,06	
489,0	18,54	0,3466	521,149	32,958	39,946	Versuche: an der Capanna Gni- fetti.
"	21,3	0,3545	598,518	36,162	38,878	Athemvolum pro Min. in Ruhe: 7,0786 L.
Mittel		0,3505			39,41	

Gnifettihütte: Der Sauerstoffverbrauch in der Ruhe ist = 287,38 ccm; das Athemvolum = 7,08 l.

Bei dem Mangel an Versuchen mit Horizontalgang haben wir, um eine Anschauung über den O-Verbrauch pro mkg in den Steigversuchen zu erhalten, ebenso wie in den Versuchen an A. L., den auf Col d'Olen constatirten Sauerstoffwerth für Horizontalbewegung in Anrechnung gebracht. Die erhaltenen Zahlen dürften von der Wahrheit jedenfalls nicht weit abweichen. Man erhält so:

O-Verbrauch pro mkg Steigarbeit: 1,901 ccm

Das Athemvolum, das 1 mkg Steigarbeit erforderte, ist noch höher als auf Col d'Olen, nämlich 39,41 ccm pro mkg.

Versuche an L. Zuntz (cf. Tab. XVII).

Col d'Olen: Bei Körperruhe beträgt das Athemvolum pro Min. 5,49 l, der Sauerstoffverbrauch pro Min.: 291,24 ccm, die alveolare O-Spannung ist im Mittel: 57,98 mm Hg.

In den Marschversuchen auf horizontaler Bahn war der O-Verbrauch pro Meter Weg = 10,453 ccm, pro kg bewegter Masse = 0,13 ccm. — Das Athemvolum steigerte sich pro Meter Weg um 177,36 ccm resp. pro Kilo und Meter um 2,2 ccm. — Die alveolare Sauerstoffspannung ist 58,54 mm.

Endlich in den Steigversuchen war der O-Verbrauch pro mkg Steigarbeit im Mittel: 1,818 ccm (gegen 1,32—1,53 in Berlin). — Die alveolare O-Spannung ist 64,82 mm, liegt also auch bei Zuntz höher als bei Körperruhe.

Gnifettihütte: Als Mittel für die Athemgrösse in den fünf Ruheversuchen ergibt sich: 7,76 l bei einem O-Verbrauch von 268,62 ccm pro Minute.

Legen wir auch bei Zuntz den Sauerstoffverbrauchswert für die Horizontalbewegung, wie er sich auf Col d'Olen ergab, zu Grunde, so berechnet sich für den Sauerstoffverbrauch pro mkg Steigarbeit: 1,761 ccm.

Endlich sind bei Zuntz noch die Ergebnisse von vier Ruheversuchen zu nennen, die er an sich auf der Cap. Regina Margherita anstellte in 4560 m Höhe = 424 mm Barometerdruck. Zwei davon sind bald nach der Ankunft im kalten Zimmer unternommen. Das Minutenvolum ist in ihnen: 13,74 l, der O-Verbrauch: 551,91 ccm (!).

Die beiden Anderen wurden im erwärmten Zimmer viele Stunden nach der Ankunft angestellt. In ihnen ist das Athemvolum pro Minute: 10,55 l, der O-Verbrauch: 430,91 ccm!

Die Beziehung zwischen Athemvolum und Arbeitsleistung ergibt die folgende Tab. XVIII.

Auf Col d'Olen ist das Athemvolum, berechnet pro mkg Steigarbeit, im Mittel: 38,05 ccm. Das Ergebniss ist das Gleiche, wie bei J. Loewy und bei A. Loewy: das Athemvolum ist erheblich grösser als in Berlin (wo es 17,91 ccm war), dabei ist auch bei Zuntz die Gesamtarbeit geringer, die Steigung — im Mittel 28,9 % — nicht so erheblich wie die stärkste in Berlin.

Für die Versuche auf der Gnifettihütte ergibt sich als Werth: 40,11 ccm.

Wir haben im Vorstehenden das in unseren Versuchen gewonnene Zahlenmaterial und die Werthe, die sich aus ihm berechnen lassen, mitgetheilt. Um eine Controlle der Schlussfolgerungen, die wir aus ihm ziehen möchten, zu erleichtern, haben wir in der

Nr.	Datum	Barometer mm	Arbeit					Athemmechanik				Ath-	
			Dauer	Weg pro Minute m	Steigung pro Minute m	Körpergewicht	Steigarbeit mkg	Athemvolum pro Minute in Liter		Frequenz	Athem- tiefe Liter	CO ₂ - Ausscheidung %	O-Verbrauch %
								abge- lesen	redu- cirt				
1	11./8.	517,68	4'18"	63,21	—	—	—	16,392	10,824	7,44	2,20	5,94	8,01
2	11./8.	"	5'2"	65,19	—	—	—	16,192	10,727	6,55	2,47	6,73	8,58
3	11./8.	"	4'30"	67,33	—	—	—	18,602	12,404	6,66	2,79	6,46	8,81
4	12./8.	528,00	—	—	—	—	—	5,373	3,636	6,38	0,895	6,3	8,38
5	12./8.	"	—	—	—	—	—	5,610	3,784	6,5	0,863	5,86	7,34
6	12./8.	539,32	2'32"	27,6	7,48	80,3	600,64	30,552	20,392	12,0	2,55	5,86	7,41
7	12./8.	"	3'32"	30,42	6,96	"	558,88	32,94	21,985	12,3	2,68	5,91	7,01
8	12./8.	"	2'40"	25,46	6,90	"	554,07	29,82	19,973	11,28	2,65	6,04	7,29
9	13./8.	535,00	3'11"	18,64	5,56	"	445,13	26,70	16,777	8,76	3,04	7,06	7,98
10	13./8.	"	2'57"	20,4	6,07	"	487,1	26,82	16,833	9,1	2,93	6,78	7,87
11	13./8.	"	3'2"	19,82	5,90	"	473,57	27,96	17,488	10,0	2,80	6,23	8,35
12	15./8.	536,00	3'5"	16,21	5,27	"	423,18	24,72	16,692	9,6	2,58	6,09	7,3
13	15./8.	"	3'5"	16,21	5,27	"	423,18	26,20	17,676	9,36	2,78	5,74	7,44

Mittel: Sauerstoffverbrauch pro Minute bei Ruhe:
Athemvolum " " " "

14	17./8.	482,00	—	—	—	—	—	8,250	5,012	9,0	0,92	5,90	—
15	17./8.	"	—	—	—	—	—	7,250	4,403	12,5	0,58	5,06	6,28
16	17./8.	"	—	—	—	—	—	6,712	4,063	9,0	0,75	5,92	6,92
17	19./8.	489,00	2'27"	19,8	6,84	80,3	549,25	32,16	19,345	12,2	2,62	5,76	7,50
18	19./8.	"	1'46"	22,02	7,62	"	611,88	36,732	21,926	18,1	2,03	5,65	7,22
19	20./8.	483,5	—	—	—	—	—	8,429	4,919	14,0	0,60	4,93	5,55
20	20./8.	483,5	—	—	—	—	—	8,179	4,476	14,5	0,56	4,62	5,13

Mittel: Sauerstoffverbrauch pro Min. bei Ruhe:
Athemvolum " " " "

21	18./8.	424,00	—	—	—	—	—	14,700	7,915	11,0	1,336	5,71	7,06
22	18./8.	"	—	—	—	—	—	12,783	6,878	11,0	1,162	6,03	7,92
23	18./8.	"	—	—	—	—	—	11,500	6,233	11,0	1,044	6,58	7,26
24	18./8.	"	—	—	—	—	—	9,600	5,162	10,5	0,914	6,17	7,93

Mittel: Sauerstoffverbrauch pro Minute bei Ruhe:
Athemvolum " " " "

belle XVII.

