

Untersuchungen über die Respiration und den Gesamtstoffwechsel des Menschen.^{1 2}

Von

Klas Sondén und Robert Tigerstedt.

(Aus dem physiologischen Laboratorium des Carolinischen medico-chirurgischen
Instituts in Stockholm.)

(Hierzu Taf. I—V.)

Erster Abschnitt.

Ein neuer Respirationsapparat für Respirationsversuche am Menschen.

§ 1. Geschichtliche Einleitung.

Unseres Wissens war Lavoisier der erste, der quantitative Untersuchungen über die Kohlensäure-Abgabe und die Sauerstoff-Aufnahme des Menschen ausführte. Am 13. November 1789 theilte er der Académie des sciences in Paris die Resultate dieser im Verein mit Séguin ausgeführten Versuche mit. In der betreffenden Abhandlung kommt jedoch keine Beschreibung der hierbei benutzten Versuchsmethoden vor. Diese Beschreibung sollte in einer späteren Abhandlung folgen,³ welche jedoch niemals erschien, indem sowohl die Untersuchungen über die Respiration wie so viele andere von Lavoisier geplante Arbeiten während der französischen Revolution wegen anderer, mehr dringender Aufgaben bei Seite geschoben werden mussten. Und als dann die Schreckensregierung eintrat, wurde Lavoisier's glänzende wissen-

¹ Der Redaction zugegangen den 9. März 1895.

² Theilweise mit Unterstützung des Elizabeth Thompson Science Fund in Boston ausgeführt.

³ Lavoisier, *Oeuvres*. Bd. II, S. 695.

schaftliche Laufbahn durch seinen Märtyrertod auf dem Schafott am 8. Mai 1794 beendet.

In einer von Séguin veröffentlichten Abhandlung „Sur la salubrité et l'insalubrité de l'air atmosphérique, dans ses divers degrés de pureté“ hat dieser Autor über die bei den eben erwähnten Versuchen benutzte instrumentale Anordnung die folgende kurze Beschreibung gegeben:

„Je remplissais une grande cloche d'air atmosphérique; je me faisais ajuster la tête de cuivre; l'on me la collait sur le col avec de la poix, qu'on recouvrait de bandes de papier et de linge; je vissais sur l'ouverture de la calotte antérieure le tube communiquant avec la cloche, et, par ce moyen, je respirais l'air qui était à sa partie supérieure, et je faisais mon expiration à travers l'alcali caustique. — Et l'on faisait passer dans la cloche, au fur et mesure que son volume d'air diminuait, des portions d'un semblable mélange, suffisantes pour entretenir toujours le même niveau.“¹

In seiner Biographie Lavoisier's hat Grimaux Facsimiles nach zwei Lavirungen von der Gattin Lavoisier's mitgeteilt, in welchen sie Skizzen von dem Arbeitszimmer Lavoisier's bei den Versuchen über das Athmen des Menschen in Ruhe und bei Arbeit gezeichnet hat.² Diese Zeichnungen stimmen mit der Beschreibung Séguin's vollständig überein, geben aber keine Kenntniss von den Einzelheiten der Versuchsanordnung, z. B. von der Art und Weise, in welcher die eingeathmete Luft von der ausgeathmeten getrennt wurde. Unsere Kenntniss von der Anordnung dieser so merkwürdigen und in des Wortes vollster Bedeutung bahnbrechenden Versuche ist also in hohem Grade unbefriedigend.

Nach Lavoisier wurde lange und noch in unseren Tagen die Methode angewandt, die Luft unter Anwendung einer Maske von dem Versuchszimmer oder aus einem Behälter einzuathmen und in einen anderen Behälter, wo sie dann analysirt werden konnte, auszuathmen. Hierbei trennte man die eingeathmete und die ausgeathmete Luft anfangs mittels Hähne, welche von der Versuchsperson selbst umgestellt wurden. Dies war bei den Versuchen von Murray,³ Allen und Pepys⁴ der Fall. Später wurden zu diesem Zwecke selbstthätige Ventile eingeführt. Die früheste Angabe über die Anwendung solcher

¹ Séguin, *Annales de Chimie*. LXXXIX, S. 261 bis 262. 1814.

² Grimaux, *Lavoisier 1743—1794*. Paris 1888. S. 118, 128.

³ Murray, *Records of the medical society of Edinburgh 1798*; Cit. nach Murray, *A system of chemistry*, third edition. Bd. IV, S. 493. 1812.

⁴ Allen und Pepys, *Philosophical transactions*. 1808. S. 250 fig.

Ventile, um die ein- und die ausgeathmete Luft zu trennen, haben wir bei Andral und Gavarret¹ gefunden.

Endlich hat man statt einer vor dem Gesicht placirten Maske eine zwischen die Lippen und die Zahnreihen gestellte und mit einer Röhre versehene Kautschukplatte benutzt, welche viel sicherer als die Maske, ja sogar absolut sicher einen luftdichten Verschluss des Mundes von der umgebenden Luft bewirkt. Dieses Mundstück ist von Denayrouse² construirt und scheint von den Tauchern lange benutzt worden zu sein, bevor es eine Verwendung innerhalb der physiologischen Technik fand.

Ueber die zahlreichen Modificationen der Methode, unter der Anwendung einer Maske oder eines Mundstückes die Respirationsproducte aufzusammeln, zu berichten, liegt ausserhalb des Rahmens dieser Arbeit.

Uebrigens leidet diese Methode, wie sinnreich sie auch entwickelt werden mag, jedenfalls unter dem bedeutenden Fehler, dass die Versuchsperson in einem höheren oder geringeren Grade unter abnormen Bedingungen athmen muss — wenigstens bis sie sich an den Apparat gewöhnt hat.³ Auch finden wir, dass bei den allermeisten in dieser

¹ Andral und Gavarret, *Annales de chimie et de physique*. 3. série. Bd. VIII, S. 190 fig. 1843.

² Vgl. Regnard, *Recherches expérimentales sur les variations pathologiques des combustions respiratoires*. Paris 1879. S. 285, 286.

³ Vgl. Speck, *Physiologie des menschlichen Athmens nach eigenen Untersuchungen dargestellt*. Leipzig 1892. S. 215:

„Meinen Bestrebungen, Normalzahlen für den Athemprocess anderer Personen festzustellen, bereitete die Ungeschicklichkeit, mit der die meisten Menschen sich bei allen Dingen, die das Athmen betreffen, benehmen, nicht geringe Schwierigkeit. Schon die Aufmerksamkeit, die auf die Athemthätigkeit gelenkt wird, und mehr noch der blosser Gedanke an die Möglichkeit einer Störung oder Beschränkung des Athmens rufen eine Hast und Uebereilung hervor, die unnatürlich ist, sobald die Versuchspersonen in den Apparat athmen, selbst dann, wenn sie vorher belehrt und aufmerksam gemacht wurden.“

Auch Katzenstein, der mit den Methoden von Zuntz gearbeitet hat, äussert sich in derselben Richtung: „Trotz aller Sorgfalt durfte die Application der Mundstücke und die Athmung durch die Gasuhr in etwas eine Belästigung und damit ein kleines Plus an Arbeit hervorrufen.“ *Arch. f. d. ges. Physiol.* Bd. II, S. 380. 1891.

In der letzten Zeit hat sich Hoppe-Seyler über das Athmen durch eine Maske folgendermaassen ausgesprochen: „Mag auch die Anfügung des Mundstückes am Munde völlig luftdicht, der Druck, unter welchem die Ventile sich öffnen und schliessen, und der Druck, welcher zur Drehung der Gasuhr und der Transmission, die ihr angefügt ist, erfordert wird, noch so klein sein, das Athmen mit solchen complicirten Apparaten ist kein freies Athmen; alle hier und da unvermeidlich eintretenden Aenderungen im Respirationstypus, wie Räuspern

Weise ausgeführten Untersuchungen die Versuchsperson nur eine verhältnissmässig kurze Zeit ($\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ Stunde, zuweilen auch etwas länger) ohne Unterbrechung durch die Maske geathmet hat. Nur Smith¹ hat den heroischen Versuch gemacht, 18 Stunden mit alleiniger Unterbrechung für die Mahlzeiten durch eine Maske zu athmen.

Wenn es gilt, die Kohlensäureabgabe des Menschen quantitativ zu bestimmen, ist es jedoch ohne lange Erörterungen klar, dass nur in seltenen Ausnahmefällen Werthe, welche bei Versuchen von $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ Stunden Dauer erhalten werden — auch wenn diese Versuche im Verlauf des Tages in kürzeren oder längeren Intervallen wiederholt werden — maassgebend sein können, und dass die bei derartigen Versuchen erhaltenen Ergebnisse auch wegen der abnormen Bedingungen der Athmung mit einer gewissen Vorsicht benutzt werden müssen. Damit die Bestimmungen der Kohlensäureabgabe und der Sauerstoffaufnahme vollständig befriedigend sein sollen, scheint es nothwendig zu sein, dass die Grösse des respiratorischen Gaswechsels gemessen wird, ohne dass die normale Athmung der Versuchsperson dabei in irgend einer Weise verändert oder gehindert wird.

Scharling war der erste, welcher nach diesem Principe Versuche am Menschen anstellte. Er schloss seine Versuchsperson in einen sorgfältig abgeschlossenen Kasten von etwa 1^{km} Inhalt ein, ventilirte den Kasten mittels einer Luftpumpe oder eines Aspirators und resorbirte die abgegebene Kohlensäure dadurch, dass die totale Luftmenge durch Kalilauge geleitet wurde; die gleichzeitig in den Kasten einströmende Luftmenge wurde durch Kalilauge von ihrer Kohlensäure befreit. Die vor dem Beginn des Versuches und nach dem Schluss desselben im Kasten befindliche Kohlensäure wurde besonders bestimmt.²

So vortrefflich die Versuchsanordnung Scharling's ihrem Principe nach auch war, litt sie jedoch unter zwei bedenklichen Fehlern. Theils ist es nicht sicher, dass die gesammte, in der ausströmenden Luft befindliche Kohlensäuremenge von der Kalilauge thatsächlich absorbirt wurde — wodurch also ein Verlust an Kohlensäure möglicherweise entstanden

und dergl., müssen fühlbare Widerstände überwinden, das Athmen durch Mundstück ermüdet an sich schon bald die Versuchsperson, und es wird wohl von keiner Seite bestritten werden, dass das Athmen durch diesen Apparat nur auf kurze Zeit ohne starke Ermüdung ertragen werden kann. Lediglich ganz zuverlässige und geübte Versuchspersonen können überhaupt für diese Untersuchungen verwendet werden. Längere Zeit fortgesetzte Versuche sind damit nicht ausführbar.“ *Zeitschr. f. physiol. Chemie.* Bd. XIX, S. 578, 579. 1894.

¹ Smith, *Philosophical transactions.* Bd. CIXL, 2, S. 690. 1859.

² Scharling, *Ann. d. Chemie u. Pharmacie.* XLV, S. 218 fig. 1843.

ist — theils war der von ihm benutzte Kasten so klein, dass jeder Versuch nur eine kurze Zeit dauern konnte. Die Versuchsdauer war daher bei Scharling in der Regel nur 1 Stunde; in einigen Fällen länger, sehr oft aber nur 30 bis 45 Minuten.

Erst durch Pettenkofer wurde das Postulat erfüllt, einen für den Menschen geeigneten Respirationsapparat zu erhalten, durch welchen die während 24 Stunden abgegebene Kohlensäuremenge direct und ohne Störung der normalen Athmung bestimmt werden konnte. Dieser Apparat, dessen Kosten vom König Max II. von Bayern bestritten wurden, besteht, wie bekannt, aus einer Respirationskammer von 12.7^{km} Inhalt, in welcher durch Luftpumpen ein ununterbrochener Luftwechsel stattfindet. Sowohl von der einströmenden als von der ausströmenden Luft wird eine Generalprobe zur Analyse genommen, indem vom Beginn bis zum Schluss des Versuches ein immer gleich grosser Bruchtheil der gesammten ein- bzw. ausströmenden Luft durch Apparate zur Absorption der Kohlensäure und des Wassers geleitet wird.¹

Pettenkofer's Apparat ist bei mehreren, ausserordentlich bedeutungsvollen Untersuchungen über die Respiration und den Stoffwechsel des Menschen benutzt worden, und derartige Apparate sind an mehreren Orten für Untersuchungen über den Stoffwechsel unserer Haussäugethiere eingerichtet worden. Dagegen hat man unseres Wissens weder in einem anderen physiologischen Laboratorium, mit Ausnahme desjenigen in Turin,² noch bei einer klinischen Anstalt einen derartigen Apparat gebaut.

Um jedoch den respiratorischen Gaswechsel an kranken Menschen bestimmen zu können, ohne eine Respirationsmaske oder ein Mundstück zu benutzen, construirte Liebermeister einen Respirationsapparat, welcher für geringe Kosten ausgeführt werden konnte.

Die Respirationskammer besteht hier aus einem Kasten aus Zinkblech von 1188 Liter Inhalt. Dieser Kasten ist nach unten offen und wird in eine mit Kochsalzlösung gefüllte Rinne gestellt, wodurch die im Kasten befindliche Luft von der umgebenden Luft abgeschlossen wird. Die Versuchsperson kann in dieser Kammer liegen und sitzen. Der Luftwechsel wird durch ein Wassertrommelgebläse besorgt. Die

¹ Pettenkofer, *Ann. d. Chemie u. Pharmacie.* II. Suppl.-Band, S. 1 bis 52. 1863.

² Vgl. Mosso, *L'institut physiologique de l'université de Turin.* Turin 1894. S. 30.

ausströmende Luft wird durch Schwefelsäure vom Wasserdampf befreit, geht durch grosse leere Flaschen, wo die Kohlensäure nach Pettenkofer analysirt wird, und wird endlich durch eine Gasuhr gemessen.

In bestimmten Zeitintervallen wurde der Kohlensäuregehalt der in diesen Flaschen befindlichen Luft bestimmt. Aus den so gewonnenen Zahlen kann man in einer später zu besprechenden Weise die Grösse der Kohlensäureabgabe der im Kasten eingeschlossenen Versuchsperson berechnen.

Wegen des geringen Cubikinhaltes des Kastens konnte bei diesem Apparat jeder einzelne Versuch nicht länger als zwei, höchstens drei Stunden dauern.¹

In der letzten Zeit hat Hoppe-Seyler nach dem Principe von Regnault und Reiset² einen Apparat zur Messung des respiratorischen Gaswechsels am Menschen gebaut. Dieser Apparat besteht aus einem, nach aussen allseitig luftdicht abgeschlossenen Raum, in welchem die Versuchsperson verweilt. Durch eine weite Röhrenleitung jederseits oben am vorderen und hinteren Ende wird Luft abwechselnd aus dem Raume abgesogen in vier grosse, theils mit starker Aetzkalilauge gefüllte Flaschen, welche in einem Bewegungs- bzw. Schaukelapparate fest eingelegt, durch einen Wassermotor in der Weise bewegt werden, dass die Kalilauge beim Aufsteigen der Flaschen der einen Seite durch die verbindenden Kautschukschläuche in den beiden Flaschen der anderen Seite abfließt und an ihrer Stelle Luft aus der Respirationkammer ansaugt, während auf der anderen Seite ein ebenso grosses Luftvolumen durch eine gleich weite Röhrenleitung nach der Kammer zurückgepresst wird und nahe am Boden dorthin wieder einströmt. Aus einem Gasometer, welcher Sauerstoff enthält, geht durch ein enges Kupferrohr Sauerstoff durch eine mit Aetzkalilauge gefüllte Waschflasche, dann durch eine mit Wasser gefüllte Flasche zur Gasuhr und tritt dann in die Respirationkammer ein. Der ganze nach aussen abgeschlossene zusammenhängende Luftraum beträgt 4943 Liter; die Röhren und Kaliflaschen nehmen hiervon 108.5 Liter, es bleiben also für den Aufenthaltsraum 4834.5 Liter.³

¹ Liebermeister, *Deutsch. Arch. f. klin. Med.* Bd. VII, S. 75—117. 1870.

² Regnault und Reiset, *Ann. de chimie et de physique.* 3. Série. Bd. XXVI. 1849.

³ Hoppe-Seyler, *Zeitschr. f. physiol. Chemie.* Bd. XIX, S. 574—589. 1894.

§ 2. Ein neuer Respiationsapparat.

a. Die Respiationskammer.

Wie schon erwähnt, sind bei früheren Respiationsversuchen an Menschen die Respiationskammern — wo nämlich solche zur Verwendung gekommen sind — ziemlich klein und immer nur für eine Person abgesehen gewesen. Die Respiationskammer Pettenkofer's fasste 12.7^{km}, Liebermeister's 1.2^{km} und Hoppe-Seyler's 4.8^{km}. Der kleine Luftcubus der Kammer hat aber verschiedene Nachteile in seinem Gefolge. Ist nämlich die Kammer so klein, dass die in derselben befindliche Luft schnell ersetzt werden muss, so wird das Hauptgewicht der Untersuchung auf die Analyse der Ventilationsluft verlegt, wodurch der Einfluss ihrer Zusammensetzung (sowie auch derjenigen der äusseren atmosphärischen Luft) sich fühlbar macht. Ein ebenso genaues Analysiren der ein- wie der austretenden Luft ist dann nothwendig. Kann aber die Kammer so gross gemacht werden, dass die darin eingeschlossene Luft, ohne zu sehr verdorben zu werden, für einen verhältnissmässig längeren Aufenthalt ausreicht, so können viele Versuche derartig angeordnet werden, dass nur wenig neue Luft hinzukommt, wodurch natürlicher Weise die Zusammensetzung der Aussenluft von geringerem Belang wird. Bei Verstärkung des Luftwechsels kann man in eine grosse Kammer mehrere Personen auf einmal hineinbringen, wodurch man durch wenige Versuche einen Mittelwerth der Kohlensäure- (bzw. Wasserdampf-) Production erhält. Weiter bringt ein grösserer Raum den wohl zu beachtenden Vortheil mit, dass der Aufenthalt dort unter wesentlich denselben Umständen stattfindet, wie in einem gewöhnlichen Wohnzimmer — nicht wie in einer engen Zelle. Wenn auch der Beweis nicht geführt werden kann, welchen Einfluss das Gefühl von Annehmlichkeit oder Unannehmlichkeit auf die Resultate ausübt, so scheint es doch mehr als wahrscheinlich, dass ein solcher Einfluss existirt, besonders wenn es sich um Vergleichen verschiedener Zustände, wie Schlafen und Wachen, Ruhe und Arbeit und dergl. handelt. Die Leichtigkeit oder Schwierigkeit, Versuchsindividuen zu erhalten, welche nahe mit der Beschaffenheit der Respiationskammer zusammenhängt, ist schliesslich auch ein Factor, mit dem man rechnen muss, wenn man eine grössere Reihe von Versuchen zu machen beabsichtigt.

Es stellte sich nun aber die Frage: ist es möglich, eine grössere Kammer zu benutzen, ohne dadurch auch die Versuchsfehler derartig zu vergrössern, dass jede Arbeitsmethode versage? Pettenkofer,

der die mittlere Zusammensetzung der während 12 Stunden durchgegangenen Luft, und Liebermeister, der den momentanen Gehalt jede $\frac{1}{2}$ Stunde bestimmten, gelangten zwar (in Betreff der Kohlensäure) zu guten Resultaten; dadurch ist es aber bei weitem nicht sicher, dass die zur Verfügung stehenden Methoden ausreichen, wenn z. B. ein achtmal grösserer Luftcubus genommen wird, als der grösste jetzt existirende. Verschiedene Fehler werden ja mit dem Verhältnisse zwischen der durchgegangenen und der analysirten Luftmenge einfach multiplicirt. In Anbetracht der oben angegebenen Vortheile sowie auch der Schärfe der von uns anzuwendenden Analyse-methode für die Kohlensäure entschlossen wir uns indessen, eine Kammer von etwa 100 km^3 zu bauen. Würden später die Controlversuche zeigen, dass eine genaue Arbeit unmöglich sei, so reichten ja die Materialien immer aus, um eine Kammer von kleineren Dimensionen herzustellen.

Dass wir einen so grossen Respirationsapparat haben bauen können, dafür sind wir vor Allem Herrn Dr. Carl A. Strömberg zu grösstem Danke verpflichtet, indem er, sobald unsere Absicht ihm bekannt wurde, mit grosser Opferwilligkeit eine beträchtliche Summe zu unserer Verfügung stellte. Ausserdem haben die Herren Consul Oscar Ekman und Ingenieur C. R. Lamm, sowie das Lehrercollegium des Carolinischen medico-chirurgischen Instituts zu den Kosten des Apparates wesentlich beigetragen. Es sei uns gestattet, dafür unsere tiefgefühlte Dankbarkeit hier auszusprechen.¹

Für die mit der Untersuchung selbst verbundenen Kosten hat die Direction des Elizabeth Thompson Science Fund in Boston uns eine Unterstützung gewährt, für welche wir derselben unsere warmen Danksagungen darbringen.

Von zwei uns zu Gebote stehenden Räumen im physiologischen Laboratorium des Carolinischen medico-chirurgischen Instituts zu Stockholm wählten wir also den grösseren. Hier wurden die Decken und Wände mit Holzlatten beschlagen, an welche, ebenso wie an den hölzernen Fussboden, Zinkblech von etwa $\frac{1}{2} \text{ mm}$ Stärke angenagelt wurde. Taf. I und III A zeigt die Anordnung; $t, t, \dots t$ sind die Latten, $\alpha, \alpha, \alpha, \dots \alpha$ das Zinkblech. Um die Fugen luftdicht zu erhalten, wurden sie überall mit Zinn gelöthet. Der Sicherheit halber wurde noch die ganze Zinkbekleidung mit Oelfarbe gestrichen. Zum Schutz des Bleches, sowie auch, um das unangenehme Treten auf Metall zu vermeiden, wurde der ganze Fussboden mit einem Teppich von sogenanntem Linoleum bedeckt. — Um das Tageslicht einzulassen, wurde in einen

¹ Die Kosten des Apparates, ohne die Gasuhren, betragen etwa 5000 Mark.

mit Zink beschlagenen Holzrahmen ein grosses (geschliffenes) Glas (Taf. III F) von etwa 4.5 m^2 Oberfläche eingekittet. Zwei kleinere Gläser (Taf. I; III G; Taf. II G) wurden zum Hereinsehen in die Kammer auf dieselbe Weise angebracht.

Zum Ein- und Austreten war eine gewöhnliche Thür nicht geeignet, da ein vollständiges Dichtmachen derselben sowohl kostspielig als schwierig werden musste. Statt dessen brachten wir eine horizontale Oeffnung an, die mit hydraulischem Verschluss versehen wurde. Diese Oeffnung war nämlich von einer Oel enthaltenden Rinne umgeben, in welche der Rand des Deckels passte. Taf. III zeigt am besten die Anordnung: Die nach der Vorhalle T offene Glocke K trägt an ihrem unteren Rande die Rinne $r-r$, in welche Paraffinöl gegossen ist. Der Deckel L sperrt, wenn er aufgesetzt wird, die Verbindung zwischen der Vorhalle T und der Respirationskammer A völlig ab. Die Treppen N (innerhalb) und N_1 (ausserhalb der Kammer) führen von jeder Seite zu der 1.3 m über dem Fussboden befindlichen Oeffnung. Um in die Kammer hineinzukommen, hat man also den Deckel (L) abzuheben, die Treppe N_1 hinauf- und die Treppe N herunterzusteigen.

Um aber während eines Versuches Gegenstände — z. B. Speisen oder Getränke — hereinschaffen zu können, eventuell andere Dinge hinauszubekommen, ohne einen uncontrolirten Luftwechsel zu verursachen, haben wir zwei „Schleusen“ angebracht. (Die Einrichtung ist am besten aus Taf. I $S-S$; Taf. IV $S-S$ ersichtlich.) Ein parallelipipedischer Kasten aus Zinkblech ist in der Weise in einer Oeffnung der Blechbekleidung des Raumes festgelöthet, dass die eine Hälfte des Kastens innerhalb, die andere ausserhalb der Respirationskammer bleibt. Jede Hälfte hat ihren Deckel (Taf. I l und l_1), der in seine, Oel enthaltende, Rinne passt. Die Stopfen p und p_1 dienen dazu, um bei dem Abheben des Deckels Luft herein- und hinauszulassen. Soll z. B. ein Gegenstand in den Raum (A) hereingeführt werden, so verfährt man folgendermaassen: der Stopfen p_1 wird herausgenommen, dann der Deckel l_1 gehoben. Der Gegenstand wird nun in den Kasten hineingebracht und der Deckel l_1 wieder aufgelegt. Eine Portion Luft entweicht dabei durch das Loch p_1 , wonach der Stopfen p_1 eingesetzt wird. Jetzt wird der (in der Kammer befindliche) Stopfen p herausgenommen, der Deckel l gehoben und der Gegenstand aus dem Kasten herausgeholt, schliesslich noch der Deckel l aufgelegt und der Stopfen eingesetzt. Um gelegentlich Esswaaren sowie auch Excremente, ohne das Gefühl der Versuchspersonen zu verletzen, transportiren zu können, versahen wir den Raum mit zwei solchen Kasten (vgl. Taf. I S_1-S_1 und Taf. IV S_1-S_1). Die grösste Quantität Luft, die durch einmaliges Benutzen der

Schleuse ausgewechselt werden kann, ist das Volumen des Kastens, etwa 0.25 km^3 , was aber um so viel weniger bedeutet, als der dadurch entstandene Fehler nur von der Differenz zwischen der Kohlensäure (resp. Wasserdampf) der Kastenluft und dem nämlichen Volumen Kammerluft abhängt.

Um den Apparat auch im Winter benutzen zu können, wurde der Raum mit Dampfheizung eingerichtet; Taf. I *V* und IV *V* zeigt das Kamin, dessen Regulireinrichtung der Versuchsperson zugänglich war.

Zu der Einrichtung gehörte weiter ein Closet (Taf. III *C*), ebenfalls mit hydraulischem Verschluss; schliesslich electricisches (Glüh-) Licht und Telephon.

Zum Gebrauch bei längeren Versuchen war ein vollständiges Bett vorhanden. Stühle, Tische u. a. wurden nach Bedarf hinein- und herausgenommen.

Die Bestimmung des Luftcubus der Respirationkammer nahm eine nicht geringe Arbeit in Anspruch. Zwar war die Grundform des Raumes ziemlich einfach; zufolge des schlechten Baues und ungleichmässigen Nachsinkens des Hauses sowie auch durch Unebenheiten des Bleches kamen aber Unregelmässigkeiten vor, die ein sehr umständliches Messen nöthig machten. Wir theilten der Messung halber drei der Seitenflächen des Raumes (Fussboden und zwei an einander grenzende Wände) in Vierecke von etwa $\frac{1}{2} \text{ qm}$ Oberfläche ein. In jeder Ecke jener Rechtecke wurde die Messstange angebracht, wodurch ein mittlerer Werth der Höhe, Länge und Breite erhalten wurde. Durch besondere Messung wurde wegen der schiefen Theile der Decke ein Abzug gemacht, sowie wegen verschiedener Aussprünge und Vertiefungen und wegen der Möbel Correctionen vorgenommen. Wo nichts anderes möglich war — z. B. bei dem Kamin — wogen wir den Gegenstand und berechneten das Volumen annähernd nach der Dichte. Gewisse Gegenstände — wie das Bettzeug — lassen sich natürlich nur schätzen. Ein Fehler von wenigen Litern scheint doch hier sehr wenig bedeuten zu können.

Da die Primärziffern der Messung durchaus interesselos sind, so führen wir nur das Endresultat der Volumenberechnung an: Der Raum fasst, wenn nur die feste Einrichtung mitgezählt wird, 100.65 km^3 .

Bei den einzelnen Versuchen kamen wegen der vorhandenen Personen und Geräthe noch Volumencorrectionen hinzu.

Um die Luft in möglichst homogener Mischung im Raume zu erhalten, wandten wir einen kleinen, durch Electricität bewegten Ventilator (Taf. III *P*) an, der unter der Treppe *N* placirt war. Derselbe

nahm etwa $\frac{1}{8}$ el. Pferdekraft in Anspruch und vermochte, wenn er frei in dem Raume stand, etwa 800 km^3 Luft pro Stunde in gewisser Richtung fortzubewegen.

b. Apparate zum Bewegen, Feuchten und Messen der Luft.

Zu der Respirationkammer wird die Luft durch ein Zinkrohr von 0.14 m Durchmesser geleitet (Taf. I und III *R*). Um den Einfluss des Winddruckes möglichst aufzuheben, geht das Rohr ausserhalb des Raumes senkrecht bis über das Dach des Hauses, wo es zum Schutz gegen den Regen mit einem Schirm versehen ist. Innerhalb des Raumes läuft das Rohr nahe an der Decke längs der einen (längeren) Wand, wodurch die einströmende Luft vor dem Eintritt angewärmt wird. Die Ausströmungsöffnung ist nach oben gerichtet und mit einer rings herum laufenden, Oel enthaltenden Rinne versehen, in welche entweder ein dicht schliessender Deckel oder auch ein mit einem kleineren Loch versehener Deckel eingesetzt werden kann, wenn nämlich — bei geringer Luftgeschwindigkeit im Rohre — entgegengesetzte Luftströme zu befürchten wären.

Von der diagonal entgegengesetzten Ecke des Raumes geht das für die Fortleitung der Luft abgesehene Rohr aus (Taf. II und IV *U*) und läuft in dem angrenzenden „Apparatzimmer“ am Fussboden entlang bis zu einer Pumpvorrichtung, welche die Luft aus der Respirationkammer saugt und dieselbe durch das Rohr *U*₁ (Taf. I, II und IV) durch die Gasuhren presst. Die Einströmungsöffnung des Rohres innerhalb der Respirationkammer ist ebenso wie der Einlauf angeordnet. Zum Schutze des Rohres im Apparatzimmer ist dasselbe dort von einer Holztrommel umgeben.

Das Pumpwerk (aus Taf. I, II, IV verständlich) besteht aus drei successiv nach einander wirkenden Glocken (Taf. I *D*₁, *D*₂, *D*₃), welche in entsprechenden Wasserbehältern durch Maschinenkraft bewegt werden. Beim Aufsteigen einer Glocke wird Luft in dieselbe hineingesaugt, um beim Heruntersinken wieder hinausgepresst zu werden. Von Glocken wendeten wir drei verschiedene Grössen an:

1. für Ventilationsbedarf über 12 km^3 pro Stunde,
2. für 12 bis 3 km^3 ,
3. unter 3 km^3 .

Die Ventile, deren Einrichtung aus Taf. II ersichtlich ist, sind gewöhnliche Wasserverschlüsse, die die Luftbewegung in eine gewisse Richtung — nicht aber in die entgegengesetzte — gestatten. 3 Glocken machen die Anwendung von 6 Ventilen nöthig, 3 für die eingehende

und 3 für die austretende Luft. Die Zeichnung erklärt sich wohl von selbst.

Bei der Arbeit mit dem Apparat hat man dafür zu sorgen, dass immer hinlänglich viel Wasser (etwa 2^{cm}) über dem unteren Rande der Röhre V_1 , V steht, was durch das Wasserstandsrohr n , n beobachtet werden kann. Würde indessen durch Verdunsten des Wassers ein Ventil versagen, so bewirkt dies nichts anderes, als eine Herabsetzung der Ventilationsgrösse, was aber durch den Gang der Gasuhren sofort angezeigt wird. Beobachtet man die Temperatur der in die Kammer eintretenden Luft, so schwankt diese bei regelrechtem Gang, auch bei ziemlich grossen Differenzen zwischen der Kammer- und der Aussenluft nur unbedeutend. Entsteht aber z. B. bei kalter äusserer Temperatur durch Ventilfehler ein periodischer Stillstand der Luft im Zuleitungsrohre, so folgt ein ebenfalls periodisches Steigen und Fallen des Wärmegrades der einströmenden Luft, wodurch man auf den vorhandenen Fehler aufmerksam gemacht wird. Dieser Fehler kommt eigentlich nur bei Anwendung starker Ventilation vor.

Der Gebrauch von Wasserventilen ist aber gerade durch die dort stattfindende Wasserverdunstung vortheilhaft. Vor Eintritt der Luft in die Gasuhren muss sie nämlich mit Wasserdampf gesättigt sein, was ja in den Ventilen in nicht unwesentlichem Grade geschieht. Das Feuchten fährt in den Glocken fort. Um aber bei den grossen Glocken die nasse Wandfläche zu vergrössern, ist in jede Glocke ein Cylinder von Leinwand eingehängt, welcher durch einen am unteren Rande angenähten Metallring gespannt gehalten wird. Wenn die Glocke heruntergeht, taucht der Leinwandcylinder in das Wasser herunter; beim Aufsteigen kommt die so durchnässte Leinwandfläche mit der zu feuchtenden Luft in Berührung. Der gute Effect der Befeuchtungsmethode hat sich während der Arbeit unter anderem dadurch gezeigt, dass der Wasserstand in den Gasuhren auch bei einer sehr langen Reihe von Versuchen constant geblieben ist. Ein bei einigen Versuchen abgelesener Psychrometer zeigte kein Sättigungsdeficit in Betreff der aus den Gasuhren ausströmenden Luft. Zufolge der Verdunstung in den Ventilen und Glocken mussten wir auf ein projectirtes Benutzen der Glocken zum Controlmessen der Luft verzichten.

Das Pumpwerk wurde durch einen kleinen elektrischen Motor (Taf. II und IV I) von etwa $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ Pferdekraft getrieben. Die Transmissionen und Achsen werden auf Taf. I und II gezeigt. Auf Taf. II und IV bezeichnen α die Rheostaten, β den Ampèremeter.

Von dem Pumpwerke strömte, wie schon erwähnt, die Luft (durch

die Röhre U_1) zu den Gasuhren,¹ die aber auf den Zeichnungen nicht angegeben sind. Wir benutzten 2 Gasuhren, die entweder einzeln oder beide auf einmal angewendet werden konnten. Sie waren zu diesem Zwecke mit einem U-förmigen Rohre vereinigt. Durch Eingiessen oder Auslassen des Wassers aus der Sperre konnte die Verbindung zwischen den Uhren regulirt werden, wodurch der Luftstrom entweder nur durch die eine Uhr fortging oder sich nach beiden vertheilte.

Bei dem Justiren der Gasuhren nach der Normalglocke der hiesigen städtischen Gasanstalt wurden folgende Resultate erzielt:

Gasuhr Nummer	Druck der Leitung Millimeter	Temperatur		Wenn die Gasuhr 1000 zeigt, so zeigt die Glocke	Corrections- zahl
		der Gasuhr	der Glocke		
I.	11	19.7	20.4	1002	0.9995
„	25	19.7	20.4	1000	0.9975
II.	11	19.5	20.4	1011	1.0075
„	25	19.7	20.4	1007	1.0045

Die Fehler sind, wie ersichtlich, einigermaassen abhängig von dem Druck in der Leitung. Da aber dieser Druck sich im Allgemeinen auf ungefähr 11^{mm} Wasser gehalten hat, so haben wir die für diesen Fall angegebene Correction angenommen. Bei Gasuhr I, wo die Correction innerhalb der Grenzen der Observationsfehler fällt, haben wir dieselbe ganz vernachlässigt. — Die Justirung gilt doch nur einer ganzen Umdrehung des Literzeigers. Ob kleine Abweichungen der einzelnen Theilstriche von dem wahren Volumen vorhanden sind, haben wir nicht controliren können. Bei grösseren Ventilationsmengen kann aber der davon herrührende procentische Totalfehler nur unbedeutend sein; bei kleineren übt das Volumen der Ventilationsluft im Vergleich mit der Luftmenge der Respirationskammer auf das Resultat nur einen geringen Einfluss aus.

Die Temperatur der Gasuhren, die durch genaue Thermometer bestimmt wurde, blieb oft stundenlang constant. Indessen zeigte die aus den Gasuhren austretende Luft nicht immer denselben Wärmegrad, wie die Gasuhr selbst; es konnte um 1 bis 1.6° C. differiren. Bei welcher Temperatur das Messen wirklich vorgenommen ist, bleibt also zwischen gewissen Grenzen unsicher. In Betreff der Gasuhr III, die nur zum Messen einer relativ kleinen Luftmenge dient (öfters nicht

¹ Nasse Gasuhren.

einmal 0.1 km während einer Versuchsperiode) sind die Correctionen mit denjenigen der beiden anderen zusammengeschlagen.

Bleibt aber auch das Messen mit Hülfe der Gasuhren zufolge der kaum zu controllirenden Fehler kein absolut genaues, so können, wie wir unten zeigen werden, die Fehler nicht viel zu bedeuten haben. Wir haben uns nicht mit unendlichen Correctionen abgequält, sondern einfach die wichtigeren eingehalten, sonst aber den Controlversuchen überlassen zu zeigen, welche Genauigkeit der Apparat im Ganzen leistet.

c. Anordnungen und Apparate zur Analyse der Luft.

Durch frühere Arbeiten Pettenkofer's und anderen veranlasst, hatten wir Anfangs die Absicht, ausser der von uns später angewandten Methode zur Bestimmung der momentanen Zusammensetzung der Luft, noch eine andere — zur Bestimmung der mittleren Zusammensetzung — anzuwenden. Es wurden sogar mit vielem Zeitaufwand und nicht geringen Kosten Apparate angeschafft und justirt, welche aber nie zur Anwendung gelangten. Die mit der anderen, viel einfacheren Methode ausgeführten ersten Versuche liessen uns nämlich hoffen, eine Genauigkeit zu erreichen, welche kaum durch eine andere übertroffen werden konnte. Diese Hoffnungen wurden während der fortgesetzten Arbeit erfüllt.

Wir gehen alsdann zur Beschreibung der von uns benutzten analytischen Anordnungen über — natürlich unter Fortlassung kleiner Abänderungen, die im Laufe der Arbeit vorgenommen worden sind. Wie erwähnt, beabsichtigten wir — wie vorher Liebermeister — eine genaue Bestimmung der momentanen Zusammensetzung der Luft zu erhalten. Es konnte dies in Betreff des Wassers mit Hülfe eines genauen Hygrometers und in Betreff der Kohlensäure mit Hülfe Pettenkofer's oder Pettersson's¹ Methoden geschehen — mit oder ohne Modificationen.

Bei der Wasserbestimmung versuchten wir verschiedene Instrumente: 1) Hygrometer von K. Sondén;² 2) das gewöhnliche August'sche Psychrometer; 3) Thaupunktapparat (letzteren bei einem einzigen Versuche am 6. März 1894). Von diesen Instrumenten waren das Psychrometer und der Thaupunktapparat innerhalb der Respirationkammer aufgestellt und wurden von aussen abgelesen. Zu Sondén's Hygrometer wurde die Luft durch Röhrenleitung zugeführt, was aber

¹ Siehe unten.

² K. Sondén, *Bih. t. K. Vet. Akad. Handl.* Bd. XVII, Abth. I, Nr. 5.

wahrscheinlich dazu beitrug, die Anwendung dieser Methode unmöglich zu machen. Zufolge Absorption¹ des Wasserdampfes an den Röhren und Gefässen fielen nämlich bei schnell ansteigender Feuchtigkeit die Resultate immer zu niedrig aus. Von Psychrometern wurden zwei angewandt, das eine in der Kammer, nämlich auf die Weise, dass Ablesung durch das Fenster (Taf. I und III G) möglich war, das andere in dem Zuleitungsrohr für frische Luft (Taf. I R). Die Thermometer waren an der letzteren Stelle L-förmig.

Der Thaupunktapparat bestand aus einer Kugel von dünnem Messingblech, das auswendig vernickelt und polirt war. Mittels Durchblasens von Luft durch Aether wurde die Temperatur bis zum Thaupunkte herabgesetzt. Ein Apparat war in der Kammer, ein anderer im Freien aufgestellt. Das Ablesen geschah durch die bezw. Fenster. Der Aetherdampf wurde durch eine besondere Röhre fortgeleitet und gelangte also nicht in die Kammerluft. In Betreff der Genauigkeit der einzelnen Bestimmungen kann man kaum näher als 0.1 mm Quecksilberdruck kommen. Wenn aber auch der Fehler der Wasserdampfbestimmung selber viel grösser wäre, so würde er im Vergleiche zu anderen der Wasserbestimmung anhaftenden Fehlerquellen ohne Belang sein. Wir kommen später hierauf zurück.

Für die Correction des abgelesenen Kohlensäuregehaltes ist Kenntniss des approximativen Wasserdampfgehaltes der Luft nöthig. Zu diesem Zwecke sind die Methoden unnöthig genau.

Um die für die Kohlensäurebestimmung abgesehenen Proben zu erhalten, wurde (vgl. Taf. V, Fig. 1) von dem Hauptrohre (U) eine besondere Leitung engerer Röhren (π) abgezweigt, durch welche mit Hülfe einer Wasserstrahlluftpumpe Luft an den Einströmungsöffnungen des Analyseapparates (Y) oder aber eines besonderen Behälters (ϑ) vorbeigesogen wurde. Die Röhre führte nicht direct nach der Luftpumpe, sondern mündete zuerst in eine kleine Gasuhr (τ), wo die diesen Weg strömende Luft gemessen wurde, weiter von der Gasuhr nach einem aus einer Flasche mit Gummistopfen hergestellten Quecksilberventil I' , wo auch die für die Aussenluft abgesehene Röhre ζ mündete. Von dem Quecksilberventil I' führt ein Verbindungsrohr (λ) nach der Luftpumpe. Wird durch die letztere die Luft in I' verdünnt, so strömt neue Luft sowohl durch die Röhre π , als auch durch die Röhre ζ zu. Ob mehr oder weniger Luft den einen oder den anderen Weg kommt, beruht darauf, wie tief die eine oder andere Rohröffnung in dem Quecksilber steht. Je weniger Gegendruck zu überwinden ist, desto mehr Luft

¹ Gmelin-Kraut, *Handb. d. anorg. Ch.* 6. Aufl. Bd. I. Abth. 1. S. 583.

strömt natürlich hindurch. Die Miescher'schen¹ Hähne ψ und φ dienen dazu, die Luft entweder aus dem Behälter \mathcal{D} , oder von der Aussenluft nach dem Analyseapparat zu leiten.

Der Behälter \mathcal{D} , von welchem wir zuweilen zwei anwendeten, besteht aus einer Pipette, oben mit einem Miescher'schen, unten mit einem gewöhnlichen Hahne versehen, welche Pipette durch einen umwickelten Gummischlauch mit einem zu hebenden oder zu senkenden Quecksilbergefässe in Verbindung steht. Ist die Pipette voll Quecksilber, lässt man (durch Senken des hängenden Gefässes und Oeffnen des unteren Hahnes) Quecksilber ausfliessen, wodurch Luft durch die eine Oeffnung des oberen Hahnes aus der Leitung eintritt. Nach Entnahme der Luftprobe treibt man durch Heben des Quecksilberbehälters die Luft durch die andere Hahnöffnung, weiter durch die capillaren Glasröhren in den Analyseapparat herüber. (Vgl. Taf. II, IV, wo die Bezeichnungen die nämlichen sind, wie auf Taf. V.)

Da die von uns angewandte, von K. Sondén modifizierte, Pettersson'sche Analysemethode² zwar öfters schon, doch nicht in der ausländischen, physiologisch-hygienischen Litteratur publicirt ist, haben wir es für zweckmässig gehalten, die Methode und den Apparat in der von uns angewandten Form zu beschreiben.

Versteht man unter „relativem Druck“ den Druck einer gewissen Gasmasse, verglichen mit dem Drucke einer gewissen anderen, so kann, wie bekannt, das von Pettersson angegebene Princip so ausgedrückt werden: dass man die Analyse unter constantem relativem Drucke ausführt. Es geschieht dies dadurch:

1. dass das zu analysirende Gas (Luft) während der ganzen Untersuchung von der äusseren atmosphärischen Luft abgeschlossen ist. Aenderungen in dem Barometerstand bleiben dann natürlich ohne Einfluss.

2. dass das Analysegefäss durch ein sehr empfindliches Differentialmanometer mit einem anderen Gefässe (Compensator) in Verbindung steht. Jede einseitige Aenderung des Druckes in dem einen Gefässe wird an der Flüssigkeit des Differentialmanometers sichtbar; und nur wenn der Druck (d. h. der relative Druck) in beiden Gefässen gleich ist, bleibt die Flüssigkeit unverändert ruhig. Stehen die beiden Gefässe in einem gemeinsamen grossen Wasserbehälter, dessen Flüssigkeit

¹ Vgl. Franz Müller's (Geissler's Nachf.), Bonn, Preislisten.

² O. Pettersson, *Zeitschr. f. anal. Ch.* Bd. XXV, S. 467. K. Sondén, *Zeitschr. f. Instrumentenkunde.* 1889. S. 472. *Zeitschr. f. anal. Ch.* Bd. XXVI, S. 592. O. Pettersson und A. Palmquist, *Ber. d. d. Chem. Ges.* 1888. S. 2129.

in stetiger Bewegung gehalten wird, damit die Temperatur überall gleichförmig sei, so wird der relative Druck von Aenderungen der Temperatur unabhängig. Enthalten schliesslich die beiden Gefässe ein wenig Wasser, so sättigt sich die Luft bei der waltenden Temperatur mit Feuchtigkeit.

Durch Absorption eines gewissen Bestandtheiles der Luft wird das Gleichgewicht gestört, und kann nur durch Verminderung des einen Gasvolumens (in der Pipette II) oder Ausdehnung des anderen (in I) wieder hergestellt werden. Diese Verminderung, bezw. Ausdehnung, ist dann ein sehr genaues Maass des absorbirten Gasquantums.

Taf. V, Fig. 2 zeigt die praktische Anordnung des von uns angewandten Apparates zur Kohlensäurebestimmung der Luft. Im Glasbehälter Q stehen die Glaspipetten I und II, alle beide von der nämlichen Grösse und wo möglich auch von der nämlichen Glasstärke. Dieselben sind mit Hülfe von Quecksilber genau geaicht und mit den genau calibrirten Röhren „0—4“ und „4—0“ versehen. Nach oben setzen die Pipetten mit den Capillaren III und IV fort, die durch die 3-Weghähne V und VI entweder mit dem Differentialmanometer VII oder durch bezw. XI und XII mit der äusseren Luft in Verbindung gesetzt werden können. Das Differentialmanometer VII enthält ein einziges Tröpfchen Oel, das die Röhre in einer Länge von 2 bis 3 mm füllt. Auch die kleinste Aenderung des Druckes an der einen oder anderen Seite von diesem „Index“ bewirkt bei ihm eine Bewegung. Stehen die beiden Seiten des Index mit bezw. I und II in freier Gascommunication, so bleibt er nur dann ruhig stehen, wenn der Druck in I und II völlig gleich ist. Absorbirt man — durch Einführung der Luft in das Absorptionsgefäss X (durch den Hahn VIII) — die Kohlensäure, so entsteht, wenn man die jetzt zurückbleibende Luft wieder in II zurückführt und dieselbe auf das Anfangsvolumen zurückbringt, ein gewisses Vacuum.

Das so gestörte Gleichgewicht zwischen dem in I und II existirenden Luftdruck kann in zweierlei Weise wieder hergestellt werden: entweder durch Einführen von soviel Quecksilber in II, wie man Kohlensäure weggenommen hat, oder durch Auslaufenlassen von soviel Quecksilber aus I, dass die Luft dort gerade soviel verdünnt wird, wie sie es in II durch Verschwinden der CO_2 bei unverändertem Volumen geworden wäre.

Bezeichnet A das Volumen von I, und B das Volumen von II; sind weiter die eingetheilten Röhren an I und II mit der nämlichen Eintheilung versehen, so wird die Beziehung zwischen der Volumverminderung in II (d. h. dem wirklichen Kohlensäuregehalt der analy-

sirten Luft, = x) und der entsprechenden Volumenvergrößerung in I (= α) durch folgende Gleichung dargestellt:

$$1) \quad \frac{B-x}{B} = \frac{A}{A+\alpha} \quad \text{woraus:} \quad x = \frac{\alpha B}{A+\alpha}.$$

Bemerkung: Bequemer wäre es gewesen, wenn man bei Anfertigung des Apparates die Eintheilung so gemacht hätte, dass diese Rechnung überflüssig geworden wäre. Die Theilstriche an der Compensatorröhre (I) kommen dann aber natürlich nicht in gleichen Abstand von einander.