Rosa - Versuche.

mungschemismus					O-Verbrauch pro Meter Weg			O-Verbrauch pro mkg Arbeit	
CO ₂ - Ausscheidung pro Minute ccm	O. Verbrauch pro Minute ccm	O-Verbrauch nach Abzug des Ruhewerthes	Respirat- Quotient	Alveolare O-Spannung	im ganzen	horizontal	steigend		
642,97	867,02	590,86	0,74	60,55	9,347	—	—	—	Col d'Olen
721,57	920,36	644,20	0,784	57,73	9,882	—	—	—	
801,07	1092,8	816,64	0,733	57,35	12,129	—	—	—	
229,1	304,74	—	0,752	55,53	—	—	—	—	
221,74	276,16	—	0,799	60,44	—	—	—	—	
1195,1	1511,1	1234,94	0,791	65,27	44,744	10,453	34,291	1,576	
1299,4	1541,2	1265,04	0,843	67,85	41,585	10,453	31,132	1,694	
1206,4	1456,1	1179,94	0,828	66,58	46,394	—	35,941	1,651	
1185,3	1338,8	1062,64	0,885	62,36	58,33	—	47,877	1,999	
1141,3	1324,7	1048,54	0,861	62,65	50,229	—	39,776	1,666	
1090,2	1460,3	1184,14	0,747	61,55	59,731	—	49,278	2,063	
1016,9	1218,7	942,54	0,834	66,13	58,077	—	47,893	1,835	
1014,6	1314,9	1038,74	0,771	65,92	64,22	—	53,767	2,060	

= 291,24 ccm; pro mkg Steigarbeit = 1,818 ccm.

= 5,49 Liter: " " " = 38,05 "

295,73	—	—	—	—	—	—	—	—	Capanna Gnifetti beschwerlich, Weichheit, Ausgleiten.
222,81	276,53	—	0,806	52,47	—	—	—	—	
240,51	281,14	—	0,856	15,31	—	—	—	—	
1114,3	1450,9	1182,28	0,77	59,55	59,33	10,453	48,877	1,762	
1238,8	1583,1	1296,48	0,78	60,15	59,35	10,453	48,900	1,760	
242,23	273,04	—	0,89	59,84	—	—	—	—	
219,46	243,77	—	0,90	62,41	—	—	—	—	

= 268,62 ccm; pro mkg Steigarbeit = 1,761 ccm.

= 7,76 Liter; " " " = 40,11 "

451,94	558,78	—	0,809	50,40	—	—	—	—	Bald nach Ankunft auf Capanna Marghe- rita Temperat. unt. 0°. Nach mehrstündig. Au- fenthalt Temp. = 4,05°.
414,74	545,04	—	0,761	46,48	—	—	—	—	
410,11	452,49	—	0,906	58,03	—	—	—	—	
318,49	409,34	—	0,778	45,39	—	—	—	—	

551,91 ccm, bald nach der Ankunft.

430,91 " nach längerem Aufenthalt.

13,74 Liter, bald nach der Ankunft.

10,55 " nach längerem Aufenthalt.

Tabelle XVIII. Athemvolum pro mkg Steigarbeit am Monte-Rosa.

L. Zuntz:

Barometerdruck mm Hg	Weg pro Min. Meter	Steigung in Metern pro Meter Weg	mkg Steigarbeit pro Minute	Gesamtathem- volum Liter	Athemvolum pro mkg Steigarbeit ccm	Bemerkungen
539,32	27,6	0,271	600,64	30,55	33,574	Versuche: auf Col d'Oben. Athemvolum pro Min. in Ruhe = 5,4913 L. Athemvolum pro Meter Ho- rizontalgang: 177,36 (abzüg- lich des Ruhewerthes).
"	30,42	0,229	558,88	32,94	37,682	
"	25,46	0,271	554,0	29,82	35,763	
535,0	18,64	0,298	445,13	26,7	40,222	
"	20,4	0,297	487,1	26,82	36,363	
"	19,82	0,297	473,57	27,96	40,024	
536,0	16,21	0,325	423,18	24,72	38,647	
"	16,21	0,325	423,18	26,20	42,145	
Mittel		0,289			38,05	
489,0	19,8	0,345	549,25	32,16	38,677	Versuche: an der Capanna Gni- fetti. Athemvolum pro Min. in Ruhe = 7,404 L.
"	22,02	0,346	611,88	36,73	41,550	
Mittel		0,3457			40,11	

folgenden Uebersichtstabelle (Tab. XIX) die in Betracht kommenden Mittelwerthe aller Versuchsreihen noch einmal nebeneinander gestellt.

IV. Das Verhalten der Vitalcapacität, der Respirations- und Pulsfrequenz im Hochgebirge.

Beobachtungen über die in der Ueberschrift genannten Funktionen sind vielfach, meist jedoch im pneumatischen Cabinet an- gestellt, und, soweit im Hochgebirge, erstrecken sie sich nicht über längere Zeit. Wir theilen deshalb im Folgenden kurz unsere hierhergehörigen, mehr beiläufigen, Beobachtungen mit (Tab. XX).

Beim Uebergang in den luftverdünnten Raum nimmt, wie übereinstimmend alle diesbezüglichen Versuche ergeben haben, die Vitalcapacität ab.

Aus dem Verhalten derselben an J. Loewy und L. Zuntz geht hervor, dass diese Abnahme nach 48 Stunden noch bestehen kann; nach weiteren 24 Stunden ist der Berliner Normalwerth wieder erreicht. — Bei A. L. ist schon nach zweitägigem Aufenthalt

Tabelle XIX.
Uebersichts-Tabelle der Dreh- und Marschirversuche.

Art der Versuche	Barometerdruck mm Hg.	A. Loewy:						J. Loewy:						L. Zuntz:						
		Athem- volum			Sauerstoff- verbrauch			Athem- volum			Sauerstoff- verbrauch			Athem- volum			Sauerstoff- verbrauch			
		Ruhe pro Min.	pro mkg Arbeit	Liter ccm	Ruhe pro Min.	pro mkg Arbeit	ccm	Ruhe pro Min.	pro mkg Arbeit	Liter ccm	Ruhe pro Min.	pro mkg Arbeit	ccm	Ruhe pro Min.	pro mkg Arbeit	Liter ccm	Ruhe pro Min.	pro mkg Arbeit	ccm	
I. Versuche in der pneumatischen Kammer	Atmosph. Druck 435—484	3,95	23,4	205,17	2,305	5,22	27,0	238,95	2,925	4,93	29,880	239,75	1,731	4,93	29,880	239,75	1,731	4,93	29,880	
		4,697	29,71	211,23	2,150	—	[64,8]	—	2,598	5,10	45,747	248,67	1,773	5,10	45,747	248,67	1,773	5,10	45,747	
II. Marschirversuche in Berlin und im Gebirge	Atmosph. Druck 515—536 482—489 424	3,95	26,86	205,17	1,423 ¹⁾	5,22	25,35	238,95	1,337 ¹⁾	4,93	17,91	239,75	1,328 ¹⁾	4,93	17,91	239,75	1,328 ¹⁾	4,93	17,91	
					1,400 ²⁾				1,498 ²⁾					1,324 ²⁾				1,324 ²⁾		
					1,689 ³⁾					1,520 ³⁾				1,528 ³⁾				1,528 ³⁾		
		5,70	38,17	197,76	1,680 ⁴⁾	5,02	34,06	225,3	1,718 ⁴⁾	5,49	38,05	291,24	1,818 ⁴⁾	5,49	38,05	291,24	1,818 ⁴⁾	5,49	38,05	
		5,80	55,20	217,9	1,864 ⁵⁾	7,08	39,41	287,38	1,901 ⁵⁾	7,40	40,11	268,62	1,761 ⁵⁾	7,40	40,11	268,62	1,761 ⁵⁾	7,40	40,11	
										13,74		551,91		13,74		551,91		13,74		
										10,55		430,91		10,55		430,91		10,55		

1) Steigung = 23 0/0. 2) Steigung = 30,54 0/0. 3) Steigung = 36,57 0/0. 4) Steigung = 22,9—33,0 0/0.
 5) Steigung = 34,54—35,45 0/0.

Tabelle XX.
Verhalten der Vitalcapacität.

Versuchs- person	Ort der Beobachtung	Vital- capa- cität ccm	Bemerkungen
A. Loewy	Berlin	3100	
	Col. d'Olen	3000	11./8. am zweiten Tage nach dem Auf- stieg.
	„	2700	12./8. nach dreistündiger Geharbeit.
	„	3000	13./8.
	„	3083	13./8. nach 2 $\frac{1}{2}$ stündigem Aufenthalt im Freien, mit häufigem Bergauf und Ab- steigen.
	Capanna Gnifetti	2962	16./8. gleich nach der Ankunft nach ca. 6 stündigem Marsch.
J. Loewy	Berlin	2894	
	Col. d'Olen	2582	11./8. seit 48 St. auf Col d'Olen.
	„	2967	12./8. nach wiederholtem Bergauf- und Absteigen.
	„	3075	13./8.
	„	3087	13./8. war drei Stunden im Freien, eine Stunde gegangen.
	Capanna Gnifetti	3025	16./8. gleich nach dem 6 stündigen Auf- stieg.
L. Zuntz	Berlin	3867	
	Col d'Olen	3433	11./8. 48 St. nach Ankunft auf Col. d'Olen.
	„	3700	12./8. nach ca. 2 $\frac{1}{2}$ stündigem Bergauf- und Absteigen.
	„	3775	13./8.
	„	3900	13./8. nach längerem Bergauf- und Ab- steigen.
	Capanna Gnifetti	3825	16./8. gleich nach der Ankunft.
	Capanna Regina Margherita	3650	18./8. bald nach dem 3 $\frac{1}{2}$ stündigen Auf- stieg.

in der Höhe eine Abweichung von dem in Berlin gefundenen Werth nicht mehr vorhanden.

Bezieht man diese Abnahme auf die mit dem Uebergang in den luftverdünnten Raum verbundene Ausdehnung der Darmgase und eine damit einhergehende Erschwerung des inspiratorischen Herabtretens des Zwerchfelles, so ist die allmähliche Wiederausgleichung nicht auffallend.

Man muss aber festhalten, dass nicht der Aufenthalt im luftverdünnten Raum, sondern der Uebergang in ihn das Phänomen herbeiführt.

Von Wichtigkeit für die Grösse der Vitalcapacität erwies sich auch bei uns ein Moment, auf das schon Schumburg und

Zuntz hingewiesen haben, nämlich bis zur Ermüdung führende Muskularbeit. Auf diese ist der zweimalige Abfall der Vitalcapacität zu erklären, der bei A. Loewy am 13. August auf Col d'Olen und 16. August auf der Gnifetihütte zu constatiren ist. Wenn ihr Einfluss bei J. Loewy und Zuntz nicht deutlich wahrnehmbar ist, so liegt dies daran, dass diese sich einer kräftigeren Constitution erfreuen und an Muskularbeit mehr gewöhnt sind, als ersterer, daher eine Arbeit, die diesen bereits ermüdet, von jenen noch gut ertragen wird.

Die Beeinflussung der Puls- und Respirationssfrequenz zeigt die folgende, kleine Tabelle.

Tabelle XXI.

Verhalten von Puls- und Respirationssfrequenz.

Ort	A. Loewy		J. Loewy		L. Zuntz		Bemerkungen	
	Puls pro Minute	Re- spirat. pro Minute	Puls pro Minute	Re- spirat. pro Minute	Puls pro Minute	Re- spirat. pro Minute		
Berlin	6./9.	64	13	60	9	60	10	Alle Werthe sind Morgens nach dem Erwachen im Bett bei vollkommener Ruhe genommen. am Morgen nach d. Anknft. Aufstieg betrug ca. 1200 m. am Morgen nach d. Anknft. Aufstieg betrug ca. 780 m.
	7./9.	63	14					
	9./9.	64	14	64	10			
Brunnen	27./8.	66	14	60	10			
Col d'Olen	10./8.	78—84		72—78		88		
Capanna Gnifetti	17./8.	76—78	16	66—68	12	80—84		
	19./8.	74	15	58—60	15	80	17	
	20./8.	68	14	66	16	68	14	

Alle Werthe sind früh morgens nach dem Erwachen und vor dem Aufstehen genommen. Auf der Hütte zählte die Pulsfrequenz der Untersuchte selbst, die Frequenz der Athemzüge der Nachbar auf dem Matratzenlager. Ebenso wurden auf Col d'Olen, in Brunnen bezw. Berlin die Athemfrequenz von einem Zweiten gezählt.

Die Tabelle zeigt zunächst die bekannte Thatsache, dass die Frequenz des Pulses und der Athemzüge in der

Höhe zunimmt. Am deutlichsten tritt dies auf Col d'Olen hervor, wo die Beobachtung am Tage nach dem 1200 m betragenen Aufstieg stattfand. Weniger erheblich ist der Ausschlag auf der Gnifettihütte nach dem Tags zuvor erfolgten Aufstieg um 780 m, nach einem acht tägigen Aufenthalte auf Col d'Olen. Von Einfluss hat sich also nicht so sehr die absolute Höhe wie das Maass des Aufstieges erwiesen.

Am stärksten ist der Ausschlag bei Zuntz, dessen Pulsfrequenz um 20—28, dessen Respirationszahl um 7 gesteigert ist, geringer bei A. Loewy, wo der Puls um 12—20, die Athemfrequenz um 3 erhöht ist. Bei J. Loewy sind die Pulsschläge bis um 18 gestiegen, die Werthe für die Athemfrequenz sind etwas schwankend, die Steigerung aber gleichfalls deutlich.

Für die Beurtheilung der Athemfrequenz stehen übrigens ausser den eben besprochenen ganz unbeeinflussten Werthen auch die zur Verfügung, die in den Respirationsversuchen bei Körperruhe enthalten sind. Beiderlei Werthe sind natürlich nicht direkt mit einander vergleichbar. Stellt man aber die Athemfrequenz in den Ruheversuchen auf Col d'Olen und der Gnifettihütte zusammen, so zeigt sich, dass bei jedem von uns die letzteren gleichfalls höher liegen als die auf Col d'Olen.

Die allmähliche Gewöhnung an die Höhe ist der zweite Punkt, der sich aus der Tabelle ergibt.

Der Vergleich zwischen Col d'Olen und der Gnifettihütte lässt dies besonders schön hervortreten, aber auch während des Hüttenaufenthaltes selbst ist der vom zweiten zum vierten Tage eintretende progrediente Abfall beider Funktionen bei Zuntz und bei A. Loewy ganz eindeutig; bei J. Loewy macht er sich nicht so klar erkennbar.

Bemerkenswerth ist, dass der Aufenthalt in der pneumatischen Kammer, selbst bei niedrigerem Barometerdruck, kein so erhebliches Ansteigen bewirkt, wie der im Hochgebirge. Die Luftverdünnung allein kann also für den Effekt nicht verantwortlich gemacht werden.

IV. Vergleichung des Gaswechsels in der pneumatischen Kammer und im Hochgebirge.

Betrachten wir noch einmal die Werthe der Uebersichtstabelle (Tab. XIX S. 517), so finden wir, dass zwischen den in

der pneumatischen Kammer und den ihm Hochgebirge gewonnenen sichtbare Unterschiede vorhanden sind, sowohl bei Ruhe wie bei Arbeit, im Athemvolum wie im Sauerstoffverbrauch.

Dass wirklich ein verschiedener Einfluss von der verdünnten Luft der pneumatischen Kammer und der des Hochgebirges ausgeht, wird durch die vorstehenden Versuche zum ersten Male bewiesen, da, soweit wir sehen, bisher noch nicht die selben Personen im Cabinet und im Gebirge untersucht wurden.

1) Das Verhalten der **Athemgrösse** bei Ruhe und Arbeit. Sowohl im pneumatischen Cabinet wie in der Höhenluft sehen wir eine Steigerung der Athemgrösse bei Körperruhe, aber eine Steigerung, die in beiden Fällen ganz verschieden ist. — Im Cabinet, bei einer Verdünnung auf 460 mm Barometerdruck beträgt sie bei A. Loewy: +0,74 l = + 18,8 %; bei Zuntz + 0,07 l = + 1,42 %. In der Höhe dagegen bei einem Barometerdruck von noch 530 mm beträgt sie bei A. Loewy

+ 1,75 l = + 44,3 %; bei Zuntz + 0,56 l = + 11,3 %

bei 485 mm wächst sie bei A. Loewy auf:

+ 1,85 l = + 46,8 %; bei Zuntz + 2,47 l = + 50,1 %

Bei J. Loewy ist mangels Ruheversuchen im Cabinet ein Vergleich nicht möglich. Im Gebirge steigt auch bei ihm das Athemvolum, allerdings erst bei ca. 485 mm Barometerdruck; die Zunahme beträgt: + 1,86 l = 35,6 %.

Dasselbe Verhalten zeigen die Athemvolumina in den Arbeitsversuchen, berechnet auf 1 mkg Arbeit: sie sind in der verdünnten Luft höher als bei Atmosphärendruck, aber die Steigerung ist in der Höhenluft wieder viel bedeutender als im Cabinet.

Im Cabinet bei 460 mm Barometerdruck ist die Steigerung bei A. Loewy: + 6,31 ccm = 26,9 %; bei Zuntz: + 15,87 ccm = 53,1 %.

In der Höhe bei ca. 530 mm Barometerdruck beträgt sie bei A. Loewy: + 11,31 ccm = + 42,5 %; bei Zuntz: + 20,14 ccm = 112,4 %.

Bei ca. 485 mm Barometerdruck dagegen:

bei A. Loewy. + 28,34 ccm = + 105,5 %; bei Zuntz: + 22,2 ccm = + 123,9 %.