Die Eintheilung ist jetzt aber so hergestellt, dass jeder Haupttheil (0—1, 1—2 u. s. w.) = $\frac{1}{1000}$ des Volumens von dem Nullstriche bis zu dem Hahne der betreffenden Pipette ausmacht. Der Haupttheil ist weiter in 25 kleinere graduirt, von denen also jeder $\frac{1}{25000}$ des Pipettenvolumens entspricht. Durch Schätzung kann man bis zu $\frac{1}{250000}$, d. h. 0.00004 oder 0.004 pro Mille kommen. Wir werden später auf die wirkliche Genauigkeit des Apparates zurückkommen. Der grösste Kohlensäuregehalt, der mit dem Apparate bestimmt werden kann, ist 7.97 pro Mille; d. h. bei Anwendung der Pipette II allein: 4 pro Mille, und bei Fortsetzung mit der Pipette I noch 3.97 pro Mille dazu. Die Pipette II steht nach unten durch das mit Tuch umkleidete Schlauchstückchen (XIII) mit dem Hahne XIV, dieser durch den mit Draht umwickelten Schlauch (XV) mit dem Gummigefäss XVI in Verbindung. Die Pipette I ist unten mit einem ebenfalls mit Tuch umkleideten Gummibeutel (XVII) versehen. Sowohl das Gefäss XVI als der Beutel XVII enthalten Quecksilber. Zur letzten, feinsten Einstellung des Quecksilbers in den betreffenden Röhren dienen 2 Quetschschrauben (m_1 und m_2 , auf der Zeichnung nur mit Strichen markirt). Statt dieser Schläuche mit ihren Quetschschrauben haben wir später Mikrometerschrauben angewandt, die in die Quecksilbermasse hineingeschraubt werden, ungefähr wie bei den Reichert'schen Thermoregulatoren. Dadurch erhält man ein viel schnelleres und sicheres Einstellen. Zur Einstellung des Index ist die Röhre VII mit einer (willkürlichen) Eintheilung versehen. Alle Volumenbestimmungen sind von uns selbst durch Auswägen mit Quecksilber gemacht, wobei wir die einzelnen Theile des Apparates nicht aus den Augen gelassen haben, ehe alle nothwendigen Marken eingätzt waren. Bei der Anfertigung eines Präcisionsapparates von dieser Art halten wir es nämlich nicht für erlaubt, sich auf andere — sei es noch so geschickte Instrumentenmacher — zu verlassen. Wir haben als Maasseinheit das Volumen von 1 Gramm reines Quecksilber bei +18° C. gewählt. Die Pipetten

fassen etwa 1000 dergl. Volumeneinheiten. Welches absolute Volumen die Pipette enthält, ist übrigens gleichgültig, wenn nur die Beziehung zwischen der Pipette und der Scala richtig ist.

Das Stativ des Apparates ist aus vernickeltem Messing und steht auf einer Mahagonischeibe. Die in dem Glasgefäss Q enthaltene Wassermasse wird durch eingepresste Luft in stetiger Bewegung gehalten. Diese Luft kommt aus einer besonderen Leitung (vgl. Taf. II), die mit der oben erwähnten Wasserstrahlluftpumpe in Verbindung steht. Der Anschluss des Apparates an die Röhrenleitung ist aus Taf. IV und Taf. V, Fig. 1 ersichtlich. Der Hahn V ist durch ein ganz kurzes Zweigrohr mit der Rohrleitung φ — χ verbunden.

Die Analyse wird in folgender Weise ausgeführt. Man sieht zuerst nach, ob in den Pipetten etwas Wasser — zum Anfeuchten der Luft — über dem Quecksilber ist, weiter, ob die zur Absorption der Kohlensäure dienende Lauge im Capillarrohre des Absorptionsgefässes (X) an der Marke (μ) steht; wo nicht, bringt man sie genau dahin. Die Probe wird nun durch Senken des Quecksilberbehälters XVI und Oeffnen der betreffenden Hähne entweder direct aus der Leitung oder aus dem Behälter \mathcal{P}_1 (Taf. V, Fig. 1) hereingenommen, wobei die Vorsicht gebietet, die Capillaren mit der zu analysirenden Luft zuerst auszuwaschen. Nach Absperrung der betreffenden Hähne ist es wünschenswerth, dass ein gelinder Ueberdruck in der Pipette II vorhanden ist. Lässt man nun durch den einen Weg des Hahnes χ diesen Luftüberschuss austreten, so erhält man in der Pipette II Atmosphärendruck, ohne Gefahr zu laufen, irgend welche fremde Luft durch die sehr engen Capillaren hereinzubekommen. Jetzt wird (durch den Hahn VI) die Pipette I ebenfalls mit der Aussenluft in Verbindung gesetzt. Die Scala wird in II auf 0, in I auf etwa 0.5 eingestellt. Nun wird das Indexrohr (VII) durch die Hähne VI und V je mit der Pipette I und II verbunden, die zu der Pipette II gehörende Scala auf 0 gestellt, weiter auch der Index, wenn er nicht schon auf 0 steht, mit Hülfe der Quetschschraube (Mikrometerschraube) m_1 auf 0 (d. h. so, dass der Nullstrich den Index in 2 Hälften theilt) eingestellt. Man hat nun nachzusehen, ob sich die Einstellungen im Laufe einer Minute ändern. Sobald dies nicht der Fall ist, zeichnet man die Ablesung der Scala I an, und geht weiter. Der Hahn V wird nun nach allen Seiten hin geschlossen, der Hahn VIII aber geöffnet; die Luft dann aus II ins Absorptionsgefäss X hineingetrieben, wieder in II zurückgebracht, dasselbe nochmals wiederholt; nun wird das Niveau der Lauge an der Marke (μ) eingestellt, der Hahn VIII geschlossen und der Hahn V geöffnet. Hat sich die Einstellung des Quecksilberniveaus in I geändert, wird es in

die Anfangslage zurückgebracht. Mit Hilfe der Quetschschraube (Mikrometerschraube) m_2 wird nun das Quecksilber in II so gestellt, dass der Index auf 0 bleibt, und dann abgelesen. Ist der Kohlensäuregehalt über 4 pro Mille, so kann der Index nicht mit Hilfe der Scala II allein auf 0 gebracht werden, sondern man muss dann mit der Scala I fortsetzen, d. h. das Quecksilberniveau in I so weit senken, bis der Index auf 0 zurückkehrt. Nach der Formel 1) S. 18 wird dann das Resultat ausgerechnet. Nach beendigter Analyse treibt man die Luftprobe durch Quecksilber aus.

Wie bei jeder an feuchtem Gase vorgenommenen Absorptionsanalyse erhält man auch hier Resultate, die sich auf Trockenheit beziehen. Wo es aber wie hier auf ein genaues Berechnen des absoluten Kohlensäuregehaltes der Luft ankommt, muss man eine Correction für den Einfluss des in der Respirationskammerluft befindlichen Wasserdampfes anbringen. — Wird der durch Analyse gefundene Kohlensäuregehalt mit β bezeichnet, der corrigirte mit β_k , der Feuchtigkeitsdruck der Kammerluft mit p , und der Barometerstand mit B , so gilt folgende Gleichung

$$2) \quad \beta_k = \beta \left(1 - \frac{p}{B}\right)$$

Da die Grösse $\frac{1}{B}$ klein ist, so kann für viele Fälle (stets, wenn das Wasser nicht bestimmt werden soll) eine approximative Bestimmung von p ausreichen. Wir haben dies in den Analysenresultaten mit „approx.“ angegeben.

d. Die Genauigkeit der Methode.

Auf Grund gemachter Untersuchungen über den Kohlensäuregehalt der atmosphärischen Luft äussert A. Palmqvist:¹ „Die Differenz zwischen zwei Analysen derselben Luft übersteigt selten ein Hunderttausendstel des ganzen Volumens.“ Wir haben die von Palmqvist angeführten, aus 307 doppelt gemachten Proben erhaltenen Ziffern mit Hilfe der kleinsten Quadratmethode näher geprüft, wobei der wahrscheinliche Fehler jeder einzelnen Bestimmung (ρ) = 0.0000064 wird. Um unsere Arbeit zu controliren, machten wir nach Ausführung von 126 doppelt gemachten Proben die gleiche Berechnung, wobei ein wahrscheinlicher Fehler = 0.0000063 erhalten wurde (0.0063 pro Mille). Diese Ziffer gilt, wenn die beiden Luftproben aus einem Glasbehälter

¹ A. Palmqvist, *Bih.t. K. Sv. Vet. Akad. Handl.* Bd. XVIII, Abth. II, Nr. 2, S. 5.

genommen waren. Bei Proben, welche so gleichzeitig wie möglich aus der Rohrleitung geholt waren — wobei Mangel an Homogenität der Luft und andere Factoren von Bedeutung waren — wurde der wahrscheinliche Fehler (aus 66 doppelten Proben berechnet) = 0.0000087 (= 0.0087 pro Mille). Um im Folgenden anzugeben, ob zwei oder mehrere gleichzeitige Proben aus der Rohrleitung geholt sind, haben wir diese mit bezw. I), II), III) u. s. w. bezeichnet.

Es wäre ja denkbar, dass die Methode zwar übereinstimmende Resultate gäbe, jedoch mit irgend einem constanten Fehler behaftet sei. Ein solcher würde sich jedoch bei den Controlversuchen (siehe unten) bemerkbar gemacht haben, was aber nicht der Fall gewesen ist. Die Methode mit Hilfe einer anderen zu probiren, hat deswegen keinen Sinn, weil es keine andere Methode giebt, die hinlängliche Genauigkeit darbietet.¹

e. Instrumente zur Bestimmung des Luftdruckes und der Temperatur.

Bei den Versuchen wurde ein gewöhnliches Heberbarometer mit Glas-scala angewandt. Temperaturcorrection wurde nach gewöhnlichen Tabellen ausgeführt. Wir haben den corrigirten Barometerstand nur in ganzen Millimetern angegeben. Zur Bestimmung der Temperatur benutzten wir theils Quecksilberthermometer, theils auch sogenannte Distanzthermometer (Luftthermometer). Erstere waren in $\frac{1}{5}$ oder $\frac{1}{10}$ Grad eingetheilt und mit Hilfe eines Normalthermometers² genau justirt. Die Distanzthermometer waren deswegen nothwendig, weil die Temperatur an einigen Stellen gemessen werden musste, wo keine Gelegenheit zur Ablesung vorhanden war, z. B. an verschiedenen Stellen der Respirationskammer. Die Construction dieser Instrumente, die von E. P. Bonnesen³ angegeben ist, ist sehr einfach. Ein trockene Luft enthaltender Behälter von etwa 300^{ccm} ist an der Stelle, wo die Temperatur gemessen werden soll, aufgesetzt. Derselbe steht durch ein capillares Bleirohr mit dem sonst offenen Schenkel eines Barometers in Verbindung. Das System ist also von der atmosphärischen Luft abgesperrt, weshalb die Variationen des Quecksilberniveaus in der Barometerröhre nur von der Temperatur des Behälters abhängen. Um Fehler durch Undichtigkeiten oder Oxydation möglichst zu vermeiden, ist der Behälter aus Glas

¹ Vgl. O. Pettersson, *Zeitschr. f. anal. Chem.* XXV, S. 477.

² Angefertigt von Franz Müller, Bonn. Controlirt bei dem Kaiserl. Reichs-Aich-Amte.

³ Schwed. Patent 1880, No. 205.

angefertigt. Die Ablesung geschieht in dem Apparatenzimmer, wo die Barometerröhren neben einander (Taf. II A_1) aufgesetzt sind. Die betreffenden Behälter waren an folgenden Stellen angebracht:

1. in der Mitte der Respirationskammer (Taf. III B);
2. in der oberen Ecke über dem grossen Fenster;
3. in der Ausströmungsöffnung der Luft aus der Kammer;
4. unterhalb der „Schleuse“, die mit dem Apparatenzimmer communicirt.

Wir haben im Folgenden die betreffenden Distanzthermometer mit B , C , D , E bezeichnet. In Betreff der Genauigkeit dieser Instrumente muss erwähnt werden, dass sie nicht mit der von gewöhnlichen Quecksilberthermometern wetten kann. Zwar ist der Fehler durch den schädlichen Raum der Rohrleitung sehr unbedeutend. Die längste hier vorkommende Röhre fasst etwa 3 Procent vom Volumen des betreffenden Behälters; weil aber dieser „schädliche Raum“ zum grössten Theil innerhalb der Respirationskammer verlegt ist, wo überall beinahe die nämliche Temperatur waltet, so bleibt er fast ohne Bedeutung. Dagegen kommt ein anderer Fehler vor, der ziemlich schwer zu erklären ist. Sämmtliche Distanzthermometer zeigen nämlich ein fortdauerndes Nachsinken, wie folgende graphische Tabelle (Fig. 1) zeigt. Die Ab-

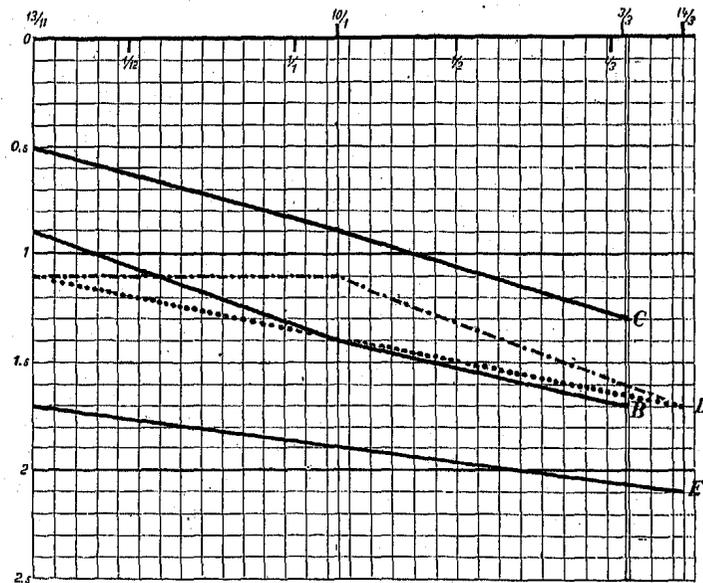


Fig. 1.

scisse giebt die Zeit, die Ordinate den Thermometergrad an, um welchen das betreffende Thermometer zu niedrig zeigt. Mit Ausnahme von D ,

bei welchem irgend eine zufällige Störung stattgefunden hat, haben sich die übrigen so regelmässig geändert, dass gute Correctionen angebracht werden können. Bei dem Thermometer D scheint der Fehler nicht über 0.3 Grad gestiegen zu sein. Ausserdem ist das Thermometer D keiner Berechnung zu Grunde gelegt; dasselbe ist nur deswegen abgelesen worden, um eine Controle zu haben, dass keine grössere Differenz existire zwischen der Temperatur des Raumes und der aus dem Raume abgehenden Luft. Bei 84 willkürlich gewählten Serien von Thermometerablesungen war die mittlere Differenz $\frac{B+C+E}{3} - D = 0.3^{\circ}$ und die grösste beobachtete Differenz = 0.9° .

f. Vorkehrungen zu einem Respirationsversuche.

Die allgemeinen Vorkehrungen sind zweierlei, theils solche, die nur zuweilen vorgenommen werden, theils auch solche, die bei jedem Versuche wiederholt werden müssen. Erstere sind:

1. Controliren des Wasserstandes der Gasuhren. — Weil die kleine Gasuhr mit nicht verdampfendem Paraffinöl gefüllt ist, bezieht sich das Controliren nur auf die beiden grossen Uhren. Wie schon erwähnt, können diese aber Monate lang ohne jede Justirung bleiben.

2. Controliren der hydraulischen Verschlüsse. Bei Abheben der betreffenden Deckel tröpfelt ein wenig Sperrflüssigkeit (Paraffinöl) weg, weshalb man dann und wann nachsehen muss, ob noch genug da ist.

3. Justirung der Thermometer, speciell der Distanzthermometer (vgl. oben).

Vor jedem Versuche hat man Folgendes nachzusehen:

1. Die Respirationskammer muss gut gelüftet sein. Das Auslüften geschieht am zweckmässigsten unmittelbar nach jedem Versuche, wodurch die Kammer für einen neuen stets bereit steht. Wir haben zu dieser Ventilation denselben kleinen Ventilator angewandt, der zum Mischen der Luft dient. Derselbe, welcher dann in ein passendes Gestell eingesetzt wird, saugt die Luft aus dem Freien durch ein offenes Fenster des Apparatenzimmers, weiter durch dieses Zimmer und zuletzt durch die offen gelassene „Schleuse“ $S-S$ (Taf. I) in die Respirationskammer herein, und bläst sie durch die Glocke K (Taf. III) in die Vorhalle hinaus. Die Luft wird in dieser Weise sehr schnell erneuert, und der Kohlensäuregehalt derselben kann — wie aus den unten angeführten Originalziffern ersichtlich ist — in kurzer Zeit bis auf etwa 0.4 pro Mille herabgesetzt werden.

2. Der Wasserstand der Ventile und der Wasserbehälter des Pumpwerkes muss nachgesehen werden.

3. Die nassen Thermometer der Psychrometer müssen frisch angefeuchtet und mit hinlänglichem Wasservorrath versehen werden.

4. Der Analyseapparat muss auf oben angegebene Weise fertig zur Arbeit sein.

5. Der Behälter \mathcal{P}_1 (Taf. II) muss mit Quecksilber gefüllt sein, und der dazu gehörende Recipient seine untere Lage einnehmen.

6. Die Maschine mit ihren Transmissionen muss nachgesehen und geschmiert werden.

7. Etwa $\frac{1}{2}$ Stunde vor dem Versuche muss der Mischungsventilator in Thätigkeit gesetzt werden — um gute Luftmischung zu erhalten.

8. Wägungen von Versuchspersonen (Lampe, Kerze, Wasser o. a.) werden vorgenommen.

Ueberlässt man es dem Laboratoriumdiener, die Maschine, das Pumpwerk und die Psychrometer nachzusehen, sowie auch den Ventilator in Thätigkeit zu setzen — wozu er etwa $\frac{1}{4}$ Stunde braucht — so nehmen die übrigen Vorkehrungen zu einem Versuche kaum zehn Minuten in Anspruch. Nach mehrmonatlichem Stehen, wobei alle Gummischläuche erneuert werden mussten, der Analyseapparat auseinander genommen, gewaschen und mit neuer Lauge versehen, Wasser in die Gasuhren und ins Pumpwerk, Oel in die Verschlüsse gegossen werden musste u. s. w., bedurfte es im Ganzen zwei Tage, um den Apparat wieder fertig für die Arbeit zu machen.

§ 3. Das Ausführen eines Versuches.

Bei den ersten Versuchen war die technische Ausführung ein wenig anders, als bei den späteren. Wir untersuchten da nämlich die Luft der Kammer vor dem Eintritt der Versuchsmenschen, von denen sich bei diesen Versuchen gewöhnlich mehrere auf einmal in der Kammer befanden. Der zuerst Eintretende ging etwa $\frac{1}{2}$ Minute vor der annotirten Anfangszeit, der letzte ebenso lange nach dieser Zeit hinein. Sowie der letzte hereingekommen war, wurde der Deckel aufgelegt und die Maschinerie in Thätigkeit gesetzt. Die Ablesung der Gasuhren, der Thermometer, sowie die Bestimmung der Kohlensäure fand jede $\frac{1}{2}$ Stunde statt, die Ablesung der Psychrometer öfters. Wir änderten aber bald die Arbeitsweise dahin, dass alle Versuchspersonen auf einmal eintraten, und zwar einige Minuten vor dem eigentlichen Anfang des Versuches, wonach die Kammer geschlossen, und die Maschinerie in Thätigkeit gesetzt wurde. Die erste Ablesung, bezw. Analyse, geschah also erst, nachdem der Apparat in regelmässigen

Betrieb gekommen war. Jetzt folgten, wie vorher, in bestimmten Zeiten Ablesungen und Analysen. Bei den Controlversuchen (mit Lampe oder Kerze) begannen wir den Versuch mit dem Einschieben des betreffenden Objectes. Nachdem es durch Anschaffung des Behälters \mathcal{P}_1 (Taf. II, IV und V) möglich wurde, durch einfaches Umdrehen eines Hahnes eine Luftprobe in einem gewissen Momente zu entnehmen, so wurde es einer einzigen Person ohne Schwierigkeit möglich, einen Respiationsversuch allein auszuführen, wenn er nicht durch lange Zeitdauer (z. B. 24 Stunden) 2 Arbeitende voraussetzte. Zwar hat man einige Operationen und Ablesungen innerhalb $\frac{1}{2}$ Minute auszuführen (Ablesen der Gasuhren und des einen Psychrometers, Umdrehen des Hahnes zur Entnahme der Luftprobe); die übrigen Ablesungen der Thermometer und des Barometers brauchen nicht so eilig vorgenommen zu werden, da sich jene Instrumente verhältnissmässig langsam ändern.

Die Ausführung eines Versuches ist am besten aus dem beigelegten Protocole eines Versuches — vom 16. bis 17. Januar 1895 — ersichtlich (Tab. S. 32 und 33). Die 3 ersten Colonnen enthalten die an den Gasuhren abgelesenen Zahlen. Nach der mit „Zeit“ bezeichneten Colonne folgen 7 andere, die die gemeinsame Bezeichnung „Gasvolumina“ haben. Hier ist die durch die betreffenden Gasuhren I, II und III zwischen 2 Ablesungen fortströmende Luftquantität angegeben, wobei nachher noch die auf Seite 13 erwähnte Correction anzubringen ist. Die Colonne „I + II + III“ giebt die Summe der wirklichen Luftmenge an. Unter T_1 , T_2 und $\frac{T_1 + T_2}{2}$ ist die Temperatur der beiden grossen Gasuhren angegeben, sowie auch deren mittlere Temperatur. Der Bequemlichkeit halber haben wir dafür gesorgt, dass, wenn beide Gasuhren benutzt wurden, beinahe dieselbe Luftmenge durch die eine, wie durch die andere Gasuhr fortströmt, wodurch die Temperaturcorrection vereinfacht wird. Bei Gasuhr III wurde auf Grund des kleinen durchgehenden Luftvolumens dieselbe Temperaturcorrection wie bei den anderen benutzt. Die zunächst folgenden Colonnen sind ohne Weiteres verständlich.

Unter „einströmende Luft“ geben die zwei ersten Colonnen die Psychrometerablesung, die dritte den entsprechenden Feuchtigkeitsdruck (p) und die vierte den Wasserdampf pro Mille während der betreffenden Periode an. Die nächsten Colonnen geben die entsprechenden Psychrometerablesungen und den Feuchtigkeitsdruck in der Respiationskammer an. Unter „CO₂“ sind die am Analyseapparat abgelesenen Scalentheile („abgelesen“) sowie auch der daraus berechnete Kohlensäuregehalt pro Mille angegeben, berechnet auf trockene Luft.

Die für die Barometerablesung abgesehenen Colonnen bedürfen keiner Erklärung. Schliesslich ist eine Colonne für Bemerkungen vorhanden. Das Protocoll enthält in der oben angegebenen Form alles, was zur Berechnung des in der Respirationskammer während der Periode gebildeten Wasserdampfes und der Kohlensäure erforderlich ist.

Berechnung der Resultate.

Bezeichnungen:

A = Luftcubus der Respirationskammer (Cubikmeter).

V_1 = Menge (Cubikmeter) der während der Versuchsperiode aus der Respirationskammer ausströmenden Luft.

V_0 = Menge (Cubikmeter) der in die Kammer einströmenden Luft.

V_g = Menge (Cubikmeter) der die Gasuhren durchströmenden Luft.

T_r = Absolute Temperatur ($273 + t^\circ$ C.) der ausströmenden Luft.

T_i = Absolute Temperatur der einströmenden Luft.

T_g = Absolute Temperatur der Gasuhren.

B = Barometerstand (Millimeter), corrigirt für die Temperatur.

p_1 = Tension des Wasserdampfes (Millimeter) in der Kammerluft am Anfange einer Versuchsperiode.

p_2 = Tension des Wasserdampfes (Millimeter) in der Kammerluft am Ende der Periode.

p_0 = Tension des Wasserdampfes in der einströmenden Luft.

p_g = Tension des gesättigten Wasserdampfes bei der Temperatur T_g .

α = Kohlensäuregehalt (pro Mille) der äusseren Luft (wo nichts anderes angegeben ist = 0.32).

β = Kohlensäuregehalt der Kammerluft am Anfange einer Versuchsperiode.

γ = Kohlensäuregehalt der Kammerluft am Ende der Periode.

β_k, γ_k = betreff. Gehälter, corrigirt nach der Formel 2) Seite 20.

$\delta = \gamma_k - \beta_k$

G = Gewicht (Gramm) Kohlenstoff.

H = Gewicht (Gramm) Wasser.

e = Basis der natürlichen Logarithmen.

$Q = \left(1 - e^{-\frac{V_1}{A}}\right)^{-1}$

Wie schon erwähnt, sind vor der endgültigen Berechnung mehrere Correctionen nöthig.

1. Auf Grund der in den Gasuhren abgelesenen Luftmenge (V_g) — von einer Temperatur T_g und einem Feuchtigkeitsdruck p_g — muss die aus der Kammer weggehende Luftquantität (V_1) von einer

Temperatur T_r und einem Feuchtigkeitsdruck, der annähernd $= \frac{p_1 + p_2}{2}$ ist, berechnet werden. Die Relation zwischen V_1 und V_g wird mit hinlänglicher Genauigkeit durch folgende Relation angegeben:

$$\frac{V_1}{V_g} = \frac{T_r(B - p_g)}{T_g \left(B - \frac{p_1 + p_2}{2}\right)} \quad (3)$$

Bei kleinen Ventilationsmengen (5^{obm} und weniger) fällt diese Correction innerhalb der Fehlergrenzen, weshalb sie dann zwecklos ist.

2. Die einströmende Menge Luft muss berechnet werden. Da der in der Kammer gebildete Wasserdampf ein gewisses Volumen Luft verdrängt, wird die einströmende Luftmenge (V_0) um diese Quantität kleiner als die ausströmende (V_1). Bezeichnet man mit h_0 das Volumen des durch Verflüchtigung von flüssigem Wasser entstandenen Dampfes, mit h_1 aber das Volumen des durch Verbrennung von Wasserstoff (im Beleuchtungsmaterial oder Nahrungsmittel gebunden) entstandenen, so ist das Gesamtvolumen der durch Dampf verdrängten Luft $= h_0 + \frac{h_1}{2}$ und also

$$V_0 = V_1 - \left(h_0 + \frac{h_1}{2}\right) \quad (4)$$

Nur beim Brennen von Oel, Stearin oder dergl. kann man die Quantität h_1 sicher berechnen.¹ Im Allgemeinen ist es nur möglich, die Summe $h_0 + h_1$ annähernd zu finden. Im Anfange einer Periode enthält die Kammerluft $A \frac{p_1}{B}$ Cubikmeter Wasserdampf, am Ende der Periode $A \frac{p_2}{B}$ Cubikmeter. Die Kammer enthält also am Ende mehr als im Anfang $= A \left(\frac{p_2 - p_1}{B}\right)$ Cubikmeter. Approx. ist die durch die Ventilationsluft fortgeführte Dampfmenge $= V_1 \left(\frac{p_1 + p_2}{2B} - \frac{p_0}{B}\right)$. Die Summe $h_0 + h_1$ ist also (annähernd)

$$= \frac{1}{B} \left[A(p_2 - p_1) + V_1 \left(\frac{p_2 + p_1}{2} - p_0\right) \right] \quad (5)$$

Die Correction ist kaum nöthig, wenn nicht die Ventilationsmenge 10^{obm} erreicht, weshalb man bei geringeren Zahlen $V_0 = V_1$ setzen kann.

3. Die gefundene Kohlensäure muss nach der Formel 2) Seite 20 corrigirt werden.

¹ Nach der Gleichung $4H + O_2 = 2H_2O$
 Volumen = 0 Volumen = 1 Volumen = 2.

Man kann nun zu der endgültigen Berechnung schreiten.

Die allgemeine, von E. Lenz aufgestellte Formel¹ zur Berechnung gleichförmiger Ventilation eines bekannten Raumes bei constanter Entwicklung von gewissen Gasen und constanter Zusammensetzung der zuströmenden Luft ist bekanntlich die folgende (wobei x die während der Periode sich entwickelnde Kohlensäure [Cubikmeter] bezeichnet):

$$\frac{1000x + V_0\alpha - V_1\gamma_k}{1000x + V_0\alpha - V_1\beta_k} = e^{-\frac{V_1}{A}}$$

Dieser Gleichung kann folgende Form gegeben werden:

$$6) \quad x = 0.001 [V_1(\beta_k + \delta Q) - V_0\alpha]$$

Aehnlich wird die Wasserdampfmenge (y) gefunden:

$$7) \quad y = \frac{1}{B} [V_1(p_1 - Q\{p_2 - p_1\}) - V_0p_0]$$

Bei unseren Arbeiten haben wir eine Tabelle über „ Q “, wenn $\frac{V_1}{A}$ bekannt ist, berechnet. Die Formeln 6) und 7) sind zwar theoretisch richtig; eine nähere Kritik zeigt aber, dass sie nur innerhalb gewisser Grenzen anwendbar sind, sowie auch, dass ihre Genauigkeit bei abnehmender V_1 schnell abnimmt; für $V_1 = 0$ lassen sich die Formeln nicht appliciren. Beistehende Curve (Fig. 2) zeigt den Werth von $Q = \left[1 - e^{-\frac{V_1}{A}}\right]^{-1}$, wenn V_1 sich dem Nullwerth nähert. Ein Fehler beim Messen von V_1 multiplicirt sich dabei in sehr ungünstiger Weise. Nehmen wir z. B. an, dass bei $A = 100 \text{ cbm}$ $V_1 = 2 \pm 0.2 \text{ cbm}$ sei, so liegt $\frac{V_1}{A}$ zwischen 0.018 und 0.022 und Q zwischen 55.6 und 45.5. Dem Werthe $V_1 = 10 \pm 0.2$ aber entspricht

$$Q = 10.75 \text{ oder}$$

$$Q = 10.31$$

und dem Werthe $V_1 = 30 \pm 0.2$: $Q = 3.88$, bzw. 3.83.

Diese Unannehmlichkeiten umgeht man durch Anwendung einer approximativen Formel, wesentlich nach denselben Principien wie die Formel 5) aufgestellt. Der Zuwachs an Kohlensäuregehalt pro Mille, bzw. an Tension des Wasserdampfes in der Kammerluft ist genau bekannt. Derselbe ist (in Cubikmetern) $= A\delta$, bzw. $= A\frac{p_2 - p_1}{B}$. Bei kleinen Ventilationsmengen kommt man der Wahrheit sehr nahe, wenn man die durch die Ventilationsluft fortgeführte Kohlensäure einfach aus dem

¹ Vgl. z. B. Jacoby, Ueber Ventilationsformeln. *Zeitschr. f. Biol.* Bd. XIV, S. 1. 1878.

Product $V_1 \frac{\beta_k + \gamma_k}{2} \left[= V_1 \left(\beta_k + \frac{\delta}{2} \right) \right]$ berechnet. Schliesslich erhält man (exact) den Abzug für die durch die atmosphärische Kohlensäure zu-

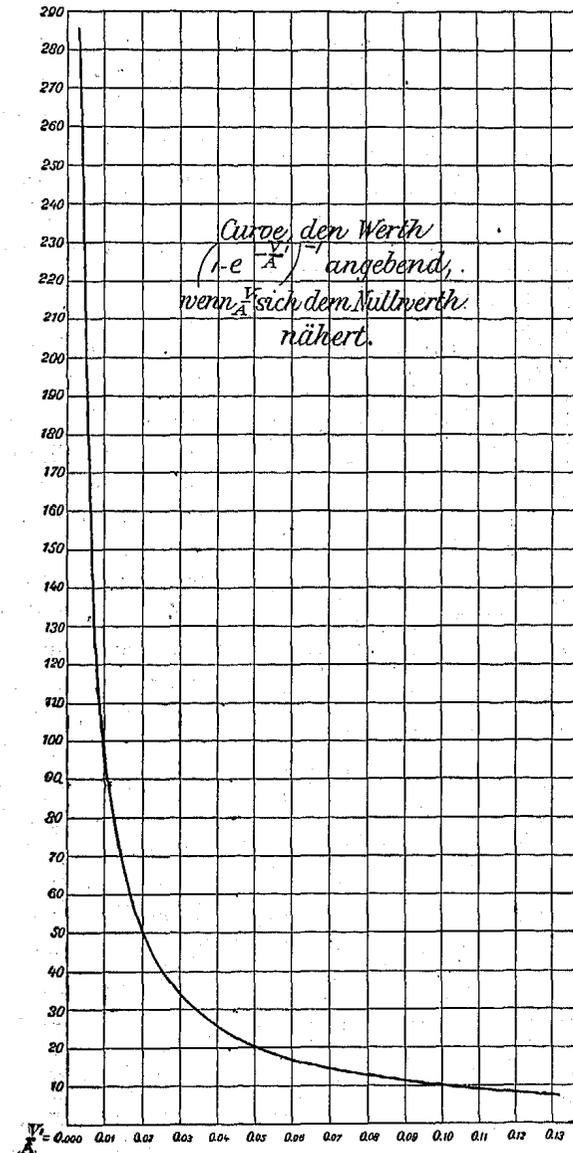


Fig. 2.

geführte Quantität $\text{CO}_2 =$ dem Producte $V_0\alpha$. Die producirtre Kohlen- säure (x) bzw. der Wasserdampf (y) ist demnach

$$8) \quad x = 0.001 \left[A\delta + V_1 \left(\beta_k + \frac{\delta}{2} \right) - V_0 \alpha \right]$$

$$9) \quad y = \frac{1}{B} \left[A(p_2 - p_1) + V_1 \left(\frac{p_1 + p_2}{2} \right) - V_0 p_0 \right]$$

Ist $V_0 = 0$, so sind die Formeln 8) und 9) auch theoretisch exact. Aller Wahrscheinlichkeit nach geben sie aber auch bei ziemlich grossen

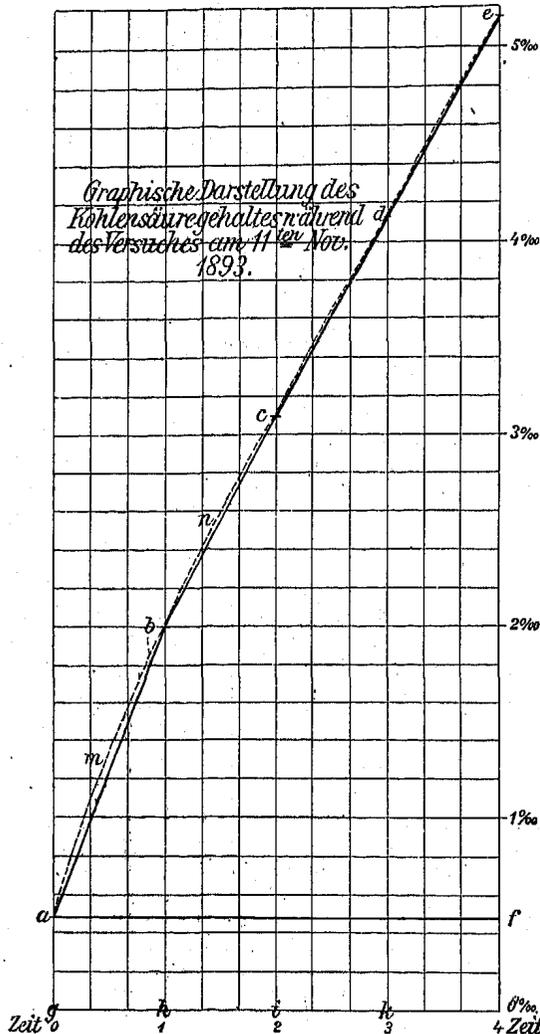


Fig. 3.

gefollt, dass wenn $\frac{V_1}{A} = 0.1$ oder kleiner ist, so wird die Formel 8), sonst die Formel 6) angewandt. Sind x und y gefunden, so werden

Ventilationsmengen (wenigstens bei $V_1 = 10$) ebenso genaue Resultate wie die Formeln 6) und 7). Letztere setzen nämlich eine Gleichmässigkeit der Temperatur, der Ventilationsgeschwindigkeit, der Kohlensäureproduction u. s. w. voraus, welche nur annähernd erreicht wird. Beistehende graphische Darstellung (Fig. 3) des Controlversuches vom 11. November zeigt den Zuwachs der Kohlensäure während des Versuches. Denkt man sich die producirt Kohlensäure durch die Area repräsentirt, die von der Curve $a m b n c d e$, der Ordinate $e f$ und der Linie $f a$ begrenzt ist, so würde dies der Berechnung nach Formel 6) entsprechen. Der Formel 8) würde dann aber das Polygon $a b c d e f a$ entsprechen. Die Differenz der beiden Flächen ist auffallend klein und für die beiden letzten Perioden kaum wahrzunehmen.

Wir sind bei unseren Berechnungen der Regel

C und H nach den folgenden, von selbst verständlichen Formeln gefunden:

$$C = 0.5363 \times \frac{273}{T_r} \times \frac{B}{760} \times x \quad 10)$$

$$H = 0.8048 \times \frac{273}{T_r} \times \frac{B}{760} \times y \quad 11)$$

Die Kohlensäure = $\frac{11}{3} C$.

Durch Aufstellen von Tabellen haben wir uns die Berechnungen sehr erleichtert.

§ 4. Die Controlversuche.

Wenn man die einzelnen in der Berechnung vorkommenden Quantitäten innerhalb der Grenzen der wahrscheinlichen Fehler variiren lässt, so würde man zwar den Einfluss jeder einzelnen Fehlerquelle einigermaassen beurtheilen können. Weil es aber auf diese Weise nicht möglich wäre, den Gesamtfehler des Versuches auszufinden, so wäre mit der Berechnung nur wenig gewonnen. Um aber die wirkliche Genauigkeit der Methode kennen zu lernen, haben wir eine Reihe von Controlversuchen ausgeführt. Wir haben dann, wie früher Pettenkofer, Voit, Stohmann u. A. eine bekannte Menge analysirtes Brennmaterial in der Kammer verbrennen lassen und die daraus gebildete Kohlensäure, bezw. den Wasserdampf bestimmt. Bei den meisten Versuchen haben wir sogenanntes Astralöl angewandt, nur bei einem Versuche Stearin. Die Zusammensetzung des Oeles war die folgende:

	a.	b.	Mittel
C	85.12	84.95	85.04
H	14.56	14.75	14.65
Verunreinigungen und Verlust	0.32	0.30	0.31
Summa	100.00	100.00	100.00

Das Stearin war in folgender Weise zusammengesetzt:

C	75.04
H	12.45
O	12.51
Summa	100.00

0.2^m Docht wog 0.385 g.

LXXVI. Versuch, den
A., geboren am

Gasuhren			Zeit	Gasvolumina; Liter					Distanzthermometer					Einströmende Luft						
I.	II.	III.		I.	T ₁	II.	T ₂	III.	Summe I+II+III.	$\frac{T_1 + T_2}{2}$	B.	C.	D.	E.	B. C. E. Mittel	Trockenes Thermometer	Feuchtes Thermometer	p.	pro Mille	
128500	—	7	6 ^h Nachm.	17.3	—	—	—	—	—	19.9	18.5	18.6	20.7	19.7	Wurde in diesen Versuche nicht bestimmt.					
				12720				65	12785	17.3										
141220	—	72	8 ^h „	17.3	—	—	—	—	—	19.7	18.2	18.6	20.1	19.3						
				12560				53	12613	17.4										
153780	—	125	10 ^h „	17.4	—	—	—	—	—	18.8	17.5	17.9	19.5	18.6						
				13220				61	13281	17.5										
167000	—	186	12 ^h „	17.5	—	—	—	—	—	18.6	17.1	17.6	19.0	18.2						
				12950				51	13001	17.5										
179950	—	237	2 ^h Vorm.	17.5	—	—	—	—	—	17.9	16.9	17.0	18.6	17.8						
				12890				42	12932	17.5										
192840	—	279	4 ^h „	17.5	—	—	—	—	—	17.7	16.2	16.7	18.2	17.4						
				12860				47	12907	17.5										
205700	—	326	6 ^h „	17.5	—	—	—	—	—	17.4	16.1	16.5	17.8	17.1						
				12920				45	12965	17.5										
218620	—	371	8 ^h „	17.5	—	—	—	—	—	16.9	15.8	16.3	17.6	16.8						
				13000				37	13037	17.6										
231620	—	408	10 ^h „	17.6	—	—	—	—	—	17.0	15.7	16.1	17.9	16.9						
				12930				33	12963	17.6										
244550	—	441	12 ^h Mitt.	17.6	—	—	—	—	—	17.7	16.1	16.5	18.3	17.4						
				12890				36	12926	17.6										
257440	—	477	2 ^h Nachm.	17.6	—	—	—	—	—	17.7	16.1	16.5	18.3	17.4						
				12530				30	12560	17.6										
269970	—	507	4 ^h „	17.6	—	—	—	—	—	17.7	16.1	16.5	18.1	17.3						
				12080				20	12100	17.6										
282050	—	527	6 ^h „	17.6	—	—	—	—	—	17.7	16.1	16.5	18.2	17.3						

16. bis 17. Januar 1895.

31. Mai 1826.

In der Respirationskammer				CO ₂		Barometer			Anmerkungen.
Trockenes Thermometer	Feuchtes Thermometer	p.	pro Mille	pro Mille	Abgelesene Theilstriche	Abgelesen	Corrigirt	Temperatur	
20.60	12.65	6.1	8.2	0.524	13.1	747	745	18.5	Körpergewicht (mit Kleidern), vor dem Versuch 71.50 kg, nach dem Versuch 71.05 kg. Gewicht der Kleider 4.68 kg. Während des Versuches trank die Versuchsperson 340 g Wasser. Abendbrot: 155 g belegtes Bröckchen, 560 g Milch. Zwischen 8—9 Uhr Nachm. ins Bett! „ 9—10 „ Vorm. aufstehen! Frühstück: 190 g belegtes Bröckchen, 535 g Milch, 145 g Kaffee. Mittagsessen: 275 g Suppe, 5 g Brod, 591 g Fleisch und Kartoffeln. Harn 1375 com (nur für 23 Stunden gesammelt).
				0.520	13.0				
19.95	12.50	6.3	8.4	0.840	21.0	748	746	18.5	
				0.844	21.1				
19.25	12.05	6.1	8.2	1.060	1+1.5	748	746	18.5	
				1.072	1+1.8				
18.75	11.95	6.3	8.4	1.200	1+5.0	748	746	18.0	
				1.196	1+4.9				
18.35	11.95	6.5	8.7	1.288	1+7.2	748	746	18.0	
				1.280	1+7.0				
17.95	11.85	6.7	9.0	1.364	1+9.1	748	746	18.0	
				1.364	1+9.1				
17.60	11.65	6.7	9.0	1.440	1+11.0	748	746	17.5	
				1.440	1+11.0				
17.40	11.60	6.7	9.0	1.564	1+14.1	748	746	16.5	
				1.564	1+14.1				
17.75	11.80	6.7	9.0	1.628	1+15.7	748	746	17.5	
				1.632	1+15.8				
18.00	12.05	6.9	9.3	1.804	1+20.1	748	746	16.0	
				1.804	1+20.1				
18.05	12.20	7.1	9.5	1.928	1+23.2	748	746	16.5	
				1.920	1+23.0				
17.95	12.05	6.9	9.3	2.088	2+2.2	748	746	16.5	
				2.092	2+2.3				
18.00	12.10	6.9	9.3	2.208	2+5.2	748	746	16.5	
				2.212	2+5.3				

Die Zusammensetzung des Dochtes war:

	a.	b.	Mittel
C	42.86	43.07	42.96
H	6.21	6.07	6.14
Sonstige Bestandtheile	50.93	50.86	50.90
Summa	100.00	100.00	100.00

Da das Wiegen der Lampe bzw. Kerze einige Minuten vor dem Anfange und nach dem Ende des Versuches vorgenommen werden musste, war es nöthig, das ausserhalb der Kammer verbrannte Material in Abzug zu bringen. Wäre die Verbrennung vollständig gleichmässig gewesen, so wäre diese Berechnung sehr einfach. In der That änderte sich aber die Verbrennungsgeschwindigkeit langsam im Laufe des Versuches. Um die Correction so richtig wie möglich zu erhalten, nahmen wir an, dass die Verbrennungsgeschwindigkeit vom ersten Wiegen der Lampe bis zum Ende der ersten Versuchsperiode sowie auch vom Anfange der letzten Periode bis zum zweiten Wiegen der Lampe constant sei. Als Beispiel wählen wir einen Versuch vom 11. November 1893 mit vier Perioden, jede zu 30 Minuten. Zwischen dem ersten Wiegen und dem Anfange des Versuches ist die Lampe eine Minute angezündet gewesen, zwischen dem Ende des Versuches und dem zweiten Wiegen drei Minuten. Während der ganzen Zeit (1 + 30 + 30 + 30 + 30 + 3 Minuten) ist 366^g Oel verbrannt worden. Durch Gasanalyse ist während der betreffenden Perioden gefunden:

Periode	Gramm Kohlenstoff	Astralöl
Zwischen dem Wiegen und Anfang	—	<i>x</i>
1	83.2	<i>y</i>
2	68.5	<i>z</i>
3	73.8	<i>u</i>
4	78.1	<i>v</i>
Zwischen Ende von „4“ u. dem Wiegen	—	<i>w</i>

Ist das verbrauchte Astralöl dem Kohlenstoff proportional, so erhält man:

$$y : z = 83.2 : 68.5$$

$$y : u = 83.2 : 73.8$$

$$y : v = 83.2 : 78.1$$

Weiter ist nach der oben gemachten Annahme:

$$x : y = 1 : 30$$

$$w : v = 3 : 30$$

Schliesslich $x + y + z + u + v + w = 366$.

Aus diesen Gleichungen lassen sich die betreffenden Zahlen berechnen.

Controlversuch A. 14. März 1893.

Kleine Lampe.

Zeit	Durch die Gasbrenn gemessenes Luftvolumen	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter		Kohlensäure pro Mille		Gramm			
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	der einströmenden Luft	in d. Respirationkammer	beobachtet	correct	C	CO ₂	H ₂ O	
												Approx.
1 ^h 6'		288.8	290.3	290.0	3.8	4.2	0.414	0.412	11.9	43.5	—	
	3.32											
2 ^h 6'		288.8		290.6	—	4.4	0.648	0.644	12.2	44.7	—	
	3.36											
3 ^h 6'		288.8		290.7	4.3	4.5	0.880	0.875	12.7	46.6	—	
	3.36											
4 ^h 6'		288.9		290.7	—	4.6	1.116	1.109	8.4	30.7	—	
	3.47											
5 ^h 6'		288.9		290.8	—	4.8	1.256	1.248	13.9	51.1	—	
	3.74											
6 ^h 6'		289.0		290.8	—	4.9	1.500	1.490	8.9	32.6	—	
	3.91											
7 ^h 6'		289.0		290.9	4.5	5.1	1.632	1.621	20.9	76.8	—	
	6.97											
8 ^h 39'		289.0		290.9	—	5.3	1.956	1.942				
									Sa.	88.9	326.0	—

Kohlensäure der Atmosphäre = 0.32 pro Mille.

Luftcubus der Respirationkammer = 100.5 cbm.

Barometerstand = 745 mm. In der Lampe verbranntes Oel = 105.4^g.

Dem Oel entsprechender Kohlenstoff = 89.6 oder Kohlensäure = 328.5.

Gefunden: 88.9 Kohlenstoff oder 326.0 Kohlensäure.

Versuchsfehler: — 0.78 Procent.

Controlversuch B. 22. März 1893.

Grosse Lampe.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	der einströmenden Luft	in d. Respirationkammer	beobachtet	correctirt	C	CO ₂	H ₂ O
12 ^h 27'	289.0	[290?]	290.2	4.25	4.2	0.396 I. 0.400 II. 0.420 III.	} 0.402	89.2	327	—	
12 ^h 57'	289.1		294.4	4.15	5.0	2.068					2.058
1 ^h 27'	289.1		295.7	4.10	6.0	3.488	3.460	84.8	311	—	
1 ^h 57'	[289.1]		296.6	4.25	6.9	4.693	4.660	80.8	296	—	
2 ^h 27'	289.2		297.1	4.00	7.5	5.655 I. 5.685 II.	} 5.613	Sa.	341.2	1251	—

Kohlensäure der Atmosphäre = 0.32 pro Mille.

Luftcubus der Respirationkammer = 100.5 cbm.

Barometerstand = 761 mm. In der Lampe verbranntes Oel = 393.9 g; dem Oel entsprechender Kohlenstoff = 335.0 g oder Kohlensäure = 1228.3 g.

Gefunden: Kohlenstoff 341.2 g oder Kohlensäure = 1251 g.

Versuchsfehler: + 1.85 Procent.

Controlversuch C. 24. März 1893.

Stearinkerze.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
		der Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	der einströmenden Luft	in d. Respirationkammer	beobachtet	correctirt	C	CO ₂	H ₂ O
1 ^h 25'	290.1		291.5	3.1	4.5	0.448 I. 0.476 II. 0.476 III. 0.448 IV.	} 0.459	8.9	32.5	—	
2 ^h 25'	290.1		291.6	—	—	0.632					0.628
3 ^h 25'	290.2		291.6	—	—	0.796	0.791	11.1	40.6	—	
4 ^h 45'	290.2		291.6	—	—	1.000	0.994	4.9	18.0	—	
5 ^h 25'	290.2		291.5	—	4.9	1.088	1.081	8.5	31.2	—	
6 ^h 25'	290.2		291.5	3.1	—	1.240	1.232	7.5	27.3	—	
7 ^h 25'	290.3		291.4	—	—	1.368	1.359	9.1	33.4	—	
8 ^h 25'	290.3		291.4	—	5.0	1.524	1.514	7.3	27.0	—	
9 ^h 26'	290.3		291.5	—	—	1.644	1.633	1.2	4.3	—	
9 ^h 31 1/2'	290.3		291.5	4.1	5.1	1.664	1.653	Sa.	67.2	246.3	—

Luftcubus der Respirationkammer . . . = 100.5 cbm

Barometerstand um 1 Uhr 25 Min. . . = 770 mm

„ „ 8 „ 25 „ . . . = 772 „

Gebrannte Stearinkerze . . . = 91.1 g

Der Kerze entsprechender Kohlenstoff. . . = 68.2 „

Der Kerze entsprechende Kohlensäure . . . = 250.0 „

Gefunden: Kohlenstoff . . . = 67.2 „

Kohlensäure . . . = 246.3 „

Versuchsfehler . . . = -1.47 Proc.

Controlversuch D. 26. April 1893.

Grosse Lampe.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	beobachtet	correct	C	CO ₂	H ₂ O
12 ^h		290.0	289.3	292.1	5.15	6.4 ¹	0.712	0.706	86.1	316	135
12 ^h 30'	19.96	290.0	289.3	295.0	4.85	7.35 ²	2.220	2.198			
	20.58								81.4	298	139
1 ^h		290.0	289.3	296.2	5.00	8.30 ³	3.364	3.327			
	21.08								80.8	296	132
1 ^h 30'		290.0	289.1	296.4	4.60	8.82 ⁴	4.271	4.221			
	21.19								80.4	295	135
2 ^h		290.0	289.1	296.9	4.45	9.20 ⁵	4.991	4.930			
								Sa.	328.7	1205	541

Luftcubus der Respirationkammer = 100.5^{cm}. Barometerstand = 755^{mm}. In der Lampe verbranntes Oel = 380.9^g, dem Oel entsprechender Kohlenstoff = 323.9^g, oder Kohlensäure = 1187.6^g; Wasser = 502^g.

Ausserdem sind aus einem offenen Gefäss 18^g Wasser verdunstet. Gefunden: Kohlenstoff 328.7^g = Kohlensäure 1205^g; Wasser = 541^g.

Versuchsfehler der Kohlensäure = + 1.48 Procent.
do. des Wassers = + 4.0 „

Um einen ungefähren Begriff von den Versuchsfehlern in Betreff des Wassers während der einzelnen Perioden zu erhalten, kann man die aus den Psychrometerobservationen berechneten Wasserquantitäten

¹	Relative Feuchtigkeit	39	Procent,	Thaupunkt,	absol. Temperatur	277.8 ^o .
²	„	37	„	„	„	279.8 ^o .
³	„	39	„	„	„	281.6 ^o .
⁴	„	41	„	„	„	282.5 ^o .
⁵	„	42	„	„	„	283.1 ^o .

mit denjenigen vergleichen, die man aus der entstandenen Kohlensäure berechnet (100^g Kohlenstoff des Oeles entspricht 155^g aus dem Wasserstoff entstandenem Wasser). Natürlich hat man das direct verdunstete Wasser — auf die vier Perioden gleichmässig vertheilt — zuzuaddiren, d. h. $\frac{18}{4}$ Gramm pro Periode. Nachstehende Tabelle zeigt die betreffenden Ziffern.

Periode	Gramm Wasser		Versuchsfehler, wenn die Kohlensäure als richtig angenommen wird, Procent
	Beobachtet	Aus der Kohlensäure berechnet	
1	135	138	- 2.2
2	139	130	+ 6.9
3	132	130	+ 1.5
4	135	129	+ 4.6

Controlversuch E. 19. September 1893.

Grosse Lampe.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter		Kohlensäure pro Mille		Gramm			
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	der einströmenden Luft	in d. Respirationkammer	beobachtet	correct	C	CO ₂	H ₂ O	
												Approx.
1 ^h 11'		288.4	289.3	289.2	[10]	[10.0]	0.560	0.552	88.9	326	—	
	7.63											
1 ^h 41'		288.4	292.4	293.5	—	[10.5]	2.296	2.264	87.4	320	—	
	9.63											
2 ^h 11'		288.4	293.1	294.3	—	[11.0]	3.840	3.733	85.9	315	—	
	10.00											
2 ^h 41'		288.5	293.7	295.4	—	[12.0]	5.213	5.130	82.6	303	—	
	10.68											
3 ^h 11'		288.5	294.1	296.0	—	12.9	6.353	6.243				
									Sa.	344.8	1264	—

Kohlensäure der Atmosphäre	= 0.32 pro Mille
Luftcubus der Respirationskammer	= 100.5 cbm
Barometerstand (des ganzen Versuches)	= 745 mm
In der Lampe verbranntes Oel	= 406.8 g
Dem Oel entsprechender Kohlenstoff	= 345.5 g
Dem Oel entsprechende Kohlensäure	= 1266.8 g
Gefunden: Kohlenstoff	= 344.8 g
Kohlensäure	= 1264.0 g
Versuchsfehler	= - 0.2 Proc.

Controlversuch F. 8. November 1893.

Grosse Lampe und feuchte Laken.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter		Kohlensäure pro Mille		Gramm			
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationskammer	der einströmenden Luft Mittel	in der Respirationskammer	beobachtet	correct	C	CO ₂	H ₂ O	
11 ^h 45'		289.7	280.4	289.2		5.34 ¹	0.788	0.782	} 143.5	} 526	} [575]	
12 ^h 45'	31.23	289.7	281.1	291.7	5.34	9.26 ²	3.112	3.074				
1 ^h 45'	32.28	289.7	281.2	292.7	5.38	10.96 ³	4.673	4.606				} 136.8
									Sa.	280.3	1028	

Die Laken waren vollständig ausgebreitet, weshalb sie schnell trocken wurden.

Luftcubus der Respirationskammer	= 100.5 cbm
Barometerstand	= 764 mm
In der Lampe gebranntes Oel	= 322.0 g
Dem Oel entsprechender Kohlenstoff	= 273.8 g
Dem Oel entsprechende Kohlensäure	= 1003.9 g

¹ Relative Feuchtigkeit 39 Procent; Thaupunkt, absol. Temperatur 275.2°.
² " " 58 " " " " 283.2°.
³ " " 64 " " " " 285.8°.

Dem Oel entsprechendes Wasser	= 424.0 g
Aus dem Laken verdunstetes Wasser (approx.)	= 740.0 g
Gefunden: Kohlenstoff	= 280.3 g
Kohlensäure	= 1028.0 g
Wasser, 1. Stunde	= 575.0 g
" 2. "	= [253.0] g
Versuchsfehler der Kohlensäure	= +2.37 Proc.
In Betreff des Wassers siehe unten.	

Controlversuch G. 11. November 1893.

Grosse Lampe.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter		Kohlensäure pro Mille		Gramm			
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationskammer	der einströmenden Luft Mittel	in der Respirationskammer	beobachtet	correct	C	CO ₂	H ₂ O	
2 ^h 5'		290.2	284.9	288.3		5.95 ¹	0.480	0.476	} 83.2	} 305	} 121	
12.37					5.72							
2 ^h 35'		290.2	285.4	292.0		7.05 ²	2.020	2.001	} 68.5	} 251	} 113	
12.26					5.72							
3 ^h 5'		290.3	286.0	293.2		7.95 ³	3.120	3.087	} 73.8	} 271	} 114	
12.81					5.80							
3 ^h 35'		290.3	286.3	293.8		8.75 ⁴	4.191	4.133	} 78.1	} 286	} 91	
12.57					5.87		4.171					
4 ^h 5'		290.2	285.7	294.4		9.25 ⁵	5.210	5.146				
									Sa.	303.6	1113	439

Luftcubus der Respirationskammer	= 100.5 cbm
Barometerstand	= 760 mm

¹ Relative Feuchtigkeit 46 Procent; Thaupunkt, absol. Temperatur 276.7°.
² " " 43 " " " " 279.2°.
³ " " 45 " " " " 280.9°.
⁴ " " 48 " " " " 282.4°.
⁵ " " 49 " " " " 283.2°.

In der Lampe verbranntes Oel	=	353.7 g
Dem Oel entsprechender Kohlenstoff	=	300.8 g
Dem Oel entsprechende Kohlensäure	=	1102.9 g
Dem Oel entsprechendes Wasser	=	466.0 g
Gefunden: Kohlenstoff	=	303.6 g
Kohlensäure	=	1113.0 g
Wasser, 1. halbe Stunde	121.0 g	
" 2. " "	113.0 g	
" 3. " "	114.0 g	
" 4. " "	91.0 g	
insgesamt	=	439.0 g
Versuchsfehler der Kohlensäure	=	+0.93 g
" des Wassers	=	-5.8 g

Controlversuch H. 27. Februar 1894.

Kleine Lampe.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter		Kohlensäure pro Mille		Gramm			
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	der einströmenden Luft	in d. Respirationkammer	beobachtet	correct	C	CO ₂	H ₂ O	
												Approx.
12 ^h 30'		290.2	298.0	296.8	7.35	5.9	0.476	0.472	} 14.0	} 51	}	
2.79												
1 ^h 30'		290.2	297.0	297.2	6.80	6.5	0.760	0.755				
2.85												
2 ^h 30'		290.2	295.9	296.1	7.15	6.6	1.100	1.088	} 16.8	} 62	}	
2.81												
3 ^h 30'		290.2	298.1	295.4	8.15	6.6	1.408	1.399	} 16.3	} 60	}	
							1.404					
									Sa.	47.1	173	—

In der Lampe verbranntes Oel = X:

$$59.0 > X > 55.0$$

$$50.2 > \text{Kohlenstoff} > 46.8$$

Aus Versehen wurde die Lampe auf einer weniger genauen Waage gewogen.

Controlversuch J. 6. März 1894.

Grosse Lampe.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter	Kohlensäure pro Mille		Gramm			
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer		beobachtet	correct	C	CO ₂	H ₂ O	
					der einströmenden Luft Mittel						
1 ^h 41'		290.7	287.9	288.4	4.50 ¹	0.456	0.453	} 172.4	} 632	} 249	
12.17					4.11						
2 ^h 41'		290.6	289.3	293.8	6.78 ²	3.772	3.688	} 168.5	} 618	} 216	
12.53					3.90						
3 ^h 41'		290.6	289.5	294.8	8.49 ³	6.569	6.495				
								Sa.	340.9	1250	465

Luftcubus der Respirationkammer = 100.5 cbm

Barometerstand = 750 mm

In der Lampe verbranntes Oel = 398.0 g

Dem Oel entsprechender Kohlenstoff = 338.5 g

Dem Oel entsprechendes Wasser = 525.0 g

Gefunden: Kohlenstoff = 340.9 g

 Kohlensäure = 1250.0 g

Wasser, 1. Stunde 249 g

 2. " 216 g

 insgesamt = 465.0 g

Versuchsfehler der Kohlensäure = + 0.71 Proc.

 " des Wassers = -11.9 "

Wird das während des Versuches gebildete Wasser nach der Kohlensäure ausgerechnet, so erhält man:

1. Stunde = 267.0 g — Fehler⁴ = - 6.7 Procent.

2. " = 261.0 g — " = - 17.2 "

Auch hier zeigt eine vermehrte Luftfeuchtigkeit in der Kammer eine vergrösserte Absorption des Wassers (vgl. unten).

¹ Relative Feuchtigkeit 35 Procent; Thaupunkt, absol. Temperatur 272.8°.

² " " 37 " " " " 278.6°.

³ " " 44 " " " " 281.9°.

⁴ Wenn der Kohlenstoff richtig angenommen wird.

Controlversuch K. 6. April 1894.

(Von Dr. J. E. Johansson ausgeführt.)

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationskammer	der einströmenden Luft	in der Respirationskammer	beobachtet	corrigirt	C	CO ₂	H ₂ O
12 ^h		291.1	289.2	291.1	7.2?	5.7	0.432 0.428 0.436	0.429	187.3	503.4	192
14.1											
1 ^h		291.1	290.3	294.8	5.9	7.5	2.972 2.988	2.951	132.2	484.7	221
14.3											
2 ^h		291.1	291.3	296.1	5.7	9.4	5.114 5.106	5.058			

Kohlensäure der Atmosphäre	= 0.308 pro Mille
Luftcubus der Respirationskammer	= 100.5 cbm
Barometerstand	= 764 mm
In der Lampe verbranntes Oel	= 322.0 g
Dem Oel entsprechender Kohlenstoff	= 273.8 g
„ „ entsprechende Kohlensäure	= 1004.0 g
„ „ entsprechendes Wasser	= 424.0 g
Gefunden: Kohlenstoff	= 269.5 g
Kohlensäure	= 988.0 g
Wasser ¹	= 413.0 g
Versuchsfehler des Kohlenstoffes	= -1.57 Procent
„ des Wassers	= -2.6 „

¹ Unter der Annahme, dass der Feuchtigkeitsdruck der äusseren Luft = 5.8 mm (durchschnittlich) ist.

² Der Werth 7.2 ist augenscheinlich unrichtig. Ist die Ablesung erfolgt gleich nachdem der Apparat in Betrieb gesetzt worden ist, so entstehen immer derartige Fehler.

Controlversuch L. 13. September 1894.

Grosse Lampe.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationskammer	der einströmenden Luft	in der Respirationskammer	beobachtet	corrigirt	C	CO ₂	H ₂ O
10 ^h 30'	67.61	289.05	289.5	291.0	—	6.7	0.390 0.380	—	377.7	1885	—
11 ^h 30'		289.05	290.8	296.3	—	9.0	—	—			
1 ^h 30'		289.05	289.8	297.5	—	10.1	5.988 5.972	—			

Luftcubus der Respirationskammer	= 100.5 cbm
Barometerstand	= 755 mm
In der Lampe verbranntes Oel	= 445.0 g
Dem Oel entsprechender Kohlenstoff	= 378.4 g
„ „ entsprechende Kohlensäure	= 1388.0 g
Gefunden: Kohlenstoff	= 377.7 g
Kohlensäure	= 1385.0 g
Versuchsfehler des Kohlenstoffes	= -0.19 Procent.

In der nachstehenden Tabelle sind die Resultate in Betreff des Kohlenstoffes zusammengestellt.

Versuch	Kohlenstoff		Differenz	Versuchsfehler %
	Berechnet	Gefunden		
A.	89.6	88.9	-0.7	-0.78
B.	335.0	341.2	+6.2	+1.85
C.	68.2	67.2	-1.0	-1.47
D.	323.9	328.7	+4.8	+1.48
E.	345.5	344.8	-0.7	-0.20
F.	273.8	280.3	+6.5	+2.37
G.	300.8	303.6	+2.8	+0.93
J.	338.5	340.9	+2.4	+0.71
K. ¹	273.8	269.5	-4.3	-1.57
L.	378.4	377.7	-0.7	-0.19
			Mittel	1.16

¹ Von Dr. J. E. Johansson ausgeführt.

Die mit dem Pettenkofer'schen Apparate ausgeführten Controlversuche haben in Betreff der Kohlensäure keine besseren Resultate gegeben. — Die ersten 7 Controlversuche Pettenkofer's gaben zwar einen mittleren Fehler von 0.6 Procent;¹ bei den später von Carl und Ernst Voit und J. Forster veröffentlichten² Untersuchungen, welche die Verfasser mit specieller Rücksicht auf die Wasserbestimmung anstellten, waren die Resultate folgende:

Jahr	Mittlerer Fehler (Procent)	Zahl der Controlversuche	Seite
1868	2.13	6	180
1871	0.79	10	138
1872	1.76	1	141
1873	1.25	4	145, 158
1874	2.64	5 ^a	171
1874	3.45	5	171
1874	2.18	5 ^b	173
1874	3.12	5	173

Der mittlere Fehler sämtlicher 48 Bestimmungen = 1.96 Procent. — Stohmann⁴ erhielt mit seinem nach demselben Princip eingerichteten Respirationsapparat als Mittel von 13 Bestimmungen einen Fehler von 1.45 Procent. Mit dem kleinen Respirationsapparat Voit's war der Fehler (Mittel von 5 Bestimmungen) 1.76 Procent.⁵ Leyden und Fränkel erhielten mit einem nach demselben Princip construirten Apparat einen Fehler (Durchschnitt von 5 Bestimmungen) = 1.58 Procent.⁶

¹ Pettenkofer, *Ann. d. Ch. u. Pharm.* II. Suppl. S. 42 ff., 51. 52. 1863.

² C. & E. Voit und J. Forster, *Zeitschr. f. Biol.* Bd. XI, S. 126 ff. 1875.

³ Die Probe gegläht.

⁴ Stohmann, *Landwirthschaftl. Versuchsst.* Bd. XIX, S. 93. 1876.

⁵ Voit, *Zeitschr. f. Biol.* Bd. XI, S. 577. 1875.

⁶ Leyden und Fränkel, *Arch. f. pathol. Anat.* Bd. LXXVI, S. 150. 1879.

Controlversuch M.¹ November 1893.

Nasse, zusammengefaltete Laken.

Zeit	Durch die Gasbrenn gemessenes Luftvolumen	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter		Gefundenes Wasser Gramm	Bemerkungen.	
		in den Gasbrenn	der einströmenden Luft	in der Respirationskammer	der einströmenden Luft	in der Respirationskammer			
11 ^h Vorm.	290	286	290.1	5.20	8.50	70	Relative Feuchtigkeit in der Respirationskammer = 59 Procent		
8.1	—	—	290.0	5.05	8.90				
11 ^h 15'	8.3	—	—	290.0	4.95	9.05		48	
11 ^h 30'	8.5	—	—	289.9	4.95	9.25		56	
11 ^h 45'	7.8	—	—	289.9	4.80	9.35		45	
12 ^h	9.0	—	—	289.9	4.60	9.42		50	
12 ^h 15'	7.9	—	—	289.9	4.30	9.50		48	
12 ^h 30'	8.6	—	—	289.9	3.95	9.50		47	
12 ^h 45'	8.3	—	—	289.9	4.10	9.50		47	
1 ^h	9.3	—	—	289.9	4.35	9.50		50	
1 ^h 15'	8.6	—	—	290.0	4.30	9.56	52		
1 ^h 30'	—	—	—	—	—	—	513		
							Sa.	513	Relative Feuchtigkeit = 66 Procent

- Luftcubus der Respirationskammer = 100.5 cbm
- Barometerstand = 745 mm
- Aus den Laken verdunstetes Wasser = 586 g
- Gefundenes Wasser = 513 g
- Versuchsfehler = -12.5 Procent.

¹ Vgl. K. Sondén, *Frukten i Tegelbyggnader. Bih. t. Stockholms Stads Helsevårdsnämnds årsberättelse 1892.* Stockholm 1893. S. 51.

Controlversuch N.¹ November 1893.

Nasse, zusammengefaltete Laken.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter		Gefundenes Wasser, Gramm	Bemerkungen.
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer		
11 ^h	44.1	ca. 290	290.0	295.2		10.8	Relative Feuchtigkeit in der Respirationkammer = 54 Procent. do. do. = 58 Procent.	
1 ^h	—	—	290.6	295.8		12.0		

- Luftcubus der Respirationkammer = 100.5 cdm
- Barometerstand = 754 mm
- Aus den Laken abgedampftes Wasser = 420 g
- Gefundenes Wasser = 395 g
- Versuchsfehler = - 6.0 Procent.

In der folgenden Tabelle sind die Resultate in Betreff des Wassers — unter Weglassung des notorisch falsch ausgeführten Versuches F. — zusammengestellt.

Versuch	Wasser		Differenz	Versuchsfehler %
	Berechnet	Gefunden		
D.	520	541	+21	+ 4.0
G.	466	439	-27	- 5.8
J.	525	465	-60	-11.4
K.	424	413	-11	- 2.6
M.	586	513	-73	-12.5
N.	420	395	-25	- 6.0
Mittel 7.1				

Für 4 Versuche ist es möglich gewesen, das Wasser nach der Kohlensäure (vgl. Seite 39) zu berechnen. In der nachstehenden Tabelle sind die betreffenden Ziffern zusammengestellt.

¹ Vgl. Bemerkung S. 47.

Periode	Versuch D.				Versuch G.				Versuch J.			
	Nach dem Kohlenstoff berechnet	Gefunden	Differenz	Procent Fehler	Nach dem Kohlenstoff berechnet	Gefunden	Differenz	Procent Fehler	Nach dem Kohlenstoff berechnet	Gefunden	Differenz	Procent Fehler
I.	138	135	-3	-2.2	129 ¹	121	-8	-6.2	267	249	-18	-6.7
II.	130	139	+9	+6.9	106	113	+7	+6.6				
III.	130	132	+2	+1.5	114	114	0	0	261	216	-45	-17.2
IV.	129	135	+6	+4.6	121	91	30	-24.8				

In Betreff des Wassers haben wir leider zu wenige Bestimmungen gemacht. Sowohl unsere als auch frühere Versuche haben jedoch gezeigt, dass man auf viele anscheinend unwichtige Umstände Rücksicht nehmen muss, um brauchbare Resultate zu bekommen. Aus diesem Grunde darf man nur aus grossen Reihen von Versuchen allgemein gültige Schlüsse ziehen — wenn auch die Versuche einer gewissen Serie gut ausgefallen sind. Unsere Controlversuche sind aus dem Grunde auf eine geringe Anzahl beschränkt, weil die ersten — vor Anwendung des Psychrometers ausgeführten — misslungen waren, weshalb wir die Wasserbestimmung beinahe aufgegeben hätten. Die ausgeführten Versuche waren eigentlich nur deshalb gemacht, um zu prüfen, welcher Werth den im 2. Abschnitt angeführten Wasserbestimmungen zugemessen werden könnte. Die Versuche M und N sind zu einem Zwecke ausgeführt, der auf unsere Untersuchungen im Uebrigen keine Beziehung hat.

Die Tabelle Seite 48 zeigt eine entschiedene Tendenz der Wasserbestimmung, zu niedrig auszufallen. Das nämliche scheint auch der Fall in Betreff der letzten Perioden der im 2. Abschnitt mitzutheilenden Wasserbestimmungen gewesen zu sein. Es wäre sonst eigenthümlich, dass die Wasserproduction der Versuchspersonen in der dritten Periode fast immer viel grösser als in der vierten ist.

Die grössten Verluste sind nämlich sowohl bei den Control- als auch bei den anderen Versuchen immer während der letzten Perioden zu finden, was aber nur auf wirklicher Absorption des Wasserdampfes durch die Wände der Kammer sowie durch die Möbel beruhen kann. — Stohmann² hat auf gewichtsanalytischem Wege bewiesen, 1) dass eine

¹ Vgl. die Bemerkungen S. 41.

² Stohmann, Die landwirthschaftl. Versuchsst. XIX, S. 104.

solche Absorption von Wasserdampf entstehe, wenn mit Oelfarbe angestrichenes Metall feuchter Luft ausgesetzt wird, und 2) dass eine Wasserabgabe wieder erfolgt, wenn die Luft trockener wird. Das Phänomen, das durchaus nicht mit gewöhnlicher Condensation zu verwechseln ist, kann auch an gewissen Hygrometern beobachtet werden, wo feuchte Luft nur mit Glas in Berührung kommt. Das so absorbierte Wasser bleibt an den Wänden haften, wenn auch letztere eine viel höhere Temperatur besitzen, als der Thaupunkt der Luft der Umgebung. Dieses Wasser kann auch nicht als sichtbare Feuchtigkeit mit den Augen erkannt, sowie auch nicht durch Löschpapier oder Leinwand weggeschafft werden (wie C. und E. Voit und J. Forster¹ anzunehmen scheinen). Weil aber die Absorption zwar nicht der Luftfeuchtigkeit der Respirationkammer mathematisch proportional, jedoch einigermassen von derselben abhängig ist, so scheint die Absorption am geringsten sein zu müssen, wenn die relative Feuchtigkeit constant bleibt. Die Versuche deuten auch dahin. — Durch die brennende Lampe wird sowohl die Temperatur erhöht als auch die absolute Feuchtigkeit vermehrt, wodurch die relative Feuchtigkeit eine Zeit lang ziemlich constant gehalten werden — ja sogar heruntergehen — kann. Das nämliche gilt einigermassen für die Versuche am Menschen.

Mit der steigenden Temperatur vergrößert sich aber auch der Wärmeverlust durch die Wände der Respirationkammer, wodurch die Temperatur immer langsamer steigt, um unter Umständen constant zu bleiben. Ein constanter Zuwachs der absoluten Feuchtigkeit bewirkt nun auch einen Zuwachs der relativen. Dieser Zuwachs scheint die von uns erhaltenen Differenzen sehr gut zu erklären; und weil die Versuche mit Lampe eher besser als schlechter als die mit direct verdampfendem Wasser ausgefallen sind, haben wir durchaus keine Veranlassung, irgend welche unvollständige Verbrennung des Astralöles anzunehmen oder die Erklärung für die mangelnde Genauigkeit der Wasserbestimmungen hierin zu suchen.

Bei verhältnissmässig kleinen Wasserdampfmengen und geringen Variationen der relativen Feuchtigkeit — jedoch natürlich nicht so klein, dass die Variationen innerhalb der Grenzen der Versuchsfehler fallen — scheinen die Resultate zwar nicht sehr gut, aber doch für gewisse Berechnungen, speciell in hygienischer Hinsicht, brauchbar zu sein.

¹ C. und E. Voit und J. Forster, *Zeitschr. f. Biologie*. Bd. X, S. 134.

In Betreff des Wassers haben sich auch bei den früheren Versuchen Schwierigkeiten eingestellt. Zwar hat Pettenkofer bei seinen ersten Versuchen befriedigende Resultate erhalten: bei 5 Versuchen einen Maximifehler von — 6.7 Procent und einen mittleren von 4.4 Procent. Zwei folgende Reihen zeigten indessen ungünstigere Resultate. Wenn man zwei Versuche ausschliesst, die mit wissentlichen Fehlern behaftet waren, so bleibt für die übrigen vier Versuche ein Maximifehler von — 8.7 Procent und ein durchschnittlicher von 6.4 Procent.

Um der Sache auf den Grund zu gehen, unternahmen C. und E. Voit und J. Forster eine Untersuchung,¹ bei der sie den Apparat sowie auch die Versuchsmaterialien so zu sagen Stück für Stück prüften. Nach einer rein colossalen Arbeit gaben sie als Resultat an, dass der Fehler auf unvollständiger Verbrennung des Stearins beruhte. Wenn sie das Wasser direct abdampfen liessen, erhielten sie folgendes Resultat:

Zeit	Wasser		Differenz	Procent Fehler
	Berechnet	Gefunden		
26. Januar 1874	439.6	445.8	+ 6.2	+ 1.4
29. „ „	275.6	294.1	+ 18.5	+ 6.7
2. Februar „	98.6	101.6	— 8.0	— 8.5
26. „ „	404.3	423.8	+ 19.5	+ 4.8
3. März „	588.7	609.3	+ 20.6	+ 3.5
2. April „	650.8	691.9	+ 41.1	+ 6.3

Nach Wegschaffen noch einer Fehlerquelle, mit welcher diese Versuche behaftet waren, erhielten sie:

Zeit	Wasser		Differenz	Procent Fehler
	Berechnet	Gefunden		
8. April 1874	471.0	456.8	— 14.2	— 3.0
13. „ „	657.9	641.2	— 16.7	— 2.5
16. „ „	459.7	443.7	— 16.0	— 3.5

In Betreff der Application der Beobachtungen der obigen Verfasser über unvollständige Verbrennung des Stearins auf das von uns an-

¹ C. und E. Voit und J. Forster, *Zeitschr. f. Biologie*. Bd. X, S. 126—186. 1875.

gewandte Astralöl haben wir schon eine Andeutung gemacht. Neben dem dort angegebenen Grunde, weshalb keine derartige unvollständige Verbrennung anzunehmen sei, erinnern wir noch daran, dass man beim Brennen von Petroleum in dem Geruche ein ausserordentlich scharfes Reagenz unverbrannter oder halbverbrannter Stoffe besitzt. Wir haben solche Producte niemals mit dem Geruche erkennen können. Ob durch Dissociation gebildeten Wassers freier Wasserstoff entstanden ist, können wir gegenwärtig nicht entscheiden. Es ist dann nur die Frage zu beantworten, weshalb die Kohlensäure — die sonst verhältnissmässig leicht zersetzbar ist — nicht an dieser Dissociation Theil genommen hat. Bei unseren Untersuchungen haben wir nichts beobachtet, was eine unvollständige Verbrennung oder Dissociation andeutet.

Wie schon früher angegeben ist, schliessen wir uns vollständig der Erklärung Stohmann's an. Seine Controlversuche¹ sind durch Verdampfung einer gewissen Quantität Wasser in der Respirationskammer und Bestimmung des Wassers durch Gewichtsanalyse ausgeführt. In zwei grösseren Reihen theilt er die Resultate von 48 Versuchen mit. Die Fehler wechseln zwischen -27.4 Procent und $+11.3$ Procent in der einen und zwischen -17.7 und $+21.6$ Procent in der anderen Reihe, bei welcher letzteren angegeben wird, dass einigen Fehlern des Apparates abgeholfen worden ist. Als wesentlichen Grund der Fehler betrachtet Stohmann, wie vorher erwähnt, die Absorption, deren ungefähre Maximigrösse er mit Hilfe von Probewägungen angestrichenen Metallbleches in Luft von verschiedener Feuchtigkeit berechnet. — Stohmann giebt an, dass bei beständiger Witterung sich bessere Resultate gezeigt haben, als bei wechselnder, was ja bei seiner Apparathconstruction sehr natürlich ist. Etwas anders verhält sich die Sache, wenn man, wie öfters bei unserem Apparat, nur eine verhältnissmässig kleine Portion frische Luft während des Versuches hereinlässt. Die Aenderungen der Feuchtigkeit geschehen hier langsam, und sind bei kürzeren Versuchen oft sehr gering, wenn auch die Witterung ziemlich wechselt. Hoffentlich werden kommende Untersuchungen zeigen, wie man die Fehler möglichst vermeiden und also mit besserem Erfolg arbeiten kann.

¹ Vergl. Seite 49.

Zweiter Abschnitt.

Ueber die Grösse der Kohlensäure-Ausscheidung bei Menschen verschiedenen Alters und verschiedenen Geschlechts.

§ 1. Geschichtliche Einleitung.

Die einzigen bis jetzt vorliegenden grösseren Beobachtungsreihen über die Grösse der Kohlensäureabgabe bei Menschen in verschiedenem Alter und von verschiedenem Geschlecht verdanken wir Scharling, Andral und Gavarret, Speck.

Nach der im ersten Abschnitt (S. 4) schon beschriebenen Methode untersuchte Scharling die Kohlensäureabgabe bei sechs Individuen, indem er an einer und derselben Versuchsperson diese zu verschiedenen Stunden des Tages während verschiedener Tage bestimmte. Die Dauer jedes einzelnen Versuches betrug in der Regel etwa eine Stunde; bei einigen Versuchen war die Beobachtungszeit länger, oft aber auch nur $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ Stunde.

Weil die zu verschiedenen Stunden des Tages an einer und derselben Versuchsperson ausgeführten Bestimmungen nicht an einem und demselben Tage vorgenommen, sondern auf viele verschiedene Tage vertheilt sind, können diese Beobachtungen nicht dazu benutzt werden, um die Frage zu beantworten, wie die Kohlensäureabgabe während der verschiedenen Stunden des Tages variirt.

Um zahlenmässig festzustellen, wie die Kohlensäureabgabe von dem einen Individuum zum anderen variirt, nimmt Scharling das Mittel sämmtlicher bei einer und derselben Versuchsperson ermittelten Werthe, wobei er die geringere Kohlensäureabgabe während des Schlafes in Anrechnung bringt, indem er annimmt, dass ein erwachsener Mensch in der Regel etwa 7 Stunden, ein Kind etwa 9 Stunden zum Schlafen verwendet.

In dieser Weise erhält er die in der Tabelle Seite 54 oben mitgetheilten Werthe.

Aus diesen Versuchen zieht Scharling unter Anderem die folgenden Schlussfolgerungen: Männer produciren mehr Kohlensäure als Frauen desselben Alters; Kinder produciren in gleichen Zeitabschnitten verhältnissmässig mehr Kohlensäure als Erwachsene.¹

Die Versuche von Andral und Gavarret beziehen sich auf eine erheblich grössere Zahl von Versuchsindividuen. Dagegen betrug die

¹ Scharling, *Annalen d. Chemie u. Pharmacie*. Bd. XLV, S. 214—242. 1843.

Versuchsperson	Körpergewicht kg ¹	C in 24 St. g	CO ₂ in 24 St. g	CO ₂ in 1 St. g	CO ₂ in 1 St. pro kg g
Knabe, 9 ³ / ₄ Jahre alt	22	133.1	488	20.3	0.923
Mädchen, 10 „ „	23	125.4	460	19.2	0.835
Jüngling, 16 „ „	58	224.4	823	34.3	0.591
Mädchen, 19 „ „	56	165.9	608	25.3	0.452
Mann, 28 „ „	82	239.7	879	36.7	0.448
Mann, 35 „ „	66	219.5	805	33.3	0.505

Versuchsdauer bei jedem einzelnen Versuch nur 8 bis 13 Minuten und die Versuchspersonen athmeten in der früher besprochenen Weise durch eine Gesichtsmaske (vgl. S. 3).

Die Zahl der Versuche über den Einfluss des Alters, des Geschlechtes und der Körperconstitution auf die Kohlensäureabgabe beträgt 75; sie sind auf 62 verschiedene Individuen, 36 Männer und 26 Frauen vertheilt.

Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung der Zahlen von Andral und Gavarret, auf 1 Stunde berechnet. Leider geben die Autoren das Körpergewicht ihrer Versuchspersonen nicht an.

Männliche Individuen.

Alter der Versuchs- individuen, Jahre	Das Muskelsystem	C pro Stunde g	CO ₂ pro Stunde g
8	mittelmässig	5.0	16.7
10	gut entwickelt	6.8	24.9
11	„	7.6	27.9
12	mittelmässig	7.4	27.1
12	sehr gut entwickelt	8.3	30.4
14	mittelmässig	8.2	30.1
15	„	8.7	31.9

¹ Scharling giebt das Körpergewicht seiner Versuchsindividuen in dänischen Pfunden an; wir haben sie in Kilogramm reducirt unter der Annahme, dass 1 dänisches Pfund = 0.5 kg.

Alter der Versuchs- individuen, Jahre	Das Muskelsystem	C pro Stunde g	CO ₂ pro Stunde g
16 ¹ / ₂	gut entwickelt	10.2	37.4
17	„	10.2	37.4
18	„	11.1	40.7
19	„	11.2	41.1
20	„	11.2	41.1
24	mittelmässig	11.1	40.7
24	„	11.6	42.5
26	äusserst gut entwickelt	14.1	51.7
26	mittelmässig	11.0	40.8
27	gut entwickelt	11.8	43.3
28	„	12.4	45.5
31	„	11.1	40.7
32	„	11.5	42.2
33	mittelmässig	10.7	39.2
37	„	10.7	39.2
40	sehr gut entwickelt	12.1	44.4
41	mittelmässig	10.4	38.1
45	sehr lang und dünn	8.6	31.5
48	gut entwickelt	10.5	38.5
50	„	10.7	39.2
51	mittelmässig	10.1	37.0
54	sehr gut entwickelt	10.6	38.9
59	mittelmässig	10.0	36.7
60	äusserst gut entwickelt	13.6	49.9
63	„	12.4	45.5
64	schwach	8.7	31.9
68	mittelmässig	9.6	35.2
76	schwach	6.0	22.0
92	äusserst gut entwickelt	8.8	32.8
102	Atrophie durch Alter	5.9	21.7

Weibliche Individuen.

Alter der Versuchsindividuen, Jahre	Das Muskelsystem	C pro Stunde g	CO ₂ pro Stunde g
10	gut entwickelt	6.0	22.0
11	„	6.2	22.8
13	mittelmässig	6.3	23.1
15 ¹ / ₂	sehr gut entwickelt	7.1	26.1
15 ¹ / ₂	mittelmässig	6.3	23.1
19	sehr gut entwickelt	7.0	25.7
22	gut entwickelt	6.7	24.6
26	schwach	6.0	22.0
26	mittelmässig	6.3	23.1
32	„	6.2	22.8
45	„	6.2	22.8
38	„	7.8	28.6
42	gut entwickelt	8.3	30.5
43	sehr gut entwickelt	8.6	32.3
44	„	9.9	36.3
49	mittelmässig	7.4	27.2
52	„	7.5	27.5
56	„	7.1	26.1
63	„	6.9	25.3
66	„	6.8	25.0
76	sehr gut entwickelt	6.6	24.2
82	mittelmässig	6.0	22.0

Aus diesen experimentellen Daten ziehen Andral und Gavarret unter Anderem die folgenden Schlussfolgerungen:

Während aller Stadien des menschlichen Lebens, vom 8. Jahre bis zum höchsten Alter, producirt der Mann mehr Kohlensäure als die Frau. Die Differenz tritt im Alter zwischen 16 und 40 Jahren am schärfsten hervor; während dieser Periode producirt der Mann in der Regel etwa doppelt so viel Kohlensäure als die Frau.

Beim Manne nimmt die Menge der ausgeathmeten Kohlensäure vom 8. bis zum 30. Lebensjahre ununterbrochen zu, und dieser Zuwachs wird beim Eintritt der Pubertät plötzlich sehr gross. Vom 30. Lebensjahre fängt die Kohlensäureproduction an abzunehmen, und die Abnahme wird um so grösser, je mehr sich der Mann der oberen

Altersgrenze des Lebens nähert, bei welcher die Kohlensäureabgabe bis auf den Werth beim 10. Lebensjahre herabsinkt.

Bei der Frau nimmt während des ganzen späteren Kindesalters die Kohlensäureabgabe nach denselben Gesetzen wie beim Manne zu. Beim Eintritt der Pubertät und der Menstruation hört dieser Zuwachs, im Gegensatz zu dem, was beim Manne der Fall ist, plötzlich auf und bleibt constant so lange die Menstruation normal stattfindet. Beim Eintritt in das klimakterische Alter nimmt die Kohlensäureabgabe in einem höchst wesentlichen Grade zu, um dann, ganz wie beim Manne, bei einem noch höheren Lebensalter wieder abzunehmen.

Bei beiden Geschlechtern und bei jedem Lebensalter ist die durch die Lungen abgegebene Kohlensäuremenge um so grösser, je kräftiger die Körperconstitution und je mehr entwickelt das Muskelsystem des Individuums ist.¹

Neulich hat Speck einige hierher gehörige Beobachtungen mitgetheilt. Dieselben sind in der folgenden Tabelle, in welcher wir, um den Vergleich mit den anderen Beobachtungen zu erleichtern, die Kohlensäureabgabe in Gramm pro 1 Stunde berechnet haben.

Geschlecht und Alter	Körpergewicht kg	CO ₂ pro 1 Stunde g	CO ₂ pro 1 Stunde und 1 ^{kg} g
Mädchen, 10 Jahre alt	25	17.3	0.696
Knabe, 13 „ „	38	23.2	0.614
Mädchen, 20 „ „	47	22.6	0.484
„ 17 „ „	51—52	27.0	0.507
Jüngling, 17 „ „	55	30.9	0.566
Frau, 24 „ „	58	23.4	0.401
Mann, 50 „ „	62	27.6	0.448
„ 31 „ „	72	31.5	0.437
„ 57 „ „	62	25.5	0.413

Aus diesen Zahlen folgert Speck, dass die Kohlensäureabgabe langsamer als das Körpergewicht zunimmt; ein leichterer Körper bildet also verhältnissmässig mehr Kohlensäure, als ein schwererer.

Unter sonst annähernd gleichen Umständen bildet das männliche Geschlecht etwas mehr Kohlensäure, als das weibliche.

¹) Andral und Gavarret, *Annales de chimie et de physique*. 3. Série. Bd. VIII, S. 129—150. 1843.

In den Jahren der Entwicklung und des Wachstums ist die Kohlensäurebildung grösser als unter sonst annähernd gleichen Umständen beim Erwachsenen. Zwischen reifem und beginnendem höheren Alter (31 und 50 Jahre) besteht kein Unterschied; die CO_2 -Bildung nimmt aber in höheren Jahren (57 Jahre) merklich ab.

Muskelkräftige Personen liefern mehr Kohlensäure als unter sonst annähernd gleichen Verhältnissen schwache.¹

§ 2. Eigene Untersuchungen.

Unser Respirationsapparat eignet sich ganz besonders für Untersuchungen, wie die Kohlensäureabgabe zu einer gewissen Zeit des Tages bei Individuen verschiedenen Alters und verschiedenen Geschlechtes variiert. Wegen des grossen Cubikinhaltes der Respirationskammer konnte man nämlich zu gleicher Zeit bis zu anderthalb Dutzend Individuen dorthin bringen, ohne dass die Luft bei einem kurzdauernden Versuch derartige Veränderungen erlitt, dass diese in irgend einer Weise auf den normalen Gasaustausch des Menschen hinderlich gewesen wäre. Wir konnten also durch einen einzigen Versuch einen Mittelwerth erhalten, welcher aus Beobachtungen an 6 bis 18 Individuen hergeleitet war.

Alle unsere hierher gehörigen Versuche dauerten 2 Stunden und wurden, mit Ausnahme von 4 Versuchen, Vormittags angestellt. Die Versuchsindividuen sassen still und durften nicht in der Kammer herumgehen. Dies wurde auch in der Regel nach unserem Wunsch durchgeführt, obgleich wir bei gewissen Altersklassen von Knaben Schwierigkeiten begegneten. Wir sahen uns daher gezwungen, an den betreffenden Altersklassen die Versuche zu wiederholen.

Unsere Versuchsindividuen hatten ein paar Stunden vor dem Versuche gefrühstückt — die Ergebnisse beziehen sich also nicht auf die Kohlensäureabgabe beim Hunger.

Ferner erhielten die Versuchspersonen bei den meisten Versuchen etwas Aepfel und Bonbons oder dergl. Wie aus den unten mitzutheilenden Versuchsprotocollen hervorgeht, ist jedoch die hierdurch entstandene Zufuhr von Nahrungstoffen im grossen Ganzen so gering, dass sie die Kohlensäureabgabe in keinem nennenswerthen Grade hat

¹ Speck, *Schriften d. Gesellsch. zur Beförderung d. ges. Naturwiss. zu Marburg*. Bd. XII, Abth. 3. 1889. — *Physiologie des menschlichen Athmens*. Leipzig 1892. S. 215—244.

steigern können, wie daraus hervorgeht, dass die Kohlensäureabgabe während der späteren Perioden des Versuches in der Regel geringer als im Beginne des Versuches gewesen ist. Hätte die erhaltene Kost irgend welche erheblichere Steigerung der Kohlensäureabgabe während der Versuchsdauer hervorgerufen, so hätte natürlich das entgegengesetzte Verhalten stattgefunden.

Diese Versuche sind also sämmtlich unter einander vollständig vergleichbar und daher gut geeignet, die Frage von den Variationen der Kohlensäureabgabe bei Individuen verschiedenen Alters und Geschlechtes aufzuklären. Dagegen können sie natürlich nicht als Ausdruck der absoluten Kohlensäureabgabe während eines ganzen Tages verwendet werden, denn sowohl aus früheren Untersuchungen wie auch aus unseren eigenen, später mitzutheilenden Beobachtungen wissen wir, dass die Kohlensäureabgabe während der verschiedenen Stunden des Tages sehr erhebliche Schwankungen darbietet.

Es wäre aber eine mehrjährige Arbeit nöthig gewesen, um durch 24stündige Versuche ein genügend umfangreiches Material zum Entschenden der Frage, wie gross die Kohlensäureausscheidung bei Individuen verschiedenen Alters und verschiedenen Geschlechtes sei, zu erhalten, denn in dieser Beziehung genügt es ja nicht, für jede Altersklasse nur ein einziges Individuum zu beobachten, sondern man muss die Untersuchung auf mehrere derselben Gruppe zugehörige Individuen ausdehnen, damit die daraus erhaltene Zahl als eine Durchschnittszahl gelten mag.

Ausserdem bezweckten wir mit diesen Untersuchungen ein praktisches Ziel zu erreichen, nämlich eine thatsächliche Unterlage zur Berechnung des Ventilationsbedarfes in öffentlichen Localen, und ganz besonders in Schulen zu gewinnen. Zu diesem Zwecke müsste man vor allem wissen, wie viel Kohlensäure von verschiedenen Gruppen von Schülern ausgeschieden wird. Die bisher vorliegenden Angaben hierüber, welche wir im ersten Paragraph zusammengestellt haben, sind viel zu spärlich, um als Normalzahlen dienen zu können.

Um diese praktisch-hygienische Frage beantworten zu können, war es natürlich am zweckmässigsten, die Versuche an Individuen in demselben körperlichen Zustande anzustellen, in welchem sie sich in der Schule befinden. Nun kommen ja die Schüler früh morgens in die Schule, gleich nachdem sie ihre erste Mahlzeit genossen haben. Nach beendigten Schulstunden am Morgen erhalten sie eine Rast von ein paar Stunden, während welcher sie ihr Frühstück geniessen; gleich nachher kehren sie wieder in die Schule zurück.

Während aller Schulstunden dauert also bei den Schülern die Verdauungsarbeit fort und es war daher — hinsichtlich der praktischen Frage, zu deren Lösung unsere Versuche wesentlich angestellt wurden — fast nothwendig, dass die Versuche während der gewöhnlichen Schulzeit und als sich die Versuchsindividuen in demselben körperlichen Zustande wie in der Schule befanden, angestellt wurden.

Da also die Versuche an Schulkindern unter diesen Verhältnissen ausgeführt werden mussten, ist es selbstverständlich, dass dasselbe auch mit den Versuchen an Erwachsenen stattfinden sollte, weil sonst die Ergebnisse der letzteren Versuche mit denjenigen an Schulkindern nicht genau vergleichbar gewesen wären. Bei gewissen Altersklassen war es uns jedoch unmöglich, Versuche am Vormittag anzustellen und wir waren daher gezwungen, die betreffenden Versuche zwei bis drei Stunden nach dem Mittagessen vorzunehmen. Auch bei diesen Versuchsindividuen fand also während des Versuchs die Verdauungsarbeit statt.

Wir geben zu, dass es vom rein theoretischen Gesichtspunkte aus vielleicht zweckmässig gewesen wäre, wenn die Versuche frühmorgens beim Hunger ausgeführt worden wären. Ausser der praktischen Hinsicht, welche uns bestimmte, diese Versuche später am Vormittage auszuführen, sprach gegen einen solchen Versuchsplan auch die Schwierigkeit, ja die Unmöglichkeit, zu derartigen Versuchen Versuchsindividuen in genügender Zahl zu erhalten, da man ja in der Regel nicht gern sieht, dass Kinder, ehe sie etwas genossen haben, ausgehen und als Versuchsobjecte ein paar Stunden lang benutzt werden.

Die Kohlensäurebestimmungen wurden in der Regel jede halbe Stunde gemacht. Hierdurch ward es uns möglich, die Variationen der Kohlensäureabgabe während Perioden von einer halben Stunde zu verfolgen.

Bevor wir zur Mittheilung unserer Versuche übergehen, ist es uns eine angenehme Pflicht, dem Herrn Doctor H. Hernlund, Rector der Neuen Elementarschule, und Fräulein E. Fahnehjelm, Vorsteherin der Wallin'schen höheren Töchioerschule in Stockholm, unseren wärmsten Dank dafür darzubringen, dass sie uns die Gelegenheit gegeben haben, unsere Versuche an ihren Schülern auszuführen.

A. Männliche Individuen.

Unsere Versuche an männlichen Individuen sind 18 an der Zahl und an 122 verschiedenen Individuen im Alter zwischen 7 und 57 Jahren ausgeführt.

Versuch XXXIII. 17. Januar 1894.

6 Knaben aus einer Volksschule. Mittleres Alter 7 Jahre 314 Tage, Mittleres Körpergewicht 20.1 ^{kg}. Während der Versuchsdauer genossen die Knaben 595 * Wasser. A = 100.4. B = 755 ^{mm}.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen cbm	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter Hg		Kohlensäure pro Mille		Gramm			
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	der einströmenden Luft	in d. Respirationkammer	beobachtet	correctirt	C	CO ₂	H ₂ O	
												Approx.
12 ^h 45'		290.1	296.0	293.9	6.95	7.05	0.604 I. 0.612 II.	0.602				
	2.46								16.9	62	—	
1 ^h 15'		290.1	296.0	294.8	8.0	6.0	0.940	0.931				
	2.72								19.6	72	—	
1 ^h 45'		290.1	296.6	295.2	8.8	6.95	1.316	1.304				
	2.61											
2 ^h 15'		290.1	296.6	295.7	9.9	—	—	—	38.9	143	—	
	2.77											
2 ^h 45'		290.1	297.2	295.9	10.6	7.05	2.036 I. 2.040 II.	2.019				
									Sa.	75.4	277	—

¹ Hier und in den folgenden Versuchsprotocollen versteht sich das Körpergewicht immer ohne Kleider, wenn nichts anderes ausdrücklich bemerkt wird.

Versuch XIII. 31. October 1893.