Ganz exceptionell wird die Höhe des Athemvolums in den

Versuchen, die Zuntz an sich auf der Cap. Regina Margherita anstellte, bei 424 mm Barometerdruck. Wenn wir selbst die bald nach der Ankunft angestellten Versuche ganz ausser Acht lassen, so findet sich doch nach mehrstündiger Ruhe bei behaglichem Wärmegefühl immer noch ein Plus von 5,62 l = 114 ‰, ein Zuwachs, wie man ihn im Cabinet selbst bei viel niedrigerem Druck nie beobachtet.

Bei J. Loewy sind in den Arbeitsversuchen im Gebirge die Werthe folgende:

bei ca. 530 mm Barometerdruck: + 8,71 ccm pro mkg = + 34,3 ‰
 „ „ 485 „ „ „ + 14,06 „ „ „ = + 55,4 „

In den Drehversuchen fand sich durch Rechnung eine Zunahme von 140 ‰. Dieser Werth ist jedoch aus den oben schon genannten Gründen nicht als normal zu betrachten.

Es hat also die verdünnte Luft auf die Athemgrösse jeder der drei untersuchten Personen einen deutlichen Einfluss ausgeübt, aber im Cabinet einen anderen als in der Höhe und in individuell sehr wechselndem Maasse.

2) Das Verhalten des **Sauerstoffverbrauches** bei Ruhe und Arbeit.

a. Sauerstoffverbrauch bei Körperruhe. In den Cabinetversuchen ist der Ruheverbrauch an Sauerstoff constant geblieben, bei A. Loewy wie bei Zuntz. Die bestehenden Differenzen von 6 bzw. 9 ccm liegen ganz innerhalb der physiologischen Breite und gleichen sich übrigens bei A. Loewy unter Berücksichtigung des Athemvolumzuwachses vollkommen aus. — Für J. Loewy liegen Ruhewerthe bei Luftverdünnung nicht vor.

Im Gebirge ist der Sauerstoffverbrauch für die Ruhe individuell verschieden.

Bei A. Loewy tritt auch hier keine Abweichung gegenüber der Norm ein.

Bei J. Loewy ist bei 530 mm keine Aenderung zu erkennen; die Abnahme um 13,65 ccm = 5,7 ‰ liegt innerhalb der physiologischen Breite. Dagegen ist bei 485 mm eine auffallende, durch die Vermehrung des Athemvolums allein nicht zu erklärende Steigerung zu verzeichnen um + 48,43 ccm = + 20,2 ‰.

Endlich bei Zuntz ist bei beiden Verdünnungen eine Steigerung vorhanden: bei 530 mm um 51,49 ccm = 21,5 ‰

bei 485 „ „ 28,87 „ = 12,4 „

Dazu kommen bei Zuntz die Versuche auf der Capanna Regina Margherita bei 424 mm Barometerdruck. Ziehe ich nur diejenigen in Betracht, welche gleiche äussere Versuchsbedingungen wie alle übrigen bieten, d. h. die nach längerem Aufenthalt im warmen Raume angestellten, so ergibt sich eine Zunahme des Sauerstoffverbrauches um: 191,16 ccm = 80 %.

Auch jede der bei Zuntz gefundenen Steigerungen ist so gross, dass sie durch die gleichzeitig vorhandene Steigerung des Athemvolums nicht erklärt werden kann.

b. Der Sauerstoffverbrauch bei der Arbeit. Im Cabinet ist bei A. Loewy der O-Verbrauch bei jedem Barometerdruck pro mkg Arbeit gleich. Bei Zuntz ist in den maassgebenden Versuchen der Sauerstoffverbrauch gleichfalls identisch, während die Abnahme bei J. Loewy, wie zuvor schon erwähnt, aus einer unzureichend werdenden Sauerstoffzufuhr sich erklären dürfte.

Anders gestalten sich die Dinge im Gebirge. Hier ist bei jedem von uns eine Zunahme des Verbrauches zu constatiren, aber eine Zunahme, die auch wieder individuell wechselt.

Am geringsten ausgeprägt ist sie bei A. Loewy, wo auf Col d'Olen bei einer Steigung von im Mittel ca. 31,5 % (s. Tab. X) der Verbrauch gleich ist dem bei 36 % in Berlin: 1,680 ccm gegen 1,689 ccm, höher jedoch als der für die ungefähr gleiche Steigung von ca. 30,5 % in Berlin, der nur 1,4 ccm beträgt.

Absolut höher als in Berlin liegt der O-Verbrauch auf der Gniffelhütte bei ca. 34,6 % Steigung. Er ist hier: 1,864 ccm pro mkg Arbeit.

Für Zuntz und J. Loewy ist der O-Verbrauch in allen Gebirgsversuchen absolut höher als der in Berlin, selbst bei der stärksten Steigung beobachtete, obwohl besonders auf Col d'Olen die Steigung nicht unerheblich geringer war, als dort, bei J. Loewy im Durchschnitt (s. Tab. XVI), nur: 28,89 %, bei Zuntz (s. Tab. XVIII) 28,93 % Steigung.

Dabei möchten wir ausdrücklich hervorheben, dass in Berlin die Versuche mit stärkster Steigung im November unternommen wurden bei einer etwas unter dem Gefrierpunkt gelegenen Umgebungstemperatur, einer Temperatur, die der an der Capanna Gniffetti analog war.

Für die Sauerstoffverbrauchswerte ergeben sich sonach die-

selben Resultate, wie für das Athemvolum: die Höhenluft verhält sich anders als die Kammerluft, die Einwirkung beider ist individuell in ihrer Intensität verschieden.

Gleiche Resultate, wie die eben mitgetheilten, haben auf ihrer vorjährigen Expedition, schon Zuntz und Schumburg an sich selbst erhalten und, soweit es sich um Körperruhe handelt, auch an A. Loewy constatiren können. Insofern bringen unsere Gebirgs-Versuche eine Bestätigung jener.

Abweichend ist, wie einleitend erwähnt, das Ergebniss, zu dem U. Mosso an seinen an die Höhe gewöhnten Soldaten der italienischen Gebirgstruppen gekommen ist; bei ihnen blieb das Athemvolum und die Grösse des Stoffverbrauches in der Ruhe — gemessen an der Menge der producirtcn Kohlensäure — ungeändert.

V.

Welche Schlüsse lassen sich nun aus dem mitgetheilten Zahlenmaterial ziehen?

Der wichtigste scheint uns der zu sein, dass an drei Individuen exakt bewiesen ist, dass Wirkung der Höhenluft und Wirkung der Luftverdünnung auf den menschlichen Organismus nicht gleichzusetzen sind.

Das Verhalten der Respiration giebt, soweit es sich um den Athmungsschemismus handelt, Aufschluss über den allgemeinen Stoffwechsel, und lässt, soweit die Athmungsmechanik in Betracht kommt, Rückschlüsse auf die Thätigkeit des Nervensystems zu.

In beiden Beziehungen nun erweist sich die Luftverdünnung allein wenig oder gar nicht wirksam. Der Stoffwechsel bei Ruhe und der Stoffwechsel bei Muskelarbeit gehen ganz ungeändert weiter, und die in etwas geänderte Athmemechanik wird allgemein auch nicht auf einen direkten Einfluss der Luftverdünnung auf das Nervensystem bezogen.

Ob aber nicht doch die Luftverdünnung einen gewissen Einfluss auf die nervösen Centralorgane der Athmung ausübt, muss immerhin in Betracht gezogen werden. Darauf weist hin die in jedem Versuche vorhandene Zunahme des Athemvolums bei Muskelarbeit, auch da, wo die Athemfrequenz — wie in den Versuchen an A. Loewy — ungeändert bleibt. Man

muss, scheint uns, daran denken, dass auch die fast stets zu beobachtende Erhöhung der Athemgrösse bei Körperruhe neben den geänderten mechanischen Bedingungen, gleichfalls einer Aenderung der vom Centrum ausgehenden Erregung ihre Entstehung verdankt.

Weit hervorstechender ist der Effekt der Höhenluft.

Am bemerkenswerthesten ist, dass durch die Höhenluft der allgemeine Stoffwechsel gesteigert wird, dass man hier in streng wissenschaftlichem Sinne sich der so vielfach, oft mit Unrecht angewendeten Bezeichnung „Anregung des Stoffumsatzes“ bedienen kann.

Bei der Muskelarbeit macht sie sich bei jedem von uns Dreien — freilich in wechselndem Grade — geltend, bei Körperruhe in erheblichem Maasse bei Zuntz und bei J. Loewy, während der Gaswechsel von A. Loewy unbeeinflusst ist.

Es bestehen also bemerkenswerthe individuelle Unterschiede, deren Bedingungen, deren Zusammenhang mit Alter, Temperament u. a. weiter nachzugehen wäre.

Sodann zeigt sich auch die Mechanik der Athmung erheblich geändert; Athemfrequenz und Athemvolum sind weit mehr gesteigert als im pneumatischen Cabinet selbst bei viel niedrigerem Barometerdruck. Die Steigerung wächst mit zunehmender Höhe. Die Wirkung auf das Athemcentrum ist also viel energischer. Wir möchten dabei besonders betonen, was schon die Werthe für die alveolare Sauerstoffspannung ohne weiteres ergeben, dass in keinem Versuche Sauerstoffmangel eine Rolle spielt.

Es ist klar, dass die Reizsumme, die den Organismus im Hochgebirge trifft, speciell die Zahl ungewohnter Reize, die auf den Tiefländer einwirkt, eine vielfältige ist; dennoch scheint es, dass man sich von ihrer Wirksamkeit bisher nur eine unvollkommene Vorstellung gemacht hat, vorzugsweise weil man subjektiv so gut wie nichts, jedenfalls nichts der unmittelbaren Erkenntniss Zugängliches, davon wahrnehmen kann. Dass sie aber auch auf das subjektive Verhalten, wenn auch unbewusst, wirken, dafür scheinen uns unsere Arbeitsversuche im Gebirge einen interessanten Beleg zu bieten. Wir erwähnten schon, dass das Marschtempo in Berlin auf der Tretbahn wie am Monte Rosa ganz in das Belieben des Einzelnen gestellt war, dass speciell der Gang der Tretbahn in Berlin so regulirt wurde, wie es dem Marschirenden am be-

haglichsten war. Wir sehen nun, dass im Gebirge beträchtlich weniger Steigarbeit pro Minute geleistet wurde als in der Tiefe, dass das Schrittempo ein viel langsames war. — Dass darauf der Steigungswinkel keinen Einfluss hat, geht zunächst daraus hervor, dass die Steigung im Gebirge geringer war als die stärkste in Berlin, dass ferner, wie Tab. IX zeigt, die Arbeitsleistung sich bei der verschiedenen Steigung in Berlin nach dem Gefühl des Behagens so regulirt, dass nur Schwankungen in relativ engen Grenzen zu Stande kommen. Die Verminderung der noch ohne Unbehagen ausführbaren Arbeitsleistung, also der Arbeitsfähigkeit ist eine Tatsache, auf die gleichfalls Schumburg und Zuntz gelegentlich ihrer vorjährigen Untersuchungen zuerst hingewiesen haben. Sie betonen dabei direkt, dass diese Herabsetzung der Grenze der Arbeitsfähigkeit mit Sauerstoffmangel nichts zu thun habe.

Wir stellen der leichteren Vergleichung wegen die Durchschnittswerthe für die Minutenarbeit bei stärkster Steigung in Berlin, auf Col d'Olen, an der Capanna Gnifetti auf der folgenden Tabelle zusammen.

Tabelle XXII.

Durchschnittliche Arbeitsleistung pro Minute in Berlin und im Gebirge.

	A. L.	J. L.	L. Z.
Berlin Steigung = ca. 37 %	570 mkg	580 mkg	809 mkg
Col d'Olen Steigung = ca. 30 „	440	504	574 ¹⁾
Cap. Gnifetti Steigung = ca. 35 „	475	559	580

Der Abfall der Arbeitsleistung pro Minute ist bei jedem von uns erheblich, er ist stärker auf Col d'Olen trotz der geringeren Steigung und der geringeren Höhenlage als an der Gnifettihütte, wo er bei J. Loewy den Berliner Werth fast schon erreicht, ja mit der auf der Treibahn geleisteten Arbeit bei geringster Steigung (siehe Tab. IX) vollkommen übereinstimmt: 554,6 gegen 559,83 mkg.

Dieses Verhalten weist nun auf einen weiteren Umstand hin

1) Mittel der drei ersten Steigversuche an Zuntz. Bei den späteren musste wegen der Kürze der Bahn das Tempo absichtlich verlangsamt werden.

der schon aus einigen der vorher mitgetheilten Daten hervorging, der jedoch noch eine ausdrückliche Hervorhebung verdient, das ist die Gewöhnung an die im Hochgebirge wirksamen Reize.

Wenn auch die Zeit, die wir am Monte Rosa zubrachten, zu kurz war, um für diese Frage ausreichendes Material zu liefern, so spricht dafür, dass auch bei uns schon die Gewöhnung sich geltend machte, der Gang der Puls- und Respirationfrequenz, wie er aus Tab. XXI erhellt. Bei A. Loewy ebenso wie bei Zuntz und J. Loewy liegen die stärksten Abweichungen von unseren Normalwerthen am Tage nach der Ankunft auf Col d'Olen, geringer sind sie am Tage nach der Ankunft auf der Hütte, nachdem wir acht Tage auf Col d'Olen geweilt hatten, um sich während des Hüttenaufenthaltes bei Zuntz und A. Loewy progredient zu vermindern und bei letzterem am vierten Tage schon wieder die Normalwerthe zu erreichen. Bei J. Loewy schwanken die Einzelwerthe auf der Hütte zu sehr, als dass dies Verhalten deutlich ausgesprochen wäre.

In demselben Sinne, in dem Sinne einer Gewöhnung an die Höhe, möchten wir auch die vermehrte Arbeitsleistung deuten, die bei A. und J. Loewy auf der Gnifettihütte zu Stande gekommen ist. Die Versuche fanden statt zehn Tage nach dem Aufstieg nach dem Col d'Olen, vier Tage nach der Ankunft auf der Hütte. — Ebenso erklärt sich wohl auch die Thatsache, dass bei Zuntz auf der Hütte der Sauerstoffverbrauch bei Körperruhe, wie pro mkg Arbeit geringer war als auf Col d'Olen, und wir glauben nicht fehl zu gehen, wenn wir annehmen, dass bei längerem Aufenthalt dasselbe bei J. und A. Loewy eingetreten wäre.

Welchem Reize der Hauptantheil an den besprochenen Wirkungen zuzuschreiben ist, muss vorläufig noch dahingestellt bleiben. Die Luftverdünnung ist es jedenfalls nur zu einem geringen Theile, wahrscheinlich sind es, wie Schumburg und Zuntz annehmen, vorwiegend die geänderten Belichtungsverhältnisse, deren Bedeutung ja schon aus einer Reihe speciell diese Frage behandelnder Untersuchungen bekannt ist. Einen Faktor glauben wir ausschliessen oder wenigstens als wenig wirksam hinstellen zu können, ein Faktor, an den man zuerst denken könnte, das ist die niedrige Umgebungstemperatur. Sie kann

in unseren R u h e versuchen, die theils im durchwärmten Bett (auf Col d'Olen), theils im gut geheizten Zimmer und gut bedeckt (auf der Hütte) vorgenommen wurden, gar nicht in Betracht kommen.

In den A r b e i t s versuchen war von subjectivem Kältegefühl keine Rede, zudem war die Lufttemperatur während der Arbeitsversuche auf Col d'Olen höher, auf der Hütte nicht niedriger als bei den im November in Berlin — gleichfalls im Freien — ausgeführten Tretbahnversuchen.

Eine genauere Analysirung des oder der wirksamen Reizmomente wird erst von weiteren Arbeiten zu erhoffen sein.

VI.

Wirkung des Hochgebirges auf das spezifische Gewicht des Blutes und Blutserums und auf das Verhalten der Erythrocyten.

Ueber das Verhalten unseres Blutes beim Uebergang ins Hochgebirge können wir uns kurz fassen, da diese augenblicklich im Vordergrund des Interesses stehende Frage in theoretischer Hinsicht in letzter Zeit vielfach erörtert ist und die gesammte Literatur darüber wiederholt zusammengestellt wurde, und da auch die folgenden, an Zahl nicht geringen Versuche eine befriedigende Klärung nicht bringen können.

Eine grössere Zahl von Versuchen ist zunächst in Berlin ausgeführt worden, dann eine Versuchsreihe an jedem von uns am Tage des Aufenthaltes in Gressoney, dann wieder fast täglich eine oder mehrere Versuchsreihen auf Col d'Olen und der Gnifettihütte. Die Versuche bestanden in Zählung der Körperchen und Dichtebestimmung an Blut und Serum. Im Gebirge kam dazu die Herstellung von Trockenpräparaten nach Ehrlich's Methode.