6 Knaben aus der 1. Classe der neuen Elementarschule. Mittleres Alter 9 Jahre 217 Tage. Mittleres Körpergewicht 27.5^{kg}. Während der Versuchsdauer genossen die Knaben 2.7^{kg} Aepfel und 725^g Wasser. A = 100.4. B = 756^{mm}.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen cbm	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter Hg		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationskammer	der einströmenden Luft	in der Respirationskammer	beobachtet	corrigirt	C	CO ₂	H ₂ O
1 ^h 15'		290.3	285.3	289.9	4.67	6.4	0.644	0.639	29.6	109	88
1 ^h 45'	13.34	290.3	284.9	290.3	4.71	7.0	1.160	1.149	29.7	109	107
2 ^h 15'	13.29	290.3	284.6	290.7	4.78	7.7	1.618	1.600	26.2	96	68
2 ^h 45'	13.38	290.3	284.0	291.0	4.78	7.95	1.948	1.928	22.8	84	56
3 ^h 15'	13.53	290.3	283.6	291.1	4.78	8.05	2.172	2.149			
									Sa.	108.3	398

Versuch XII. 30. October 1893.

6 Knaben aus der 2. Classe der neuen Elementarschule. Mittleres Alter 10 Jahre 180 Tage. Mittleres Körpergewicht 28.4^{kg}. Während des Versuches genossen die Knaben 1.94^{kg} Aepfel und 220^g Wasser. A = 100.4. B = 754^{mm}.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen cbm	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter Hg		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationskammer	der einströmenden Luft	in der Respirationskammer	beobachtet	corrigirt	C	CO ₂	H ₂ O
1 ^h 15'		290.2	285.8	290.8	4.59	6.4	0.484	0.480	40.7	149	146
1 ^h 45'	14.52	290.2	286.0	291.9	4.61	7.5	1.240	1.227	29.6	109	118
2 ^h 15'	14.53	290.2	285.8	291.6	4.71	8.2	1.680	1.662	23.1	85	96
2 ^h 45'	14.82	290.2	285.4	291.9	4.71	8.6	1.936	1.914	23.2	85	81
3 ^h 15'	14.68	290.2	285.1	292.0	4.68	8.8	2.160	2.135			
									Sa.	116.6	428

Versuch XVI. 15. November 1893.

6 Knaben aus der 2. Classe der neuen Elementarschule. Mittleres Alter 10 Jahre 192 Tage. Mittleres Körpergewicht 30.2^{kg}. Während des Versuches genossen die Knaben 2.13^{kg} Aepfel und 1750^g Wasser. A = 100.4. B = 754^{mm}.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen cbm	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter Hg		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationskammer	der einströmenden Luft	in der Respirationskammer	beobachtet	corrigirt	C	CO ₂	H ₂ O
1 ^h 15'		289.9	282.8	291.9	4.22	6.6	0.664	0.658	32.1	118	138
1 ^h 45'	14.97	289.9	282.3	292.1	4.23	7.5	1.220	1.208	25.0	92	106
2 ^h 15'	15.35	289.9	281.9	292.2	4.23	8.0	1.560	1.543	25.3	93	105
2 ^h 45'	15.61	289.9	281.4	292.2	4.18	8.4	1.856	1.835	26.6	98	108
3 ^h 15'	15.53	289.9	281.2	292.2	3.97	8.7	2.136	2.111			
									Sa.	109.0	401

Versuch XI. 28. October 1893.

6 Knaben aus der 3. Classe der neuen Elementarschule. Mittleres Alter 11 Jahre 186 Tage. Mittleres Körpergewicht 32.7^{kg}. Während des Versuches genossen die Knaben 2.29^{kg} Aepfel und 650^g Wasser. A = 100.4. B = 744^{mm}.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen cbm	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter Hg		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationskammer	der einströmenden Luft	in der Respirationskammer	beobachtet	corrigirt	C	CO ₂	H ₂ O
1 ^h 15'		290.0	286.5	292.4	6.13	7.3	0.560	0.555	32.4	119	134
1 ^h 45'	13.10	290.0	286.9	292.8	6.23	8.4	1.156	1.143	33.7	124	115
2 ^h 15'	12.92	290.0	286.6	293.0	6.26	9.2	1.708	1.687	26.1	96	83
2 ^h 45'	13.02	290.0	287.0	293.1	6.26	9.6	2.044	2.018	35.5	130	131
3 ^h 15'	13.06	290.0	286.9	293.3	6.28	10.4	2.520	2.485			
									Sa.	127.7	469

Versuch XVIII. 25. November 1893.

6 Knaben aus der 3. Classe der neuen Elementarschule. Mittleres Alter 11 Jahre 143 Tage. Mittleres Körpergewicht 31.6 kg. Während des Versuches genossen die Knaben 1.232 kg Aepfel. A = 100.4. B = 758 mm.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen cbm	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter Hg		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationskammer	der einströmenden Luft	in der Respirationskammer	beobachtet	corrigirt	C	CO ₂	H ₂ O
1 ^h 15'	14.32	288.9	277.0	291.3	2.60	4.40	0.690	0.686	30.9	113	124
1 ^h 45'	15.19	288.9	276.0	291.3	3.02	5.30	1.216	1.207	28.0	103	85
2 ^h 15'	14.81	288.9	275.4	291.2	3.24	5.75	1.608	1.596	26.1	96	67
2 ^h 45'	14.61	288.9	275.0	290.9	3.30	6.00	1.916	1.901	24.8	91	64
3 ^h 15'	14.61	288.9	274.8	290.7	3.30	6.20	2.160	2.142			
									Sa.	109.8	408

Versuch X. 24. October 1893.

6 Knaben aus der 4. Classe der neuen Elementarschule. Mittleres Alter 12 Jahre 173 Tage. Mittleres Körpergewicht 34.1 kg. Während des Versuches genossen die Knaben 1.79 kg Aepfel. A = 100.4. B = 755 mm.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen cbm	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter Hg		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationskammer	der einströmenden Luft	in der Respirationskammer	beobachtet	corrigirt	C	CO ₂	H ₂ O
1 ^h 15'	13.17	289.5	285.0	291.5	3.80	6.2	0.600	0.595	30.8	113	118
1 ^h 45'	13.43	289.5	284.7	291.9	3.71	7.0	1.148	1.137	25.2	92	88
2 ^h 15'	13.43	289.5	284.7	292.0	3.71	7.4	1.520	1.505	29.1	107	114
2 ^h 45'	13.54	289.5	284.5	292.1	3.65	8.0	1.920	1.900	26.3	96	81
3 ^h 15'	13.54	289.5	283.9	292.1	3.65	8.2	2.216	2.192			
									Sa.	111.4	408

Versuch IX. 23. October 1893.

6 Knaben aus der 5. Classe der neuen Elementarschule. Mittleres Alter 13 Jahre 38 Tage. Mittleres Körpergewicht 37.6 kg. Während des Versuches genossen die Knaben 1.30 kg Aepfel und 410 g Wasser. A = 100.4. B = 750 mm.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen cbm	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter Hg		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationskammer	der einströmenden Luft	in der Respirationskammer	beobachtet	corrigirt	C	CO ₂	H ₂ O
1 ^h 15'	14.13	289.4	286.5	289.9	4.42	6.9	0.680	0.674	43.3	159	186
1 ^h 45'	14.44	289.4	286.5	290.6	4.39	8.3	1.452	1.436	38.6	142	138
2 ^h 15'	13.82	289.4	286.5	291.1	4.18	9.05	2.032	2.007	33.3	140	122
2 ^h 45'	14.05	289.4	286.3	291.3	4.12	9.55	2.540	2.508	34.2	125	109
3 ^h 15'	14.05	289.4	285.4	291.3	4.12	9.85	2.900	2.862			
									Sa.	154.4	566

Versuch XV. 13. November 1893.

6 Knaben aus der 5. Classe der neuen Elementarschule. Mittleres Alter 13 Jahre 313 Tage. Mittleres Körpergewicht 44.5 kg. Während des Versuches genossen die Knaben 2.4 kg Aepfel und 702 g Wasser. A = 100.3. B = 762 mm.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen cbm	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter Hg		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationskammer	der einströmenden Luft	in der Respirationskammer	beobachtet	corrigirt	C	CO ₂	H ₂ O
1 ^h 15'	13.54	289.6	[283.0]	290.7	5.3	6.3	0.764	0.757	37.7	138	146
1 ^h 45'	13.97	289.6	283.0	291.3	5.3	7.95	1.412	1.397	35.3	129	115
2 ^h 15'	14.06	289.6	283.0	291.7	5.25	8.65	1.928	1.906	37.0	186	88
2 ^h 45'	14.12	289.6	282.9	292.0	5.25	9.0	2.408	2.380	35.7	131	120
3 ^h 15'	14.12	289.6	282.9	292.1	5.25	9.6	2.800	2.765			
									Sa.	145.7	534

Versuch VIII. 21. October 1893.

6 Knaben aus der 6. Classe der neuen Elementarschule. Mittleres Alter 14 Jahre 199 Tage. Mittleres Körpergewicht 45.3 kg. Während des Versuches genossen die Knaben 2.0 kg Aepfel und 385 g Wasser. A = 100.4. B = 760 mm.

Zeit	Durch die Gasbrenn- messenes Luftvolumen cbm	Absolute Temperatur			Feuchtig- keitsdruck, Millimeter Hg		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
		in den Gas- uhren	der einströmen- den Luft	in der Respi- rationskammer	der einströmen- den Luft	in der Respi- rationskammer	be- obach- tet	corri- girt	C	CO ₂	H ₂ O
1 ^h 15'	11.92	289.3	286.7	292.0	5.17	7.9	0.752	0.744	86.7	135	140
1 ^h 45'	11.43	289.3	286.6	292.4	5.20	8.9	1.400	1.384	33.4	123	117
2 ^h 15'	9.83	289.3	287.0	292.5	—	9.6	1.920	1.896	32.3	118	111
2 ^h 45'	13.33	289.3	286.7	292.7	5.45	10.25	2.392	2.360	39.9	146	114
3 ^h 15'	13.33	289.3	286.3	292.7	5.45	10.7	2.888	2.847			
Sa.									142.3	522	

Versuch VI. 13. October 1893.

12 Knaben aus der 7. Classe der neuen Elementarschule. Mittleres Alter 15 Jahre 196 Tage. Mittleres Körpergewicht 51.4 kg. Während des Versuches genossen die Knaben 2.3 kg Aepfel. A = 99.8. B = 750 mm.

Zeit	Durch die Gasbrenn- messenes Luftvolumen cbm	Absolute Temperatur			Feuchtig- keitsdruck, Millimeter Hg		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
		in den Gas- uhren	der einströmen- den Luft	in der Respi- rationskammer	der einströmen- den Luft	in der Respi- rationskammer	be- obach- tet	corri- girt	C	CO ₂	H ₂ O
1 ^h 15'	11.75	290.3	288.2	291.4	7.12	10.6	1.196	1.179	69.2	254	322
1 ^h 45'	11.86	290.3	289.3	292.7	6.74	13.3	2.444	2.401	61.3	225	194
2 ^h 15'	12.25	290.3	289.3	293.5	6.52	14.4	3.400	3.335	67.2	246	151
2 ^h 45'	12.06	290.3	289.0	293.8	6.54	14.9	4.339	4.253	75.5	277	172
3 ^h 15'	12.06	290.3	289.2	294.1	6.54	15.6	5.353	5.242			
Sa.									273.2	1002	

Versuch VII. 14. October 1893.

12 Knaben aus der 8. Classe der neuen Elementarschule. Mittleres Alter 17 Jahre 36 Tage. Mittleres Körpergewicht 55.5 kg. Während des Versuches genossen die Knaben 2.0 kg Aepfel. A = 99.9. B = 750 mm.

Zeit	Durch die Gasbrenn- messenes Luftvolumen cbm	Absolute Temperatur			Feuchtig- keitsdruck, Millimeter Hg		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
		in den Gas- uhren	der einströmen- den Luft	in der Respi- rationskammer	der einströmen- den Luft	in der Respi- rationskammer	be- obach- tet	corri- girt	C	CO ₂	H ₂ O
1 ^h 15'	11.20	290.0	288.8	290.5	6.57	9.05	0.880	0.869	80.9	297	335
1 ^h 45'	7.45	290.0	289.4	292.5	6.42	12.00	2.392	2.354	72.3	265	266
2 ^h 15'	13.29	290.1	289.8	293.6	6.16	14.20	3.688	3.618	70.7	259	191
2 ^h 45'	13.18	290.1	288.8	294.0	6.06	15.00	4.637	4.544	72.0	264	254
3 ^h 15'	13.18	290.1	289.0	294.4	6.06	16.30	5.504	5.384			
Sa.									295.9	1035	

Versuch XIV. 7. November 1893.

6 Knaben aus der 9. Classe der neuen Elementarschule. Mittleres Alter 19 Jahre 186 Tage. Mittleres Körpergewicht 59.5 kg. Während des Versuches genossen die Knaben 1.15 kg Aepfel. A = 100.2. B = 765 mm.

Zeit	Durch die Gasbrenn- messenes Luftvolumen cbm	Absolute Temperatur			Feuchtig- keitsdruck, Millimeter Hg		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
		in den Gas- uhren	der einströmen- den Luft	in der Respi- rationskammer	der einströmen- den Luft	in der Respi- rationskammer	be- obach- tet	corri- girt	C	CO ₂	H ₂ O
1 ^h 15'	14.42	290.0	280.3	289.2	3.85	5.5	0.640	0.635	38.9	143	149
1 ^h 45'	14.14	290.0	280.0	289.9	3.84	6.65	1.312	1.301	35.8	131	133
2 ^h 15'	14.11	290.0	279.7	290.2	3.89	7.5	1.844	1.826	31.2	114	74
2 ^h 45'	14.28	290.0	279.0	290.6	3.89	7.7	2.220	2.198	33.9	124	79
3 ^h 15'	14.28	290.0	278.8	290.8	3.89	7.9	2.596	2.569			
Sa.									139.8	512	

Versuch XXI. 6. December 1893.

6 junge Leute aus der Technischen Hochschule. Mittleres Alter 22 Jahre 341 Tage. Mittleres Körpergewicht 65.3 kg. Während des Versuches genossen die Individuen nichts. A = 100.2. B = 760 mm.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen cbm	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter Hg		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	beobachtet	corrigirt	C	CO ₂	H ₂ O
6 ^h		288.1	280.5	289.7	3.67	4.45	0.484	0.481	33.2	122	150
6 ^h 30'	13.26	288.1	280.6	290.3	3.60	5.75	1.084	1.076	30.8	113	121
7 ^h	13.47	288.1	281.0	290.8	3.62	6.6	1.560	1.546	29.3	107	83
7 ^h 30'	18.22	288.1	281.0	291.0	3.62	7.0	1.956	1.938	30.5	112	101
8 ^h	13.57	288.1	281.9	291.0	7.5	2.320	2.297				
Sa.									123.8	454	

Versuch I. 29. März 1893.

12 Männer, Studierende der Medicin. Alter 25 bis 30 Jahre. Mittleres Körpergewicht 67.5 kg. Während des Versuches genossen die Individuen nichts. A = 99.5. B = 757 mm.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen cbm	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter Hg		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	der einströmenden Luft	in d. Respirationkammer	beobachtet	corrigirt	C	CO ₂	H ₂ O
9 ^h 26'		288.9	[285]	289.4		4.6	0.556 I.	0.552			
9 ^h 56'	14.10	288.9	—	291.2	4.2	7.8	1.704	1.686	62.6	230	—
10 ^h 26'	14.15	288.9	—	292.5		8.3	2.696	2.666	62.2	228	—
10 ^h 56'	15.08	288.9	—	293.0		9.7	3.556	3.510	63.1	231	—
11 ^h 26'	13.48	288.9	—	293.6	10.1	4.354	4.295		63.3	232	—
Sa.									251.2	921	

Versuch LXII. 2. November 1894.

5 Männer. Mittleres Alter 34 Jahre 262 Tage. Mittleres Körpergewicht 68.3 kg. Während der Versuchsdauer genossen die Versuchsindividuen im Ganzen 45^g Wasser. A = 100.4. B = 754 bis 758 mm

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen cbm	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter Hg		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	beobachtet	corrigirt	C	CO ₂	H ₂ O
6 ^h 10' Nachm.		289.0	—	292.5	—	6.5	0.716	0.707			
7 ^h 10' „	35.13	289.0	—	294.5	—	9.4	1.512	1.493	50.0	183	—
8 ^h 10' „	34.74	289.1	—	295.5	—	10.2	1.980	1.949	46.4	170	—
Sa.									96.4	353	

Versuch LXV. 8. November 1894.

4 Männer. Mittleres Alter 44 Jahre 142 Tage. Mittleres Körpergewicht 76.5 kg. Während des Versuches genossen die Versuchsindividuen 200^g Wasser. A = 100.4. B = 760 mm.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen cbm	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter Hg		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	beobachtet	corrigirt	C	CO ₂	H ₂ O
6 ^h 15'		290.1	—	290.4	—	5.3	0.452	0.432			
7 ^h 15'	34.69	290.1	—	291.1	—	6.5	1.080	1.063	39.6	145	—
8 ^h 15'	35.15	290.0	—	290.6	—	8.5	1.536	1.515	40.4	148	—
Sa.									80.0	293	

Versuch LXXV. 17. December 1894.

5 Männer. Mittleres Alter 57 Jahre 210 Tage. Mittleres Körpergewicht 84.6 kg.
Während des Versuches genossen die Versuchsindividuen 485^g Wasser.
A = 100.4. B = 758^{mm}.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen cbm	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter Hg		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationstionskammer	der einströmenden Luft	in der Respirationstionskammer	beobachtet	corrigirt	C	CO ₂	H ₂ O
6 ^h 10'	32.65	288.6	—	291.3	—	4.5	0.560 0.552	0.553	47.7	175	—
7 ^h 10'		288.6	—	291.7	—	5.9	1.316 1.292	1.294	46.0	169	—
8 ^h 10'	32.34	288.6	—	290.9	—	8.6	1.828 1.820	1.803			
									Sa.	98.7	344

Diese Versuche sind in der auf Seite 71 stehenden Generaltabelle zusammengestellt.

Betreffend dieser Versuche bemerken wir, dass die Versuchspersonen in Nr. 3 (Vers. XII), 5 (Vers. XI) und 8 (Vers. IX) während der Versuchsdauer nicht zum Stillsitzen gebracht werden konnten, weshalb neue Versuche mit Knaben desselben Alters ausgeführt wurden (Vers. XVI, XVIII, XV). Bei den nachfolgenden Zusammenstellungen werden wir jene Versuche ausschliessen, weil dort die Kohlensäureabgabe wegen der stärkeren körperlichen Bewegung entschieden zu hoch gewesen ist und keineswegs als Ausdruck des Verhaltens bei dem von uns oben definirten Zustand angesehen werden kann.

Bevor wir dazu übergehen, die übrigen 15 Versuche unter einander zu vergleichen, müssen wir untersuchen, auf welche allgemeine Gültigkeit die dabei erhaltenen Werthe Anspruch machen können.

Hierbei müssen wir in erster Linie betonen, dass die Versuchsindividuen die Versuchsdauer sitzend zubrachten und im Allgemeinen ganz still waren.

Unsere Werthe für die Kohlensäureabgabe beziehen sich also nicht auf Menschen in liegender Stellung, bei welchen die Muskeln so wenig gespannt sind, wie sie es überhaupt bei einem gesunden Menschen im wachen Zustande sind.

Generaltabelle I.

Nummer	Versuch	Mittleres Alter		Mittleres Körpergewicht, Kilogramm	Kohlensäureabgabe pro 1/2 Stunde, Gramm				Totale CO ₂ -Abgabe während d. Versuches Gramm	Zahl der Versuchsindividuen
		Jahre	Tage		1. halbe Stunde	2. halbe Stunde	3. halbe Stunde	4. halbe Stunde		
1	XXXIII.	7	314	20.1	62	72	143	277	6	
2	XIII.	9	217	27.5	109	109	96	84	398	6
3	XII.	10	180	28.4	149	109	85	85	428	6
4	XVI.	10	192	30.2	118	92	93	98	401	6
5	XI.	11	136	32.7	119	124	96	130	469	6
6	XVIII.	11	143	31.6	113	103	96	91	403	6
7	X.	12	173	34.1	113	92	107	96	408	6
8	IX.	13	38	37.6	159	142	140	125	566	6
9	XV.	13	313	44.5	138	129	136	131	534	6
10	VIII.	14	199	45.3	135	123	118	146	522	6
11	VI.	15	196	51.4	254	225	246	277	1002	12
12	VII.	17	36	55.5	297	265	259	264	1085	12
13	XIV.	19	189	59.5	143	131	114	124	512	6
14	XXI. ¹	22	341	65.3	122	113	107	112	454	6
15	I.	25—30	—	67.5	230	228	231	232	921	12
16	LXII. ¹	34	262	63.3	183	170	170	170	353	5
17	LXV. ¹	44	142	76.5	145	148	148	148	293	4
18	LXXV. ¹	57	210	84.6	175	169	169	169	344	5

Ein Beleg dafür, dass die Versuchsindividuen im grossen Ganzen ruhend waren, giebt die Untersuchung der Variationen der Kohlensäureabgabe während der verschiedenen halbstündigen Perioden bei jedem Versuch. Wir haben diese Variationen in der Weise untersucht, dass wir für jede der vier Perioden die Kohlensäureabgabe pro 1 Stunde berechnet haben und die Abweichung dieser Werthe von dem mittleren Werthe des ganzen Versuches (pro 1 Stunde) in Procenten des letzteren ausdrückten. Die auf diese Weise erhaltenen Resultate sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.²

¹ Dieses sind die einzigen, welche Nachmittags (6—8 Uhr Nachm.) stattfanden.

² Hier und im Folgenden haben wir bei unseren Berechnungen die direct ermittelten Werthe für die Kohlensäureabgabe und nicht die auf Gramm abgerundeten, die in den Versuchsprotocollen aufgenommen sind, benutzt.

Die Abweichung der Kohlensäureabgabe
während der verschiedenen halbstündigen Perioden
in Procenten des mittleren Werthes.¹

Nummer	Versuch	Halbstunde				Mittlere Ab- weichung
		1	2	3	4	
1	XXXIII.	10.5	4.0	3.3		5.93
2	XIII.	9.5	9.5	3.5	15.5	9.50
4	XVI.	17.7	8.2	7.4	2.2	8.88
6	XVIII.	12.2	2.2	4.7	9.7	7.20
7	X.	10.8	9.8	4.9	5.9	7.85
9	XV.	3.4	3.4	1.9	1.9	2.65
10	VIII.	3.5	5.8	9.6	11.9	7.70
11	VI.	1.4	10.2	1.8	10.6	6.00
12	VII.	9.5	2.3	4.5	2.7	4.75
13	XIV.	11.7	2.3	10.9	3.1	7.00
14	XXI.	7.5	0.5	5.7	1.3	3.75
15	I.	0.1	1.0	0.3	0.8	0.55

In den verschiedenen Versuchen schwankt die mittlere Abweichung zwischen 9.50 (Vers. XIII) und 0.55 (Vers. I) und beträgt für sämtliche Versuche mit in Summa 47 Bestimmungen 5.98 Procent. Die grosse mittlere Abweichung in Versuch XIII (Nr. 2) ist nicht dadurch bedingt, dass sich die Knaben zuviel bewegt hätten, denn in diesem Versuche, der an neunjährigen Kindern stattfand, sassen die Versuchspersonen die ganze Zeit hindurch exemplarisch still.

Die Kohlensäureabgabe pro Individuum und 1 Stunde geht aus der folgenden Tabelle hervor:

Die Kohlensäureabgabe pro Individuum und Stunde.

Nummer	Versuch	Mittleres Alter		Mittleres Körpergewicht, Kilogramm	Kohlensäure pro Individuum und Stunde, Gramm
		Jahre	Tage		
1	XXXIII.	7	314	20.1	23.1
2	XIII.	9	217	27.5	33.2
4	XVI.	10	192	30.2	33.4

¹ Die Versuche LXII, LXV und LXXV sind in dieser Zusammenstellung nicht aufgenommen, weil dort die Kohlensäureabgabe nur für jede Stunde bestimmt wurde.

Nummer	Versuch	Mittleres Alter		Mittleres Körpergewicht, Kilogramm	Kohlensäure pro Individuum und Stunde, Gramm
		Jahre	Tage		
6	XVIII.	11	143	31.6	33.6
7	X.	12	173	34.1	34.0
9	XV.	13	313	44.5	44.5
10	VIII.	14	199	45.3	43.5
11	VI.	15	196	51.4	41.8
12	VII.	17	36	55.5	45.2
13	XIV.	19	186	59.5	42.7
14	XXI.	22	341	65.3	37.8
15	I.	etwa 25	—	67.5	38.4
16	LXII.	34	262	68.3	35.3
17	LXV.	44	142	76.5	36.7
18	LXXV.	57	210	84.6	34.4

Nr. 1 zeigt uns die geringste Kohlensäureabgabe pro Individuum und der Unterschied zwischen dieser Zahl und den übrigen ist an und für sich sehr beträchtlich. Die Ursache hiervon liegt darin, dass unsere anderen Versuche ohne Ausnahme an Individuen der wohlhabenderen Classen der Gesellschaft geschahen, während der Versuch XXXIII an Kindern aus der Volksschule stattfand, welche sehr schlecht nutriert, skrophulös und rachitisch waren. Grund dessen kann dieser Werth nicht als eine Normalzahl für Knaben im 8. Lebensjahre aufgefasst werden.

Im Alter zwischen dem 9. und 12. Jahre nimmt die Kohlensäureabgabe pro Individuum nur so wenig zu, dass die Differenzen innerhalb der Grenzen der unvermeidlichen Variationen fallen. Wir können also sagen, dass die Kohlensäureabgabe bei Knaben dieses Alters im grossen Ganzen etwa gleich gross ist und 33 bis 34 $\frac{g}{m^2}$ pro Individuum und Stunde beträgt.

Dagegen finden wir am 13. Lebensjahre eine bedeutende Steigerung: 44.5 $\frac{g}{m^2}$ pro Individuum und Stunde, und um diesen Werth bewegt sich die Kohlensäureabgabe bis zum 19. Lebensjahre. Zwischen dem 13. und 19. Jahre ist also die Kohlensäureabgabe pro Individuum und Stunde 42 bis 45 $\frac{g}{m^2}$.

Bei den Versuchen an männlichen Individuen zwischen 20 und 30 Jahren ist die Kohlensäureabgabe etwas geringer, und zwar nur etwa 38 $\frac{g}{m^2}$ pro Individuum und Stunde.

Bei Männern von bzw. 35, 44 und 58 Jahren ist die Kohlensäureabgabe pro Individuum und Stunde noch geringer, nämlich 34 bis 37 $\frac{g}{m^2}$.

Wenn wir die Kohlensäureabgabe bei Nr. 18 (Versuch LXXV) = 100 setzen, so erhalten wir die folgenden Relationszahlen für die Kohlensäureabgabe bei männlichen Individuen von verschiedenem Alter.

Nummer	Alter, volle Jahre	Relationszahlen
[1	7	67]
2	9	97
4	10	97
6	11	98
7	12	99
9	13	129
10	14	126
11	15	122
12	17	131
13	19	124
14	22	110
15	25	112
16	34	103
17	44	107
18	57	100

Bei männlichen Individuen im Alter von 9 bis 12, 13 bis 19, 22 bis 25, 34 bis 44 und 57 Jahren verhält sich also die Kohlensäureabgabe wie 98:126:111:105:100.

Wir übersehen keineswegs, dass der calorische Werth der Kohlensäure ein sehr verschiedener ist, je nachdem sie Fett, Kohlehydraten oder Eiweiss entstammt. Da jedoch die Individuen, an welchen die Beobachtungen 2 bis 18 gemacht worden sind, derselben socialen Classe angehören und hinsichtlich ihrer Kost u. s. w. im grossen Ganzen unter denselben Verhältnissen leben, dürfte es nicht allzu kühn sein anzunehmen, dass die mittlere Zusammensetzung ihrer Kost (wir sprechen hier nicht vom Versuch XXXIII) ungefähr gleichartig gewesen ist. Wenn diese Annahme richtig ist, so drückt die Grösse der Kohlensäureabgabe gewissermassen den Umfang der im Körper stattfindenden Verbrennung aus, und wir können das eben angeführte Ergebniss auch in der folgenden Weise formuliren: Die Verbrennung im Körper ist bei männlichen Individuen im Alter zwischen 13 und 19 Jahren grösser als bei älteren und jüngeren Individuen desselben Geschlechtes.

In seinem bei der zweiten allgemeinen Sitzung des X. inter-

nationalen medicinischen Congresses in Berlin gehaltenen Vortrage über die Pubertätsentwicklung und das Verhältniss derselben zu den Krankheitserscheinungen der Schuljugend hat Axel Key nachgewiesen, dass vom 14. Lebensjahre an im Wachstum der Knaben eine Periode eintritt, während welcher die Zunahme der Körperlänge und des Körpergewichtes bedeutend schneller stattfindet, als während der früheren (9 bis 13) Jahre. Der schnellere Längenzuwachs dauert vier Jahre lang, erreicht im 15. Lebensjahre sein Maximum und endet mit dem 17. Jahre. Der stärkere Gewichtszuwachs findet auch während derselben vier Jahre statt, das Körpergewicht nimmt aber im Beginn der Periode nicht so schnell als die Länge zu. Die grösste Gewichtszunahme hat ihr Maximum im 16. Jahre.¹

Unsere Ergebnisse hinsichtlich der Kohlensäureabgabe zeigen mit diesen Erfahrungen eine sehr bemerkenswerthe Uebereinstimmung. Gerade während derjenigen Periode, wo nach Key der starke Längen- und Gewichtszuwachs beginnt, tritt hier die starke Zunahme der Kohlensäureabgabe hervor.

Unsere Werthe sind fast durchgehend grösser als die von Scharling, Andral-Gavarret und Speck mitgetheilten. Betreffs der Zahlen von Scharling muss jedoch hervorgehoben werden, dass diese Mittelwerthe für 24 Stunden darstellen und dass seinen eigenen Angaben gemäss die Kohlensäureabgabe im wachenden Zustande grösser ist als im Schlaf und zwar im Verhältniss 1.42 bis 1.225:100. Im wachenden Zustande ist also die Kohlensäureabgabe nach Scharling grösser als das oben (Seite 54) mitgetheilte Mittel.

Nach Andral und Gavarret ist die Kohlensäureabgabe pro Individuum und Stunde im Alter zwischen 8 bis 15 Jahren 16.7 bis 31.9 g , im Alter zwischen 16 $\frac{1}{2}$ bis 20 Jahren 37.4 bis 41.1 g , und im Alter zwischen 24 bis 28 Jahren 40.3 bis 45.5 g (wenn wir die Beobachtung 26 ausschliessen, welche sich auf einen ausserordentlich muskelstarken Mann bezieht).

Die Zahlen von Speck sind noch kleiner als Andral's und Gavarret's Werthe.

Die Ursache dieser Differenzen ist unserer Anschauung nach vor allem darin zu suchen, dass die Versuchsdauer in den Versuchen unserer Vorgänger im Allgemeinen zu kurz gewesen ist. Auch in unseren Versuchen fanden wir bei den verschiedenen halbstündigen Perioden Werthe, die kleiner als der mittlere Werth für eine zwei-

¹ Key, *Verhandlungen des X. internationalen medicinischen Congresses in Berlin*. I, Sep. A., S. 4. 1890.

stündige Periode sind, wir glauben aber, dass man als Normalzahl für Menschen in demjenigen körperlichen Zustande, von welchem die Frage jetzt ist, nicht den kleinsten sich darstellenden Werth wählen darf, sondern einen Werth, der aus einem länger andauernden Versuch hervorgeht. Und um einem etwaigen Missverständniss vorzubeugen, wollen wir noch einmal betonen, dass wir mit der vorliegenden Untersuchung gar nicht bezweckt haben, Normalwerthe für das Minimum der Kohlensäureabgabe bei verschiedenen alten Individuen festzustellen, sondern nur zu erüiren, wie die Kohlensäureabgabe in dem von uns schon definirten körperlichen Zustande je nach Lebensalter und Geschlecht variirt.

Da jedoch die von uns beobachteten minimalen Werthe nicht ganz ohne Interesse sind, stellen wir dieselben, pro Individuum und Stunde berechnet, hier zusammen.

Nummer	Versuch	Mittleres Alter		Minimum der Kohlensäureabgabe pro Individuum und Stunde	Relationszahlen
		Jahre	Tage		
[1	XXXIII.	7	314	20.7	62]
2	XIII.	9	217	28.0	83
4	XVI.	10	192	30.7	91
6	XVIII.	11	143	30.3	90
7	X.	12	173	30.7	91
9	XV.	13	313	43.0	127
10	VIII.	14	199	39.3	116
11	VI.	15	196	37.5	111
12	VII.	17	36	43.2	128
13	XIV.	19	186	38.0	112
14	XXI.	22	341	35.7	106
15	I.	etwa 25	—	38.0	114
16	LXII.	34	262	34.0 ¹	101
17	LXV.	44	142	36.2 ¹	107
18	LXXV.	57	210	33.8 ¹	100

In Bezug auf die gegenseitige Relation der Kohlensäureabgabe bei verschiedenem Alter finden wir hier etwa dasselbe Resultat wieder wie bei der Zusammenstellung der mittleren Werthe.

¹ Nach Beobachtung während einer Stunde.

Um den Einfluss des Alters auf die Kohlensäureabgabe näher zu untersuchen, haben wir nach unseren Versuchen die Kohlensäureabgabe pro Stunde und Kilogramm Körpergewicht berechnet. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Die Kohlensäureabgabe pro Stunde und Kilogramm Körpergewicht.

Nummer	Versuch	Körpergewicht, Kilogramm	CO ₂ pro Kilogramm Körpergewicht, Gramm	Relationszahlen
[1	XXXIII.	20.1	1.149	282]
2	XIII.	27.5	1.207	297
4	XVI.	30.2	1.106	272
6	XVIII.	31.6	1.063	261
7	X.	34.1	0.997	245
9	XV.	44.5	1.000	246
10	VIII.	45.3	0.960	236
11	VI.	51.4	0.813	200
12	VII.	55.5	0.814	200
13	XIV.	59.5	0.718	176
14	XXI.	65.3	0.579	142
15	I.	67.5	0.569	140
16	LXII.	68.3	0.517	127
17	LXV.	76.5	0.480	118
18	LXXV.	84.6	0.407	100

Wir finden hier eine sehr gleichmässige Abnahme der Kohlensäureabgabe bei zunehmendem Körpergewicht, was ja in Bezug auf den Gesamtstoffwechsel schon durch zahlreiche Untersuchungen festgestellt ist und, wie bekannt, wesentlich davon abhängt, dass die Oberfläche des Körpers im Verhältniss zum Körpergewicht und also auch seine relative Wärmeabgabe um so grösser wird, je kleiner der Körper selbst ist.

Im Verhältniss zum Körpergewicht ist die Kohlensäureabgabe bei neunjährigen Knaben (Nr. 2) etwa dreimal so gross, als bei einem alten Manne (Nr. 18). Und dieser Einfluss der Körpergrösse zeigt sich sogar fast gleich scharf bei den schlecht ernährten Knaben, welche zum Versuch XXXIII (Nr. 1) dienen.

Auf eine nähere Analyse der in dieser Tabelle aufgenommenen Zahlen glauben wir verzichten zu können.

Ein grösseres Interesse bietet das Studium der Kohlensäureabgabe pro Einheit der Körperoberfläche dar.

Wenn der Stoffwechsel bei Individuen von verschiedener Körpergrösse einzig und allein von den Bedingungen der Wärmeabgabe abhängig wäre, so sollte man erwarten, dass bei ihnen, wie Rubner¹ bei seinen, an verschieden grossen Hunden gemachten Versuchen gefunden hat, der Stoffwechsel auf die Einheit der Körperoberfläche bezogen gleich gross wäre, so verschieden er sich auch darstellt, wenn er auf die Einheit des Körpergewichtes berechnet wird. Findet man nun aber, dass der Stoffwechsel bei jüngeren Individuen, auch wenn er auf die Einheit der Körperoberfläche berechnet wird, grösser ist als bei älteren Individuen, so ist es erlaubt, daraus zu folgern, dass sich beim jugendlichen Körper Bedingungen vorfinden, welche an und für sich, unabhängig von der verschiedenen Körpergrösse, einen stärkeren Stoffwechsel verursachen.

Man hat freilich lange angenommen, dass dies der Fall wäre; es liegt aber bis jetzt kaum ein wirklicher Beweis dafür vor.²

Nun haben wir allerdings nicht den Gesamtstoffwechsel an denjenigen Individuen bestimmt, an welchen die vorliegenden Versuche ausgeführt worden sind. Wir können jedoch aus den schon angeführten Gründen und unter aller Reservation annehmen, dass die Kohlensäureabgabe in einem gewissen Grade als Maass des Gesamtstoffwechsels des Körpers gelten kann, selbstverständlich ohne dabei eine directe Proportionalität zwischen dem Gesamtstoffwechsel und der Kohlensäureabgabe zu postulieren. Deswegen haben wir die Kohlensäureabgabe für die Einheit der Körperoberfläche berechnet und in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Zur Berechnung der Körperoberfläche haben

wir die Formel von Meeh:³ $k\sqrt{a}$ benutzt, wo a das Körpergewicht und k eine Constante bezeichnet. Nach Meeh's Beobachtungen ist k für die kleinsten Knaben (Versuch XXXIII) = 11.895, für Knaben zwischen 9 und 12 Jahren = 12.205, für Jünglinge zwischen 13 und 20 Jahren = 12.847 und für ältere männliche Individuen = 12.534 angenommen worden.

¹ Rubner, *Zeitschr. f. Biol.* Bd. XIX, S. 536. 1883.

² Vgl. Voit, *Handbuch d. Physiol.* Bd. VI, 1, S. 541. 1881. Die Untersuchungen Camerer's werden wir im letzten Abschnitt dieser Abhandlung besprechen.

³ Meeh, *Zeitschr. f. Biol.* Bd. XV, S. 425. 1879.

Die Kohlensäureabgabe pro Stunde und Quadratmeter Körperoberfläche.

Nummer	Versuch	Körperoberfläche Quadratmeter	Kohlensäure pro Stunde und Quadratmeter Körperoberfläche, Gramm	Relations- zahlen
[1	XXXIII.	0.879	26.27	184]
2	XIII.	1.112	29.86	210
4	XVI.	1.184	28.22	198
6	XVIII.	1.220	27.54	193
7	X.	1.283	26.49	186
9	XV.	1.613	27.58	194
10	VIII.	1.633	26.65	187
11	VI.	1.776	23.54	165
12	VII.	1.869	24.18	170
13	XIV.	1.958	21.81	153
14	XXI.	2.033	18.60	131
15	I.	2.078	18.48	130
16	LXII.	2.094	16.85	118
17	LXV.	2.259	16.25	117
18	LXXV.	2.415	14.24	100

Wenn die Kohlensäureabgabe bei Nr. 18 (älterer Mann, 57 Jahre) gleich 100 gesetzt wird, so ist sie bei 9jährigen Knaben (Nr. 2) 210, bei 10jährigen (Nr. 3) 198, bei 11 bis 14jährigen (Nr. 6 bis 10) 194 bis 187, bei 15 bis 17jährigen Jünglingen (Nr. 11 und 12) 165 bis 170, bei 19jährigen (Nr. 13) 153, und bei den folgenden Altersklassen bzw. 131, 130, 118, 117.

Insofern es nach diesen Versuchen erlaubt ist zu beurtheilen, können wir also sagen, dass unter sonst ähnlichen Umständen der durch die Kohlensäureabgabe geschätzte Stoffwechsel bei Kindern an und für sich und unabhängig von ihrer geringeren Körpergrösse grösser ist als bei erwachsenen und dies in einem um so höheren Grade, je jünger das betreffende Individuum ist.

Dies Ergebniss haben wir durch die im letzten Abschnitt mitgetheilten Untersuchungen über den Gesamtstoffwechsel bei Männern von verschiedenem Alter vollkommen bestätigt gefunden.

Auch der Vergleich zwischen der Kohlensäureabgabe pro 1 kg Körpergewicht und 1 qm Körperoberfläche zeigt, welch' einen ausserordentlichen Einfluss das Alter auf die Kohlensäureabgabe ausübt.

Wenn wir nämlich annehmen, dass die Kohlensäureabgabe pro 1^{mm} Körperoberfläche bei jungen und alten männlichen Individuen gleich gross und zwar 14.24^g wäre (Nr. 18, Versuch an 57jährigen Männern), und dann die Kohlensäureabgabe z. B. bei einem 9jährigen Knaben berechneten, so wäre die totale Kohlensäure bei diesem $1.112 \times 14.24 = 15.83$ g, was auf 1^{kg} Körpergewicht (27.5) 0.576^g beträgt. Wir haben aber pro 1^{kg} Körpergewicht bei einem 9jährigen Knaben 1.207^g gefunden.

B. Weibliche Individuen.

Unsere hierher gehörigen Versuche sind 15 an der Zahl und beziehen sich im Ganzen auf 111 Individuen im Alter zwischen 8 und 66 Jahren.

Von diesen Versuchen werden wir jedoch drei von unseren Zusammenstellungen ausschliessen, weil sich die Versuchspersonen dabei nicht so still verhielten, wie es hinsichtlich des Versuchszweckes notwendig war.

Die übrigen Versuche folgen hier.

Versuch XXXV. 19. Januar 1894.

6 Mädchen. Mittleres Alter 7 Jahre 316 Tage. Mittleres Körpergewicht 21.8^{kg}. Während des Versuches genossen die Mädchen 479^g Rosinen, 250^g Mandeln und 230^g Bonbons. A = 100.4. B = 742^{mm}.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationsskammer	der einströmenden Luft Mittel	in der Respirationsskammer	beobachtet	corrigirt	C	CO ₂	H ₂ O
12 ^h 20'		290.0	296.3	295.3	7.0	7.0	0.540 I. 0.560 II.	0.545			
	2.26				7.3				18.2	67	94
12 ^h 50'		290.0	295.4	295.4	8.0	8.0	0.920	0.910			
	2.29				7.2				20.4	75	80
1 ^h 20'		290.0	295.0	295.3	8.7	8.7	1.328	1.312			
	2.35				7.1				21.9	80	—
1 ^h 50'		290.0	294.7	295.2	9.3	9.3	1.752 I. 1.760 II.	1.734			
	2.28				—				20.3	74	—
2 ^h 20'		290.0	294.3	295.1	8.5	8.5	2.140 I. 2.186 II.	2.114			
									Sa.	80.8	296

Versuch XXII. 9. December 1893.

6 Mädchen aus der I. Classe der Wallin'schen Töcherschule. Mittleres Alter 9 Jahre 334 Tage. Mittleres Körpergewicht 26.6^{kg}. Während des Versuches genossen die Mädchen 80^g Bonbons und 940^g Wasser. A = 100.4. B = 752^{mm}.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationsskammer	der einströmenden Luft	in der Respirationsskammer	beobachtet	corrigirt	C	CO ₂	H ₂ O
12 ^h 15' Nachm.		288.0	286.5	294.8	5.07	6.1	0.520	0.516			
	14.89				7.0		0.796	0.789	16.1	59	134
12 ^h 45' "		288.0	286.9	294.8	4.99	7.0	0.796	0.789	18.8	69	97
	15.18				7.6		1.084	1.073	18.2	67	85
1 ^h 15' "		288.1	285.7	294.7	4.99	8.0	1.320	1.306	20.6	76	74
	15.23				5.09		1.568	1.551			
1 ^h 45' "		288.1	285.6	294.4	5.09	8.25	1.568	1.551			
	15.11								Sa.	73.7	271
2 ^h 15' "		288.1	285.5	294.3							

Versuch XIX. 4. December 1893.

6 Mädchen aus der II. Classe der Wallin'schen Töcherschule. Mittleres Alter 11 Jahre 57 Tage. Mittleres Körpergewicht 31.0^{kg}. Während des Versuches genossen die Mädchen 78^g Bonbons und 1170^g Wasser. A = 100.4. B = 763^{mm}.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationsskammer	der einströmenden Luft	in der Respirationsskammer	beobachtet	corrigirt	C	CO ₂	H ₂ O
12 ^h 15' Nachm.		287.9	279.2	291.5	4.09	4.2	0.652	0.648			
	13.96				5.0		1.000	0.993	21.1	77	90
12 ^h 45' "		287.9	279.4	291.5	3.95	5.0	1.000	0.993	22.0	81	72
	14.27				5.5		1.316	1.307	23.0	84	65
1 ^h 15' "		287.9	279.3	291.0	3.75	5.5	1.316	1.307	23.0	84	65
	14.09				5.85		1.612	1.600	19.8	72	62
1 ^h 45' "		287.9	279.0	290.8	3.56	6.1	1.804	1.790			
	14.41								Sa.	85.9	314
2 ^h 15' "		287.9	278.9	290.4							

Versuch XXVI. 16. December 1893.

6 Mädchen aus der III. Classe der Wallin'schen Töcherschule. Mittleres Alter 12 Jahre 68 Tage. Mittleres Körpergewicht 36.2^{kg}. Während des Versuches genossen die Mädchen 98^g Bonbons und 900^g Wasser. A = 100.4. B = 759^{mm}.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen			Absolute Temperatur		Feuchtigkeitsdruck, Millimeter		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
	cbm	in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	beobachtet	correctirt	C	CO ₂	H ₂ O	
12 ^h 15' Nachm.	14.12	289.2	281.5	291.6	5.35	8.45	0.620	0.613	21.6	79	127	
12 ^h 45' "	14.17	289.2	281.2	291.7	5.24	9.2	0.984	0.972	23.5	86	107	
1 ^h 15' "	14.37	289.3	281.3	291.8	5.20	9.65	1.336	1.319	22.0	81	93	
1 ^h 45' "	18.95	289.3	281.4	291.9	5.15	9.9	1.612	1.591	21.1	77	81	
2 ^h 15' "		289.3	281.3	292.1		10.15	1.840	1.815				
									Sa.	88.2	323	

Versuch XXIV. 12. December 1893.

6 Mädchen aus der IV. Classe der Wallin'schen Töcherschule. Mittleres Alter 13 Jahre 53 Tage. Mittleres Körpergewicht 39.5^{kg}. Während des Versuches genossen die Mädchen 73^g Bonbons und 430^g Wasser. A = 100.3. B = 758^{mm}.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen			Absolute Temperatur		Feuchtigkeitsdruck, Millimeter		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
	cbm	in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	beobachtet	correctirt	C	CO ₂	H ₂ O	
1 ^h 15' Nachm.	14.55	288.7	282.2	290.2	4.44	5.3	0.528	0.524	20.5	75	122	
1 ^h 45' "	14.55	288.8	281.9	290.3	4.81	6.3	0.880	0.873	23.4	86	83	
2 ^h 15' "	14.66	288.8	281.6	290.4	4.92	6.85	1.240	1.229	23.9	88	68	
2 ^h 45' "	14.74	288.8	281.6	290.4	4.99	7.2	1.560	1.545	22.0	81	68	
3 ^h 15' "		288.8	281.4	290.3		7.5	1.800	1.782				
									Sa.	89.8	330	

Versuch XXV. 13. December 1893.

6 Mädchen aus der V. Classe der Wallin'schen Töcherschule. Mittleres Alter 14 Jahre 15 Tage. Weiteres Körpergewicht 44.3^{kg}. Während des Versuches genossen die Mädchen 175^g Bonbons und 165^g Wasser. A = 100.3. B = 758^{mm}.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen			Absolute Temperatur		Feuchtigkeitsdruck, Millimeter		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
	cbm	in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	beobachtet	correctirt	C	CO ₂	H ₂ O	
1 ^h 15' Nachm.	14.42	289.0	282.5	292.0	4.36	6.35	0.744	0.738	22.1	81	127	
1 ^h 45' "	14.09	289.1	282.1	292.3	4.12	7.25	1.100	1.089	23.6	87	95	
2 ^h 15' "	14.55	289.1	281.9	292.5	4.11	7.7	1.440	1.425	25.2	92	97	
2 ^h 45' "	18.92	289.1	281.8	292.5	4.14	8.1	1.760	1.741	24.9	91	84	
3 ^h 15' "		289.1	281.7	292.4		8.35	2.040	2.017				
									Sa.	95.8	351	

Versuch XXIII. 11. December 1893.

6 Mädchen aus der VI. Classe der Wallin'schen Töcherschule. Mittleres Alter 15 Jahre 54 Tage. Mittleres Körpergewicht 48.6^{kg}. Während des Versuches genossen die Mädchen 80^g Bonbons und 785^g Wasser. A = 100.3. B = 760^{mm}.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen			Absolute Temperatur		Feuchtigkeitsdruck, Millimeter		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
	cbm	in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	beobachtet	correctirt	C	CO ₂	H ₂ O	
1 ^h 15' Nachm.	14.96	288.4	281.5	293.0	5.15	6.5	0.644	0.639	21.9	80	141	
1 ^h 45' "	14.78	288.4	281.1	293.0	5.04	7.6	1.008	0.998	21.8	80	97	
2 ^h 15' "	11.71	288.4	281.3	292.9	4.85	8.1	1.320	1.306	23.1	85	88	
2 ^h 45' "	11.11	288.5	282.4	292.9	4.82	8.55	1.648	1.629	22.5	83	76	
3 ^h 15' "		288.5	282.4	292.8		8.85	1.936	1.914				
									Sa.	89.3	328	

Versuch XX. 5. December 1893.

6 Mädchen aus der VI. Classe der Wallin'schen Töcherschule. Mittleres Alter 12 Jahre 217 Tage. Mittleres Körpergewicht 49.9^{kg} Während des Versuches genossen die Mädchen etwa 150^g Bonbons. A = 100.3. B = 771^{mm}.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen ebm	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	beobachtet	correctirt	C	CO ₂	H ₂ O
12 ^h 15' Nachm.	14.63	287.8	279.1	293.1	3.65	4.55	0.632	0.628	25.0	92	124
12 ^h 45' "	12.18	287.8	279.2	292.8	3.50	5.55	1.048	1.040	27.9	102	92
1 ^h 15' "	14.34	287.8	—	292.2	3.25	6.15	1.484	1.472	25.7	94	116
1 ^h 45' "	14.24	287.8	278.3	292.0	3.10	6.8	1.800	1.784	26.0	95	60
2 ^h 15' "		287.8	277.8	291.6		6.85	2.080	2.062			
									Sa.	104.6	383

Versuch XXVIII. 19. December 1893.

6 junge Damen. Mittleres Alter 17 Jahre 253 Tage. Mittleres Körpergewicht 53.9^{kg}. Während des Versuches genossen die Versuchspersonen 343^g Bonbons und 320^g Wasser. A = 100.3. B = 758^{mm}.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen ebm	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	beobachtet	correctirt	C	CO ₂	H ₂ O
11 ^h 15' Vorm.	18.94	289.8	282.2	291.0	4.80	6.25	0.600	0.595	21.1	77	128 ¹
11 ^h 45' "		289.8	281.8	291.3		7.25	0.960	0.951			
12 ^h 15' Nachm.	13.07	289.8	282.5	291.5	4.84	7.9	1.356	1.342	23.2	85	90
12 ^h 45' "	12.90	289.8	282.8	291.6	4.70	8.35	1.668	1.650	23.5	86	64
1 ^h 15' "	12.64	289.8	282.0	291.8	4.72	8.50	1.948	1.926	21.4	78	54
1 ^h 45' "	12.78	289.8	282.2	291.8	4.70	8.55	2.160	2.136	20.8	76	72
2 ^h 15' "		289.8	282.0	291.9		8.75	2.332	2.305			
									Sa.	88.9	325

¹ Die erste halbe Stunde ist von den folgenden Zusammenstellungen ausgeschlossen.

Versuch XXVII. 18. December 1893.

5 Damen. Mittleres Alter etwa 30 Jahre. Mittleres Körpergewicht 53.9^{kg}. Während des Versuches genossen die Versuchspersonen 730^g Kuchen und 30^g Wasser. A = 100.3. B = 764^{mm}.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen ebm	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	beobachtet	correctirt	C	CO ₂	H ₂ O
11 ^h 15' Vorm.	14.43	289.8	[283.1]	292.0	4.6	[11.2]	0.484	0.477	21.3	78	—
11 ^h 45' "	15.39	289.8	283.1	292.2	4.52	12.6	0.860	0.846	19.9	73	153
12 ^h 15' Nachm.	15.35	289.8	282.8	292.4	4.50	12.85	1.156 I. 1.152 II.	1.135	17.9	66	131
12 ^h 45' "	15.18	289.8	282.5	292.4	4.46	12.85	1.368	1.345	20.2	74	151
1 ^h 15' "		289.8	282.2	292.4		13.05	1.596	1.569			
									Sa.	79.3	291

Versuch V. 18. April 1893.

9 Damen. Alter 40—50 Jahre. Mittleres Körpergewicht 67.0^{kg}. Während des Versuches genossen die Versuchspersonen Kaffee und Kuchen. A = 99.7. B = 764^{mm}.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen ebm	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	beobachtet	correctirt	C	CO ₂	H ₂ O
12 ^h 23' Nachm.	19.68	287.4		291.2	3.45	[3.95]	0.440 I. 0.408 II. 0.408 III. 0.412 IV.	0.415	47.6	175	[217]
12 ^h 53' "	22.70	287.4	285.6	291.6	2.7	5.85	1.268	1.258	89.1	327	162
1 ^h 23' "	20.80	287.4	285.6	291.9	2.15	6.65	misslung.	—			148
1 ^h 53' "	22.71	287.4	285.6	292.1	2.25	7.10	2.388	2.367	44.9	165	154
2 ^h 23' "		287.4	285.7	292.2		7.50	2.780	2.752			
									Sa.	181.6	667

Versuch XXXVI. 22. Januar 1894.

6 Damen. Mittleres Alter 65 Jahre 290 Tage. Mittleres Körpergewicht 66.9 kg. Während des Versuches genossen die Versuchspersonen nichts. A = 100.1. B = 7.42 mm.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen ebm	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter	Kohlensäure pro Mille		Gramm			
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationskammer		beobachtet	corrigirt	C	CO ₂	H ₂ O	
											der einströmenden Luft Mittel
11 ^h Vorm.	11.25	290.1	285.1	295.2	7.25	0.854	0.852	0.845	21.3	78	121
11 ^h 30 "	11.55	290.1	285.1	295.3	8.15	1.216	1.203		22.0	81	101
12 ^h Mittags	11.35	290.1	285.0	295.1	8.75	1.552	1.534		19.9	73	82
12 ^h 30' Nachm.	11.50	290.1	284.6	295.1	9.10	1.812	1.790		22.2	81	87
1 ^h "		290.1	284.6	295.0	9.45	2.080	2.092		Sa. 85.4 313		

In derselben Weise wie mit den Versuchen an männlichen Individuen (S. 71) stellen wir die vorliegenden Versuche in einer Tabelle zusammen.

Generaltabelle II.

Nummer	Versuch	Mittleres Alter		Mittleres Körpergewicht, Kilogramm	Kohlensäureabgabe pro 1/2 Stunde, Gramm				Totale CO ₂ Abgabe während d. Versuches Gramm	Zahl der Versuchsindividuen
		Jahre	Tage		1. halbe Stunde	2. halbe Stunde	3. halbe Stunde	4. halbe Stunde		
1	XXXV.	7	316	21.8	67	75	80	74	296	6
2	XXII.	9	334	26.6	59	69	67	76	271	6
3	XIX.	11	57	31.0	77	81	84	72	314	6
4	XXVI.	12	68	36.2	79	86	81	77	326	6
5	XXIV.	13	53	39.5	75	86	88	81	330	6
6	XXV.	14	15	44.3	81	87	92	91	351	6
7	XXIII.	15	54	48.6	80	80	85	83	328	6
8	XX.	15	217	49.9	92	102	94	95	383	6
9	XXVIII.	17	253	53.9	85	86	78	76	325	6
10	XXVII.	etwa 30	—	53.9	78	73	66	74	291	5
11	V.	40—50	—	67.0	175	327		165	667	9
12	XXXVI.	65	290	66.9	78	81	73	81	313	6

Bei diesen Versuchen sassen die Versuchspersonen ganz still; besonders gilt dies von den Schulmädchen (Nr. 1 bis 9), welche sich ganz wie bei einer Schulstunde hielten. Auch sind die Variationen der Kohlensäureabgabe während der verschiedenen halbstündigen Perioden im Allgemeinen sehr gering, wie aus der folgenden Zusammenstellung hervorgeht.

Die Abweichung der Kohlensäureabgabe während der verschiedenen halbstündigen Perioden in Procenten des mittleren Werthes.

Nummer	Versuch	Halbstunde				Mittlere Abweichung
		1	2	3	4	
1	XXXV.	9.5	1.4	8.1	0	4.75
2	XXII.	12.9	1.8	1.1	12.2	7.00
3	XIX.	1.9	3.2	7.0	8.3	5.10
4	XXVI.	2.2	6.5	0.3	4.6	3.40
5	XXIV.	9.1	4.2	6.7	1.8	5.45
6	XXV.	7.7	0.9	4.8	3.7	4.28
7	XXIII.	2.4	2.4	3.7	1.2	2.43
8	XX.	3.9	6.5	1.8	0.8	3.25
9	XXVIII.	4.6	5.8	4.0	6.5	5.23
10	XXVII.	7.2	0.3	9.3	1.7	4.68
11	V.	4.9	2.0		1.0	2.63
12	XXXVI.	0.3	3.5	6.7	3.5	3.50

Die mittlere Abweichung schwankt in den verschiedenen Versuchen zwischen 7.00 (Versuch XXII) und 2.43 (Versuch XXIII) und beträgt für sämtliche Versuche mit in Summa 47 Beobachtungen 4.34 Procent — sie ist also 1.64 Procent kleiner als die mittlere Abweichung bei den Versuchen an männlichen Individuen (S. 72).

Die Kohlensäureabgabe pro Individuum und Stunde geht aus der Tabelle auf Seite 88 hervor.

Die geringsten der in dieser Tabelle aufgenommenen Werthe beziehen sich auf das Alter zwischen 8 und 10 Jahren, mit einer Kohlensäureabgabe von bezw. 24.7 und 22.6 %. Sodann zeigt die Kohlensäureabgabe während der ganzen langen Periode vom 11. bis zum 30. Jahre verhältnissmässig nur geringe Variationen; sie schwankt nämlich nur zwischen 26.2 und 31.9 % und wir finden den höchsten Werth bei 15 2/3 Jahren (Nr. 8). Bei 14jährigen und 30jährigen haben

Die Kohlensäureabgabe pro Individuum und Stunde.

Nummer	Versuch	Mittleres Alter		Mittleres Körpergewicht, Kilogramm	Kohlensäure pro Individuum und Stunde Gramm
		Jahre	Tage		
1	XXXV.	7	316	21.8	24.7
2	XXII.	9	334	26.6	22.6
3	XIX.	11	57	31.0	26.2
4	XXVI.	12	68	36.2	26.9
5	XXIV.	13	53	39.5	27.5
6	XXV.	14	15	44.3	29.3
7	XXIII.	15	54	48.6	27.3
8	XX.	15	217	49.9	31.9
9	XXVIII.	17	253	53.9	27.1
10	XXVII.	etwa 30	—	53.9	29.1
11	V.	40—50	—	67.0	37.1
12	XXXVI.	65	290	66.9	26.1

wir fast identische Zahlen (29.3, 29.1). Bei einem reiferen Alter und einem beträchtlich grösseren Körpergewicht ist die Kohlensäureabgabe pro Individuum nicht unbedeutend grösser (Nr. 11, Versuch V). Wir wollen jedoch kein grösseres Gewicht auf diese Zahl legen, da sie vereinzelt dasteht und die Versuchspersonen nicht so ruhig dasassen wie bei den übrigen Versuchen. Bei einem höheren Alter (Nr. 12, Versuch XXXVI) erreicht die Kohlensäureabgabe denselben Werth wieder, den sie während der Periode zwischen dem 11. und dem 30. Jahre hatte (26.1 ϵ).

Wir vermissen also unter den weiblichen Individuen die bedeutende Steigerung der Kohlensäureabgabe, welche wir bei Knaben zwischen dem 13. und 19. Jahre kennen lernten.

Dementsprechend vermissen wir nach den Untersuchungen von Key in diesem Alter die bei den Knaben so deutlich hervortretende Steigerung der Zunahme des Körpergewichtes und der Körperlänge.

Wenn wir die Kohlensäureabgabe bei Nr. 12 (Versuch XXXVI) gleich 100 setzen, so erhalten wir die folgenden Relationszahlen für die Kohlensäureabgabe bei weiblichen Individuen von verschiedenem Alter.

Nummer	Alter, volle Jahre	Relationszahlen
1	7	95
2	9	87
3	11	100
4	12	103
5	13	105
6	14	112
7	15	105
8	15	122
9	17	104
10	30	112
11	40—50	142
12	65	100

Bei weiblichen Individuen von 8 bis 9, 11 bis 30, 40 bis 50 und 65 Jahren verhält sich also die Kohlensäureabgabe etwa wie 91:108:142:100.

Wie aus einem Vergleich mit Andral's und Gavarret's in der geschichtlichen Einleitung angeführten Werthen hervorgeht, sind auch bei weiblichen Individuen die von uns ermittelten Zahlen für die Kohlensäureabgabe grösser als jene.

Die Angabe dieser Autoren, dass die Pubertät und die Menstruation die Kohlensäureabgabe vermindern sollten, findet in unseren Versuchen keine Stütze.

Um von der Grösse der Kohlensäureabgabe bei weiblichen Individuen eine nähere Vorstellung zu geben, stellen wir in der folgenden Tabelle die bei den verschiedenen Versuchen gefundenen Minimalwerthe zusammen und weisen im Uebrigen auf die Discussion der Versuchsergebnisse an männlichen Individuen hin.

Nummer	Versuch	Mittleres Alter		Minimum der Kohlensäureabgabe pro Individuum und Stunde, Gramm	Relationszahlen
		Jahre	Tage		
1	XXXV.	7	316	22.3	92
2	XXII.	9	334	19.7	81
3	XIX.	11	57	24.0	89
4	XXVI.	12	68	25.7	106
5	XXIV.	13	53	25.0	103
6	XXV.	14	15	27.0	111
7	XXIII.	15	54	26.7	110

Nummer	Versuch	Mittleres Alter		Minimum der Kohlensäureabgabe pro Individuum und Stunde, Gramm	Relationszahlen
		Jahre	Tage		
8	XX.	15	217	30.7	126
9	XXVIII.	17	253	25.3	104
10	XXVII.	etwa 30	—	26.4	109
11	V.	40—50	—	36.3	149
12	XXXVI.	65	290	24.3	100

Diese Minimalwerthe geben wesentlich dieselben Resultate wie die Mittelwerthe.

In der folgenden Tabelle stellen wir unsere Berechnungen über die Kohlensäureabgabe pro Stunde und Kilogramm Körpergewicht zusammen.

Die Kohlensäureabgabe bei weiblichen Individuen pro Stunde und Kilogramm Körpergewicht.

Nummer	Versuch	Körpergewicht, Kilogramm	CO ₂ pro Stunde und Kilogramm Körpergewicht, Gramm	Relationszahlen
1	XXXV.	21.8	1.133	290
2	XXII.	26.6	0.850	218
3	XIX.	31.0	0.845	217
4	XXVI.	36.2	0.743	191
5	XXIV.	39.5	0.696	178
6	XXV.	44.3	0.661	170
7	XXIII.	48.6	0.562	144
8	XX.	49.9	0.639	164
9	XXVIII.	53.9	0.503	129
10	XXVII.	53.9	0.540	138
11	V.	67.0	0.554	142
12	XXXVI.	66.9	0.390	100

Das Ergebniss ist hier im grossen Ganzen dasselbe wie bei der entsprechenden Zusammenstellung der Versuche an männlichen Individuen. Je grösser das Körpergewicht ist, um so kleiner wird im Allgemeinen die Kohlensäureabgabe pro 1^{kg} Körpergewicht. Von dieser Regel finden sich allerdings einige Ausnahmefälle vor, unter welchen jedoch eigentlich nur Nr. 8 (Versuch XX) von grösserer Bedeutung ist.

Unter Anwendung derselben Constanten wie bei den Versuchen an männlichen Individuen haben wir die Körperoberfläche sowie die Kohlensäureabgabe pro 1^{qm} bei unseren weiblichen Versuchspersonen berechnet. Die Resultate sind folgende.

Die Kohlensäureabgabe bei weiblichen Individuen pro Stunde und Quadratmeter Körperoberfläche.

Nummer	Versuch	Körperoberfläche Quadratmeter	Kohlensäure pro Quadratmeter und Stunde, Gramm	Relationszahlen
1	XXXV.	0.928	26.61	211
2	XXII.	1.088	20.78	164
3	XIX.	1.204	21.75	172
4	XXVI.	1.336	20.14	159
5	XXIV.	1.490	18.46	146
6	XXV.	1.608	18.22	144
7	XXIII.	1.711	15.99	126
8	XX.	1.741	18.32	145
9	XXVIII.	1.833	14.78	117
10	XXVII.	1.788	16.27	129
11	V.	2.068	17.94	142
12	XXXVI.	2.066	12.64	100

Wir finden hier ganz dasselbe Ergebniss, welches wir bei den männlichen Individuen erhielten, wieder. Und da unsere weiblichen Versuchspersonen im Allgemeinen ganz exemplarisch still sassen, ist das vorliegende Ergebniss vielleicht noch beweisender. Bei den kleinsten Mädchen ist die Kohlensäureabgabe pro Quadratmeter Körperoberfläche mehr als doppelt so gross, wie bei den alten Damen (Versuch XXXVI) und es mag als eine Eigenthümlichkeit noch bemerkt werden, dass die Relationszahl für die kleinen Mädchen fast genau dieselbe ist als diejenige für die kleinen Knaben. Von der ersten Altersklasse an wird die pro Einheit der Körperoberfläche berechnete Kohlensäureabgabe, ganz wie bei den Knaben, immer geringer.

Eine Berechnung derselben Art, wie die früher für männliche Individuen durchgeführte (vgl. S. 80) ergibt Folgendes. Angenommen

dass die Kohlensäureabgabe pro Quadratmeter Körperoberfläche bei Kindern und älteren Damen gleich gross wäre, so sollte dieselbe, da die Kohlensäureabgabe im Versuch XXXVI 12.64 g pro Quadratmeter beträgt, bei den kleinsten Mädchen (Nr. 1) $0.928 \times 12.64 = 11.73 \text{ g}$ ausmachen, was pro 1 kg Körpergewicht (21.8 kg) 0.539 g entspricht. Wir haben aber für die kleinsten Mädchen 1.133 g Kohlensäure pro 1 kg Körpergewicht gefunden.

Der mächtige Einfluss, den das jugendliche Alter an und für sich auf die Kohlensäureabgabe ausübt, gewinnt eine sehr interessante Beleuchtung durch Versuche, welche wir aus den vorhergehenden Zusammenstellungen ausgeschlossen haben, weil sich die Versuchspersonen dabei ziemlich lebhaft bewegten. Dessen ungeachtet hat in diesen Versuchen die Kohlensäureabgabe den Werth lange nicht erreicht, welcher bei jungen und ganz stillsitzenden Mädchen erhalten wurde.

Wir theilen einen solchen Versuch hier mit.

Versuch II. 30. März 1893.

19 junge Damen. Mittleres Alter 15 Jahre. Mittleres Körpergewicht 47.4 kg . Während des Versuches genossen die Versuchspersonen Bonbons und Kuchen (zusammen 2.3 kg) und 1.2 kg Wasser. A = 99.0. B = 761 mm .

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen ebm	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter		Kohlensäure pro Mille		Gramm		
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	der einströmenden Luft	in d. Respirationkammer	beobachtet	correctirt	C	CO ₂	H ₂ O
12 ^h 17' Nachm.	16.59	289.3	—	291.3	2.5	4.8	0.700 I. 0.680 II. 0.680 III.	0.689	86.1	316	336
12 ^h 47' „		289.3	—	293.2	2.6	7.6	2.244	2.222			
1 ^h 17' „	17.93	289.3	—	294.3	2.7	8.7	3.480	3.440	103.4	379	344
1 ^h 47' „	17.23	289.3	—	294.7	2.8	11.0	4.943	4.871			
2 ^h 17' „	18.23	289.3	—	295.6	2.9	14.2	6.052 I. 6.032 II.	5.929	Sa.	379.6	1392

Pro Kilogramm und Stunde beträgt die Kohlensäureabgabe im Mittel 0.772 g , während sie bei 8jährigen Mädchen 1.33 und bei 10- bis 11jährigen 0.850 (Versuch XXXV, XXII, XIX) beträgt. Ja sogar die Periode (1^h 47' bis 2^h 17' Nachm.), während welcher die grösste Kohlensäureabgabe erschien, giebt pro Stunde und Kilogramm nur 0.873, also fortwährend weniger als bei 8jährigen Mädchen und nur unbedeutend mehr als bei 10- bis 11jährigen, wenn sie ganz still sitzen.

Dasselbe Resultat geht auch aus der Berechnung der Kohlensäureabgabe pro Quadratmeter der Körperoberfläche hervor. Pro Stunde und Quadratmeter Körperoberfläche ist die Kohlensäureabgabe bei dem vorliegenden Versuch im Mittel 21.75 und während der Periode von 1^h 47' bis 2^h 17': 24.55 g . Bei den kleinsten Mädchen ist sie aber 26.61 und bei den drei folgenden Altersklassen bezw. 20.78, 21.75, 20.14.

§ 3. Die Kohlensäureabgabe bei männlichen und weiblichen Individuen.

Ein Vergleich zwischen den in den oben mitgetheilten Tabellen enthaltenen Zahlen für die Kohlensäureabgabe bei männlichen und weiblichen Individuen ergibt sofort, dass diese bei weiblichen Individuen erheblich geringer ist als bei männlichen, gleichgültig wie die Versuche berechnet werden.

Der besseren Uebersicht halber haben wir aus diesem Gesichtspunkte unsere Versuche in den folgenden Tabellen zusammengestellt. Dabei sind aber nur solche Versuche aufgenommen, bei welchen die männlichen und die weiblichen Individuen hinsichtlich ihrer Körpergrösse und ihres Alters einander gleich gewesen sind. Ferner haben wir die Versuche Nr. 4 und 6, 9 und 10, 16 und 17 an männlichen Individuen, und die Versuche Nr. 7 und 8 sowie 9 und 10 an den weiblichen Individuen zusammengeschlagen, weil das Körpergewicht und das Alter bei diesen Versuchen nur wenig differiren, wenn wir nämlich für den Versuch Nr. 10 an weiblichen Individuen eine Ausnahme machen. Das mittlere Alter ist hier allerdings 30 Jahre, das Körpergewicht aber ganz dasselbe wie im Versuch Nr. 9 und dazu noch die Kohlensäureabgabe etwas grösser.

Das Verhältniss zwischen der Kohlensäureabgabe bei männlichen und weiblichen Individuen.

A. Pro Kilogramm Körpergewicht.

Männliche Individuen			Weibliche Individuen			Kohlensäure pro Stunde und Kilogramm		Relationszahlen, weibliche Individuen : männlichen
Nummer in der General-tabelle I.	Körper-gewicht, Kilogramm	Alter, volle Jahre	Nummer in der General-tabelle II.	Körper-gewicht, Kilogramm	Alter, volle Jahre	Männliche Individuen	Weibliche Individuen	
1	20.1	7	1	21.8	7	1.149	1.133	100:101
2	27.5	9	2	26.6	9	1.207	0.850	100:142
4 u. 6	30.9	10—11	3	31.0	11	1.085	0.845	100:131
7	34.1	12	4	36.2	12	0.997	0.743	100:134
9 u. 10	44.9	13—14	6	44.3	14	0.980	0.661	100:148
11	51.4	15	7 u. 8	49.3	15	0.813	0.601	100:135
12	55.5	17	9 u. 10	53.9	17, 30	0.814	0.522	100:156
16 u. 17	72.4	30—50	11	67.0	40—50	0.499	0.554	100:90
18	84.6	57	12	66.9	65	0.407	0.390	100:104

B. Pro Quadratmeter Körperoberfläche.

Männliche Individuen		Weibliche Individuen		Kohlensäure pro Stunde und Quadratmeter		Relationszahlen, weibliche Individuen : männlichen
Nummer in der General-tabelle I.	Körper-oberfläche, Quadratmeter	Nummer in der General-tabelle II.	Körper-oberfläche, Quadratmeter	Männliche Individuen	Weibliche Individuen	
1	0.879	1	0.928	26.27	26.61	100:99
2	1.112	2	1.088	26.89	20.78	100:144
4 u. 6	1.202	3	1.204	27.88	21.75	100:128
7	1.283	4	1.336	26.49	20.14	100:132
9 u. 10	1.623	6	1.608	27.12	18.22	100:149
11	1.776	7 u. 8	1.726	23.54	17.16	100:137
12	1.869	9 u. 10	1.811	24.18	15.53	100:156
16 u. 17	2.177	11	2.068	16.55	17.94	100:90
18	2.415	12	2.066	14.24	12.64	100:113

Sowohl nach dem Körpergewicht als nach der Körperoberfläche berechnet ergeben die Versuche, dass im jugendlichen Alter die Kohlensäureabgabe bei männlichen Individuen beträchtlich grösser als bei weiblichen etwa desselben Alters und desselben Körpergewichtes ist. Von dieser Regel stellt allerdings die erste Altersklasse eine Ausnahme dar, indem hier die Kohlensäureabgabe bei Mädchen sogar etwas grösser ist als bei Knaben. Diese Ausnahme findet aber ihre Erklärung darin, was wir oben (S. 73) über den allgemeinen Körperzustand der jüngsten Knaben bemerkt haben.

Die übrigen Versuche geben als Relation zwischen der Kohlensäureabgabe bei weiblichen und männlichen Individuen sowohl nach Kilogramm Körpergewicht als nach Quadratmeter Körperoberfläche im Mittel 100:141. Die Variationen bei den verschiedenen Altersklassen sind nur klein: die Extreme sind 100:131 und 100:156 (nach Kilogramm Körpergewicht).

Dieses Resultat ist schon früher von Scharling, Andral-Gavarett und Speck ausgesprochen worden. Man dürfte jedoch ohne Uebertreibung sagen können, dass diese Autoren dasselbe eher geahnt als bewiesen haben. Denn Scharling's und Speck's Versuchsmaterial war nur wenig umfangreich; Andral und Gavaret dehnten allerdings ihre Versuche auf eine grössere Anzahl Individuen aus, sie versäumten aber das Körpergewicht ihrer Versuchspersonen mitzuthemen und deswegen sind ihre Zahlenwerthe nur wenig beweisend.

Wir können uns nicht vorstellen, dass die Ursache der verschieden grossen Kohlensäureabgabe bei männlichen und weiblichen Individuen von irgend einer Zufälligkeit bedingt ist. Es ist wohl wahr, dass jene im Allgemeinen nicht so vollkommen still sassen wie diese. Daraus lässt sich aber die grosse Differenz nicht erklären, denn z. B. in Versuch Nr. 2 sassen die Knaben absolut eben so still als die Mädchen im entsprechenden Versuch, und trotzdem ist die Relation hier zwischen Mädchen und Knaben wie 100:142; dasselbe gilt von Nr. 12 (Jünglinge) im Vergleich mit Nr. 9 und 10 (junge Damen).

Die Erklärung der betreffenden Thatsache ist, unserer Meinung nach, vor allem darin zu suchen, dass männliche Individuen in der Regel eine im Verhältniss zum Körpergewicht grössere Muskelmasse als weibliche Individuen besitzen, wozu noch möglicherweise der Muskeltonus bei jenen grösser ist als bei diesen.

Leider ist unser Versuchsmaterial zu wenig umfangreich, um uns zu erlauben, ganz bestimmte Schlüsse hinsichtlich der Kohlensäureabgabe bei Männern und Frauen, welche ihre Wachstumsperiode schon zurückgelegt haben, zu ziehen. Es scheint aber aus den Versuchen

Nr. 16 bis 18 an männlichen Individuen, mit den Versuchen Nr. 11 und 12 an weiblichen Individuen verglichen, hervorzugehen, dass sich der im Kindes- und Jugendalter so deutlich und scharf hervortretende Unterschied zwischen den beiden Geschlechtern allmählich verwischt, um endlich bei heranannahendem Greisenalter ganz zu verschwinden.

Jedoch scheinen uns neue Versuche nothwendig zu sein, ehe diese Frage endgültig beantwortet werden kann.

§ 4. Einige hygienische Bemerkungen.

Eine genauere Kenntniss von der Kohlensäureabgabe bei Individuen verschiedenen Alters und Geschlechts hat insofern ein hygienisches Interesse, als wir hierdurch die Möglichkeit gewinnen, durch Analyse des Kohlensäuregehaltes in der Luft eine approximative Schätzung der Ventilationsgrösse in einem Zimmer, wo sich Menschen befinden, zu erhalten. Für Schulen, wo man nicht selten sowohl den Kohlensäuregehalt als die Ventilationsgrösse während der Schulstunde selbst zu bestimmen wünscht, scheint dies von einer gewissen Bedeutung zu sein.

Unsere in diesem Abschnitt dargestellten Versuche sind vor Allem gerade zu diesem Zwecke geeignet, da ja die Versuchsbedingungen denen sehr ähnlich sind, welche bei einer Schulstunde stattfinden.

Kurz zusammengefasst sind unsere Ergebnisse über die Kohlensäureabgabe bei Kindern und jungen Leuten die folgenden:

Alter, Jahre	CO ₂ pro Individuum und Stunde	
	Gramm	Liter bei 0° und 760 ^{mm}
Männliche Individuen.		
9 ¹ / ₂ —12 ¹ / ₂	33.6	17.1
13 ¹ / ₂ —19 ¹ / ₂	43.6	22.2
Weibliche Individuen.		
8—10	23.6	12.0
11—18	28.0	14.2

Wir bemerken, dass sich die Ergebnisse auf wohlgenährte Individuen beziehen.

Will man unter Anwendung dieser Werthe die Ventilation in einem Schulzimmer approximativ berechnen, hat man nur die allgemeine Ventilationsformel zu benutzen, wobei selbstverständlich

Approximationen und Vereinfachungen gemacht werden können. Nach dem, was wir in der ersten Abtheilung schon gesagt haben, dürfte eine Darstellung, wie diese Berechnung auszuführen ist, nicht nothwendig sein. Da die Ventilationsmenge hier unbekannt ist, muss man natürlich die Berechnung durch Einsetzen von Probewerthen vornehmen; wenn man aber mehrere kurze Versuchsperioden nimmt und bei der präliminären Rechnung die Formel 8, Seite 30, benutzt, kann man sich die Arbeit wesentlich erleichtern.

Der Kohlensäuregehalt der Luft wird nach Pettenkofer als Indicator der Luftverderbniss in einem bewohnten Zimmer benutzt, und zwar bezeichnet man als die obere Grenze des zulässigen Kohlensäuregehaltes 0.7 bis 1.0 pro Mille.

Ohne das hygienisch Richtige darin, hohe Anforderungen an die Beschaffenheit der Luft in bewohnten Zimmern zu stellen, bestreiten zu wollen, müssen wir jedoch bemerken, dass wir bei unseren Versuchen gar nichts gefunden haben, was ungezwungen als Zeichen darauf gedeutet werden könnte, dass der Kohlensäuregehalt einen Ausdruck für die Luftverderbniss darstelle. Unsere Versuchsindividuen klagten zuweilen über das von dem Wasserpumpwerk und von dem Flügelrad erzeugte Geräusch; dagegen machten sie nie eine Bemerkung über „schlechte Luft“, sogar nicht, wenn der Kohlensäuregehalt ein sehr hoher war. Beim Eintritt in die Respirationkammer nach den Versuchen haben wir oft bei einem Kohlensäuregehalt von 3 bis 4 pro Mille mit dem Geruch keine Luftverderbniss wahrnehmen können. In anderen Fällen konnte es eintreffen, dass die Luft schon bei 1 bis 1.5 pro Mille Kohlensäure als sehr unangenehm bezeichnet werden musste. Dies ist natürlich von der verschiedenen Reinlichkeit und Sauberkeit der Versuchspersonen abhängig gewesen. Da diese aber in keinem Verhältniss zur Kohlensäureabgabe steht, dürfte die letztere keinen absoluten Massstab wenigstens für die Qualität der Luft darstellen.

Von einem grösseren hygienischen Interesse als die Kohlensäureabgabe ist die Abgabe von Wasserdampf, und zwar vor Allem für die Wohnungshygiene.

Eine der grössten Ungelegenheiten, welche eine engbewohnte Wohnung verursacht, liegt darin, dass Wasserdampf in grösserer Menge abgegeben wird, als die Ventilation zu entfernen vermag. Die Folge davon ist die, dass der Wasserdampf auf die Wände condensirt und von diesen, wenn sie porös sind, zurückgehalten wird. Dadurch entstehen öfters sogenannte feuchte Wohnungen. Eine bestimmte Relation

zwischen dem abgegebenen Wasserdampf und dem mit der Ventilation entfernten darf daher nicht überschritten werden. Welche Relation in dieser Hinsicht eingehalten werden muss, damit keine Condensation von Wasser stattfinden soll, ist von der Dicke der Mauern, von der inneren und äusseren Lufttemperatur u. s. w. abhängig.¹

Um das Maximum von Menschen zu berechnen, die eine bestimmte Wohnung bewohnen können, ist es nothwendig zu wissen, wie viel Wasserdampf ein Mensch thatsächlich abgibt. Aus unseren Versuchen über die Abgabe von Wasserdampf bei Menschen verschiedenen Alters und Geschlechtes werden wir daher die Ergebnisse derjenigen Perioden anführen, welche die genauesten Resultate gegeben haben. Beim Bericht über die Controlversuche wiesen wir nach, wie bei zunehmender Feuchtigkeit in der Respirationkammer auch die Wasserabsorption der Wände zunahm, was zur Folge hatte, dass zu geringe Wassermengen während der späteren Perioden eines Versuches gefunden wurden. Uebrigens war auch während der ersten Periode die gefundene Wassermenge in der Regel zu niedrig. Daher haben wir bei der Bearbeitung der Versuche nur diejenigen Werthe in Betracht genommen, welche während der ersten Stunde erhalten wurden. Da wir endlich keine Schlussfolgerungen aus den einzelnen Versuchen an und für sich, sondern nur aus den mittleren Werthen gezogen haben, so dürften — nach den Controlversuchen zu urtheilen — die Analysenfehler für diese Mittelwerthe nicht mehr als etwa 10 Procent betragen.

Denjenigen Factoren gegenüber, welche in negativer Richtung wirken, existirt auch noch ein anderer, welcher die Wasserdampfabgabe vielleicht erhöhen kann. Die Versuchsindividuen waren nämlich gleich vor dem Eintritt in die Respirationkammer in Bewegung gewesen; sie waren daher möglicher Weise schweissig und erhitzt und gaben in Folge dessen während der ersten Versuchsstunde die an den Kleidern anhaftende Feuchtigkeit ab.

In Anbetracht dessen, dass unsere Absicht nicht war, minimale Werthe, sondern solche Werthe, die im praktischen Leben vorkommen, zu erhalten, ist das zuletzt erwähnte Verhalten als ein günstiges aufzufassen. Es entspricht z. B. gerade dem Verhalten in einer Schule, in welche die Schüler, gleich nachdem sie in einer mehr oder weniger kräftigen Bewegung gewesen sind, hineinkommen.

¹ Vgl. Sondén, *Bihang till Stockholms Hälsovårdsnämnds årsberättelse för 1892*. Stockholm 1893.

Unter den „Zufällen“, welche auf die Ergebnisse einwirken, müssen wir an die Temperatur erinnern (s. die Versuchsprotocolle). In der Regel ist die Temperatur in der Respirationkammer 18 bis 21° C. gewesen.

Die nachfolgende Tabelle giebt die Wasserdampfabgabe bei unseren Versuchen approximativ an; in derselben haben wir ausserdem auch Verhältnisszahlen zwischen der gleichzeitigen Kohlensäure- und der Wasserdampfabgabe mitgetheilt.

Alter, Jahre	Zahl der Versuche	Wasser pro Stunde, Gramm	CO ₂ : H ₂ O
I. Männliche Individuen.			
9 ¹ / ₂ —12 ¹ / ₂	6	38	100 : 101
13 ¹ / ₂ —17	4	45	100 : 103
19 ¹ / ₂ —23	2	46	100 : 109
II. Weibliche Individuen.			
8—13	5	33	100 : 133
13—18	4	37	100 : 130
[60—70	1	37	100 : 140]

Rubner¹ schätzt die tägliche Wasserdampfabgabe zu etwa 900 g, was für 1 Stunde 37.5 g beträgt.

§ 5. Schlussfolgerungen.

Wir können natürlich nicht die im Vorhergehenden dargestellten Erfahrungen hier wiederholen, wollen aber die wichtigsten Resultate übersichtlich zusammenstellen.

1. Bei männlichen Individuen nimmt die Kohlensäureabgabe zwischen dem 9. und 12. Jahre nur so wenig zu, dass die Differenzen innerhalb der Grenzen der unvermeidlichen Variationen fallen. Sie ist also bei Knaben dieses Alters im grossen Ganzen etwa gleich gross und beträgt etwa 33 bis 34 g pro Individuum und Stunde.

Im 13. Lebensjahre steigt die Kohlensäureabgabe beträchtlich in die Höhe und behält diesen hohen Werth bis zum 19. Jahre. Während dieser Jahre ist sie etwa 42 bis 45 g pro Individuum und Stunde.

Vom 20. Lebensjahre an nimmt die Kohlensäureabgabe wieder ab und beträgt bei Männern zwischen 20 bis 30

¹ Rubner, *Lehrbuch der Hygiene*. 4. Aufl., S. 25. 1892.

Jahren 38, bei Männern von 35 bis 60 Jahren 34 bis 37^s pro Individuum und Stunde.

Bei männlichen Individuen im Alter von 9 bis 12, 13 bis 19, 22 bis 25, 34 bis 44 und 57 Jahren verhält sich die Kohlensäureabgabe wie 98:126:111:105:100.

2. Bei weiblichen Individuen ist die Kohlensäureabgabe zwischen dem 8. und 10. Jahre etwa 23 bis 25^s pro Individuum und Stunde.

Sie nimmt dann zu, ohne jedoch die bei den Knaben hervortretende steile Steigerung zu zeigen, und variiert während der ganzen Periode vom 11. bis 30. Jahre nur zwischen 26 und 32^s pro Individuum und Stunde.

Bei einem reiferen Alter scheint sie etwas, wenn auch nicht in einem höheren Grade, abzunehmen, und ist bei alten, 65jährigen Frauen etwa 26^s pro Individuum und Stunde.

Bei weiblichen Individuen im Alter von 7 bis 9, 11 bis 30 und 65 Jahren verhält sich die Kohlensäureabgabe wie 91:108:100.

3. Sowohl bei männlichen als bei weiblichen Individuen ist die Kohlensäureabgabe pro Kilogramm Körpergewicht grösser bei jüngeren (und leichteren), als bei älteren (und schwereren) Individuen. (In Bezug auf absolute und relative Zahlenangaben siehe S. 77, 90.)

4. Sowohl bei männlichen als bei weiblichen Individuen ist die Kohlensäureabgabe pro Quadratmeter Körperoberfläche grösser bei jüngeren als bei älteren Individuen, wodurch bewiesen wird, dass der jugendliche Körper an und für sich und unabhängig von seiner geringeren Körpergrösse einen regeren Stoffwechsel besitzt. (In Bezug auf absolute und relative Zahlenangaben siehe S. 79, 90.)

5. Im jugendlichen Alter ist die Kohlensäureabgabe sowohl pro Kilogramm Körpergewicht als pro Quadratmeter Körperoberfläche beträchtlich grösser bei männlichen, als bei weiblichen Individuen etwa desselben Alters und desselben Körpergewichtes. Im Mittel ist die Relation hier wie 100:140.

Dieser im Kindes- und Jugendalter so deutlich hervortretende Unterschied zwischen den beiden Geschlechtern scheint sich allmählich zu verwischen, um endlich bei heranahendem Greisenalter ganz zu verschwinden.

Dritter Abschnitt.

Ueber die Kohlensäure- und die Stickstoffabgabe des Menschen während der verschiedenen Stunden des Tages.

§ 1. Geschichtliche Einleitung.

Die einzigen bisher vorliegenden ausführlichen Untersuchungen über die Kohlensäureabgabe des Menschen während der verschiedenen Stunden des Tages sind von E. Smith und Magnus-Levy ausgeführt.

Smith athmete durch eine dicht schliessende Maske; die ausgeathmete Luft wurde mittels einer trockenen Gasuhr gemessen, wonach sie durch Gefässe mit Schwefelsäure, bezw. Aetzkali zur Absorption von Wasserdampf bezw. Kohlensäure geleitet wurde. Die Kohlensäure wurde durch Wägung bestimmt.

Die Versuche wurden so ausgeführt, dass entweder die Kohlensäure jede Stunde während 5 bis 10 Minuten bestimmt wurde, oder auch die Versuchsperson den ganzen Tag hindurch, nur mit Ausnahme der Mahlzeiten, durch die Maske athmete.

Die Ergebnisse seiner Versuche hat Smith in englischen Grains (1^s = 15.432 Grains) mitgetheilt. In der folgenden Zusammenstellung haben wir dieselben in Gramme umgerechnet.

Zeit	Kohlensäure pro Minute, Gramm. Beobachtungsdauer 10 Min.			Bemerkungen
	I. Smith	II. Dr. Murie	III. Dr. Moul	
7 ^h Vorm.	0.408	0.398	0.616	Frühstück
8 ^h „	0.405	0.440	0.528	
8 ^h 30' „	—	—	—	
9 ^h „	0.564	0.592	0.538	
9 ^h 30' „	0.512	0.522	0.736	
10 ^h „	0.482	0.583	0.580	
11 ^h „	0.525	0.532	0.572	Mittagsessen
12 ^h Mittags	0.578	0.531	0.596	
1 ^h Nachm.	0.580	0.473	0.496	
1 ^h 30' „	—	—	—	
2 ^h „	0.570	0.522	0.588	
3 ^h „	0.590	0.598	0.557	
4 ^h „	0.615	0.457	0.567	Thee
5 ^h „	0.620	0.497	0.438	
5 ^h 30' „	—	—	—	
6 ^h „	0.645	0.599	0.525	

Zeit	Kohlensäure pro Minute, Gramm. Beobachtungsdauer 10 Min.			Bemerkungen	
	I. Smith	II. Dr. Murie	III. Dr. Moul		
7 ^h Nachm.	0.622	0.548	0.655	Abendbrod	
8 ^h "	0.622	0.507	0.538		
8 ^h 30' "	—	—	—		
9 ^h "	0.590	0.510	0.502		
10 ^h "	0.619	0.498	0.541		
11 ^h "	0.608	0.499	0.535		
12 ^h "	0.617	0.475	0.486		
	IV. Smith ¹	V. Prof. Frank-land ¹	VI. Dr. Moul ¹		
6 ^h 30' Vorm.	0.577	0.337	0.460		Frühstück
7 ^h "	0.583	0.350	0.473		
8 ^h "	0.564	0.298	0.441		
8 ^h 30' "	—	—	—		
9 ^h "	0.655	0.389	0.460		
9 ^h 30' "	0.674	0.486	0.551		
10 ^h 5' "	0.706	0.538	0.544		
10 ^h 35' "	0.745	0.486	0.557		
11 ^h 5' "	0.732	0.402	0.525		
12 ^h Mittags	0.629	0.434	0.467		
1 ^h Nachm.	0.648	0.395	0.499		
1 ^h 30' "	—	—	—	Mittagsessen	
2 ^h "	0.609	0.421	0.493	Thee	
2 ^h 30' "	0.616	0.441	0.493		
3 ^h "	0.642	0.421	0.588		
4 ^h "	0.700	0.454	0.551		
5 ^h "	0.583	0.441	0.525		
5 ^h 30' "	—	—	—		
6 ^h 10' "	0.629	0.454	0.551		
6 ^h 35' "	0.745	0.486	0.564		
7 ^h "	0.713	0.505	0.596		
8 ^h "	0.693	0.499	0.609		
9 ^h "	0.590	—	0.538		
10 ^h "	0.570	—	0.467		

¹ In IV bis IX sind 0.01 von Grains nach bekannten Regeln fortgelassen.

Zeit	Kohlensäure pro Minute, Gramm. VII. Ununterbrochenes Aufsammeln von Kohlensäure. Versuchsperson Smith	Mittel aus Bestimmungen	Bemerkungen		
				6 ^h 45' bis 8 ^h 15' Vorm.	0.498
8 ^h 30' "	—	—			
8 ^h 30' "	0.674	3			
9 ^h 30' "	0.642	4			
10 ^h 30' "	0.680	4			
11 ^h 30' "	0.700	7			
1 ^h 15' Nachm.	—	—	Mittagsessen		
1 ^h 30' "	—	—			
1 ^h 47' "	0.583	4			
2 ^h 30' "	0.609	4			
3 ^h 30' "	0.583	4			
4 ^h 30' "	0.596	3			
4 ^h 30' "	—	—		Thee	
5 ^h 45' "	0.674	4			
7 ^h 15' "	0.564	3			
8 ^h 15' "	0.544	2			
	VIII.				
7 ^h 30' Vorm.	0.454	sitzend			Frühstück
8 ^h 30' "	—	—			
8 ^h 45' "	0.525	sitzend			
9 ^h 30' "	0.804	"			
10 ^h 30' "	0.674	"			
11 ^h 30' "	0.713	"			
12 ^h 30' Nachm.	0.661	"			
12 ^h 45' "	0.732	"			
1 ^h "	0.713	"			
1 ^h 30' "	—	—	Mittagsessen		
1 ^h 46' "	0.654	sitzend			
2 ^h 30' "	0.654	stehend von 2 ^h 40'			
3 ^h 5' "	0.810	sitzend			
3 ^h 30' "	0.771	stehend von 4 ^h 15'			
4 ^h 30' "	0.752	bis 4 ^h 30'			
		stehend 1/2 St.,			
		sitzend 20 Min.			
		stehend 25 Min.			
5 ^h 35' "	—	—		Thee	
5 ^h 45' "	0.855	sitzend 1/2 St., stehend			
		1/2 St.			
6 ^h 30' "	0.726	sitzend 1/4 St., stehend			
		1/2 St., sitzend 1/4 St.			
7 ^h 46' "	0.823	sitzend 1/2 St., stehend			
		14 Min.			
8 ^h 30' "	—	—			
8 ^h 48' "	0.758	sitzend			
9 ^h 30' "	0.797	"			
9 ^h 50' "	0.888	sitzend 1/2 St., stehend			
10 ^h 30' bis 11 ^h 30' "	0.732	10 Min. sitzend	Abendbrod		

Auch machte Smith an sich selbst einen Versuch beim Hungern. Das Ergebniss ist folgendes:

Zeit	IX. Kohlensäureabgabe pro Minute. Beobachtungsdauer 5 Min.	Bemerkungen
6. Juli. 9 ^h 30' Vorm.	—	Die letzte Mahlzeit.
1 ^h Nachm.	0.486	
2 ^h "	0.447	
3 ^h "	0.480	
4 ^h "	0.460	
5 ^h "	0.454	
6 ^h "	0.454	
7 ^h "	0.454	
8 ^h "	0.434	
9 ^h "	0.454	
10 ^h "	0.460	
11 ^h "	0.421	
7. " 7 ^h Vorm.	0.454	
8 ^h "	0.428	
9 ^h "	0.467	
10 ^h "	0.434	

Smith theilt noch einige Beobachtungen über die Kohlensäureabgabe im Schlafe mit. Eine Nacht „whilst scarcely awake“ bestimmte er seine Kohlensäureabgabe um 1 Uhr 30 Min., 2 Uhr 30 Min. und 6 Uhr 15 Min. Vormittags und erhielt dabei pro Minute 0.369, 0.382, 0.395 g CO_2 (Beobachtungsdauer 15 Min.). Eine andere Nacht fand er bei einem leichten Schlaf um 1 und 3 Uhr Vormittags 0.318 und 0.324 g CO_2 pro Minute (Beobachtungsdauer auch hier 15 Minuten).¹

Magnus-Levy führte seine Versuche nach der in Zuntz' Laboratorium geübten Methode aus.² Die Dauer der Probenahme scheint zwischen 17 und 35 Minuten variirt zu haben, und war für den längsten von ihm mitgetheilten Versuch beim Hunger im Mittel 23 Min. In diesem Versuch, welcher von 9 Uhr Vormittags bis 7 Uhr 21 Min. Vormittags des folgenden Tages währte, wurden die folgenden Werthe für die Kohlensäureabgabe pro Minute erhalten.³

¹ Smith, *Philosophical transactions*. Bd. CIL, 2, S. 688—694, 696—698. 1859.

² Magnus-Levy, *Arch. f. d. ges. Physiol.* Bd. LV, S. 1—126. 1893.

³ Dieselben sind von uns in Gramme reducirt.

Zeit	CO ₂ pro Min. Gramm	Bemerkungen.	
9 ^h 3' Vorm.	0.384	Die letzte Mahlzeit 13 Stunden vor dem Versuche.	
9 ^h 35' "	0.316		
10 ^h 9' "	0.331		
11 ^h 48' "	0.314		
12 ^h 46' Nachm.	0.325		
1 ^h 40' "	0.335		
2 ^h 48' "	0.333		
3 ^h 49' "	0.329		
4 ^h 50' "	0.314		
5 ^h 41' "	0.317		
6 ^h 44' "	0.333	200 ^{ccm} Wasser.	
7 ^h 55' "	0.302		
9 ^h 45' "	0.302	Schläft.	
10 ^h 6' "	0.274		
10 ^h 30' "	0.294	} Schläft von Zeit zu Zeit.	
12 ^h 53' Vorm.	0.296		
1 ^h 19' "	0.292		
1 ^h 41' "	0.315		
4 ^h 16' "	0.337		
4 ^h 39' "	0.339		
7 ^h 1' "	0.353		
7 ^h 21' "	0.323		
			do. do.