Die äusseren Bedingungen, unter denen sich vor der Blutentnahme der Untersuchte befand, waren zweimal auf Col d'Olen, häufiger auf der Hütte — absichtlich — ganz von den gewöhnlichen Bedingungen abweichend gestaltet worden, um einen eventuellen Einfluss ungewohnter Reize festzustellen.

Die Körperchenzählung wurde in allen Versuchen von Zuntz vorgenommen, wodurch eine Gewähr für die Vergleichbarkeit der Resultate gegeben ist, die Bestimmung der Dichte von Blut und Serum theils von Zuntz, theils von A. L o e w y. Wir bedienten uns der H a m m e r s c h l a g'schen Methode, brachten in

Tabelle XXIII.
Blutuntersuchungen an A. Loewy.

Datum	Ort	Zahl d. Erythrocyten	Blutdichte	Serumdichte	Bemerkungen
20./5. 96 a	Berlin	5,052000	1059,7		nach 2 stündigem Aufenthalt in verdünnter Luft bei hoher Temperatur.
b	"	4,570000	1055,7		
25./6. a	"	4,710000	1054,5	1024,5	nach 2 stündigem Aufenthalt in verdünnter Luft. kühles Wetter.
b	"		1053,5	1023,4	
6./7.	"		1052,5	1024,4	schwüles Wetter.
8./7.	"	5,552000	1057,3	1026,1	
	Mittel	4,944000	1055,1	1029,2	
9./8.	Gressoney la Trinité	4,452000	1056,0	1025,9	nach Frühstück; kühl, regnerisch. Aufenthalt im Zimmer.
10./8.	Col d'Olen	4,492000	1053,0	1020,1	Tagsüber im Zimmer gewesen.
11./8.	"	4,864000	1054,3	1020,3	Tagsüber fast dauernd im Zimmer bei 16—17,5° gewesen.
13./8.	"	4,908000	1050,3	1023,7	nach 2 1/2 stündig. Aufenthalt in Sonne.
14./8.	"	4,792000	1053,7	1021,3	nach 2 stündig. Aufenthalt in Sonne. Infolge Windes subjektives Kaltegefühl.
14./8.	"	4,440000	1055,7	1024,8	seit 3 St im Zimmer von 19—22°; trübes dunkles Wetter, subj. Wärmegefühl an Ohren.
15./8.	"	3,184000	1052,6	1026,5	nach 1 1/2 stündig. Aufenthalt im Freien bei dichtem Nebel; subj. allgemeines Kaltegefühl.
15./8.	"	4,192000	1049,3		seit 3 St. im warmen Zimmer; zuletzt bei 22° C. Wärmegefühl an den Ohren.
	Mittel	4,658000	1051,5	1022,8	

Nach Fortlassung d. Werthe v. 13./8. u. 14./8. 1022,6

Datum	Ort	Zahl d. Erythrocyten	Blutdichte	Serumdichte	Bemerkungen
16./8.	Capanna Gnifetti	4,620000	1055,7	1021,4	1/2 stündiger Aufenthalt in greller Sonne über dem Gletscher. Subj. Kältegefühl — T. = 6,1° C.
18./8.	"	4,640000	1056,2	1019,5	nach 20 Min. Aufenthalt in unbesontem Zimmer bei 4,5°. Subj. Kältegefühl.
"	"	5,008000	1054,2		40 Min. Aufenthalt in Sonne; kein Kältegefühl. Aufenthalt im Schatten, bei 2° gegenüber besontem, nicht mehr blendendem Gletscher.
19./8.	"	4,064000	1056,5		Unmittelbar nach Verlassen des Lagers; Zimmer verhältnismässig dunkel. Behagliches Allgemeinbefinden.
"	"	6,468000	1058,0	1021,5	nach 2 1/2 stündigem Aufenthalt auf Gletscher in greller Sonne.
"	"	6,072000	1055,5		nach 1/2 stündigem Aufenthalt in vollkommen dunklem Zimmer.
20./8.	"	7,368000	1059,5	1022,2	früh beim Aufstehen. Wärmegefühl.
"	"	6,220000	1059,1	1021,0	nach 2 1/2 stündigem Aufenthalt in mässig hellem Zimmer. Kältegefühl an Füssen. Zimmertemp. 15° C.
"	"	7,484000	1060,6	1023,9	nach 3/4 stündig. Aufenthalt in mässig hellem Zimmer bei 2,5—3,0° C. Ziemlich erhebliches Kältegefühl. Bei flachem Schnitt kein Blut.
21./8.	"	5,196000	1051,4		Reichlich bei Vertiefung desselben.
"	"	5,000000	1058,7		2 1/2 stündiger Aufenthalt in heissem Zimmer. Starkes subj. Hitzegefühl.
"	"		1059,7		nach 1/2 stündig. Aufenthalt in durch Schneereflection hellem Zimmer von 7°. Gefühl von Kühle.
	Mittel			1021,6	nach 20 Min. Aufenthalt in Hemdsärmeln im Zimmer von 5,1° starkes Kältegefühl.

einer Chloroform-Benzolmischung den Blut- resp. Serumdropsen zum Schweben und ermittelten das spezifische Gewicht der Mischung durch die Mohr'sche Waage. Ueber die Fehlerquellen dieser Methode hat der eine von uns — Z. — Untersuchungen angestellt. S. d. folg. Aufsatz. Die Ergebnisse derselben wurden selbstverständlich berücksichtigt.

Die Temperatur der Chloroform-Benzolmischung wurde jedesmal an dem Thermometer des Senkkörpers abgelesen und die gefundenen Dichtewerthe — unter der Annahme, dass Blut und Serum denselben Ausdehnungscoefficienten haben, wie Wasser — auf 15° reducirt.

Wir wenden uns zunächst zur Betrachtung der Serumdichte in den an A. Loewy angestellten Versuchen.

Von den fünf aufgeführten Werthen für Berlin liegen drei in fast gleicher Höhe, zwei weichen erheblicher nach oben ab. Bei der Verschiedenheit der meteorologischen Verhältnisse an den einzelnen Versuchstagen und den Differenzen in den jeweiligen Ernährungsverhältnissen, wodurch die vorhandenen Schwankungen theilweise erklärt werden könnten, erscheint es richtig, nicht die einzelnen Werthe in Betracht zu ziehen, sondern sie zu einem Mittel zu vereinigen. Wir erhalten so eine Durchschnittsdichte von $1025,9$. — Ihr gegenüber ist im Gebirge die Serumdichte in den ersten Tagen auf Gressoney und Col d'Olen erniedrigt, um nachher wieder etwas anzusteigen. Im Mittel der ersten Woche des Gebirgsaufenthaltes (ein Tag 1632 m, 6 Tage 2840 m) ist sie $1022,8$. Mit Ausnahme von zweien sind alle Werthe insofern gut vergleichbar, als sie unter denselben klimatischen Bedingungen gewonnen sind. Die Proben wurden nach dauerndem Aufenthalt im Zimmer, dessen Temperatur nur in engen Grenzen schwankte, entnommen. Lassen wir die beiden Werthe vom 13. und 14. August (erster Werth) aus der Berechnung fort, da, wie aus den Bemerkungen zur Tabelle hervorgeht, hier abweichende äussere Bedingungen vorliegen, so bleibt das Mittel fast genau das Gleiche, nämlich $1022,6$.

Auch unter den mit Absicht sehr wechselnden Versuchsbedingungen auf der Hütte sehen wir kein Schwanken der Serumdichte in erheblicheren Grenzen. Auch hier sind die Werthe in den ersten Tagen auffallend niedrig, später heben sie sich. Das Mittel ist noch etwas niedriger als auf Col d'Olen: $1021,6$.

Soviel geht jedenfalls aus den Versuchen hervor, dass eine Eindickung des Blutes, wie sie Grawitz besonders urgirt, bei A. Loewy nicht eingetreten ist.

Gesammtblutdichte und Erythrocytenzahl. Bei der Abhängigkeit, in der die Dichte des Gesamtblutes von der Körperchenzahl in der Volumeinheit steht, müssten beide einander parallel gehen und so die Ergebnisse beider einander controlliren können. Im grossen Ganzen ist dieser Parallelismus in den vorstehenden Versuchen vorhanden, wenn auch natürlich im Einzelnen Abweichungen da sind, die in der mangelnden Exactheit beider Methoden begründet sind.