Ferner machte Magnus-Levy Versuche nach Nahrungsaufnahme in der Weise, dass er zuerst den respiratorischen Gaswechsel bei Fasten bestimmte, dann seiner Versuchsperson eine verschieden zusammengesetzte Kost verabreichte und untersuchte, wie sich der Gaswechsel dadurch veränderte. Da wir bis jetzt keine Versuche in dieser Richtung gemacht haben, werden wir diese Versuche Magnus-Levy's hier übergehen.

Dagegen erlauben wir uns einen Versuch von ihm mitzutheilen, bei welchem die Versuchsperson zu den gewöhnlichen Mahlzeitsstunden frei gewählte Kost genoss. Dieser Versuch ergab Folgendes.

Zeit	CO ₂ pro Min., Gramm	Bemerkungen.
8 ^h 47' bis 9 ^h 7' Vorm.	0.325	Bei Fasten; Mittel aus 2 Bestimmungen.
10 ^h "	—	Frühstück.
10 ^h 32' "	0.418	
11 ^h 38' "	0.473	

Zeit	CO ₂ pro Min., Gramm	Bemerkungen.
12 ^h 37' Nachm.	0.416	
1 ^h 35' "	0.382	
1 ^h 55' "	—	Mittagsessen
3 ^h 7' "	0.468	
4 ^h 3' "	0.443	
5 ^h 3' "	0.412	
6 ^h 3' "	0.384	
7 ^h 8' "	0.374	
8 ^h "	—	Abendbrod
8 ^h 53' "	0.402	
9 ^h 53' "	0.428	
10 ^h 54' "	0.378	
1 ^h 10' Vorm.	0.304	
4 ^h 32' "	0.321	
7 ^h 45' "	0.359	

Nachdem wir über unsere eigenen Untersuchungen berichtet haben, werden wir die in diesen Angaben enthaltenen Ergebnisse näher besprechen.

§ 2. Die stündliche Kohlensäureabgabe bei ruhenden Menschen während 4 bis 5 Stunden.

Unsere Versuche über die Kohlensäureabgabe bei Ruhe während der verschiedenen Stunden des Tages sind in 2 Reihen ausgeführt. In der einen, welche wesentlich vorgenommen wurde, um eine Grundlage für die Beurtheilung der Einwirkung der Muskelarbeit auf die Kohlensäureabgabe zu gewinnen, währten die Versuche nur 4 bis 5 Stunden lang. Diese Versuche fanden am Vormittag statt, 2 bis 3 Stunden nachdem die Versuchsperson ihr Frühstück genossen hatte. Während der ganzen Versuchsdauer verhielt sich die Versuchsperson so still wie möglich, sitzend oder halb liegend in einem Ruhesessel. Die Kohlensäureabgabe wurde jede Stunde durch doppelte Analysen bestimmt.

Versuch XLIII. 12. Februar 1894.

F. A. W., mechanischer Arbeiter, geb. 19. Juli 1861. Körpergewicht ohne Kleider vor dem Versuch 57.47^{kg}, nach dem Versuch 57.29^{kg}. Frühstück um 9 Uhr Vorm. A = 100.4. B um 10 Uhr Vorm. 715, um 12 Uhr Mittags 712^{mm}.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen cbm	Absolute Temperatur		Feuchtigkeitsdruck in der Respirationkammer mm	Kohlensäure pro Mille		Gramm	
		in den Gasuhren	in der Respirationkammer		beobachtet	correct	C	CO ₂
10 ^h Vorm.	8.04	289.9	291.5	4.1	0.416	0.414	6.7	25
11 ^h "	2.99	289.8	291.6	5.3	0.548 0.560	0.550	7.3	27
12 ^h "	2.99	289.7	291.6	5.6	0.708 0.692	0.695	7.3	27
1 ^h Nachm.	3.11	289.7	291.6	5.9	0.848 0.840	0.837	6.4	23
2 ^h "	3.14	289.7	291.6	6.0	0.964 0.960	0.954	6.7	25
3 ^h "		289.7	291.7	6.2	1.088 1.080	1.075		

Versuch XXXII. 16. Januar 1894.

G. J., Laboratoriumsdiener, geb. 2. Juni 1863. Körpergewicht ohne Kleider vor dem Versuch 73.78^{kg}, nach dem Versuch 73.63^{kg}. Frühstück um 8 Uhr 15 Min. Vormittags. A = 100.4. B = 756^{mm}.

11 ^h Vorm.		290.4	292.8	6.2	0.516 0.480 a) 0.484 b)	0.489		
	5.29						7.9	29
12 ^h Mittags		290.4	292.9	6.6	0.640 0.640	0.634		
	5.31						8.4	31
1 ^h Nachm.		290.4	292.7	6.5	0.796 0.780	0.781		
	5.31						7.9	29
2 ^h "		290.4	292.5	6.4	0.916 0.924	0.912		
	5.30						7.9	29
3 ^h "		290.4	292.3	6.5	1.040 1.048	1.035		
	5.30						7.3	27
4 ^h "		290.4	292.1	6.4	1.156 1.144	1.140		

Versuch XLVII. 19. Februar 1894.

L. B., Bäcker, geb. 16. Mai 1868. Körpergewicht ohne Kleider vor dem Versuch 64.76^{kg}, nach dem Versuch 64.36^{kg}. Während des Versuches genoss die Versuchsperson 60^g Wasser. Frühstück um 8 Uhr Vormittags. A = 100.4. B = 771^{mm}.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen	Absolute Temperatur		Feuchtigkeitsdruck in der Respirationkammer	Kohlensäure pro Mille		Gramm	
		in den Gasuhren	in der Respirationkammer		beobachtet	corrigirt	C	CO ₂
	cbm			mm				
11 ^h 15' Vorm.		288.8	292.4	4.9	0.440 0.428	0.431		
	3.45						9.8	34
12 ^h 15' Nachm.		288.8	292.3	5.6	0.608 0.612	0.606		
	3.46						8.2	30
1 ^h 15' "		288.8	292.1	6.0	0.768 0.752	0.754		
	3.45						8.8	32
2 ^h 15' "		288.9	291.8	6.1	0.920 0.912	0.909		
	3.53						8.3	30
3 ^h 15' "		289.0	291.4	6.1	1.060 1.052	1.048		

Versuch XXXIX. 2. Februar 1894.

E. F., Studirender, geb. 1871. Körpergewicht ohne Kleider vor dem Versuch 64.40^{kg}, nach dem Versuch 64.15^{kg}. Frühstück um 9 Uhr 45 Min. Vormittags. A = 100.4. B = 749^{mm}.

11 ^h 20' Vorm.		289.9	291.6	5.5	0.488 0.484	0.482		
	5.27						9.8	36
12 ^h 20' Nachm.		289.9	291.6	6.1	0.672 0.668	0.665		
	5.48						8.2	30
1 ^h 20' "		289.9	291.6	6.3	0.828 0.804	0.808		
	5.43				0.812		8.2	30
2 ^h 20' "		289.9	291.6	6.4	0.956 0.944	0.942		
	5.39						8.1	30
3 ^h 20' "		289.9	291.5	6.6	1.076 1.080	1.069		
	5.44						7.9	29
4 ^h 20' "		289.9	291.5	6.6	1.200 1.192	1.185		

Versuch LXI. 29. October 1894.

E. T., Studirender, 21 Jahre alt. Körpergewicht mit Kleidern vor dem Versuch 76.00^{kg}, nach dem Versuch 75.75^{kg}. Während des Versuches genoss die Versuchsperson nichts. Frühstück um 8 Uhr Vormittags. A = 100.4. B = 761^{mm}.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen	Absolute Temperatur		Feuchtigkeitsdruck in der Respirationkammer	Kohlensäure pro Mille		Gramm	
		in den Gasuhren	in der Respirationkammer		beobachtet	corrigirt	C	CO ₂
	cbm			mm				
10 ^h 15' Vorm.		288.7	292.4	4.8	0.460 0.432	0.443		
	6.87						10.5	38
11 ^h 15' "		288.7	291.9	5.5	0.640 0.640	0.635		
	6.92						9.9	36
12 ^h 15' Nachm.		288.7	291.3	5.6	0.812 0.804	0.802		
	7.07						10.7	39
1 ^h 15' "		288.8	290.8	5.6	0.984 0.976	0.973		
	7.11						9.3	34
2 ^h 15' "		288.8	290.5	5.8	1.112 1.120	1.108		
	7.04						9.9	36
3 ^h 15' "		288.8	290.1	5.8	1.260 1.240	1.241		

Versuch LXIII. 3. November 1894.

O. G. Ä., Studirender, 24 Jahre alt. Körpergewicht mit Kleidern vor dem Versuch 71.60^{kg}, nach dem Versuch 71.45^{kg}. Während des Versuches genoss die Versuchsperson 145^g Wasser. Frühstück um halb 9 Uhr Vormittags. A = 100.4. B = 754^{mm}.

10 ^h 25' Vorm.		289.5	294.3		0.456 0.452	0.450		
	7.01						9.5	35
11 ^h 25' "		289.5	294.0		0.632 0.636	0.627		
	7.02						7.5	28
12 ^h 25' Nachm.		289.5	293.6		0.760 0.760	0.752		
	7.11						8.0	29
1 ^h 25' "		289.5	293.0		0.896 0.880	0.878		
	7.11						7.4	27
2 ^h 25' "		289.6	292.6		0.996 0.992	0.983		
	7.15						6.6	24
3 ^h 25' "		289.6	292.3		1.072 1.080	1.064		

Versuch LXIV. 6. November 1894.

C. W. E., Studirender, 24 Jahre alt. Körpergewicht mit Kleidern vor dem Versuch 73.00 kg, nach dem Versuch 72.72 kg. Während des Versuches genoss die Versuchsperson nichts. Frühstück um halb 9 Uhr Vormittags.

A = 100.4. B = 746 mm.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen ebm	Absolute Temperatur		Feuchtigkeitsdruck in der Respirationkammer mm.	Kohlensäure pro Mille		Gramm	
		in den Gasuhren	in der Respirationkammer		beobachtet	corrigirt	C	CO ₂
10 ^h 15' Vorm.		290.5	290.7	8.0	0.460	0.455		
	6.97						9.8	36
11 ^h 15' "		290.5	290.9	8.4	0.644	0.637		
	7.00						10.2	37
12 ^h 15' Nachm.		290.6	291.2	8.7	0.824	0.814		
	7.03						10.5	38
1 ^h 15' "		290.6	294.0	8.9	0.996	0.986		
	7.06				1.000		9.6	35
2 ^h 15' "		290.6	294.1	9.3	1.160	1.130		
	7.09				1.128		9.4	35
3 ^h 15' "		290.6	293.4	9.2	1.276	1.260		
					1.276			

Versuch LXVI. 11. November 1894.

J. H. T., Studirender, 25 Jahre alt. Körpergewicht mit Kleidern vor dem Versuch 62.80 kg, nach dem Versuch 62.87 kg. Während des Versuches genoss die Versuchsperson 390 g Wasser. Frühstück um halb 9 Uhr.

A = 100.4. B = 748 mm.

10 ^h 35' Vorm.		289.2	288.1	6.5	0.396	0.392		
	7.35						6.9	25
11 ^h 37' "		289.2	292.6	7.0	0.528	0.520		
	7.10						8.6	32
12 ^h 37' Nachm.		289.2	293.2	7.7	0.680	0.673		
	7.21						7.9	29
1 ^h 37' "		289.2	293.7	8.1	0.812	0.803		
	7.36				0.812		5.2	19
2 ^h 37' "		289.2	293.9	8.3	0.880	0.870		
	7.27				0.880		7.2	27
3 ^h 37' "		289.2	293.9	8.6	0.984	0.973		
					0.984			

Versuch LXVII. 17. November 1894.

N. N. W., Candidat der Philosophie, 32 Jahre alt. Körpergewicht mit Kleidern vor dem Versuch 82.60 kg, nach dem Versuch 82.60 kg. Während des Versuches genoss die Versuchsperson 160 g Wasser. Frühstück um 9 Uhr Vormittags.

A = 100.4. B = 770 mm.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen ebm	Absolute Temperatur		Feuchtigkeitsdruck in der Respirationkammer mm	Kohlensäure pro Mille		Gramm	
		in den Gasuhren	in der Respirationkammer		beobachtet	corrigirt	C	CO ₂
10 ^h 35' Vorm.		289.6	288.8	6.9	0.448	0.448		
	6.80						10.1	37
11 ^h 35' "		289.6	289.1	7.4	0.628	0.626		
	6.69						10.3	38
12 ^h 35' Nachm.		289.6	289.4	7.8	0.800	0.800		
	6.60				0.816		9.6	35
1 ^h 35' "		289.6	289.5	7.8	0.960	0.950		
	6.30				0.960		8.4	31
2 ^h 35' "		289.6	289.6	7.9	1.080	1.071		
	6.36				1.084		10.3	38
3 ^h 35' "		289.6	289.8	8.1	1.232	1.219		
					1.232			

Der besseren Uebersicht wegen stellen wir diese Versuche in der folgenden Generaltabelle zusammen.

Generaltabelle III.

Versuch	Kohlensäureabgabe; Gramm pro Stunde.					Mittel aller Stunden
	I. Stunde	II. Stunde	III. Stunde	IV. Stunde	V. Stunde	
XLIII. F. A. W.	25	27	27	23	25	25.3
XXXII. G. J.	29	31	29	29	27	28.9
XLVII. L. B.	34	30	32	30	—	31.7
XXXIX. E. F.	36	30	30	30	29	31.0
LXI. E. T.	38	36	39	34	36	36.8
LXIII. O. O. Ä.	35	28	29	27	24	28.6
LXIV. C. W. E.	36	37	38	35	35	36.3
LXVI. J. H. T.	25	32	29	19	27	26.2
LXVII. N. N. W.	37	38	35	31	38	35.7

Die Abweichung der einzelnen Beobachtungen vom entsprechenden Mittelwerth in Procenten des letzteren ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Abweichung der einzelnen Beobachtungen vom Mittel
in Procenten derselben.

Versuch	I. Stunde	II. Stunde	III. Stunde	IV. Stunde	V. Stunde	Mittel
XLIII.	2.97	5.90	6.49	7.44	2.06	4.97
XXXII.	0.76	6.22	0.62	0.00	7.64	3.05
XLVII.	7.31	5.26	2.02	4.00	—	4.65
XXXIX.	15.49	2.52	3.45	3.55	5.94	6.13
LXI.	4.08	1.63	7.07	7.88	1.63	4.46
LXIII.	22.38	3.85	2.80	5.25	16.08	10.07
LXIV.	1.10	2.76	5.79	2.76	4.68	3.42
LXVI.	4.96	20.23	10.69	27.48	1.15	12.90
LXVII.	3.89	5.68	1.71	13.41	5.49	6.03

Die Abweichung beträgt nur in 7 Fällen mehr als 10 Procent (Versuch XXXIX: 1. Stunde, Versuch LXIII: 1. und 5. Stunde, Versuch LXVI: 2. bis 4. Stunde, Versuch LXVII: 4. Stunde) und variiert in den übrigen 37 Fällen zwischen 7.88 und 0.00 Procent.

Die mittlere Variation beträgt bei diesen Versuchen bzw. 3.05, 3.42, 4.46, 4.65, 4.97, 6.03, 6.13, 10.07, 12.90 Procent des mittleren Werthes und ist im Mittel für alle Versuche 6.19 Procent. Wir können daher sagen,

dass bei ruhig stillsitzenden Menschen die Kohlensäureabgabe in der Regel nur wenig umfangreiche Schwankungen von Stunde zu Stunde darbietet.

Dasselbe geht auch aus Figg. 4 bis 12, welche die Ergebnisse dieser Versuche graphisch darstellen, hervor.

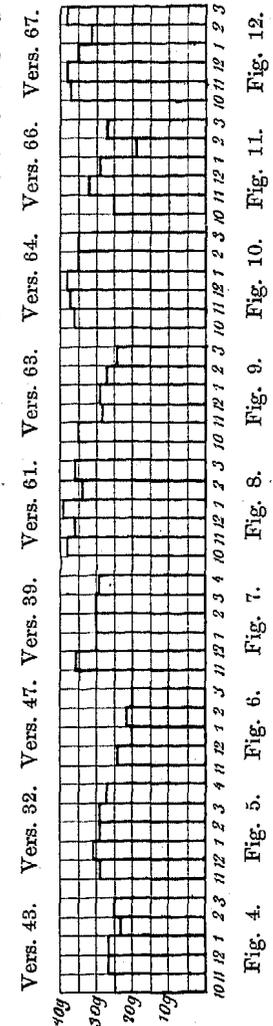
Irgend welche deutlich hervortretende Gesetzmässigkeit in Bezug auf die Grösse der Kohlensäureabgabe während der verschiedenen Stunden der einzelnen Versuche lässt sich nicht nachweisen. In einigen Versuchen (XLVII, XXXIX, LXIII) zeigt die Kohlensäureabgabe ihr Maximum während der ersten Stunde und fällt während der folgenden herab; in anderen Versuchen tritt das Maximum während der zweiten (Versuch XLIII, XXXII, LXVI, LXVII) oder der dritten Stunde auf (LXI, LXIV). Das Minimum der Kohlensäureabgabe erscheint während der letzten oder der vorletzten Stunde, und in dieser Hinsicht zeigen die Versuche eine grosse Regelmässigkeit.

Bei diesen Versuchen befanden sich, wie gesagt, die Versuchspersonen in einer sehr ruhigen Lage und bewegten sich ausserordentlich wenig. In Folge dessen ist ihre Kohlensäureabgabe natürlich geringer, als bei den im zweiten Abschnitt dargestellten Versuchen, bei welchen sich die Versuchspersonen allerdings auch ruhig verhielten, jedoch nicht so vollkommen ruhig wie hier. Da die Personen, welche zu diesen Versuchen dienten, alle etwa von demselben Alter waren, ist es erlaubt, aus diesen Versuchen das Mittel zu ziehen. Dieses Mittel stellt die Kohlensäureabgabe bei einem 20 bis 30jährigen Mann in wachem Zustande und bei vollständiger körperlicher Ruhe dar.

Bei den Versuchen LXI bis LXVII haben wir das Gewicht der Kleider nicht bestimmt. Durch zahlreiche Wägungen von Kleidern haben wir aber gefunden, dass die Kleider eines erwachsenen Mannes im Allgemeinen 5^{kg} wiegen und dass die Differenzen nur wenig erheblich sind. Von dem Totalgewicht unserer Versuchspersonen in den betreffenden Versuchen haben wir daher, um das Reingewicht zu erhalten, 5^{kg} abgezogen. Die Resultate sind dann folgende:

Versuch	Körpergewicht, Kilogramm	Alter, Jahre	CO ₂ im Mittel pro Stunde, Gramm	CO ₂ pro Stunde und Kilogramm, Gramm
XLIII.	57.38	32	25.3	0.441
XXXII.	73.71	30	28.9	0.392
XLVII.	64.56	25	31.7	0.491
XXXIX.	64.33	23	31.0	0.482
LXI.	70.88	21	36.8	0.519
LXII.	66.52	24	28.6	0.430
LXIV.	67.86	24	36.3	0.535
LXVI.	57.84	25	26.2	0.453
LXVII.	77.60	32	35.7	0.460
Mittel	66.74	26	31.2	0.467

Als Mittelwerth pro Individuum und Stunde findet sich also 31.2^g CO₂ und pro Kilogramm Körpergewicht und Stunde 0.467^g CO₂.



Die im zweiten Abschnitt für männliche Individuen desselben Alters erhaltenen Werthe sind bezw. 38.4 und 0.569% CO₂ (vgl. S. 73, 77).

Bei den meisten dieser Versuchspersonen führten wir auch Arbeitsversuche aus, welche wir im 4. Abschnitt dieser Abhandlung mittheilen werden. Diese Arbeitsversuche waren in der Weise angeordnet, dass von den 5 Stunden, welche der Versuch dauerte, die 1., 3. und 5. von der Versuchsperson in ruhender Lage zugebracht, während die 2. und 4. Stunde zur Arbeit verwendet wurden. Nun zeigt allerdings die Kohlensäureabgabe während der 3. und 5. Stunde Spuren von einer, im Allgemeinen sehr geringen Nachwirkung der vorhergegangenen körperlichen Arbeit. Jedoch war diese Nachwirkung, mit einer einzigen Ausnahme (Vers. L, 3. Stunde), so klein, dass die während der Ruhestunden auftretenden Variationen in diesen Versuchen nur wenig ausserhalb derjenigen Grenzen fallen, welche bei den eben angeführten reinen Ruheversuchen zum Vorschein kamen. Wir glauben daher, es wird nicht ohne Interesse sein, diese Ruhewerthe aus den Arbeitsversuchen hier zusammenzustellen, besonders da die Anzahl unserer Beobachtungen ziemlich gross ist.

Versuch	Kohlensäureabgabe pro Stunde, Gramm			Mittel
	I. Stunde	III. Stunde	V. Stunde	
XLIV. F. A. W.	29	21	30	26.9
XLV. "	19	22	24	21.8
XXXIV. G. J.	36	34	33	34.2
XXXVII. "	33	32	35	33.3
XXXVIII. "	41	36	32	36.3
LIV. "	39	33	35	35.6
LV. "	35	34	33	34.0
LXVIII. "	36	33	—	34.3
LXIX. "	32	33	35	33.5
LXX. "	27	25	29	27.0
LXXI. "	32	29	23	28.0
LXXIII. "	32	33	37	33.7
LXXIV. "	29	24	30	27.5
LXXVIII. "	34	29	26	29.8
XLVIII. L. B.	29	30	32	30.1
L. "	37	—	30	33.7
LVII. "	37	32	32	33.6
LVI. "	22	28	35	28.1
XL. E. F.	36	37	38	37.2
LVIII. E. T.	34	30	32	32.0
LIX. O. O. Ä.	—	33	30	31.6
LX. E.	38	30	40	35.9

Mittel 31.7

Die Abweichung der einzelnen Beobachtungen vom entsprechenden Mittelwerth in Procenten desselben.

Versuch	I. Stunde	III. Stunde	V. Stunde	Mittel
XLIV.	8.70	21.24	12.46	14.13
XLV.	10.76	0.14	10.81	7.24
XXXIV.	4.35	1.23	3.16	2.91
XXXVII.	0.33	3.33	3.66	2.44
XXXVIII.	13.68	1.27	12.39	9.11
LIV.	9.00	6.74	2.33	6.02
LV.	4.12	1.47	2.65	2.75
LXVIII.	4.66	4.66	—	4.66
LXIX.	3.43	1.61	4.98	3.34
LXX.	0.99	6.77	5.80	4.52
LXXI.	14.13	3.04	17.14	11.44
LXXIII.	5.55	3.48	9.00	6.01
LXXIV.	3.64	14.14	10.54	9.44
LXXVIII.	14.96	1.35	13.54	9.95
XLVIII.	4.99	1.66	6.71	4.45
L.	9.92	—	9.92	9.92
LVII.	11.31	4.76	6.25	7.44
LVI.	20.28	2.14	22.78	15.07
XL.	2.10	0.11	1.96	1.39
LVIII.	6.06	5.53	0.44	4.01
LIX.	—	3.55	3.55	3.55
LX.	4.74	15.88	11.14	10.59

Mittel 6.84

Im Mittel aller Versuche mit 63 einzelnen Beobachtungen beträgt die Abweichung 6.84 Procent, also nur wenig mehr wie bei den reinen Ruheversuchen (6.19 Procent). Bei mehreren dieser Versuche sind die Variationen bemerkenswerth klein, so z. B. bei den Versuchen XXXIV, XXXVII, LV, XL, wo die mittlere Abweichung nicht 3 Procent beträgt.

Eine grosse Anzahl dieser Versuche sind an einer und derselben Versuchsperson, dem Laboratoriumsdiener G. J., ausgeführt. Da sie alle zu derselben Zeit des Tages und sämmtlich unter im grossen Ganzen denselben Bedingungen stattfanden, geben sie uns eine Einsicht darüber, wie die Kohlensäureabgabe von dem einen Tage zum anderen variirt. Wir stellen daher diese Versuche aus diesem Gesichtspunkte zusammen und bemerken nur, dass die Versuche in der Regel während der kälteren Jahreszeit angestellt wurden.

Versuche an G. J.

Versuch	Datum	Körpergewicht ohne Kleider, Kilogramm	CO ₂ Mittel der Ruhestunden, Gramm	Temperatur in der Respirationskammer
XXXII.	1894. 16. Januar	73.71	28.9	19.6
XXXIV.	18. "	73.92	34.2	20.6
XXXVII.	30. "	73.71	33.3	18.3
XXXVIII.	1. Februar	73.93	36.3	19.7
LIV.	21. September	73.13	35.6	19.1
LV.	25. "	72.55	34.0	17.0
LXVIII.	24. November	73.95	34.3	15.4
LXIX.	28. "	73.70	33.5	18.8
LXX.	1. December	—	27.0	17.4
LXXI.	3. "	73.25	28.0	18.2
LXXIII.	10. "	73.95	33.7	18.5
LXXIV.	13. "	74.20	27.5	19.6
LXXVIII.	1895. 5. Februar	75.10	29.8	19.3

Das Mittel dieser sämtlichen Bestimmungen ist 32.0 g. Die grösste positive Abweichung vom Mittel beträgt 4.3 g (Versuch XXXVIII), die grösste negative Abweichung 5.0 g (Versuch LXX). Die mittlere Abweichung ist 2.9 g = 9.06 Procent des Mittelwerthes.

Wenn wir bedenken, dass diese Bestimmungen mit Ausnahme der ersten (Versuch XXXII) Versuchen entstammen, bei welchen in den Zwischenstunden eine ziemlich beträchtliche mechanische Arbeit geleistet wurde, so können wir mit einer nicht geringen Wahrscheinlichkeit behaupten, dass bei einem und demselben Menschen die Kohlensäureabgabe unter denselben äusseren Verhältnissen verhältnissmässig nur geringe Variationen von Tag zu Tag darbietet, auch wenn die Beobachtungszeiten durch Monate von einander getrennt sind.

Unsere Ergebnisse hinsichtlich der Variationen der Kohlensäureabgabe bei einem ruhenden Menschen von der einen Stunde zur anderen stimmen mit denjenigen von Magnus-Levy an ruhenden und fastenden Menschen wesentlich überein. Die Versuchspersonen, an welchen Magnus-Levy seine Beobachtungen machte, hatten am Versuchstage keine Nahrung genossen; deswegen sind seine Versuche und die unsrigen unter einander nicht genau vergleichbar, da ja unsere Versuchspersonen einige Zeit vor dem Versuche ihr Frühstück genossen

hatten. Darin liegt auch, unserer Meinung nach, die Ursache davon, dass die Variationen bei seinen Versuchen etwas, wenn auch nicht viel, kleiner sind als bei den unsrigen. So beträgt in dem von Magnus-Levy ausführlich mitgetheilten, von uns oben angeführten Versuch die Variation der Kohlensäureabgabe in 6, zwischen 10 Uhr 9 Min. Vormittags und 3 Uhr 49 Min. Nachmittags ausgeführten Bestimmungen in Procenten ihres Mittelwerthes bezw. 1.20, 4.51, 0.84, 2.18, 1.48. Zählt man aber noch die zwei Bestimmungen um 9 Uhr 3 Min. und 9 Uhr 35 Min. Vormittags, welche eine sehr bedeutende Differenz darbieten, mit, so sind die Variationen im betreffenden Versuch ganz von derselben Grösse wie in unseren Versuchen, indem die procentuelle Abweichung der einzelnen Bestimmungen vom Mittel für die Zeit zwischen 9 Uhr 3 Min. und 3 Uhr 49 Min. jetzt sind: 15.15 — 5.39 — 0.41 — 6.04 — 2.43 — 0.59 — 0.12 — 1.24 und im Mittel 3.92.¹ Die mittlere Variation beträgt in unseren reinen Ruheversuchen für alle Versuche 6.19 Procent des Mittelwerthes; in den Versuchen XXXII und LXIV ist die mittlere Variation aber nur bezw. 3.05 und 3.42, also geringer als bei Magnus-Levy (vgl. auch die Zusammenstellung S. 112).

§ 3. Die Kohlensäureabgabe für zweistündige Perioden während des ganzen Tages (24 Stunden).

Unseres Wissens liegen keine vollständig durchgeführten Untersuchungen über die Frage, wie die Kohlensäureabgabe während der verschiedenen Stunden eines ganzen Tages variirt, vor. Wir besitzen allerdings, wie wir in unserer geschichtlichen Einleitung bemerkt haben, einige hierher gehörige Beobachtungen; diejenigen Versuche aber, bei welchen die Kohlensäureabgabe thatsächlich Stunde nach Stunde bestimmt worden ist, erstrecken sich nicht über die gesammten 24 Stunden eines Tages, und unter diesen finden sich nur 2 (von Smith), in welchen die Ansammlung der Kohlensäure die ganze Versuchszeit hindurch ununterbrochen stattgefunden hat, während in den übrigen Versuchen dieser Art Proben jede Stunde nur während 35 bis 5 Minuten genommen worden sind.

Unsere eigenen Versuche in dieser Richtung bezweckten festzustellen, wie die Kohlensäureabgabe während der verschiedenen Stunden des Tages variirt, wenn die Versuchsperson ruhend — jedoch nicht den ganzen Tag hindurch bettlägerig ist. Vielmehr sollte die Versuchsperson sich so verhalten, wie sich ein Mensch in der Regel verhält,

¹ Magnus-Levy, *Arch. f. d. ges. Physiol.* Bd. LV, S. 35. 1893.

wenn er keine körperliche Arbeit auszuführen hat. Die Versuchspersonen hatten also die Erlaubniss, sich nach Belieben zu bewegen, jedoch wurde es ihnen untersagt, eigentliche körperliche Uebungen zu machen. In der Regel sassen sie ziemlich still, grösstentheils in einem Ruhesessel und beschäftigten sich mit Lesen und Schreiben.

Des Abends kleideten sie sich aus, gingen zu Bett und schienen im Allgemeinen gut geschlafen zu haben, mit Ausnahme der Versuchsperson J. E. J. (Versuch XVII), welche nur von 3 Uhr 35 Min. Vormittags bis 9 Uhr Vormittags schlief und auch während dieser Zeit zweimal erwachte, um Puls und Athmung zu registriren.

Alle diese Versuche fingen Nachmittags oder Abends an, nachdem die Versuchsperson wenige Stunden vorher ihr Mittagessen genossen hatte, und dauerten genau 24 Stunden.

Bei 4 dieser Versuche (XXXI, XLIX, XVII, XLII) fasteten die Versuchspersonen während der ganzen Versuchsdauer vollständig. Diese Versuche können daher dazu dienen, die Frage aufzuklären, wie sich die Kohlensäureabgabe während der 24 nach einer reichlichen Mahlzeit folgenden Stunden verhält, denn in der Regel bereiteten sich die Versuchspersonen zum Fasten durch eine ordentliche Mahlzeit vor.

Bei einem Versuch (XLI) genoss die Versuchsperson während des Versuches nur Frühstück.

Bei den 6 übrigen Versuchen (XXIX, XXX, XLV, LXXVII, LXXVI, LI) lebten die Versuchspersonen auch hinsichtlich ihrer Kost wie gewöhnlich.

Die Kohlensäureabgabe wurde, durch Doppelanalysen, jede zweite Stunde bestimmt. Ferner wurde die 24stündige Harnmenge gesammelt; in den Versuchen XLI, XXXI, LXXVII, XLIX, XVII und XLV wurde sie in einzelnen Portionen aufgenommen. Der Stickstoff wurde nach Kjeldahl bestimmt. Die Ergebnisse dieser Bestimmungen werden wir in § 5 dieses Abschnittes mittheilen.

Die Versuche sind an folgenden Personen ausgeführt.

Versuch	XXIX.	Karl T., Schüler, geb. 17. October 1882.
"	XXX.	Lennart K., Schüler, geb. 6. Januar 1882.
"	XXI.	Theodor L., Techniker, geb. 13. August 1875.
"	LXXVII.	Ernst J. T., Stud. med., geb. 25. Juli 1873.
"	XXXI.	August M., Ingenieur, geb. 9. November 1873.
"	XLIX.	Thor S., Cand. der Medicin, geb. 5. Juli 1864.
"	XVII.	J. E. J., Privatdocent, geb. 22. März 1862.
"	XLII.	Johan W., Professor, geb. 26. August 1850.
"	LXXVI.	Å., Arbeiter, geb. 31. Mai 1826.
"	XLV.	H. R., Gymnasiallehrer a. D., geb. 4. Aug. 1815.
"	LI.	J. L., Wittwe, geb. 31. October 1809.

Versuch XXIX. 20. bis 21. December 1893.

Karl T., Schüler, geb. 17. October 1882. Körpergewicht (ohne Kleider) vor dem Versuch 32.0^{kg}, nach dem Versuch 32.1^{kg}. Hatte sein Mittagessen um 4 Uhr Nachm. genossen. Abendbrod um 8 Uhr 15 Min. Nachm., Milch um 10 Uhr 30 Min. Nachm., Frühstück um 8 Uhr 30 Min. Vorm., zweites Frühstück 12 Uhr Mittags, Mittag um 3 Uhr 30 Min. Nachm. Während des Versuches genoss die Versuchsperson in toto: weiches Weizenbrod 489^g, Zwieback 6^g, Butter 59^g, Fettkäse 128^g, Braten (kalt) 49^g, Milch 400^{ccm}, Beefsteak 70^g, Aepfel 323^g, Kuchen 100^g, Wasser 341^g. Ging zu Bett um 10 Uhr 30 Min. Nachm., stand auf um 8 Uhr 30 Min. Vorm. A. = 100.5.

Zeit	Durch die Gasuhrengemessenes Luftvolumen cbm	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter		Kohlensäure pro Mille		Gramm		Barometer	
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationskammer	der einströmenden Luft	in der Respirationskammer	beobachtet	correct	C	CO ₂		
												I.
6 ^h Nachm.	9.75	290.0	290.4	290.9	5.9	6.1	0.608 0.592	I. II.	0.595	16.5	60	744
8 ^h "	9.47	290.0	290.5	291.0	6.2	6.6	0.892 0.892	I. II.	0.884	14.6	53	744
10 ^h "	9.28	290.1	290.4	291.1	6.4	6.8	1.124 1.120	I. II.	1.112	14.8	54	744
12 ^h Nachts	9.24	290.2	290.3	291.0	6.4	7.0	1.332 1.352	I. II.	1.330	11.7	43	744
2 ^h Vorm.	9.15	290.3	290.0	290.9	6.4	7.1	1.480 1.480	I. II.	1.466	11.3	41	744
4 ^h "	9.12	290.4	289.8	290.9	6.6	7.2	1.600 1.596	I. II.	1.582	11.3	41	742
6 ^h "	9.18	290.4	289.5	290.4	6.6	7.3	1.712 1.700	I. II.	1.689	10.0	37	743
8 ^h "	9.27	290.5	289.2	290.0	—	7.4	1.780 1.776	I. II.	1.760	14.6	54	743
10 ^h "	9.33	290.6	289.8	290.1	6.0	7.5	1.952 1.924	I. a.	1.915	16.3	60	742
12 ^h Mittags	9.47	290.6	289.8	290.3	5.5	7.5	2.100 2.112	I. II.	2.087	16.4	60	742
2 ^h Nachm.	9.37	290.6	290.3	290.4	5.3	7.6	2.272 2.264	I. II.	2.245	16.5	61	741
4 ^h "	9.41	290.6	290.4	290.8	5.3	7.9	2.416 2.420 2.424	I. a. b.	2.394	17.9	66	741
6 ^h "		290.6	290.6	290.7	5.4	8.3	2.568 2.596	I. b.	2.558			

Versuch XXX. 2. bis 3. Januar 1894.

Lennart K., Schüler, geb. 6. Januar 1882. Körpergewicht ohne Kleider vor dem Versuch 38.35^{kg}, nach dem Versuch 38.25^{kg}. Hatte sein Mittagessen um 4 Uhr Nachm. genossen. Während des Versuches ass die Versuchsperson dann und wann, ohne bestimmte Zeiten zu beobachten. Die Kost bestand aus belegten Brödchen, nämlich mit Käse 320^g, mit Braten 284^g, mit Schinken 30^g, dazu noch Weissbrod 41^g, Aepfel 137^g, Wasser 413^g. Ging zu Bett um 10 Uhr Nachm., stand auf um 6 Uhr 50 Min. Vorm. A = 100.6.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen ebm	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter		Kohlensäure pro Mille		Gramm		Barometer
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	beobachtet	correctirt	C	CO ₂	
6 ^h Nachm.		287.1	291.2	291.6	5.0		0.984 I. 1.000 II.	0.986			775
	20.49								28.4	104	
10 ^h 1 "		287.3	291.3	290.5	3.7	5.6	1.364 I. 1.364 II.	1.354			775
	10.25								13.2	48	
12 ^h Nachts		287.3	292.4	292.4	3.7	6.1	1.512 I. 1.504 II.	1.496			775
	10.27								11.1	41	
2 ^h Vorm.		287.4	292.2	292.6	3.6	6.5	1.600 I. 1.600 II.	1.587			775
	9.95								11.0	40	
4 ^h "		287.5	289.7	291.0	3.2	6.5	1.684 I. 1.680 II.	1.668			775
	11.06								11.4	42	
6 ^h "		287.5	288.3	289.6	3.3	6.4	1.748 I. 1.748 II.	1.734			775
	10.58								14.3	52	
8 ^h "		287.6	291.3	291.4	3.5	7.2 ¹	1.856 I. 1.880 a. 1.876 b.	1.854			775
	10.84								17.0	62	
10 ^h "		287.6	292.2	292.4	3.8	6.9	2.040 I. 2.020 II.	2.012			775
	10.65								16.8	62	
12 ^h Mittags		287.8	294.1	294.4	3.3	7.3	2.172 I. 2.176 II.	2.154			775
	10.73								16.5	60	
2 ^h Nachm.		287.9	291.2	292.7	3.1	7.2	2.296 I. 2.288 II.	2.271			776
	11.06								16.9	62	
4 ^h "		287.9	289.6	291.2	2.9	6.9	2.396 I. 2.400 II.	2.377			776
	10.92								18.4	67	
6 ^h "		288.1	288.6	290.2	2.7	6.7	2.524 I. 2.524 II.	2.502			776

¹ Die Bestimmung der Kohlensäure um 8 Uhr Nachm. ist nicht gelungen.

Versuch XLI. 5. bis 6. Februar 1894.

Theodor L., Techniker, geb. 13. August 1875. Körpergewicht ohne Kleider vor dem Versuch 57.0^{kg}. Hatte sein Mittagessen um 3 Uhr Nachm. genossen. Während des Versuches genoss die Versuchsperson nur Frühstück (um 12 Uhr Mittags), bestehend aus Pfannkuchen 145^g, Eiern 100^g (2 Stück), belegten Brödchen mit Fleisch 150^g, Bier 315^g. Ging zu Bett um 9 Uhr 20 Min. Nachm., löschte die Lampe um 10 Uhr 5 Min. Nachm. aus, erwachte um 10 Uhr Vorm. und stand auf um 11 Uhr Vorm. A = 100.4.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen ebm	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter		Kohlensäure pro Mille		Gramm		Barometer
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	beobachtet	correctirt	C	CO ₂	
5 ^h Nachm.		290.3	290.8	290.8	6.9	6.0	0.480 0.488	0.480			758
	11.20								21.2	78	
7 ^h "		290.2	290.1	291.1	6.2	6.5	0.876 0.864	0.863			755
	11.31								18.9	69	
9 ^h "		290.2	289.8	291.0	6.0	6.7	1.180 1.160	1.160			755
	11.17								20.1	74	
11 ^h "		290.2	289.1	290.8	5.7	6.8	1.472 1.448	1.447			757
	11.14								11.5	42	
1 ^h Vorm.		290.3	289.1	290.6	6.8	6.9	1.560 1.552	1.542			757
	11.07								12.2	45	
3 ^h "		290.4	288.8	290.3	5.5	6.8	1.664 1.652	1.643			757
	11.09								10.8	39	
5 ^h "		290.4	288.6	290.2	5.4	6.8	1.720 1.720	1.705			757
	11.13								12.0	44	
7 ^h "		290.5	288.8	290.1	5.4	6.8	1.800 1.796	1.782			757
	11.40								13.4	49	
9 ^h "		290.5	290.0	290.2	6.4	6.8	1.890 1.892	1.874			760
	11.21								15.4	56	
11 ^h "		290.5	290.5	290.8	6.1	7.0	2.024 2.008	1.997			759
	11.32								18.3	67	
1 ^h Nachm.		290.5	290.2	291.0	6.0	7.2	2.180 2.184	2.161			756
	11.28								17.7	65	
3 ^h "		290.5	290.4	290.8	6.4	7.3	2.320 2.320	2.298			756
	11.20								15.7	58	
5 ^h "		290.5	291.1	291.0	7.0	7.4	2.412 2.404	2.384			755

Versuch XXXI. 13. bis 14. Januar 1894.

August M., Ingenieur, geb. 9. November 1873. Körpergewicht ohne Kleider vor dem Versuch 72.4^{kg}, nach dem Versuch 70.05^{kg}. Letzte Mahlzeit kurz vor dem Beginn des Versuches. Fastete die ganze Dauer des Versuches und verzehrte nur 333^g Wasser. Ging zu Bett um 12 Uhr 15 Min. Vorm., schlief bis 8 Uhr 30 Min. Vorm., stand auf um 12 Uhr Mittags. A = 100.5. — Während des Versuches zerbrach das Dynamo um 1/3 1 Uhr Vorm., in Folge dessen die Ventilation zwischen 1 Uhr 30 Min. und 1 Uhr 45 Min. Vorm. stillstand. Dabei wurde die Eingangsöffnung einen Augenblick geöffnet, weil man beabsichtigte, den Versuch zu unterbrechen. Die Bestimmung für die Zeit 12 Uhr 15 Min. bis 1 Uhr 15 Min. Vorm. ist daher nicht ganz sicher.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen ebm	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter		Kohlensäure pro Mille		Gramm		Barometer
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	beobachtet	corrigirt	C	CO ₂	
8 ^h 15' Nachm.		290.3	291.5	293.5	4.7	—	0.504 I. 0.504 II.	0.500		767	
	12.01						0.920 I. 0.920 b.		23.9 88		
10 ^h 15' "		290.2	290.3	292.6	4.3	5.8	0.940 a. 0.920 b.	0.920		766	
	12.08						1.340 I. 1.344 II.	1.331			
12 ^h 15' Vorm.		290.3	293.3	294.9	4.8	6.4	1.448 I. 1.444 II.	1.433	7.8 28	764	
	4.80						1.548 I. 1.552 II.	1.536	8.6 81		
1 ^h 15' "		290.3	292.7	294.6	5.0	6.7	1.688 I. 1.700 II.	1.678		764	
	5.52						1.800 I. 1.812 II.	1.789	14.4 53		
2 ^h 15' "		290.3	292.1	294.0	5.1	6.9	1.920 I. 1.932 II.	1.908	14.5 53	764	
	10.78						2.040 I. 2.040 II.	2.021	15.4 56		
4 ^h 15' "		290.4	291.1	292.9	5.1	7.3	2.176 I. 2.180 II.	2.157	17.4 64	764	
	10.68						2.400 I. 2.360 a. 2.368 b.	2.353	21.3 78		
6 ^h 15' "		290.4	290.4	292.1	5.2	7.2	2.508 I. 2.496 II.	2.483	18.8 69	762	
	10.89						2.632 I. 2.612 II.	2.595	18.4 68		
8 ^h 15' "		290.5	289.8	292.0	4.9	7.2	2.752 I. 2.740 II.	2.718	19.7 72	764	
	11.44										
10 ^h 15' "		290.6	289.6	291.7	5.3	7.1				764	
	11.58										
12 ^h 15' Nachm.		290.7	290.1	291.7	5.7	7.5				764	
	11.51										
2 ^h 15' "		290.7	289.8	291.7	5.7	7.6				762	
	11.45										
4 ^h 15' "		290.8	289.9	291.6	5.6	7.6				762	
	11.32										
6 ^h 15' "		290.9	289.9	291.6	5.4	7.8				764	
	11.35										
8 ^h 15' "		290.9	290.1	291.6	5.9	7.9				764	

Versuch LXXVII. 23. bis 24. Januar 1895:

Ernst T., Studirender, geb. 25. Juli 1873. Körpergewicht ohne Kleider vor dem Versuch 72.77^{kg}, nach dem Versuch 72.63^{kg}. Abendbrod um 9 Uhr Nachm. (belegte Bröckchen 290^g, Bier), Frühstück um 11 Uhr Vorm. (Bier 337^g, Brod 382^g, Butter 28^g, Anjovis 47^g, Pökelfleisch 43^g, Eier 113^g); Mittag um 4 Uhr Nachm. (Suppe 233^g, Fleisch 125^g, Kartoffeln 121^g, Bier 345^g). Ausserdem 200^g Wasser. Schlief zwischen 12 und 1 Uhr Vorm. ein, stand 1/2 10 Uhr Vorm. auf. A = 100.4.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen ebm	Absolute Temperatur		Feuchtigkeitsdruck in der Respirationkammer mm	Kohlensäure pro Mille		Gramm		Barometer
		in den Gasuhren	in der Respirationkammer		beobachtet	corrigirt	C	CO ₂	
6 ^h Nachm.		289.9	292.4	4.7	0.516 0.508	0.509		20.8 76	736
	15.33								
8 ^h "		289.9	292.3	5.4	0.888 0.880	0.878		23.1 85	737
	15.33								
10 ^h "		290.0	291.7	5.7	1.248 1.248	1.236		17.2 63	737
	15.81								
12 ^h "		290.0	291.0	5.8	1.440 1.440	1.429		16.4 60	739
	14.81								
2 ^h Vorm.		290.0	290.4	5.7	1.600 1.600	1.588		14.7 54	739
	15.03								
4 ^h "		290.0	289.5	5.6	1.708 1.700	1.691		13.6 50	739
	16.03								
6 ^h "		290.0	289.1	5.5	1.760 1.760	1.747		11.8 43	739
	15.84								
8 ^h "		290.0	288.8	5.1	1.796 1.768 1.760	1.763		18.2 67	739
	15.79								
10 ^h "		289.9	289.6	5.5	1.912 1.912	1.898		20.2 74	739
	14.89								
12 ^h Mittags		290.0	290.9	5.8	2.082 2.080	2.065		16.7 61	739
	15.27								
2 ^h Nachm.		290.0	290.5	5.7	2.152 2.154	2.136		18.8 69	739
	14.33								
4 ^h "		290.1	289.9	5.8	2.272 2.272	2.254		25.3 93	739
	15.15								
6 ^h "		290.1	290.1	6.1	2.484 2.480	2.462			740

Versuch XVII. (Fortsetzung).

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen cbm	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter		Kohlensäure pro Mille		Gramm		Barometer
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationskammer	der einströmenden Luft	in der Respirationskammer	beobachtet	correct	C	CO ₂	
3 ^h Vorm.	33.99	290.0	283.7	290.0	5.5	7.0	1.816	1.804	14.1	52	751
5 ^h "	35.01	290.0	283.1	289.4	5.5	6.9	1.264 a. 1.280 b.	1.260	12.2	45	750
7 ^h "	35.37	290.0	283.3	289.2	5.9	6.7	1.200 a. 1.200 b.	1.189	15.1	56	749
9 ^h "	35.39	290.0	283.1	289.2	5.9	6.9	1.200 a. 1.196 b.	1.187	17.9	66	748
11 ^h "	34.83	290.0	283.1	289.2	5.9	6.8	1.248 I. 1.244 a. 1.240 b.	1.232	17.8	65	746
1 ^h Nachm.	35.16	290.0	283.3	289.2	5.8	6.9	1.280 I. 1.280 II.	1.268	18.9	69	744
3 ^h "	34.81	290.1	283.2	289.4	5.7	7.0	1.320 I. 1.320 II.	1.308	17.9	66	743
5 ^h "	34.52	290.1	283.2	289.4	6.1	7.2	1.332 I. 1.336 II.	1.321	15.1	55	742
7 ^h "		290.1	283.4	289.7	6.2	7.1	1.300 I. 1.316 a. 1.284 b.	1.288			742

Anmerkung. Während dieses Versuches wurde auch die Pulsfrequenz, die Athmungsfrequenz und das Athemvolumen beobachtet. Betreffs seiner Beschäftigungen hat J. uns Folgendes mitgetheilt:

7^h bis 8^h Nachm. Die ganze Zeit damit beschäftigt, die Apparate in Ordnung zu stellen.

8^h „ 9^h „ Ruhend. Lesen der Zeitungen.

9^h „ 10^h „ Registrirung des Athemvolumens und der Athmungsfrequenz. Zählen der Pulsfrequenz und in Ordnungstellen des Psychrometers in dem Canal für die einströmende Luft, was sehr beschwerlich war, weil das Psychrometer nicht leicht zugänglich war.¹

¹ Dieser Versuch war der erste, der 24 Stunden dauerte. In den folgenden wurde der Fehler hinsichtlich der Anordnung des Psychrometers vermieden.

10 ^h	bis 11 ^h	Nachm.	Ruhend.	Lesen eines Romans.
11 ^h	„ 11 ^h 30'	„	Puls —	Athmung — Psychrometer
11 ^h 30'	„ 1 ^h	Vorm.	Ruhend.	Lesen eines Romans.
1 ^h	„ 1 ^h 15'	„	Puls —	Athmung — Psychrometer.
1 ^h 15'	„ 3 ^h	„	Ruhend.	
3 ^h	„ 3 ^h 35'	„	Puls —	Athmung — Psychrometer.
3 ^h 35'	„ 5 ^h 45'	„	Schlaf.	
5 ^h 45'	„ 6 ^h	„	Puls —	Athmung.
6 ^h	„ 7 ^h 30'	„	Schlaf.	
7 ^h 30'	„ 7 ^h 40'	„	Puls —	Athmung — Psychrometer.
7 ^h 40'	„ 9 ^h	„	Schlaf.	
9 ^h	„ 9 ^h 30'	„	Puls —	Athmung.
9 ^h 30'	„ 11 ^h	„	Ruhend.	
11 ^h	„ 11 ^h 30'	„	Puls —	Athmung — Psychrometer.
11 ^h 30'	„ 1 ^h	Nachm.	Ruhend.	
1 ^h	„ 1 ^h 30'	„	Puls —	Athmung.
1 ^h 30'	„ 3 ^h	„	Ruhend.	
3 ^h	„ 3 ^h 30'	„	Puls —	Athmung — Psychrometer.

Versuch XLII. 10. Februar 1894.

Johan W., Professor, geb. 26. August 1850. Körpergewicht ohne Kleider vor dem Versuch 84.50^{kg}, nach dem Versuch 82.52^{kg}. Hatte um 5 Uhr sein Mittagessen genossen. Trank während des Versuches nur sehr wenig Wasser. Löschte das Licht um 12 Uhr 30 Min. Vorm. aus. Schief von 1 Uhr Vorm. bis 7 Uhr Vorm. und stand auf um 7 Uhr 15 Min. Im wachen Zustande befand sich J. W. meistens halb liegend mit Lesen beschäftigt. A = 100.4.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen cbm	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter		Kohlensäure pro Mille		Gramm		Barometer
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationskammer	der einströmenden Luft	in der Respirationskammer	beobachtet	correct	C	CO ₂	
7 ^h 15' Nachm.		290.7	293.9	293.7	7.1	6.0	0.628 0.624	0.621			722
	4.61								22.5	82	
9 ^h 15' „		290.7	293.6	293.8	6.9	6.9	1.080 1.080	1.070			721
	5.45								19.5	71	
11 ^h 15' „		290.8	293.1	293.5	6.7	7.1	1.444 1.430	1.430			721
	5.58								16.6	61	

Versuch XLII. (Fortsetzung).

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen			Absolute Temperatur		Feuchtigkeitsdruck, Millimeter		Kohlensäure pro Mille		Gramm		Barometer
	ebm	in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	beobachtet	correct	C	CO ₂		
1 ^h 15' Vorm.		290.8	292.5	293.0	6.4	7.1	1.724 1.728	1.709			722	
	5.61									18.849		
3 ^h 15' "		290.9	292.1	292.4	5.6	7.3	1.924 1.920	1.904			722	
	5.66									11.542		
5 ^h 15' "		290.9	291.7	292.1	5.7	7.3	2.072 2.068	2.051			724	
	5.64									15.256		
7 ^h 15' "		290.9	291.7	292.1	6.2	7.0	2.296 2.280	2.266			724	
	5.68									22.583		
9 ^h 15' "		291.0	292.5	292.4	7.1	7.8	2.648 2.640	2.616			726	
	5.68									18.668		
11 ^h 15' "		291.0	292.4	292.8	7.0	7.9	2.892 2.908	2.868			726	
	5.70									20.174		
1 ^h 15' Nachm.		291.1	292.1	292.7	6.7	7.9	3.172 3.176	3.139			726	
	5.64									16.460		
3 ^h 15' "		291.2	291.9	292.4	7.0	7.8	3.336 3.360 3.360	3.316			726	
	5.69									18.066		
5 ^h 15' "		291.2	291.5	291.9	6.4	7.9	3.552 3.548	3.512			730	
	5.68									15.657		
7 ^h 15' "		291.2	291.3	291.8	5.9	7.8	3.692 3.688	3.651			732	

Versuch LXXVI. 16. bis 17. Januar 1895.

Å., Arbeiter, geb. 31. Mai 1826. Körpergewicht ohne Kleider vor dem Versuch 66.82 kg, nach dem Versuch 66.37 kg. Während des Versuches genoss Å. Abendbrot (belegte Brödchen 155 g, Milch 560 g), Frühstück um 10 Uhr Vorm. (belegte Brödchen mit Braten und Käse 190 g, Milch 535 g, Kaffee 145 g), Mittagessen um 4 Uhr Nachm. (Suppe 275 g, Brod 5 g, Fleisch und Kartoffeln 391 g) sowie 340 g Wasser. Ging zu Bett zwischen 8 bis 9 Uhr Nachm., stand auf zwischen 9 bis 10 Uhr Vorm. A = 100.4.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen			Absolute Temperatur		Feuchtigkeitsdruck in der Respirationkammer		Kohlensäure pro Mille		Gramm		Barometer
	ebm	in den Gasuhren	in der Respirationkammer	Feuchtigkeitsdruck in der Respirationkammer	beobachtet	correct	C	CO ₂				
									mm			
6 ^h Nachm.		290.3	292.7	6.1	0.524 0.520	0.518					746	
	12.79								17.9	66		
8 ^h "		290.3	292.3	6.3	0.840 0.844	0.835					746	
	12.61								14.8	54		
10 ^h "		290.4	291.6	6.1	1.060 1.072	1.057					746	
	13.28								11.7	43		
12 ^h Nachts		290.5	291.2	6.3	1.200 1.196	1.188					746	
	13.00								10.0	37		
2 ^h Vorm.		290.5	290.8	6.5	1.288 1.280	1.273					746	
	12.93								10.2	37		
4 ^h "		290.5	290.4	6.7	1.364 1.364	1.352					746	
	12.91								10.5	39		
6 ^h "		290.5	290.1	6.7	1.440 1.440	1.427					746	
	12.97								18.5	68		
8 ^h "		290.6	289.8	6.7	1.564 1.564	1.550					746	
	13.04								11.4	42		
10 ^h "		290.6	289.9	6.7	1.628 1.632	1.616					746	
	12.96								17.6	64		
12 ^h Mittags		290.6	290.4	6.9	1.804 1.804	1.788					746	
	12.93								15.2	57		
2 ^h Nachm.		290.6	290.4	7.1	1.928 1.920	1.906					746	
	12.56								18.5	68		
4 ^h "		290.6	290.3	6.9	2.092 2.088	2.071					746	
	12.10								16.6	61		
6 ^h "		290.6	290.3	6.9	2.208 2.212	2.190					746	

Versuch XLV. 14. bis 15. Februar 1894.

H. R., Gymnasiallehrer a. D., geb. 4. August 1815. Körpergewicht ohne Kleider vor dem Versuch 58.83^{kg}, nach dem Versuch 59.16^{kg}. Die letzte Mahlzeit vor dem Versuch um 4 Uhr 30 Min. Nachm. Abendbrod um 9 Uhr Nachm., Frühstück um 10 Uhr Vorm., Mittag um 3 Uhr 15 Min. Nachm. Abendbrod und Frühstück enthielten zusammen 190^g belegte Bröckchen, 110^g Eier und 320^g Bier. Das Mittagessen bestand aus 160^g Fleisch, 140^g belegte Bröckchen und 320^g Bier. Ging zu Bett zwischen 10 und 11 Uhr Nachm., stand auf um 8 Uhr 30 Min. Vorm. Gab an, nicht besonders gut geschlafen zu haben. Um 1 Uhr Nachm. lag R. eine Weile im Bett und schlief wohl etwas. A = 100.4.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen cbm	Absolute Temperatur			Feuchtigkeitsdruck, Millimeter		Kohlensäure pro Mille		Gramm		Barometer
		in den Gasuhren	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	der einströmenden Luft	in der Respirationkammer	beobachtet	correct	C	CO ₂	
7 ^h 15' Nachm.	8.78	289.9	291.6	291.8	6.2	5.7	0.850 0.864	0.854	13.8	51	749
9 ^h 15' "	8.70	289.9	290.7	291.6	4.6	5.8	1.088 1.080	1.076	20.2	74	749
11 ^h 15' "	8.34	290.0	289.9	290.7	5.6	6.2	1.416 1.412	1.402	10.6	39	751
1 ^h 15' Vorm.	8.38	290.0	289.4	290.1	5.4	6.3	1.532 1.532	1.519	10.8	40	751
3 ^h 15' "	8.31	290.1	289.1	289.8	5.2	6.1	1.644 1.644	1.631	11.2	41	753
5 ^h 15' "	8.39	290.1	288.5	289.3	4.9	6.0	1.760 1.752	1.742	9.4	35	755
7 ^h 15' "	8.65	290.2	288.5	289.3	4.5	6.0	1.828 1.820	1.809	16.7	61	755
9 ^h 15' "	8.50	290.2	288.9	289.3	4.7	6.3	2.020 2.024	2.005	16.6	61	758
11 ^h 15' "	8.47	290.2	289.1	289.6	5.0	6.4	2.200 2.208	2.185	13.1	48	758
1 ^h 15' Nachm.	8.29	290.2	289.2	289.6	5.0	6.6	2.304 2.304	2.284	11.3	42	759
3 ^h 15' "	8.49	290.3	289.3	289.7	4.8	6.5	2.360 2.360	2.340	19.0	70	760
5 ^h 15' "	8.53	290.4	289.1	289.7	4.6	6.6	2.560 2.560	2.538	20.0	73	762
7 ^h 15' "		290.4	289.2	289.9	4.7	6.6	2.760 2.760	2.736			764

Versuch LI. 25. bis 26. April 1894.

L., Wittve, geb. 31. October 1809. Körpergewicht ohne Kleider vor dem Versuch 61.42^{kg}, nach dem Versuch 61.2^{kg}. Abendbrod: Milch 317^g, belegte Bröckchen 132^g, Eier 60^g. Um 9 Uhr Vorm. Kaffee mit Zwieback (Kaffee 170^g, Milch 122^g, Zwieback 145^g, Zucker 52^g). Frühstück um 1/2 3 Uhr Nachm. (belegte Bröckchen 100^g, Eier 110^g, Milch 90^g). Mittagessen zwischen 4 und 5 Uhr Nachm. (Kalbsbraten und Kartoffeln 85^g, Pfannkuchen 35^g, Confituren 30^g, Bier 155^g). Ausserdem 468^g Wasser. Ging zu Bett etwa 1/2 11 Uhr Nachm., stand auf um 1/2 9 Uhr Vorm. A = 100.4.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen cbm	Absolute Temperatur		Feuchtigkeitsdruck in der Respirationkammer mm	Kohlensäure pro Mille		Gramm		Barometer
		in den Gasuhren	in der Respirationkammer		beobachtet	correct	C	CO ₂	
6 ^h 30' Nachm.	7.01	291.4	295.7	9.3	0.964 0.960	0.950	14.0	51	762
8 ^h 30' "	6.83	291.4	294.5	9.5	1.192 1.192	1.177	15.9	58	762
10 ^h 30' "	6.74	291.5	293.5	9.3	1.440 1.448	1.426	10.1	37	762
12 ^h 30' Vorm.	6.72	291.5	292.7	9.3	1.564 1.568	1.547	12.0	44	762
2 ^h 30' "	6.87	291.5	292.5	9.2	1.720 1.716	1.697	12.9	47	762
4 ^h 30' "	6.68	291.6	292.1	9.3	1.868 1.880	1.851	10.7	39	762
6 ^h 30' "	6.76	291.6	291.6	9.4	1.976 1.984	1.956	16.6	61	762
8 ^h 30' "	6.84	291.6	291.6	9.4	2.196 2.188	2.165	16.6	61	762
10 ^h 30' "	6.66	291.6	292.2	9.5	2.392 2.388	2.360	16.7	61	762
12 ^h 30' Nachm.	6.33	291.6	292.5	9.6	2.576 2.584	2.548	13.8	51	762
2 ^h 30' "	6.38	291.6	292.6	9.7	2.716 2.704	2.676	18.2	67	762
4 ^h 30' "	6.19	291.7	292.7	9.8	2.920 2.916	2.881	15.7	57	762
6 ^h 30' "		291.7	292.6	9.9	3.060 3.080	3.030			762

Fig. 13 bis 23 stellen die Ergebnisse dieser Versuche graphisch dar. Im Anschluss an diese Figuren und an die Versuchsprotocolle werden wir die Versuche etwas näher erörtern.

Versuch XXIX. Der Versuch beginnt um 6 Uhr Nachm., etwa 1 1/2 Stunde nach dem Mittagessen. Während der drei ersten zweistündigen Perioden ist die Kohlensäureabgabe bezw. 60, 53 und 54 g. Gleich

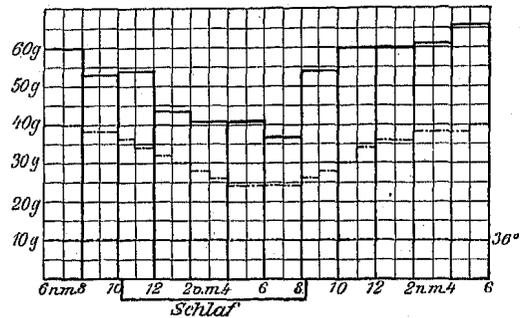


Fig. 13. Vers. XXIX.

nach 8 Uhr wurde das Abendbrot und um 10 Uhr 30 Min. ein Glas Milch genossen, worauf K. T. zu Bett ging und gleich einschlieft. Er stand auf um 8 Uhr 30 Min. Vorm. Während der Zeit von 12 Uhr Mitternacht bis 8 Uhr Vorm. ist die Kohlensäureabgabe nur gering, bezw. 43, 41, 41, 37 g in 2 Stunden. Für die Periode 8 bis 10 Uhr Vorm. nimmt sie sogleich auf 54 g zu und hält sich dann zwischen 10 Uhr Vorm. und 4 Uhr Nachm. aufs nächste unverändert, um endlich während der letzten Periode des Versuches, nach um 8 Uhr 30 Min. genossenem Mittagessen, von 61 bis auf 66 g, d. h. mit etwa 8.2 Procent, anzusteigen.

Versuch XXX. Bei diesem Versuch, der ebenfalls um 6 Uhr Nachm. begann, ist die Analyse um 8 Uhr Nachm. vereitelt, so dass wir keine Angaben darüber mittheilen können, wie sich die Kohlensäureabgabe während jeder

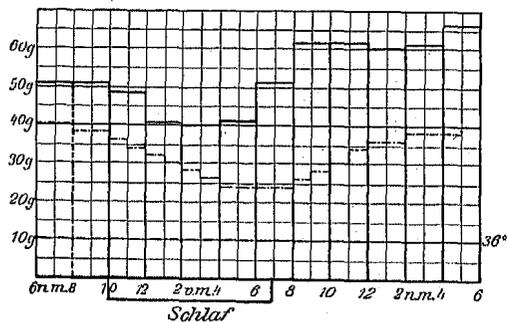


Fig. 14. Vers. XXX.

der beiden zweistündigen Perioden 6 bis 8 und 8 bis 10 Uhr Nachm. verhielt. Um 10 Uhr Nachm. ging L. K. zu Bett und stand gleich vor 7 Uhr Vorm. auf. Während des Schlafes ist die Kohlensäureabgabe wesentlich vermindert; sie sinkt nämlich von 52 g (Mittel pro 2 Stunden für die Zeit von 6 bis 10 Uhr Nachm.) auf bezw. 48, 41, 40, 42 g. Nach dem Aufstehen nimmt die Kohlensäureabgabe sogleich zu, und zeigt von 8 Uhr Vorm. bis 6 Uhr Nachm. verhältnissmässig nur geringe Variationen, indem sie für die verschiedenen Perioden bezw. 62, 62, 60, 62, 67 g beträgt.

Versuch XLI. Dieser Versuch begann etwa 1 Stunde nachdem T. L. sein Mittagessen genossen hatte. Von 5 bis 11 Uhr Nachm. variiert die Kohlensäureabgabe nur wenig, sie ist nämlich bezw. 78, 69, 74 g pro 2 Stunden. Um 9 Uhr 20 Min. Nachm. ging T. L. zu Bett, löschte um 10 Uhr 5 Min. die Lampe aus, erwachte um 10 Uhr Vorm. und stand um 11 Uhr auf. Im Schlaf war die Kohlensäureabgabe erheblich vermindert: 42, 45, 39, 44, 49 g pro 2 Stunden. Die Periode 9 bis 11 Uhr Vorm., während welcher T. L. etwa 1 Stunde in wachem Zustande bettlägerig war, bietet eine Zunahme von 49 (7 bis 9 Uhr Vorm.) auf 56 g Kohlensäure dar. — Um 12 Uhr Mittags genoss T. L. Frühstück. Zwischen 11 Uhr Vorm. und 3 Uhr Nachm. erscheint eine langsamere und während der letzten Periode zwischen 3 bis 5 Uhr Nachm. eine etwas schnellere Abnahme der Kohlensäureabgabe.

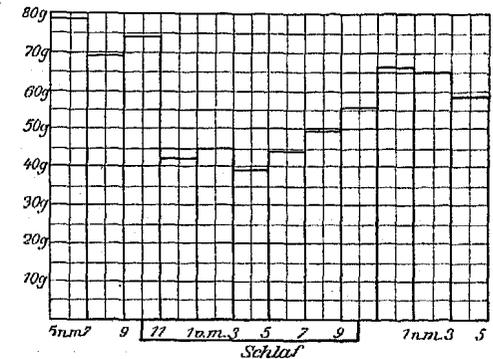


Fig. 15. Vers. XLI.

Versuch XXXI. Hungerversuch. A. M. hatte sich zu seinem Fasten gut vorbereitet; nach dem zu gewöhnlicher Zeit, um 4 Uhr Nachm., genossenen Mittagessen verzehrte er noch kurz vor dem Versuch eine Portion Fleisch. Auch ist die Kohlensäureabgabe während der zwei ersten Versuchsperioden (8 Uhr 15 Min. bis 12 Uhr 15 Min.) eine sehr hohe (88 bezw. 95 g). Sobald aber A. M. zu Bett ging, trat eine beträchtliche Abnahme, für die Periode 12 Uhr 15 Min. bis 2 Uhr 15 Min. Vorm. bis auf 59 g ein, und diesen geringen Werth hat die Kohlensäureabgabe bis zum Erwachen (um 8 Uhr 15 Min.) der Versuchsperson (53, 49, 53 g pro 2 Stunden). Er bleibt in wachem Zustande im Bett bis 12 Uhr 15 Min. Nachm. und dabei nimmt die Kohlensäureabgabe bis auf 56, bezw. 64 g zu, um dann zwischen 12 Uhr 15 Min. und 2 Uhr 15 Min. Nachm. noch weiter bis auf 78 g anzusteigen. Dar-

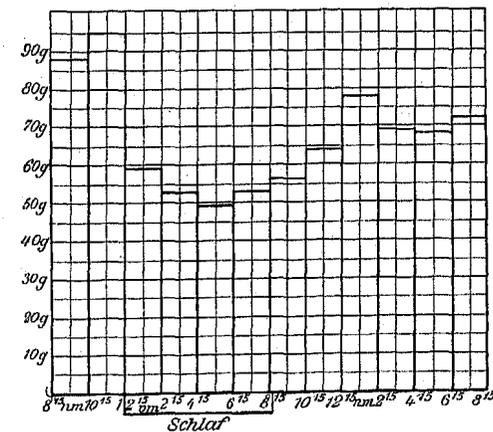


Fig. 16. Vers. XXXI.

nach nimmt sie während den letzten Perioden des Versuches wieder ab (69, 68, 72 g).

Versuch LXXVII. Der Versuch begann um 6 Uhr Nachm. Die drei ersten zweistündigen Perioden zeigen eine Kohlensäureabgabe von bzw. 76, 85 und 63 g. E. T. schlief dann zwischen 12 und 1 Uhr Vorm. ein; zwischen 12 und 2 Uhr Vorm. ist die Kohlensäureabgabe etwas, obgleich nur wenig geringer als zwischen 10 und 12 Uhr, nämlich 60 g. Sie sinkt aber noch tiefer, auf 54, 50 g und erreicht ihr Minimum zwischen 6 und 8 Uhr Vorm., wo sie nur 43 g beträgt. E. T. stand um $\frac{1}{2}$ 10 Uhr Vorm. auf; die Kohlensäureabgabe ist während der Periode von 8 bis 10 Uhr Vorm. 67 g, und beträgt

dann im weiteren Verlauf des Tages bzw. 74, 61, 69 und 93 g.

Versuch XLIX. Hungerversuch. Wie aus der Anmerkung nach dem Versuchsprotocoll hervorgeht, hat T. S. bei diesem Versuch genaue Aufzeichnungen über sein Verhalten während des Versuches gemacht. Der Versuch begann kurz nach dem Mittagsessen. Während der ersten Periode (5 bis 7 Uhr Nachm.) war T. S. bettlägerig und schlief dabei während etwa 30 Min. Die Kohlensäureabgabe ist auch hier geringer (56 g) als während der zweiten Periode (7 bis 9 Uhr: 73 g), die mit Lesen ohne Anstrengung zugebracht wurde. Während der folgenden Perioden (9 bis 11, 11 bis 1 Uhr Vorm.) nimmt die

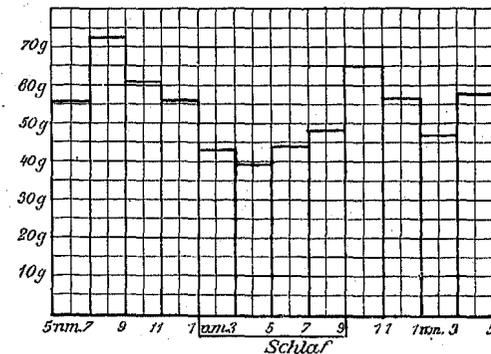


Fig. 18. Vers. XLIX.

Kohlensäureabgabe ab auf bzw. 61 und 56 g. Im Verlauf der letzteren Periode ging T. S. zu Bett, machte Aufzeichnungen und studierte. Er schlief zwischen 1 und 9 Uhr Vorm.; dabei ist die Kohlensäureabgabe beträchtlich geringer als im wachen Zustande, nämlich bzw. 43, 39, 44, 48 g pro 2 Stunden. Nach dem Erwachen und Aufstehen tritt eine be-

trächtliche Steigerung (65 g) zwischen 9 und 11 Uhr Vorm. auf. Dann sinkt die Kohlensäureabgabe wieder auf bzw. 57, 47, 58 g pro 2 Stunden.

Versuch XVII. Hungerversuch. Dieser Versuch war der allererste unserer 24stündigen Versuche und wir hofften durch denselben auch Erfahrungen über das Athemvolumen, die Pulsfrequenz u. s. w. zu erhalten, und brachten daher in die Respirationenkammer hierzu nothwendige Apparate ein. Hierdurch wurde jedoch der Versuch gewissermassen getrübt, weil J. E. J. nicht zu rechter Zeit zu Bett ging und daher nur zwischen 3 Uhr 35 Min. und 9 Uhr Vorm. schlief, und sogar dieser Schlaf war zweimal während im Ganzen 25 Minuten unterbrochen. Jedoch finden wir auch in diesem Versuch denselben allgemeinen Verlauf der Kohlensäureabgabe, wie bei den übrigen Versuchen wieder. Im Schlaf nimmt die Kohlensäureabgabe von 67 bzw. 61 g, wie sie während der zwei zweistündigen Perioden 11 bis 1 und 1 bis 3 Uhr Vorm. ist, auf bzw. 52, 45 und 56 g ab. Beim Erwachen und Aufstehen nimmt die Kohlensäureabgabe wieder zu und beträgt jetzt pro 2 Stunden bzw. 66, 65, 69, 66 und 55 g.

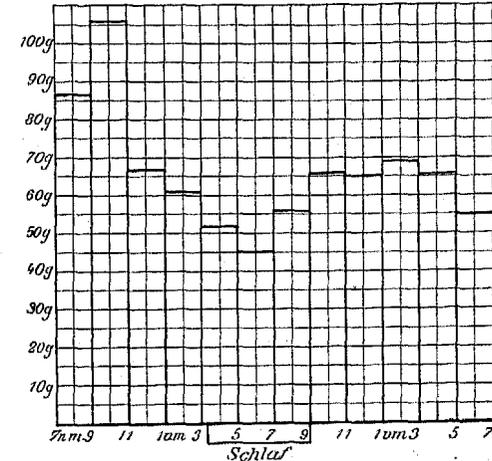


Fig. 19. Vers. XVII.

Die zwei ersten Versuchsperioden (7 bis 9 und 9 bis 11 Uhr Nachm.) zeigen eine beträchtlich grössere Kohlensäureabgabe. Betreffs der zweiten Periode, wo das Maximum erscheint, ist dies aller Wahrscheinlichkeit nach davon bedingt, dass J. E. J. während dieser Periode das Psychrometer in dem Canal für die einströmende Luft mit Wasser versehen (und also an der in der Respirationenkammer befindlichen Leiter klettern) musste. Er giebt an, dass dies sehr anstrengend war. Auch während der folgenden Perioden war er genöthigt, dasselbe zu thun, dabei hat er aber diejenigen Schwierigkeiten, denen er zum ersten Mal begegnete, und also auch die grosse körperliche Anstrengung vermeiden können. Wie schon bemerkt, kam es bei den anderen Versuchen nie mehr in Frage, das Psychrometer durch die Versuchsperson mit Wasser zu versehen.

Versuch XLII. Hungerversuch. Das Mittagsessen war etwa 2 Stunden vor dem Versuch genossen. Die drei ersten zweistündigen Perioden zeigen eine ununterbrochene Abnahme der Kohlensäureabgabe: 82, 71, 61 g. Während der letzten ging J. W. zu Bett und löschte die

Lampe um 12 Uhr 30 Min. Vorm. aus. Er schlief von 1 bis 7 Uhr Vorm. Dabei beträgt die Kohlensäureabgabe bezw. 49, 42 und 56^g pro 2 Stunden, also wieder weniger als während der vorhergehenden Perioden und auch weniger als während der folgenden. J. W. stand um 7 Uhr 15 Min. Vorm. auf und sass dann, mit Lesen beschäftigt, fast die ganze Zeit in einem Ruhesessel. Die Kohlensäureabgabe nimmt dabei von 83^g, wie sie zwischen 7 Uhr 15 Min. und 9 Uhr 15 Min. Vorm. ist, allmählich, wenn auch nicht ununterbrochen, auf 57^g (letzte Versuchsperiode) ab.

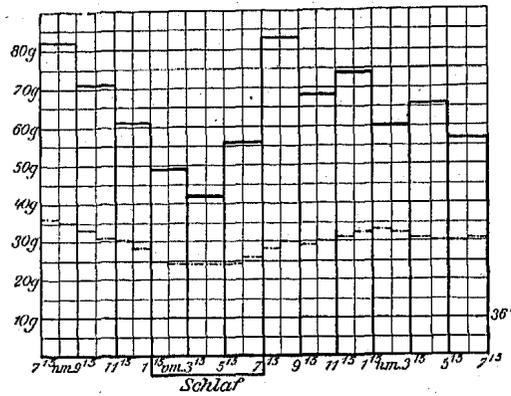


Fig. 20. Vers. XLII.

Versuch LXXVI. Dieser Versuch geschah an einem rüstigen, gut situierten 69jährigen Arbeiter. Derselbe hatte um 4 Uhr Nachm. sein Mittagsessen genossen. Die erste Periode (6 bis 8 Uhr Nachm.) zeigte eine Kohlensäureabgabe von 66^g. Zwischen 8 und 9 Uhr Nachm. ging Ä. zu Bett und sogleich sank die Kohlensäureabgabe auf 54^g, um während des Schlafes noch weiter abzunehmen. Wir finden nämlich zwischen 10 Uhr Nachm. und 6 Uhr Vorm. bezw. 43, 37, 37 und 39^g pro 2 Stunden. Zwischen 6 und 8 Uhr Vorm. begegnen wir einer bedeutenden Steigerung (68^g),

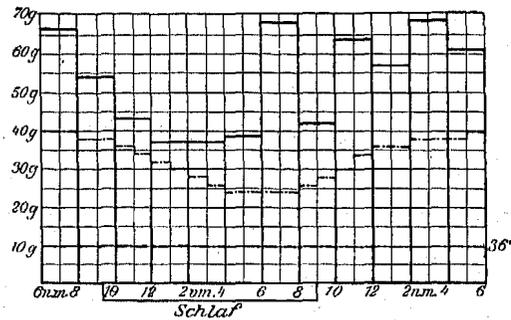


Fig. 21. Vers. LXXVI.

welche wohl von irgend welcher Bewegung herrührt. Während der folgenden Periode (8 bis 10 Uhr Vorm.) stand Ä. auf (zwischen 9 und 10 Uhr); die Kohlensäureabgabe ist jetzt nur 42^g. Für die übrigen Perioden des Versuches beträgt die Kohlensäureabgabe bezw. 64, 57, 68, 61^g.

Versuch XLV. Auch in diesem Versuch war die Versuchsperson trotz ihres hohen Alters kräftig und rüstig. H. R. hatte um 4 Uhr 30 Min. Nachm. sein Mittagsessen genossen; der Versuch fing um 7 Uhr 15 Min. Nachm. an. Die erste Periode zeigt eine Kohlensäureabgabe von 51^g, die zweite (9 Uhr 15 Min. bis 11 Uhr 15 Min. Nachm.) eine solche von 74^g. Um 9 Uhr hatte H. R. sein Abendbrod genossen. Er ging

zu Bett zwischen 10 und 11 Uhr Nachm. und stand um 8 Uhr 30 Min. Vorm. auf. Er hatte, seiner eigenen Angabe nach, nicht ganz gut geschlafen und erwachte einige Male während der Nacht; jedoch sinkt die Kohlensäureabgabe auf bezw. 39, 40, 41, 35^g pro 2 Stunden (11 Uhr 15 Min. bis 7 Uhr 15 Min. Vorm.). Nach dem Aufstehen ist die Kohlensäureabgabe während der beiden Perioden 7 Uhr 15 Min. bis 9 Uhr 15 Min. und 9 Uhr 15 Min. bis 11 Uhr 15 Min. Vorm. 61^g, sinkt dann auf 48 bzw. 42^g zwischen 11 Uhr 15 Min. und 3 Uhr 15 Min.

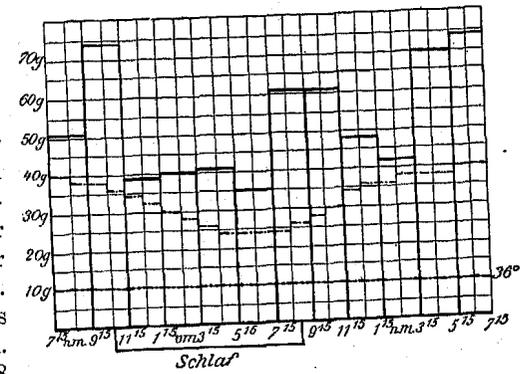


Fig. 22. Vers. XLV.

Dies wird dadurch erklärt, dass H. R. um 1 Uhr zu Bett ging und dann, wahrscheinlich, einschlief. Nachdem H. R. um 3 Uhr 15 Min. Nachm. sein Mittagsessen genossen hatte, steigt die Kohlensäureabgabe während der zwei letzten Versuchsperioden auf 70 bzw. 73^g.

Versuch LI. Wir waren in der günstigen Lage, zu diesem Versuche eine 85jährige, rüstige Frau zu erhalten. Die Kohlensäureabgabe ist

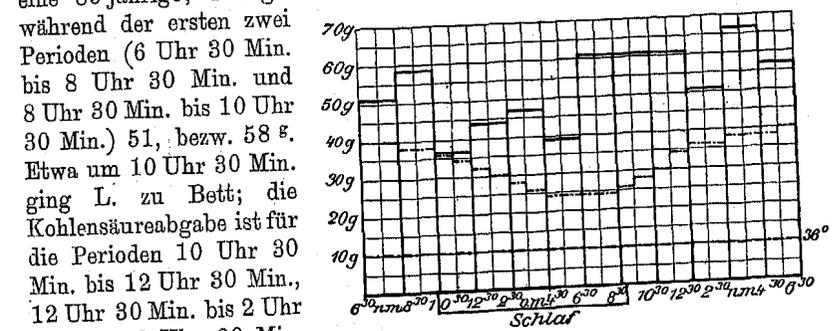


Fig. 23. Vers. LI.

während der ersten zwei Perioden (6 Uhr 30 Min. bis 8 Uhr 30 Min. und 8 Uhr 30 Min. bis 10 Uhr 30 Min.) 51, bzw. 58^g. Etwa um 10 Uhr 30 Min. ging L. zu Bett; die Kohlensäureabgabe ist für die Perioden 10 Uhr 30 Min. bis 12 Uhr 30 Min., 12 Uhr 30 Min. bis 2 Uhr 30 Min., 2 Uhr 30 Min. bis 4 Uhr 30 Min., 4 Uhr 30 Min. bis 6 Uhr 30 Min. Vorm. bezw. 37, 44, 47, 39^g. Während der folgenden Periode 6 Uhr 30 Min. bis 8 Uhr 30 Min. stand sie auf, und die Kohlensäureabgabe nahm auf 61^g zu, um sich im weiteren Verlauf des Tages um diesen Werth zu bewegen (61, 61, 51, 67, 57^g).

Nachdem wir also über die zu unserer Verfügung stehenden Versuche berichtet haben, werden wir jetzt untersuchen, welche Ergebnisse aus denselben erhalten werden können.

§ 4. Die Variationen der Kohlensäureabgabe während der verschiedenen Stunden des Tages im wachen Zustande.

Ein Blick auf die im § 3 mitgetheilten Versuchsprotocolle zeigt ohne Weiteres einen wie grossen Einfluss der Schlaf auf die Kohlensäureabgabe ausübt. Unter solchen Umständen ist es selbstverständlich, dass wir bei der näheren Erörterung der während der verschiedenen Stunden des Tages erscheinenden Variationen der Kohlensäureabgabe den wachen Zustand und den Schlaf besonders für sich behandeln müssen.

Wir theilen unsere Versuche in 2 Gruppen ein, je nachdem die Versuchspersonen dabei gefastet oder ihre gewöhnliche Kost genossen haben und stellen zur besseren Uebersicht dieselben in der folgenden Tabelle zusammen.

Die Kohlensäureabgabe während zweistündigen Perioden bei wachem Zustande.

Versuch	Kohlensäureabgabe; Gramm. Periode: ¹											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A. Bei gewöhnlicher Kost.												
XXIX.	60	53	54	—	—	—	—	54	60	60	61	66
XXX.	104	—	—	—	—	—	52 ²	62	62	60	62	67
LXXXVII.	76	85	63	60 ³	—	—	—	67 ⁴	74	61	69	98
LXXXVI.	66	54 ⁵	—	—	—	—	—	42 ⁶	64	57	68	61
XLV.	51	74	—	—	—	—	61	61	— ⁷	— ⁷	70	73
LI.	51	58	—	—	—	—	61	61	61	51	67	57
B. Bei Hunger.												
XLI. ⁸	78	69	74	—	—	—	—	—	67	65	58	—
XXXI.	88	95	—	—	—	—	—	64 ⁹	78	69	68	72
XLIX.	56 ¹⁰	73	61	56	—	—	—	—	65	57	47	58
XVII.	87	106 ¹¹	67	61	—	—	—	66	65	69	66	55
XLII.	82	71	61	—	—	—	88	68	74	60	66	57

¹ In Bezug auf die wirkliche Zeit verweisen wir auf die Versuchsprotocolle.

² Fast die Hälfte dieser Periode war vorüber, als die Versuchsperson aufstand.

³ Während dieser Periode schlief die Versuchsperson ein.

⁴ Stand während dieser Periode auf.

⁵ Ging während dieser Periode zu Bett.

⁶ Stand während dieser Periode auf.

⁷ Wir schliessen diese Periode aus, weil die Versuchsperson während derselben lag und wahrscheinlich auch einschlummerte.

⁸ Die Versuchsperson genoss ihre einzige Mahlzeit während der zehnten Periode.

⁹ Während dieser Periode lag die Versuchsperson zu Bett, ohne jedoch zu schlafen.

¹⁰ Schlaf hierbei etwa $\frac{1}{2}$ Stunde.

¹¹ Die Versuchsperson führte während dieser Periode eine schwere Arbeit aus.

Die Versuche mit Kost zeigen die folgenden Differenzen zwischen Maximum und Minimum der Kohlensäureabgabe: Versuch XXIX: 13 g, Versuch XXX: 15 g, Versuch LXXXVII: 33 g, Versuch LXXXVI: 26 g, Versuch XLV: 23 g, Versuch LI: 16 g pro 2 Stunden.

In den Hungerversuchen sind diese Differenzen folgende: Versuch XLI: 20 g, Versuch XXXI: 31 g, Versuch XLIX: 17 g, Versuch XVII: (wenn die zweite Periode wegen der dabei stattfindenden starken Arbeit ausgeschlossen wird) 22 g, Versuch XLII: 26 g.

Betreffs der Hungerversuche ist es deutlich, dass sich am ersten Abend vor dem Einschlafen noch kein Hungerzustand ausgebildet hat, dass aber auf der anderen Seite ein derartiger Zustand etwa am folgenden Morgen beginnt. Wir können daher voraussetzen, dass die mittlere Kohlensäureabgabe während des ersten Abends grösser sein soll, als während des darauf folgenden Versuchstages. Dies wird in der That durch die Versuche bestätigt. Wir finden nämlich:

Die mittlere Kohlensäureabgabe pro 2 Stunden; Gramm.

Versuch	Kohlensäureabgabe pro 2 Stunden; Gramm.		II:I.
	I. Abends	II. Während des folgenden Tages	
XLI.	73	63	100 : 116
XXXI.	91	70	100 : 130
XLIX.	61	57	100 : 108
XVII.	72	64	100 : 111
XLII.	72	68	100 : 105

Mittel: 100 : 114

Im Mittel findet sich also eine Differenz von 14 Procent (Minimum 5, Maximum 30 Procent) zwischen der Kohlensäureabgabe vor und nach dem Schlafen vor, d. h. der Hungerzustand setzt bei den im Allgemeinen gut nutrirten Personen, die sich zu diesen Versuchen opferten, die Kohlensäureabgabe um im Mittel 14 Procent herab.

Während des eigentlichen Fasttages wird das Minimum der Kohlensäureabgabe während der letzten (Versuch XLI, XVII, XLII) oder vorletzten Periode (Versuch XXXI,¹ XLIX) erreicht. Die Differenz

¹ Das absolute Minimum trifft allerdings während der 8. Periode ein; während derselben lag aber die Versuchsperson zu Bett — was die dabei erscheinende verhältnissmässig geringe Kohlensäureabgabe erklären dürfte.

renz zwischen Maximum und Minimum ist jedoch im Allgemeinen nicht sehr beträchtlich, denn das Minimum verhält sich zum Maximum

im Versuch	XLI.	wie	100:117
"	XXXI.	"	100:115
"	XLIX.	"	100:137
"	XVII.	"	100:125
"	XLII.	"	100:145
Mittel 100:128			

Wenn also die Kohlensäureabgabe im Verlauf des Tages im Allgemeinen abnimmt, so geschieht dies doch nicht mit einer absoluten Regelmässigkeit. Im Gegentheil zeigen sich, wie aus den Versuchsprotocollen hervorgeht, oft Variationen, welche ohne Zweifel davon bedingt sind, dass andere Umstände, vor allem Körperbewegungen, den Einfluss des Hungerzustandes übercompensiren.

Bei den Versuchen mit Kost sind die Variationen im Allgemeinen an und für sich geringer und gehen, wie zu erwarten ist, in beiden Richtungen. Zum Vergleich mit den Ergebnissen beim Hungern theilen wir entsprechende Berechnungen über diese Versuche mit.

Die mittlere Kohlensäureabgabe pro 2 Stunden; Gramm.

Versuch	I. Abends	II. Während des folgenden Tages	II. : I.
XXIX.	56	60	100: 93
XXX.	52	63 ¹	100: 83
LXXVII.	71	73	100: 97
LXXVI.	60	58	100:103
XLV.	62	66	100: 94
LI.	55	60	100: 92

Mittel: 100: 94

Die Differenz zwischen dem Abend und dem folgenden Tage beträgt hier im Mittel nur 6 Procent und in der Mehrzahl der Fälle ist die Kohlensäureabgabe Abends geringer als während des darauf folgenden Tages.

In den Versuchen mit Kost verhält sich während des Tages das Minimum zum Maximum

¹ Die 7. Periode ausgeschlossen, weil sie fast zur Hälfte verflossen war, als die Versuchsperson aufstand.

im Versuch	XXIX.	wie	100:124
"	XXX.	"	100:111
"	LXXVII.	"	100:151
"	LXXVI.	"	100:160
"	XLV.	"	100:120
"	LI.	"	100:132
Mittel 100:133			

Da sich die bei gewöhnlicher Kost und bei dem ersten Hungertage auftretenden Variationen der Kohlensäureabgabe, wie aus den Versuchstabellen hervorgeht, innerhalb nicht allzuweiter Grenzen bewegen, ist es uns von Interesse erschienen, aus sämtlichen hierhergehörigen Bestimmungen das Mittel zu berechnen und zu untersuchen, wie gross die während der einzelnen Versuchsperioden erscheinenden Variationen der Kohlensäureabgabe in Procenten des Mittels sind. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in der folgenden Tabelle enthalten.

Die Abweichung der Kohlensäureabgabe während der verschiedenen zweistündigen Perioden in Procenten des mittleren Werthes für den wachen Zustand.

Versuch	CO ₂ pro 2 St. Mittel; g	Procentuelle Abweichung vom Mittel während der Periode											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A. Bei normaler Kost.													
XXIX.	59	3.17	8.98	7.29	—	—	—	—	8.28	2.22	2.92	3.62	12.38
XXX.	59	—	—	—	—	—	11.01	6.18	5.01	2.86	5.31	14.53	
LXXVII.	72	5.79	17.00	12.30	16.64	—	—	7.07	3.03	15.00	4.00	28.71	
LXXVI.	59	11.57	7.49	—	—	—	—	29.25	9.52	3.23	15.14	3.74	
XLV.	65	21.99	13.91	—	—	—	5.50	6.18	—	—	7.55	12.64	
LI.	58	11.99	0.17	—	—	—	3.94	4.29	4.96	13.36	14.21	1.69	
B. Bei Hunger.													
XLI.	68	13.61	1.42	7.76	—	—	—	—	—	1.86	5.07	15.86	
XXXI.	76	15.05	24.68	—	—	—	—	16.29	2.31	9.39	11.28	5.06	
XLIX.	59	4.66	22.70	2.48	5.15	—	—	—	10.10	4.41	19.79	1.32	
XVII.	67	29.33	— ¹	0.45	8.86	—	—	—	1.79	2.24	3.25	2.02	17.46
XLII.	69	19.24	3.33	12.07	—	—	—	19.36	1.20	6.72	11.85	4.60	17.42

¹ Weil die Versuchsperson während dieser Periode eine angestrengte Arbeit ausführte, haben wir dieselbe bei der Berechnung des mittleren Werthes ausgeschlossen.

Die mittlere Variation beträgt

bei Versuch	XXIX.	6.11	Procent
"	XXX.	7.48	"
"	LXXVII.	12.17	"
"	LXXVI.	11.42	"
"	XLV.	11.30	"
"	LI.	6.83	"
"	XLI.	7.60	"
"	XXXI.	12.01	"
"	XLIX.	8.83	"
"	XVII.	8.18	"
"	XLII.	10.64	"

Die mittlere Variation ist bei den Versuchen mit Kost	9.22	Proc.	Zahl der Beobacht.	44
bei den Hungerversuchen	9.45	"	"	38
bei sämtlichen Versuchen	9.32	"	"	82

Dieses Ergebniss scheint uns ein gewisses praktisches Interesse zu haben, indem es uns eine Vorstellung von dem Grade der Allgemeingültigkeit giebt, worauf ein zweistündiger Versuch über die Kohlensäureabgabe bei einem nicht arbeitenden Menschen Anspruch machen kann.

Wir haben schon im zweiten Abschnitt diejenigen Gründe dargestellt, welche uns bewogen haben, die Versuche über die Kohlensäureabgabe bei Menschen von verschiedenem Alter und Geschlecht Vormittags auszuführen, und wir haben aus den bei diesen Versuchen gewonnenen Ergebnissen keine Schlussfolgerungen hinsichtlich der Kohlensäureabgabe während eines ganzen Tages oder während des wachen Zustandes im Allgemeinen gezogen oder ziehen wollen.

Da wir nun aber durch eine fortlaufende Reihe von Bestimmungen über die Kohlensäureabgabe im wachen Zustande während der verschiedenen Stunden des Tages gefunden haben, dass die Variationen im Mittel von 82 Bestimmungen nicht mehr als 9.32 Procent betragen, so scheint es erlaubt, daraus zu schliessen, dass die im zweiten Abschnitt dargestellten Resultate nur mit einem Fehler von etwa 10 Procent als Ausdruck für die Kohlensäureabgabe beim nicht arbeitenden Menschen im wachen Zustand überhaupt gelten können.

In welchem Verhältniss stehen diese Ergebnisse zu denjenigen von Smith und Magnus-Levy?

Um einen Ausdruck für die Variationen der Kohlensäureabgabe in diesen Versuchen zu erhalten, haben wir für dieselben das Mittel sowie die procentuelle Abweichung des Maximums und des Minimums davon berechnet. Hierdurch erhalten wir Kenntniss von den Grenzen der Variationen.

Von den Versuchen Smith's haben wir Nr. VIII ausgeschlossen, weil die Körperstellung in diesem absichtlich von Zeit zu Zeit von liegender zu sitzender und umgekehrt verändert wurde. Unter Magnus-Levy's Versuchen haben wir sowohl seinen Hungerversuch als auch denjenigen, bei welchem die Versuchsperson ihre gewöhnliche Kost genoss, aufgenommen.

Autor und Versuch	CO ₂ pro Minute; Gramm			Procent. Abweichung		Zahl der Beobach- tungen
	Mittel	Maximum	Minimum	beim Maximum	beim Minimum	
Smith I. ¹	0.586	0.645	0.482	10.1	17.8	17 ²
II. ¹	0.526	0.599	0.457	13.9	13.1	17 ²
III. ¹	0.557	0.736	0.438	32.1	21.4	19
IV. ¹	0.648	0.745	0.564	15.0	13.0	21
V. ¹	0.453	0.533	0.389	18.8	14.1	16 ³
VI. ¹	0.532	0.609	0.460	14.5	13.5	18 ³
VII. ¹	0.623	0.700	0.544	12.4	12.7	11 ⁴
IX. ⁵	0.452	0.486	0.421	7.5	6.9	15
Magnus-Levy, Hunger ⁶	0.318	0.353	0.274	11.0	13.9	21
" ⁷	0.414	0.463	0.374	11.8	9.7	12

Die maximalen Variationen in diesen Versuchen sind etwa derselben Ordnung wie die entsprechenden Variationen in unseren eigenen Versuchen. Sie sprechen also ihrerseits für die Richtigkeit unserer Schlussfolgerungen hinsichtlich der mittleren Variation der Kohlensäureabgabe während der verschiedenen Perioden des wachen Zustandes.

¹ Gewöhnliche Kost mit Frühstück, Mittagsessen und Abendbrot.

² Die zwei ersten Bestimmungen vor dem Frühstück als ungewöhnlich niedrig ausgeschlossen.

³ Die drei ersten Bestimmungen vor dem Frühstück als ungewöhnlich niedrig ausgeschlossen.

⁴ Mit Ausnahme der ersten Bestimmung.

⁵ Hunger.

⁶ Die letzte Mahlzeit 13 Stunden vor dem Anfang des Versuches.

⁷ Gewöhnliche Kost, von 10 Uhr Vorm. bis 10 Uhr 54 Min. Nachm.

§ 5. Die Variationen der Kohlensäureabgabe im Schlaf.

Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung unserer Bestimmungen über die Kohlensäureabgabe im Schlaf.

Die Kohlensäureabgabe während zweistündiger Perioden im Schlaf.