Es ist selbstverständlich, dass bei den nicht gleichen Bedingungen, unter denen die Proben in Berlin entnommen sind, erhebliche Schwankungen zur Beobachtung kommen. Das Maximum der Körperchenzahl ist: 5,552000, das Minimum: 4,570000; das Mittel: 4,944000, wobei ich den Werth vom 20. Juni nach zwei-stündigem Aufenthalt im pneumatischen Cabinet ausser Berechnung gelassen habe.

Das specifische Gewicht der bei gewöhnlichem Luftdruck vorgenommenen 5 Bestimmungen schwankt zwischen 1059,7 und 1053,5 und ist im Mittel: 1056,0.

Während der ersten sechs Tage des Aufenthaltes im Gebirge schwankt die Erythrocytenzahl unter den gleichmässigen Versuchs-Bedingungen am 9./8., 10./8., 11./8. und 14./8. zweite Probe nur wenig. Auch der Reiz, der durch längeren Aufenthalt in der Sonne gegeben war, hat nur eine geringe Aenderung der Zahl, und zwar eine Steigerung, herbeigeführt.

Im allgemeinen ist in diesen ersten Tagen eine Abnahme der Zahl der Körperchen zu bemerken, kein Werth erreicht 5 Millionen, das Minimum ist 4,440000, das Mittel: 4,658000. Das Mittel aus der Blutdichte dieser Tage ist 1052,8, gleichfalls niedriger als das in Berlin gefundene.

Gesondert betrachtet müssen die Werthe vom 15. August werden. Der erste Werth, nach $1\frac{1}{2}$ -stündigem Aufenthalt im Freien genommen, bezeichnet den Effect starker Abkühlung mit allgemeinem, erheblichen Kältegefühl. Die Zahl sank auf 3,184000, die Dichte auf 1050,0; nach längerem Aufenthalt im warmen Zimmer steigt die Körperchenzahl wieder um eine Million, auf 4,192000.

Das Sinken der Blutkörperchenmenge bei Abkühlung könnte auffällig erscheinen im Hinblick auf die Ergebnisse, die der Eine von uns¹⁾ wie eine Reihe anderer Autoren über den Einfluss verschiedener Aussentemperaturen auf die Blutzusammensetzung erhalten haben. Die Versuche von A. Loewy waren an Kaninchen unternommen, denen die Blutproben aus den grösseren Ohrgefässen entnommen wurden, und zeigten, dass bei Abkühlung die Zahl der Zellen zunimmt, das spezifische Gewicht steigt; umgekehrt beide in der Wärme sinken. Das Resultat war also das entgegengesetzte. Die Erklärung liegt in der Verschiedenheit der Blutentnahme. In den eben genannten Versuchen am Thiere muss bei Abkühlung eine Vermehrung der Zahl eintreten, da in den grossen Gefässstämmen sich die Elemente sammeln, die aus den infolge der Kälte sich verengernden Capillaren verdrängt werden. Benutzt man jedoch zur Untersuchung Capillarblut selbst, wie wir es in unseren Gebirgsversuchen aus den Ohrläppchen gewannen, so wird dies natürlich sich ärmer an Körperchen, reicher an Plasma erweisen, wie es der Versuch vom 15. August ergibt.

Nun kann aber der Fall eintreten, dass die Capillaren sich ad maximum contrahiren, ihr Lumen bis zu vollkommenem Verschluss verengt wird und kein Blut bei dem gewöhnlichen Schnitt in die Haut erhalten wird. Vertieft man nun den Schnitt bis ins subcutane Gewebe, so trifft man auf offene grössere Gefässstämme, die sich wie die grossen Gefässe überhaupt verhalten d. h. an Blutzellen reicher als normal sind. Auch dieser zweite Fall ist uns wiederholt begegnet nach den intensiveren Kältereizen an der Capanna Gnifetti (man vergleiche z. B. Tab. XXIII Vers. 3 vom 20. August).

So kann es kommen, dass derselbe Reiz scheinbar zwei sich entgegengesetzt verhaltende Wirkungen hat.

Die Resultate, die man in Versuchen am Menschen erhält, bedürfen demnach besonders sorgfältiger Kritik, und man kann die am Circulationsapparat sich abspielenden Vorgänge nur mit Vorsicht deuten.

Die weiteren Blutuntersuchungen an der Capanna Gnifetti geben mehr einen Beitrag zu den gewaltigen Wirkungen, die Ver-

1) A. Loewy, Ueber Veränderungen des Blutes durch thermische Einflüsse. Berl. klin. Wochenschr. 41. 1896.

Tabelle XXIV. Blutuntersuchungen von J. Loewy.

Datum	Ort	Zahl d. Erythrocyten	Blutdichte	Serumdichte	Bemerkungen
14./7. 96	Berlin	5,227720	1057,7	1029,4	ziemlich heisses Wetter.
17./7.	"	—	—	1027,0	
30./7.	"	4,550480	1055,3	1025,3	ziemlich kühl und regnerisch.
8./8.	Mittel	4,889100	1056,5	1027,2	
10./8.	Gressoney	5,440000	1053,0	1019,8	
11./8.	Col. d'Olten	—	1053,5	1024,0	
13./8.	"	5,100000	1053,8	1023,4	Aufenthalt im Zimmer bei 16—17,5°.
14./8.	"	5,192000	1056,0	1022,5	Blutentnahme unmittelbar nach 2 1/2 stündigem Aufenthalt im Freien, meist Sonne (kaum geschwitzt);
15./8.	"	5,016000	1053,8	1022,5	Nach 2 stündig. Aufenthalt in Sonne. Subj. Kältegefühl infolge Windes.
	"	4,450000	1053,5	—	nach 1 1/2 stündig. Aufenthalt im Freien bei dichten Nebel; Kältegefühl an den Ohren.
17./8.	Mittel	5,644000	1054,0	1022,4	
18./8.	Capanna Gniffetti	4,708000	1057,1	1021,9	nach 20 Min. langem Aufenthalt in greller Sonne oberhalb des Gletschers. Kältegefühl an den nicht von der Sonne getroffenen Theilen.
18./8.	"	4,800000	1057,1	—	40 Min. in kaltem, nicht besonntem Zimmer gewesen.
20./8.	"	5,632000	1056,2	1021,6	2 1/2 Min. in Sonne gewesen. Kein besonderes Kälte- oder Wärmegefühl.
20./8.	"	5,700000	1061,0	—	2 1/2 stündig. Aufenthalt in mässig hellem Zimmer bei zuletzt 17°.
21./8.	"	7,660000	1062,6	—	1 1/2 Stunde im Zimmer von 2 1/2°, mässig dunkel.
	"	—	—	—	nach 2 stündig. Aufenthalt im warmen Zimmer, zuletzt nahe am heissen Ofen; subj. Hitzegefühl besonders am Ohr.
21./8.	"	5,556000	1060,9	—	nach 1 stündig. Aufenthalt im Zimmer von 7°. Gefühl von Kühle.
21./8.	"	6,324000	1062,0	—	nach 20 Minuten langem Aufenthalt in Hemdärmeln im Zimmer 8,0°. Subj. Kältegefühl.
21./8.	Mittel	5,144000	1060,5	1021,5	1/2 stündig. Aufenthalt im Zimmer von 8° in Hemdärmeln. — Kältegefühl.

schiedenheiten der Belichtung und der Aussentemperatur auf die Blutvertheilung haben, als dass sie klar über den Einfluss des längeren Aufenthaltes im Hochgebirge uns Aufschluss geben. — Wir wollen auf Einzelheiten nicht näher eingehen, sondern nur auf den Versuch vom 20. August hinweisen, aus dem die Wirkung geringerer und erheblicher Kälte ersichtlich ist.

An J. L o e w y sind relativ wenig Versuche angestellt worden, und diese auf Col d'Olen sowohl wie auf der Hütte unter sehr wechselnden Bedingungen. Trotzdem sind die Schwankungen in der Zahl der Zellen wie im specifischen Gewicht des Blutes verhältnissmässig geringe, J. L o e w y hat weit weniger auf die äusseren Reize reagirt als A. L o e w y. — Auch bei ihm ist in der ersten Aufenthaltswoche im Gebirge eher eine A b n a h m e als eine Steigerung der Zahl der Erythrocyten und der Blutdichte zu constatiren, auf der Hütte allerdings scheint sich eine Steigerung beider anzubahnen.

Auch bei J. L o e w y zeigt sich eine entschiedene Abnahme der Serumdichte in der Höhe.

Die Versuche an Z u n t z lassen die Wirkung der Höhe wieder klarer erkennen.

Beginnen wir auch hier mit dem specifischen Gewicht des S e r u m s, so stellt sich für Berlin dessen Mittelwerth aus zehn Versuchen auf 1025,4. Aus drei Bestimmungen in Gressoney bezw. auf Col d'Olen an Tagen, in denen das Zimmer nicht verlassen wurde, berechnet er sich auf 1021,8. Nach langem Aufenthalt in der Sonne ist die Serumdichte annähernd unverändert, nämlich: 1022,2. Endlich auf der Guifettihütte geht sie bis 1021,7 herunter.

Es zeigt sich bei Z u n t z dasselbe, wie bei den Vorgenannten: eine entschiedene Verdünnung des S e r u m s.

Die Zahl der Blutzellen ist in Berlin im Mittel aus elf Bestimmungen: 6,025000; die Blutdichte auf Grund von zwölf Bestimmungen: 1058,6.

Deutlich ist nun die Abnahme der Blutzellen in Gressoney und auf Col d'Olen; ihr Mittelwerth ist — ausgeschlossen der Werth, der durch den langen Aufenthalt in der Sonne beeinflusst ist — : 5,290500. Auch das specifische Gewicht ist im Durchschnitt geringer als in Berlin, nämlich 1054,6.

Tabelle XXV. Blutuntersuchungen an Leo Zuntz.

Datum	Ort	Zahl d. Erythrocyten	Blutdichte	Serumdichte	Bemerkungen
13./6. 96	Berlin	6,063000	1061,6	1026,8	3 Stunden nach erstem Frühstück = 2 Tassen Thee. Brot. — Starke Hitze zuvor geschwitzt.
15./6.	"	4,442500	1056,9	1026,8	2 Stunden zuvor ein Glas Bier. Hitze, nicht sehr geschwitzt.
16./6. a	"	1059,6	1024,5	1024,5	starke Hitze. Seit 6 Stunden nichts getrunken.
b	"	1060,1	1022,5	1022,5	zuvor in verdünnter Luft gewesen bei —300 mm. Stark geschwitzt.
18./6. a	"	5,512000	1056,9	1024,0	5 Stunden nach Frühstück.
b	"	5,424000	1058,5	—	zuvor im pneumat. Cabinet gewesen bei —300 mm; stark geschwitzt, 2 Glas Wasser.
22./6.	"	6,536000	1059,5	—	2 1/2 Stunden nach Frühstück.
25./6.	"	5,260000	1057,6	1025,0	1 1/2 Stunden nach mässig starkem Mittagessen.
1./7.	"	5,477000	1056,3	1027,0	2 Stunden nach Essen.
9./7.	"	5,940000	—	—	3/4 Stunden nach Essen. Heiss u. schwül; etwas geschwitzt.
11./7.	"	6,576000	1057,5	1025,2	1 1/2 Stunden nach Essen; nicht sehr schwül.
13./7.	"	7,692000	1059,5	1025,9	1 Stunde nach Essen; kühleres Wetter.
14./7.	"	7,350400	1061,4	1026,1	direkt nach dem Essen, vorher viel getrunken; sehr schwül.
20/7.	"	6,025000	1058,6	1025,4	—
8./8.	Gressoney la Trinité	5,036000	1056,0	1022,6	nach dem Frühstücke.
10./8.	Col d'Olen	5,172000	1053,0	1019,5	im Zimmer.
11./8.	"	5,664000	1055,0	1023,4	im warmen Zimmer.
	Mittel	5,290500	1054,6	1021,8.	—
13./8.	Col d'Olen	6,060000	1057,6	1022,2	2 1/2 Stunden in Sonne gewesen.
15./8.	"	1056,4	1022,2	1022,2	subj. Kältegefühl an Händen und Ohren. nach Befruhe.
20./8.	Capanna Gnifetti	1060,5	1022,2	1022,2	1/2 St. bei 2,40 im Zimmer aufgehalten. Kälte nur an den Füßen. Schnitt tief.
20./8.	"	6,654000	1060,2	1021,2	beaglich warm; Hitze an den Ohren.
20./8.	"	6,184000	1061,9	—	behagliches Wärmegefühl nach 1 1/2 stündigen Aufenthalt in mässig hellem Zimmer bei 15—20°.
21./8.	"	7,784000	1062,5	—	1 stündig. Aufenthalt bei 7,5° im hellen Zimmer. Kältegefühl an Händen und Füßen; trotz tiefem Schnitt kommt Blut anfangs nicht, nachher reichlich.
20/8.	Mittel	—	—	1021,7	—

Der Aufenthalt in der Sonne hat ein Steigen der Zahl der Zellen und damit der Dichte bewirkt.

Weiter aber tritt bei Zuntz eine sichere Wiedernahme der körperlichen Blutelemente bei längerem Aufenthalte in der Höhe hervor. Man vergleiche den Werth vom 20. August und den ersten vom 21. August, beide nach Aufenthalt in mitteltemperirtem Zimmer genommen, mit den auf Col d'Olen.

Schliesslich weisen wir noch auf den zweiten Versuch vom 21. August hin und auf die in der Tabelle enthaltenen Bemerkungen dazu. Er ist ein weiteres Beispiel für die auch am Menschen zu beobachtende Steigerung der Zahl der Blutzellen auf Kältereiz.

An sechs Tagen, nämlich am Tage nach der Ankunft auf Col d'Olen, an zwei weiteren Tagen daselbst und an drei Tagen auf der Hütte hat J. Loewy von jedem von uns eine Anzahl Trockenpräparate angefertigt, deren genauere Durchmusterung Herr College A. Lazarus freundlichst übernahm. Sie wurden in Berlin nach Ehrlich's Vorschrift fixirt und theils mit Triacid, theils nach Chenzinski-Plehn gefärbt.

Es fand sich keine Poikilocytose, Mikrocyten oder kernhaltige rothe Zellen waren nicht zu finden, es war mit einem Worte das histologische Verhalten der Erythrocyten ein ganz normales. Nichts deutete auf Neubildungsvorgänge an denselben hin.

Fassen wir noch einmal die Thatsachen, die unsere Blutuntersuchungen ergeben haben, zusammen, so wäre zu sagen, dass eine Wasserverarmung während des 14tägigen Aufenthaltes bei keinem von uns eingetreten ist, eher das Gegentheil aus den Versuchsdaten geschlossen werden muss. — Die Zahl der Blutzellen zeigte während der ersten Aufenthaltswoche ein Sinken, in der zweiten Woche theilweise ein Wiederaansteigen, ohne jedoch deutlich die in Berlin gefundenen Werthe zu überschreiten. Dass diese Aenderungen der Blutzellenzahl in der Volumeinheit durch absolute Aenderungen ihrer Menge zu Stande gekommen sind, ist durch nichts erwiesen. Dass eine geänderte Vertheilung im Gefässsystem an dem Ergebniss theilhaftig ist, dafür scheinen uns die erheblichen Schwankungen zu sprechen, die man willkürlich durch lange

dauernde und intensive Einwirkung verschiedener meteorologischer Factoren des Hochgebirges erzeugen kann.

Wir müssen die Aenderungen des Blutes im Hochgebirge auffassen als bedingt durch ungewohnte, der Höhenluft zukommende Reize. Der Effect dieser Reize wird — wie dies S c h u m b u r g und Z u n t z schon ausführen — je nach ihrer Stärke und nach der Erregbarkeit des betroffenen Individuums verschieden sein müssen. Wir werden deshalb nicht erwarten können, dass die eintretenden Veränderungen etwa nur eine Function der Höhe sind, unabhängig von der geographischen Breite des Höhenortes, von localen Verhältnissen, von der Jahreszeit. Ja, selbst alle diese Factoren gleich gesetzt, werden doch individuelle Unterschiede in der Wirkung anzutreffen sein. Die an uns gewonnenen Resultate weichen zwar, was das Verhalten der Körperchenzahl und der Blutdichte anlangt, von den von der Mehrzahl der Untersucher erhaltenen ab, mit den S c h u m b u r g - Z u n t z 'schen sind sie dagegen in Uebereinstimmung — sie beweisen jedenfalls, dass das Höhenklima Einfluss hat auf die Blutverhältnisse.

Die in der vorliegenden Arbeit mitgetheilten Untersuchungen haben, so gross auch die Zahl der in ihnen enthaltenen Einzelversuche ist, die mannigfachen noch ungelösten Fragen nur wenig fördern können. Am erwähnenswerthesten ist die durch sie bewiesene Differenz zwischen „verdünnter Luft“ und „Höhenluft“ und die durch sie bestätigte Möglichkeit einer wirklichen „Anregung des Stoffwechsels“ in der Höhe.