Versuch	Kohlensäureabgabe; Gramm. Periode											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A. Bei normaler Kost.												
XXIX.	—	—	—	43	41	41	37	—	—	—	—	—
XXX.	—	—	48	41	40	42	—	—	—	—	—	—
LXXVII.	—	—	—	—	54	50	43	—	—	—	—	—
LXXVI.	—	—	48	37	37	39	— ¹	—	—	—	—	—
XLV.	—	—	39	40	41	35	—	—	48 ²	42 ²	—	—
LI.	—	—	37	44	47	39	—	—	—	—	—	—
B. Bei Hunger.												
XLI.	—	—	—	42	45	39	44	49	56 ³	—	—	—
XXXI.	—	—	59	53	49	53	56 ⁴	—	—	—	—	—
XLIX.	—	—	—	—	43	39	44	48	—	—	—	—
XVII.	—	—	—	—	52	45	56	—	—	—	—	—
XLII.	—	—	—	49	42	56	—	—	—	—	—	—

Im Schlaf zeigt die Kohlensäureabgabe im Allgemeinen etwas kleinere Variationen als im wachen Zustande. Das Minimum verhält sich zum Maximum

im Versuch	XXIX.	wie	100:117
„	XXX.	„	100:121
„	LXXVII.	„	100:124
„	LXXVI.	„	100:117
„	XLV.	„	100:119
„	LI.	„	100:128

¹ Die Periode 7 wird hier nicht aufgenommen, weil die grosse Kohlensäureabgabe (68^g) ganz sicher zeigt, dass die Versuchsperson während derselben nicht geschlafen hat.

² Diese Perioden werden bei der Berechnung des mittleren Werthes nicht mitgenommen, weil die Versuchsperson nur während eines Theiles derselben schlief.

³ T. L. erwachte in der Mitte dieser Periode, welche daher nicht bei der Berechnung des Mittels berücksichtigt wird.

⁴ A. M. war den grössten Theil dieser Periode wach, lag aber zu Bett; diese Periode wird daher bei der Berechnung des Mittels ausgeschlossen.

im Versuch	XLI.	wie	100:125
„	XXXI.	„	100:122
„	XLIX.	„	100:125
„	XVII.	„	100:125
„	XLII.	„	100:133
		Mittel	100:123

Das Minimum der Kohlensäureabgabe, welches wohl in einem gewissen Grade einen Ausdruck für den tiefsten Schlaf darstellt, findet sich in den meisten Versuchen etwa in der Mitte der Schlafzeit. So ist das Verhalten in den Versuchen XXX, LXXVI, XLI, XXXI, XLIX, XVII und XLII. Von dieser Regel bilden die Versuche XXIX, LXXVII und XLV einerseits und Versuch LI andererseits Ausnahmen, indem in diesem das Minimum während der ersten Periode, in jenen während der letzten Periode des Schlafes eintritt.

Um die Variationen der Kohlensäureabgabe im Schlaf leichter zu übersehen, theilen wir die folgende Tabelle mit, in welcher wir in derselben Weise als in der entsprechenden Tabelle für den wachen Zustand die Variationen der Kohlensäureabgabe in Procenten des Mittels berechnet haben.

Die Abweichung der Kohlensäureabgabe während der verschiedenen zweistündigen Perioden in Procenten des mittleren Werthes im Schlaf.

Versuch	CO ₂ pro 2 St. Mittel; Gramm	Procent. Abweichung vom Mittel während der Periode											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A. Bei normaler Kost.													
XXIX.	41	—	—	—	5.63	2.09	2.19	9.92	—	—	—	—	—
XXX.	43	—	—	13.16	5.07	6.09	2.05	—	—	—	—	—	—
LXXVII.	49	—	—	—	—	4.82	0.94	5.76	—	—	—	—	—
LXXVI.	39	—	—	8.95	4.92	3.36	0.89	—	—	—	—	—	—
XLV.	39	—	—	0.47	2.96	6.75	10.02	—	—	—	—	—	—
LI.	42	—	—	11.70	5.25	12.66	6.45	—	—	—	—	—	—
B. Bei Hunger.													
XLI.	44	—	—	—	4.09	2.12	10.04	0.00	11.98	—	—	—	—
XXXI.	54	—	—	11.52	2.01	8.49	10.48	—	—	—	—	—	—
XLIX.	44	—	—	—	—	0.69	11.54	1.67	10.53	—	—	—	—
XVII.	51	—	—	—	—	2.39	11.96	9.34	—	—	—	—	—
XLII.	49	—	—	—	0.58	13.82	14.85	—	—	—	—	—	—

Die mittlere Variation beträgt

im Versuch		
XXIX.	4.96	Procent
XXX.	6.59	"
LXXVII.	7.82	"
LXXVI.	4.53	"
XLV.	5.05	"
LI.	9.02	"
XLI.	5.65	"
XXXI.	8.11	"
XLIX.	6.11	"
XVII.	7.90	"
XLII.	9.58	"

		Zahl der Beobacht.	
Die mittlere Variation ist bei den Versuchen mit Kost	6.33 Proc.	23	
bei den Hungerversuchen	7.47 "	19	
bei sämtlichen Versuchen	6.85 "	42	

Die mittlere Variation der Kohlensäureabgabe im wachen Zustand beträgt 9.32 Procent. Im Schlaf sind also die Variationen der Kohlensäureabgabe etwa $\frac{1}{3}$ kleiner als im wachen Zustande.

Ueber das Verhältniss zwischen der Kohlensäureabgabe im wachen Zustande und im Schlaf liegen bis jetzt kaum einige Untersuchungen am Menschen vor. Wie schon gesagt, haben Scharling und Smith einige Angaben über die Kohlensäureabgabe im Schlafe mitgetheilt, aus welchen hervorzugehen scheint, dass diese im Schlafe bedeutend geringer als im wachen Zustande ist. Die betreffenden Bestimmungen sind aber nicht in directem Zusammenhang mit solchen für den wachen Zustand ausgeführt und wir können daher aus denselben keine Schlussfolgerungen hinsichtlich der Frage ziehen, in einem wie hohen Grade die Kohlensäureabgabe im Schlafe abnimmt.

Löwy und Magnus-Levy¹ stellen in Frage, ob der Schlaf überhaupt die Oxydationsprocesse im Körper herabsetzt.

Dass dies in der That der Fall ist, geht jedoch mit aller Bestimmtheit aus denjenigen Versuchen von Pettenkofer und Voit hervor, bei welchen diese Autoren die Kohlensäureabgabe für den Tag und die Nacht bestimmten. Ihre Ergebnisse zeigen nämlich ganz unzweideutig, dass während der Nacht die Kohlensäureabgabe geringer

¹ Vgl. Magnus-Levy, a. a. O., S. 37.

ist als während des Tages — wir berücksichtigen natürlich nur die Versuche bei körperlicher Ruhe — und dann muss noch bemerkt werden, dass die Versuchsperson lange nicht die gesammten 12 Stunden, die Pettenkofer und Voit als Nachthälfte rechneten, schlief, sondern einen grossen Theil derselben in wachem Zustande zubrachte. Wir stellen diese Versuche nebst einer von uns ausgeführten Berechnung über das Verhältniss der Kohlensäureabgabe in der Tages- und der Nachthälfte hier zusammen.

Die Kohlensäureabgabe während der Tageshälfte und der Nachthälfte nach Pettenkofer und Voit.

Versuchsperson	Zustand	Kohlensäure; Gramm		Verhältniss Nacht: Tag
		Nacht	Tag	
I. ¹)	Hunger	312	427	100:137
3)	"	316	379	100:120
5)	Mittlere Kost	379	533	100:141
6)	"	404	539	100:133
7)	"	403	527	100:131
10)	N-reiche Kost	423	580	100:137
11)	"	442	596	100:135
12)	N-arme Kost	331	508	100:154
14)	Dieselbe Kost morgens u. abends	451	481	100:107
II.	Mittlere Kost	299	396	100:132
Diabetiker ²	Gemischte Kost	300	359	100:120
" ²	"	315	345	100:110
Leukämiker ³	"	465	481	100:103

Das Verhältniss zwischen Nacht und Tag ist für die an gesunden Menschen ausgeführten Versuche im Mittel wie 100:133.

Um die relative Grösse der Kohlensäureabgabe im wachen Zustande und im Schlaf zu eruiren, haben wir für unsere Versuche den mittleren Werth der Kohlensäureabgabe für jeden dieser verschiedenen Zustände berechnet und haben dabei die folgenden Ergebnisse erhalten:

¹ Pettenkofer und Voit, *Zeitschr. f. Biol.* Bd. II, S. 546. 1866.

² Pettenkofer und Voit, *ibid.* Bd. III, S. 398. 1867.

³ Pettenkofer und Voit, *ibid.* Bd. V, S. 326. 1869.

Die Kohlensäureabgabe im Schlaf und im wachen Zustande.

Versuch	Kohlensäure; Mittel; Gramm		Verhältniss Schlaf: Wachen
	Schlaf	Wachen	
A. Bei normaler Kost.			
XXIX.	41	59	100:144
XXX.	43	59	100:137
LXXVII.	49	72	100:147
LXXVI.	39	59	100:151
XLV.	39	65	100:169
LI.	42	58	100:138
B. Beim Hunger.			
XLI.	44	68	100:156
XXXI.	54	76	100:142
XLIX.	44	59	100:136
XVII.	51	67	100:132
XLII.	49	69	100:143

Mittel der Versuche mit normaler Kost	100:148
„ „ Hungerversuche	100:142
„ sämtlicher Versuche	100:145

Im Mittel sämtlicher Versuche ist das Verhältniss der Kohlensäureabgabe im Schlaf und im wachen Zustande wie 100:145. Im wachen Zustande und in Ruhe ist also die Kohlensäureabgabe im Mittel 45 Procent grösser als im Schlaf.

Die Ursache dazu glauben wir mit aller Bestimmtheit in der grösseren Schlaffheit der Muskeln, die im Schlaf stattfindet, suchen zu müssen. Dagegen haben wir, ebensowenig als Loewy und Magnus-Levy, keinen Grund anzunehmen, dass der Schlaf an und für sich irgend welchen specifischen Einfluss auf den Stoffwechsel im Körper ausübt.

Ueber die Grösse der Kohlensäureabgabe während des Schlafes selbst liegen unseres Wissens keine anderen längeren Beobachtungen vor, als 5 von Lewin¹ mit dem Pettenkofer'schen Respirationsapparat ausgeführte Respirationsversuche. Diese fanden an einem robusten Arbeiter von 76 kg Körpergewicht statt; der Mann schlief die ganze Versuchsdauer im Respirationsapparate. Diese Versuche lehren uns also nichts betreffs des Verhältnisses der Kohlensäureabgabe im Schlaf und im wachen Zustande. Die Ergebnisse sind folgende:

¹ Lewin, *Zeitschr. f. Biol.* Bd. XVII, S. 71—77. 1881.

Nummer	Schlafzeit	CO ₂ Gramm	CO ₂ Gramm pro 2 Stunden
1	8 Stund. 2 Min.	208.5	52
2	8 „ 21 ¹ / ₂ „	227.1	54
3	8 „ 34 „	220.3	51
4	8 „ 44 „	243.0	56
5	8 „ 40 ¹ / ₂ „	236.1	54

Mittel 53

Dieses Mittel stimmt mit dem höchsten von uns beobachteten Mittelwerth überein.

Wenn es gilt zu untersuchen, welchen Einfluss das Lebensalter und die Körpergrösse an und für sich auf die Grösse des Stoffwechsels ausüben, dürften Versuche über den Stoffwechsel im Schlaf am meisten befriedigend sein, denn da befindet sich ja die Versuchsperson in der grössten möglichen Muskelruhe, und Differenzen, die von einer während des wachen Zustandes auftretenden verschieden starken Muskelspannung u. s. w. bedingt sind, werden jetzt ausgeschlossen.

Aus diesem Gesichtspunkte haben wir daher unsere Beobachtungen über die Kohlensäureabgabe im Schlaf einer Berechnung unterworfen. Als Grundlage dieser Berechnung haben wir für jede unserer Versuchspersonen den kleinsten von uns beobachteten Werth der Kohlensäureabgabe im Schlaf benutzt, da wir ja berechtigt sind anzunehmen, dass die grösste Muskelruhe eben diesem Werth entspricht und also das minimale Bedürfniss des Körpers in dem eben vorhandenen Nahrungszustand ausdrückt.

Aus diesem Werth haben wir Werthe für die Kohlensäureabgabe pro Kilogramm Körpergewicht und pro Quadratmeter Körperoberfläche hergeleitet, wobei wir die letztere wie oben nach der Formel von Meeh $y = K.a^{1/2}$ berechnet haben, wo K bei den Versuchen an jungen Leuten (Nr. 1 bis 5) = 12.85 und für ältere Personen = 12.53 angenommen worden ist. (Siehe die Tabelle Seite 150.)

Dass die Kohlensäureabgabe pro Kilogramm Körpergewicht in der Regel abnimmt bei zunehmendem Körpergewicht, braucht nicht mehr bewiesen zu werden und geht mit aller wünschenswerthen Deutlichkeit aus der Tabelle hervor.

Von grösserem Interesse ist es zu untersuchen, wie sich die Kohlensäureabgabe pro Quadratmeter Körperoberfläche verhält. Hier tritt wiederum die Bedeutung des Lebensalters deutlich hervor. Bei den beiden Knaben von 11 bis 12 Jahren ist die Kohlensäureabgabe

Minimum der Kohlensäureabgabe im Schlaf.

Nummer	Versuch	Alter	Körpergewicht; Kilogramm	Körper- oberfläche; Quadratmeter	CO ₂ pro 2 Stunden			Mittlere Tempe- ratur in der Respirations- kammer
					absolut	pro Kilogramm	pro Quadratmeter	
1	XXIX.	11	32.05	1.296	37	1.139	28.18	17.2
2	XXX.	12	38.30	1.460	40	1.050	27.56	18.8
3	XLI.	18	57.00	1.903	39	0.692	20.72	17.3
4	XXXI.	20	71.18	2.207	49	0.691	22.27	19.5
5	LXXVII.	22	72.70	2.238	43	0.596	19.35	17.5
6	XLIX.	30	63.00	1.984	39	0.613	19.48	18.7
7	XVII.	32	69.51	2.118	45	0.642	21.06	16.1
8	XLII.	43	83.51	2.394	42	0.504	18.00	19.3
9	LXXVI.	69	66.60	2.059	37	0.551	17.83	17.8
10	XLV.	78	59.00	1.899	35	0.536	18.26	16.3
11	LI.	84	61.31	1.948	37	0.605	18.99	17.0

für die Einheit der Körperoberfläche beträchtlich grösser als bei den übrigen 9 Versuchspersonen. Auch bei diesen erscheinen aber Schwankungen der Kohlensäureabgabe, welche möglicherweise dafür sprechen können, dass auch bei Erwachsenen die Kohlensäureabgabe bei jüngeren Individuen etwas grösser ist als bei älteren. Wir finden nämlich für Nr. 3 und 4 im Mittel 21.50, für Nr. 5 bis 7 im Mittel 19.96, für Nr. 8 18.00^s, für Nr. 9 bis 11 im Mittel 18.36^s CO₂ pro Quadratmeter der Körperoberfläche. Im Mittel erhalten wir die folgenden relativen Werthe:

Versuch	Alter; Jahre	CO ₂ pro 2 Stunden und 1 Quadratmeter Körperoberfläche
XXIX., XXX.	11—12	152
XLI., XXXI.	18—20	117
LXXVII., XLIX., XVII.	22—32	109
XLII.	43	98
LXXVI., XLV., LI.	69—84	100

Bei den Knaben ist also die Kohlensäureabgabe pro Quadratmeter Körperoberfläche 52 Procent und bei jungen Leuten im Alter von 18 bis 20 Jahren 17 Procent grösser als bei den Greisen.

Wir müssen vielleicht noch hervorheben, dass diese Zusammenstellung von Versuchsergebnissen, welche theils an fastenden, theils an normal ernährten Menschen gewonnen sind, durchaus berechtigt ist, wenn wir uns nämlich erinnern, dass bei unseren Hungerversuchen der wirkliche Hungerzustand erst am Morgen nach der Nacht eintrat und dass die Kost, welche Erwachsene hier im Lande zu Abend zu geniessen pflegen, im Allgemeinen keine reichliche ist.

§ 6. Die N-Ausscheidung im Harn während der verschiedenen Stunden des Tages.

Ueber die N-Ausscheidung im Harn während der verschiedenen Stunden des Tages liegen unseres Wissens keine anderen Untersuchungen am Menschen vor als diejenigen, welche Voit und Forster in aller Kürze mitgetheilt haben.

Voit¹ fastete 23 Stunden, genoss dann eine sehr reichliche, aus mehreren Beefsteaks, 6 weichgekochten Eiern und etwas Brod bestehende Mahlzeit. Diese Mahlzeit war um 12 Uhr 25 Min. Nachm. beendet. Von 9 Uhr früh dieses Tages bis um 1 Uhr Nachm. am folgenden Tage wurde der Harn jede Stunde entleert und an Harnstoff analysirt.

Die Harnstoffmenge nahm während der ersten Stunde nach der Mahlzeit kaum zu, zeigte aber schon während der zweiten Stunde eine deutliche Steigerung und erreichte in ununterbrochenem Zuwachs während der siebenten Stunde ihr Maximum. Von da an sinkt sie wieder herab zum Minimum, jedoch nicht continuirlich, sondern mit einigen Schwankungen, unter denen eine, während der zwölften Stunde, relativ beträchtlich war. Die Hälfte der ganzen Harnstoffmenge wurde innerhalb elf Stunden ausgeschieden.

Forster² erwähnt betreffs seines Versuches nur, dass seine Versuchsperson um 9 Uhr Vorm. 500^s Fleisch (mit 18.04^s N) und 48.3^s Fett erhielt, nachdem sie vom vorigen Abend gefastet hatte. Während 24 Stunden wurde die Blase fast jede Stunde entleert und für vierstündige Perioden die in der folgenden Tabelle aufgenommenen Werthe für die N-Ausscheidung gefunden:

¹ Voit, *Physiologisch-chemische Untersuchungen*. Augsburg 1857. S. 41—44.

² Forster, *Zeitschr. f. Biol.* Bd. IX, S. 383. 1873.

Zeit	N im Harn
10 ^h Vorm. bis 1 ^h Nachm.	2.74
2 ^h Nachm. „ 5 ^h „	3.51
6 ^h „ „ 9 ^h „	3.36
10 ^h „ „ 1 ^h Vorm.	3.36
2 ^h Vorm. „ 5 ^h „	2.52
6 ^h „ „ 9 ^h „	2.56

Die N-Ausscheidung erreicht während der zweiten Periode ihr Maximum, bleibt während der zwei folgenden etwa auf derselben Höhe, um während der zwei letzten wieder abzunehmen.

Bei unseren 24stündigen Versuchen sammelten wir die 24stündige Harnmenge, um solcher Art den Gesamtstoffwechsel unserer Versuchsindividuen zu bestimmen. Um aber auch die Frage von den Variationen der N-Ausscheidung im Verlauf des Tages etwas aufzuklären, wurde in 6 Versuchen der Harn in getrennten Portionen aufgefangen und analysirt.

Da es jedoch für unseren Versuchszweck in erster Linie notwendig war, dass sich die Versuchsindividuen in möglichst normalen Verhältnissen befinden sollten, wollten wir dieselben in ihrem Schlaf nicht stören, und sammelten also den gesammten Nachtharn in einer einzigen Portion.

Der Stickstoff wurde durch Doppelanalysen, welche immer genau übereinstimmten, nach Kjeldahl bestimmt.

Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle enthalten.

Die N-Ausscheidung während der verschiedenen Stunden des Tages.

Versuch	Nummer	Zeit	Volumen; Cubik- centimeter	Spec. Gewicht	N Procent	N Gramm	N Gramm pro Stunde
XLI.	1	7 ^h Nachm.	250	1.017	0.68	1.70	0.85
T. L.,	2	9 ^h „	510	1.010	0.30	1.53	0.77
18 Jahre.	3	10 ^h Vorm.	785	1.016	0.77	6.04	0.46
Nur	4	1 ^h Nachm.	114	1.022	1.03	1.17	0.39
Frühstück.	5	3 ^h „	60	1.036	1.84	1.10	0.55
	6	5 ^h „	68	1.038	1.94	1.32	0.66

Versuch	Nummer	Zeit	Volumen; Cubik- centimeter	Spec. Gewicht	N Procent	N Gramm	N Gramm pro Stunde
XXXI.	1	10 ^h 15' Nachm.	250	1.025	1.22	3.05	1.53
A. M.,	2	12 ^h 15' Vorm.	142	1.027	1.56	2.21	1.11
20 Jahre alt.	3	8 ^h 45' „	491	1.025	1.72	8.45	0.99
Hunger.	4	12 ^h 15' Nachm.	241	1.024	1.28	3.06	0.93
	5	2 ^h 15' „	84	1.025	1.37	1.15	0.58
	6	4 ^h 15' „	87	1.025	1.42	1.24	0.62
	7	6 ^h 15' „	81	1.027	1.54	1.25	0.63
	8	8 ^h 15' „	66	1.023	1.67	1.10	0.55
LXXVII.	1	8 ^h 20' Nachm.	202	1.031	1.44	2.91	1.25
E. T.,	2	10 ^h 20' „	140	1.030	1.33	1.86	0.93
22 Jahre alt.	3	9 ^h 30' Vorm.	410	1.035	1.81	7.42	0.66
Normale Kost.	4	11 ^h 30' „	123	1.029	1.24	1.53	0.77
	5	1 ^h 35' Nachm.	112	1.032	1.55	1.74	0.84
	6	3 ^h 30' „	96	1.036	1.71	1.64	0.86
	7	6 ^h 00' „	188	1.031	1.35	2.54	1.02
XLIX.	1	7 ^h Nachm.	160	1.022	1.19	1.90	0.95
T. S.,	2	9 ^h „	99	1.026	1.72	1.70	0.85
30 Jahre alt.	3	11 ^h „	71	1.027	1.77	1.26	0.63
Hunger.	4	9 ^h Vorm.	253	1.026	1.88	4.76	0.48
	5	11 ^h „	130	1.022	1.13	1.47	0.74
	6	1 ^h Nachm.	140	1.022	1.03	1.44	0.72
	7	3 ^h „	128	1.018	1.05	1.34	0.67
	8	5 ^h „	83	1.023	1.30	1.08	0.54
XVII. ¹	1	9 ^h Nachm.	114	1.032	1.73	1.97	0.99
J. E. J.,	2	11 ^h „	100	1.030	1.58	1.58	0.79
32 Jahre alt.	3	1 ^h Vorm.	85	1.033	1.71	1.45	0.73
Hunger.	4	3 ^h „	86	1.032	1.78	1.53	0.77
	5	5 ^h 45' „	87	1.029	1.94	1.69	0.61
	6	9 ^h „	120	1.030	1.95	2.34	0.72
	7	11 ^h „	96	—	1.51	1.45	0.73
	8	1 ^h Nachm.	263	1.011	0.60	1.58	0.79
	9	3 ^h „	296	1.011	0.54	1.60	0.80
	10	5 ^h „	221	1.012	0.61	1.35	0.68
	11	7 ^h „	192	1.011	0.65	1.25	0.63

¹ Die Analysen dieses Versuches verdanken wir Herrn Cand. med. E. Landergren.

Versuch	Nummer	Zeit	Volumen; Cubik- centimeter	Spec. Gewicht	N Procent	N Gramm	N Gramm pro Stunde
XLV.	1	9 ^h 50' Nachm.	86	1.025	1.21	1.04	0.40
H. R.,	2	2 ^h 45' Vorm.	115	1.025	1.34	1.54	0.31
78 Jahre alt.	3	7 ^h 30' „	130	1.025	1.33	1.73	0.36
Normale Kost.	4	10 ^h 15' „	86	1.022	1.25	1.08	0.39
	5	12 ^h Mittags	67	1.025	1.26	0.84	0.48
	6	3 ^h 20' Nachm.	101	1.025	1.21	1.22	0.37
	7	7 ^h 15' „	133	1.025	1.29	1.72	0.44

Diese Versuche sind in den Figg. 24 bis 29 graphisch dargestellt. Die Columnen geben die N-Ausscheidung pro Stunde an und zwar bedeutet 1 Theilstrich 0.1 g N.

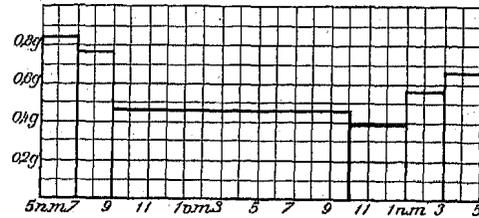


Fig. 24. Vers. XLI.

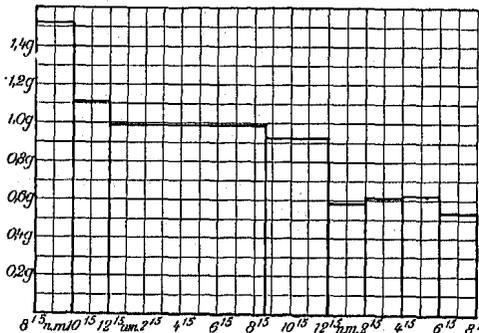


Fig. 25. Vers. XXXI.

In Bezug auf den weiteren Verlauf der N-Ausscheidung zeigen die Versuche Differenzen, welche eine besondere Erörterung jedes einzelnen Versuches beanspruchen.

Versuch XXXI entspricht seinem Verlauf nach am nächsten dem, was man angesichts unserer Kenntnisse von der N-Ausscheidung bei Thieren erwarten könnte. Das Versuchsindividuum hatte vor dem Ver-

Bei den Versuchen XLV. und LXXVII. genossen die Versuchspersonen gewöhnliche Kost; bei den übrigen fasteten sie (im Versuch XLI. genoss jedoch die Versuchsperson um 12 Uhr Mittags Frühstück).

Bei den Hungerversuchen hatten die Versuchspersonen kurz vor dem Beginn des Versuches ihre letzte Mahlzeit genossen.

Ein allen Hungerversuchen gemeinsamer Zug findet sich darin, dass die N-Ausscheidung während der ersten zweistündigen Periode ihr Maximum darbietet.

such eine an Eiweiss sehr reiche Mahlzeit genossen. Von 8 Uhr 15 Min. Nachm. bis 2 Uhr 15 Min. Nachm. am folgenden Tage bemerken wir hier eine ununterbrochene Abnahme der pro Stunde ausgeschiedenen N-Menge. Zwischen 2 Uhr 15 Min. und 6 Uhr 15 Min. Nachm. erscheint eine, übrigens nur unbeträchtliche, Steigerung; während der letzten zweistündigen Periode wird aber das Minimum der N-Ausscheidung in diesem Versuche erreicht.

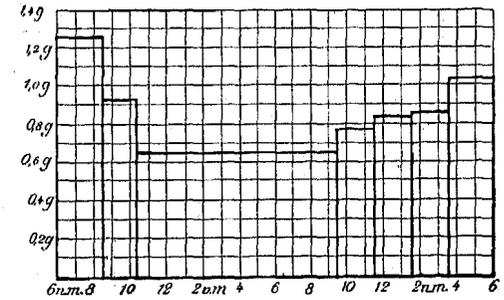


Fig. 26. Vers. LXXVII.

Im grossen Ganzen stimmt der Versuch XLI mit dem eben erörterten Versuch gut überein. Auch hier nimmt die N-Ausscheidung von 5 Uhr Nachm. bis 1 Uhr Nachm. am folgenden Tage ununterbrochen ab. Darnach zeigt sich eine nicht unbeträchtliche Steigerung während der beiden letzten Perioden des Versuches (1 bis 5 Uhr Nachm.). Diese Steigerung dürfte davon bedingt sein, dass die Versuchsperson um 12 Uhr Mittags auf eigenes Verlangen Frühstück erhielt.

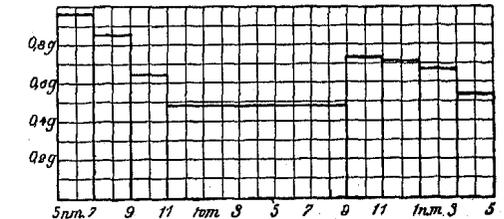


Fig. 27. Vers. XLIX.

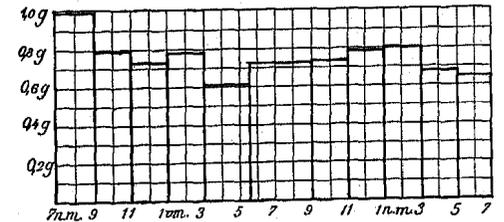


Fig. 28. Vers. XVII.

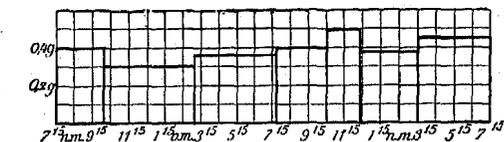


Fig. 29. Vers. XLV.

Diese beiden Versuche zeigen also in einer sehr schönen Weise, wie nahe die N-Ausscheidung von der im Körper befindlichen Menge von Nahrungseiweiss abhängig ist.

In den zwei übrigen Hungerversuchen nimmt die N-Ausscheidung von Stunde zu Stunde bis zum folgenden Tag ab und zwar im Ver-

such XLIX von 5 Uhr Nachm. bis 9 Uhr Vorm., im Versuch XVII von 7 Uhr Nachm. bis 5 Uhr 45 Min. Vorm., dann tritt aber eine nicht unbedeutende Steigerung auf. Im Versuch XLIX. ist die stündliche N-Ausscheidung während der Nacht (11 Uhr Nachm. bis 9 Uhr Vorm.) 0.48, steigt dann auf 0.74, um im weiteren Verlauf des Tages continuirlich bis auf ein Minimum (3 bis 5 Uhr Nachm.) von 0.54 abzunehmen. Dieses Minimum liegt jedoch höher als der Nachtwert.

Im Versuch XVII ist die N-Ausscheidung zwischen 3 und 5 Uhr 45 Min. Vorm. im Mittel pro Stunde 0.61^g. Zwischen 5 Uhr 45 Min. und 9 Uhr Vorm. ist sie auf 0.72^g gestiegen und nimmt während der folgenden Perioden noch bis auf 0.80^g (zwischen 1 und 3 Uhr Nachm.) zu, um darnach zum Minimum von 0.63^g in der letzten Periode ununterbrochen abzunehmen.

Diese Abweichungen von dem einfachen Verlauf, der in den Versuchen XLI. und XXXI. zum Vorschein kommt, scheinen beim Versuch XVII. wesentlich von der starken Diurese während der Perioden zwischen 11 Uhr Vorm. und 5 Uhr Nachm. bedingt zu sein. Welche anderen Factoren hier und im Versuch XLIX. thätig gewesen sind, erlaubt uns unser Versuchsmaterial nicht zu entscheiden. Man könnte natürlich in erster Linie an eine unvollständige Entleerung der Blase denken. Eine solche hätte sich dann aber auch bei den übrigen Versuchen geltend machen sollen, und gerade diese Versuche wurden an Medicinern gemacht, welche den Zweck der Versuche vollständig verstanden und alles ihrige für das Gelingen derselben thaten.

In den Versuchen LXXVII. und XLV. genossen die Versuchspersonen gewöhnliche Kost. In jenem sinkt die N-Ausscheidung ganz wie bei den Hungerversuchen von 6 Uhr Nachm. bis 9 Uhr 30 Min. Vorm., beginnt aber dann zu steigen und erreicht in einer sehr regelmässigen Zunahme während der letzten Periode des Versuches ihr Maximum. Die Ursache dieser Steigerung ist ohne jeden Zweifel wesentlich von der Nahrungsaufnahme bedingt. Die Versuchsperson genoss ihr Abendbrod um 9 Uhr Nachm., Frühstück um 11 Uhr Vorm. und Mittagsessen um 4 Uhr Nachm.

Der Versuch XLV ist insofern nicht ganz befriedigend, als die Versuchsperson etwa 50^{ccm} Harn im Abort entleerte. Die N-Bestimmungen im Harn sind also mit einem gewissen Fehler behaftet. Im Allgemeinen bietet die N-Ausscheidung nur kleine Variationen dar und diese stehen mit den Mahlzeiten in einem unverkennbaren Zusammenhang. Zwischen 10 Uhr 15 Min. Vorm. und 12 Uhr Mittags finden

wir eine Steigerung von 0.39 auf 0.48^g N pro Stunde: die Versuchsperson hatte um 10 Uhr Vorm. ihr Frühstück genossen. Eine letzte Steigerung von 0.37 auf 0.44^g erscheint während der Periode von 3 Uhr 20 Min. und 7 Uhr 15 Min. Nachm., welche Steigerung unzweifelhaft damit zusammenhängt, dass die Versuchsperson um 3 Uhr 15 Min. Nachm. ihr Mittagsessen bekam.

§ 7. Ueber den Zusammenhang zwischen den täglichen Variationen der Körpertemperatur des Menschen und den täglichen Variationen in der Verbrennung im Körper.

Durch zahlreiche Untersuchungen ist es längst festgestellt, dass die normale Temperatur des menschlichen Körpers regelmässige tägliche Schwankungen darbietet und zwar so, dass sie in der späteren Hälfte der Nacht ihr Minimum und in der späteren Hälfte des Tages gegen Abend ihr Maximum hat.

Da die im Verlaufe des Tages auftretenden Variationen der Verbrennung im Körper unseres Wissens vorher nie in ihren Einzelheiten, so wie es bei unseren Versuchen der Fall gewesen, studirt worden sind, liegt es nahe, zu untersuchen, ob sich zwischen diesen Variationen und den täglichen Variationen der Körpertemperatur eine nähere Uebereinstimmung nachweisen lässt.

Aus leicht erklärlichen Gründen ist es uns nicht möglich gewesen, die Körpertemperatur und ihre Variationen im Verlauf des Tages bei unseren Versuchspersonen direct zu bestimmen. Wir müssen daher als Grundlage unseres Vergleiches diejenigen Werthe legen, welche von anderen mitgetheilt worden sind, und wir wählen hierbei selbstverständlich die von Jürgensen veröffentlichten,¹ weil diese sowohl durch die Anzahl der Bestimmungen und durch die Sorgfalt, mit welcher sie ausgeführt worden sind, alle übrigen weit überragen.

Als Normalcurve der Körpertemperatur eines nicht hungernden Menschen nehmen wir also die auf Grund von Jürgensen's Angaben von Landois mitgetheilten mittleren Werthe.²

Als Ausdruck für die Temperaturschwankungen bei einem hungernden Menschen wählen wir das Mittel von Jürgensen's Bestimmungen am Versuchsindividuum Vogel während des ersten Hungertages.³

¹ Jürgensen, *Die Körperwärme des gesunden Menschen*. Leipzig 1873.

² Landois, *Lehrbuch d. Physiol.* 2. Aufl., S. 406. 1881.

³ Jürgensen, a. a. O., S. XXXIII, Tab. 5; S. XXXIV, Tab. 7.

Diese von uns benutzten Temperaturen sind in der folgenden Tabelle aufgenommen.

Tägliche Variationen der Körpertemperatur des Menschen nach Jürgensen.

Zeit	Temperatur, Normale Kost	Temperatur, Hunger	Zeit	Temperatur, Normale Kost	Temperatur, Hunger
6 bis 7 ^h Nachm.	37.5	37.30	6 bis 7 ^h Vorm.	36.7	36.79
7 " 8 ^h "	37.5	37.30	7 " 8 ^h "	36.7	36.88
8 " 9 ^h "	37.4	37.27	8 " 9 ^h "	36.8	37.00
9 " 10 ^h "	37.4	37.17	9 " 10 ^h "	36.9	36.95
10 " 11 ^h "	37.3	37.05	10 " 11 ^h "	37.0	37.02
11 " 12 ^h "	37.2	36.99	11 " 12 ^h "	37.2	37.08
12 " 1 ^h Vorm.	37.1	36.90	12 " 1 ^h Nachm.	37.3	37.09
1 " 2 ^h "	37.0	36.74	1 " 2 ^h "	37.3	37.16
2 " 3 ^h "	36.9	36.70	2 " 3 ^h "	37.4	37.11
3 " 4 ^h "	36.8	36.70	3 " 4 ^h "	37.4	37.05
4 " 5 ^h "	36.7	36.70	4 " 5 ^h "	37.4	37.00
5 " 6 ^h "	36.7	36.70	5 " 6 ^h "	37.5	37.00

Betreffend die Behandlung unseres eigenen Materials müssen wir folgendes bemerken.

Bei allen denjenigen Versuchen, wo die N-Ausscheidung für einigermaßen gleich grosse Perioden bestimmt worden ist (Versuch XLI, XXXI, LXXVII, XLIX und XVII) haben wir aus diesen Bestimmungen die N-Ausscheidung pro Stunde berechnet. Nun enthält das Eiweiss auf 1^g N 3.28^g C. Von diesem Kohlenstoff verlassen 0.67^g den Körper mit dem Harn; der Rückstand, 2.61^g, wird mit den gasförmigen Zersetzungsproducten abgegeben. Von der in diesen gefundenen Kohlenstoffmenge müssen wir daher für jedes während der betreffenden Periode im Harn ausgeschiedene Gramm Stickstoff 2.61^g abziehen; in solcher Weise erhalten wir den Kohlenstoff, welcher der im Körper zersetzten N-freien Substanz entstammt.

Wir haben in solcher Weise die folgenden Werthe für die Ausscheidung des Stickstoffs und des aus N-freien Substanzen entstammenden Kohlenstoffs erhalten.

Die Abgabe von Stickstoff und Kohlenstoff während der verschiedenen Stunden des Tages.

Versuch	Nummer	Zeit	N im Harn pro Stunde; Gramm	C in der ausgeathmeten Luft, Gramm pro Stunde	C aus Eiweiss (= N x 2.61); Gramm	C aus N-freien Substanzen; Gramm pro Stunde
XLI.	1	5 bis 7 ^h Nachm.	0.85	10.6	2.2	8.4
	2	7 " 9 ^h "	0.77	9.5	2.0	7.5
	3	9 " 11 ^h "	0.46	10.1	1.2	8.9
	4	11 " 1 ^h Vorm.	0.46	5.8	1.2	4.6
	5	1 " 3 ^h "	0.46	6.1	1.2	4.9
	6	3 " 5 ^h "	0.46	5.4	1.2	4.2
	7	5 " 7 ^h "	0.46	6.0	1.2	4.8
	8	7 " 9 ^h "	0.46	6.7	1.2	5.5
	9	9 " 11 ^h "	0.42	7.7	1.1	6.6
	10	11 " 1 ^h Nachm.	0.39	9.2	1.0	8.2
	11	1 " 3 ^h "	0.55	8.9	1.4	7.5
	12	3 " 5 ^h "	0.66	7.9	1.7	6.2
XXXI.	1	8 ^h 15' bis 10 ^h 15' Nachm.	1.53	12.0	4.0	8.0
	2	10 ^h 15' " 12 ^h 15' "	1.11	13.0	2.9	10.1
	3	12 ^h 15' " 2 ^h 15' Vorm.	0.99	8.2	2.6	5.6
	4	2 ^h 15' " 4 ^h 15' "	0.99	7.2	2.6	4.6
	5	4 ^h 15' " 6 ^h 15' "	0.99	6.7	2.6	4.1
	6	6 ^h 15' " 8 ^h 15' "	0.99	7.3	2.6	4.7
	7	8 ^h 15' " 10 ^h 15' "	0.93	7.7	2.4	5.3
	8	10 ^h 15' " 12 ^h 15' Nachm.	0.93	8.7	2.4	6.3
	9	12 ^h 15' " 2 ^h 15' "	0.58	10.7	1.5	9.2
	10	2 ^h 15' " 4 ^h 15' "	0.62	9.4	1.6	7.8
	11	4 ^h 15' " 6 ^h 15' "	0.63	9.2	1.6	7.6
	12	6 ^h 15' " 8 ^h 15' "	0.55	9.9	1.4	8.5
LXXVII.	1	6 bis 8 ^h Nachm.	1.25	10.4	3.3	7.1
	2	8 " 10 ^h "	0.93	11.6	2.4	9.2
	3	10 " 12 ^h "	0.66	8.6	1.7	6.9
	4	12 " 2 ^h Vorm.	0.66	8.2	1.7	6.5
	5	2 " 4 ^h "	0.66	7.4	1.7	5.7
	6	4 " 6 ^h "	0.66	6.8	1.7	5.1
	7	6 " 8 ^h "	0.66	5.9	1.7	4.2
	8	8 " 10 ^h "	0.66	9.1	1.7	7.4
	9	10 " 12 ^h Mittags	0.77	10.1	2.0	8.1
	10	12 " 2 ^h Nachm.	0.84	8.4	2.2	6.2
	11	2 " 4 ^h "	0.86	9.4	2.2	7.2
	12	4 " 6 ^h "	1.02	12.7	2.7	10.0

Versuch	Nummer	Zeit	N im Harn pro Stunde; Gramm	C in der ausgeathmeten Luft; Gramm pro Stunde	C aus Eiweiss (= N x 2.61); Gramm	C aus N-freien Substanzen; Gramm pro Stunde
XLIX.	1	5 bis 7 ^h Nachm.	0.95	7.7	2.5	5.2
	2	7 „ 9 ^h „	0.85	9.9	2.2	7.7
	3	9 „ 11 ^h „	0.63	8.3	1.6	6.7
	4	11 „ 1 ^h Vorm.	0.48	7.7	1.3	6.4
	5	1 „ 3 ^h „	0.48	5.9	1.3	4.6
	6	3 „ 5 ^h „	0.48	5.3	1.3	4.0
	7	5 „ 7 ^h „	0.48	6.1	1.3	4.8
	8	7 „ 9 ^h „	0.48	6.6	1.3	5.3
	9	9 „ 11 ^h „	0.74	8.9	1.9	7.0
	10	11 „ 1 ^h Nachm.	0.72	7.7	1.9	5.8
	11	1 „ 3 ^h „	0.67	6.5	1.7	4.8
	12	3 „ 5 ^h „	0.54	8.0	1.4	6.6
XVII.	1	7 „ 9 ^h Nachm.	0.99	11.8	2.6	9.2
	2	9 „ 11 ^h „	0.79	14.5	2.1	12.4
	3	11 „ 1 ^h Vorm.	0.73	9.2	1.9	7.3
	4	1 „ 3 ^h „	0.77	8.4	2.0	6.4
	5	3 „ 5 ^h „	0.61	7.1	1.6	5.5
	6	5 „ 7 ^h „	0.72	6.1	1.9	4.2
	7	7 „ 9 ^h „	0.72	7.6	1.9	5.7
	8	9 „ 11 ^h „	0.73	9.0	1.9	7.1
	9	11 „ 1 ^h Nachm.	0.79	8.9	2.1	6.8
	10	1 „ 3 ^h „	0.80	9.5	2.1	7.4
	11	3 „ 5 ^h „	0.68	9.0	1.8	7.2
	12	5 „ 7 ^h „	0.63	7.6	1.6	6.0

Aus diesen Zahlen sind die in Figg. 30 bis 34 dargestellten Diagramme construirt. In diesen geben die leeren Felder die Menge des aus N-freien Substanzen entstammenden Kohlenstoffs und die schraffirten Felder die Stickstoffmenge an. Der Maasstab ist so gewählt, dass ein Theilstrich 1^s Kohlenstoff und zwei Theilstriche 1^s Stickstoff pro Stunde bezeichnet. Wir haben verschiedene Maasstäbe für Stickstoff und Kohlenstoff benutzt, um solcher Art in der Summe der leeren und der schraffirten Felder einen approximativen relativen Ausdruck für die Intensität der im Körper stattfindenden Verbrennung zu erhalten. 1^s N im Harn entspricht nämlich 25.94 WE und 1^s Kohlenstoff in der ausgeathmeten Luft 9.50 bis 12.31 (im Mittel 10.9) WE,

je nachdem der Kohlenstoff aus Fett oder aus Kohlehydraten entstammt. Also wird in unserem Maasstab ein grosser Theilstrich für Kohlenstoff etwa 11 WE und für Stickstoff etwa 13 WE repräsentiren.

In diesen Diagrammen haben wir noch die aus den Versuchen Jürgensen's hergeleitete Temperaturcurve des Menschen eingezeichnet.

In den Versuchen XLI, XXXI, LXXVII und XLIX finden wir eine überraschende Uebereinstimmung in dem Verlauf der beiden Curven. Die dort auftretenden Abweichungen sind der Art, dass sie sich durch den Umstand, dass die Temperaturcurve doch nicht an der betreffenden Versuchsperson selbst bestimmt worden ist, befriedigend erklären lassen.

Auch im Versuch XVII haben die beiden Curven denselben Verlauf; sie sind aber einigermassen gegen einander verschoben, insofern als das Minimum des Stoffwechsels zu einer Periode erscheint, wo die Temperaturcurve schon die Tendenz hat zu steigen. Diese Verschiebung umfasst jedoch nicht mehr

als etwa eine Stunde und findet ihre natürliche Erklärung darin, dass in diesem Versuche die Versuchsperson während der ersten Hälfte der Nacht mit physiologischen Versuchen eifrig beschäftigt war (vgl. oben S. 135).

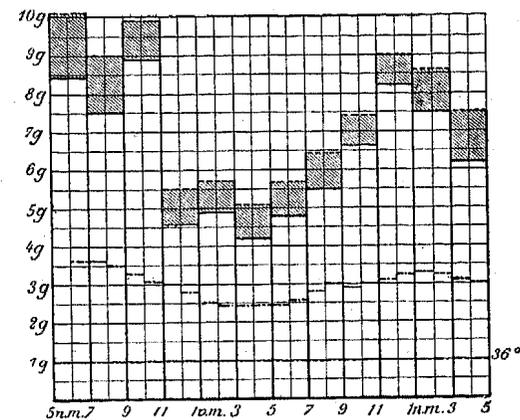


Fig. 30. Versuch XLI.

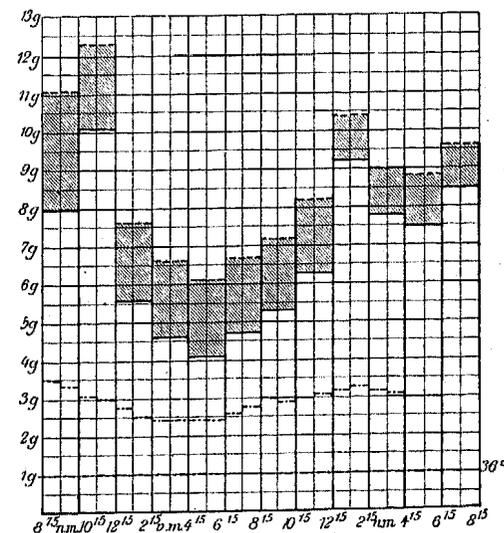


Fig. 31. Versuch XXXI.

Ein Vergleich der Curven Figg. 30 bis 34, welche den Gesamtstoffwechsel unserer Versuchspersonen während der verschiedenen Stunden des Tages in einem gewissen Grade ausdrücken, mit den

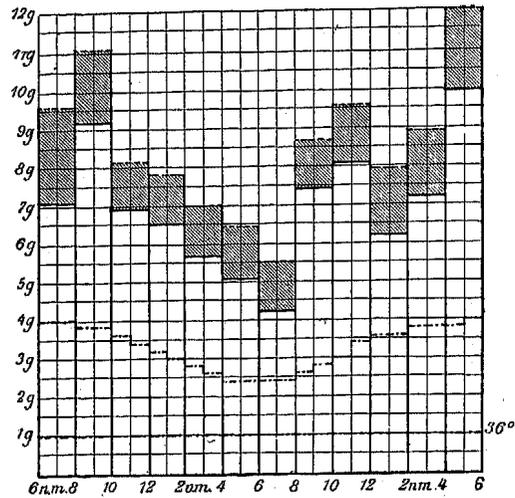


Fig. 32. Versuch LXXVII.

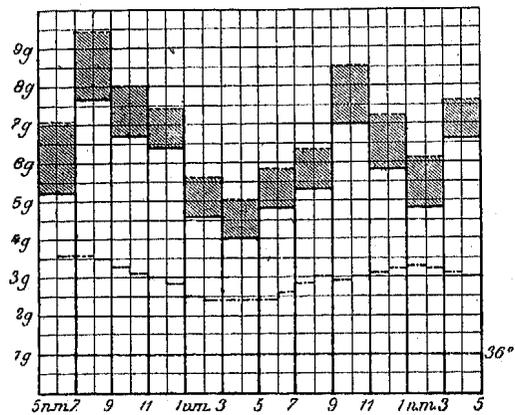


Fig. 33. Versuch XLIX.

Versuch XLII darstellt (Fig. 20), haben wir daher die Jürgensen'sche Temperaturcurve beim Hunger eingezeichnet. Wir finden hier ganz dieselbe Uebereinstimmung zwischen den beiden Curven wie bei den übrigen Hungerversuchen.

In derselben Weise haben wir in Figg. 13, 14, 21 bis 23 nach Jürgensen die Temperaturschwankungen beim nicht hungernden

Curven Figg. 15 bis 19, welche die täglichen Variationen der Kohlensäureabgabe derselben Individuen darstellen, ergibt, dass beide Curven ziemlich parallel verlaufen und vor allem, dass sie nie in entgegengesetzter Richtung gehen. Hieraus folgt, dass die Kohlensäureabgabe einen relativen Ausdruck für die täglichen Variationen der Verbrennung im Körper abgibt.

Auf Grund dessen sind wir berechtigt, mit denjenigen Versuchen, wo wir den Harn in getrennten Portionen nicht gesammelt haben, und an welchen wir also dieselbe Berechnung wie an den eben angeführten Versuchen nicht durchführen können, dieselbe Zusammenstellung mit den täglichen Temperaturvariationen zu machen.

In die Curve, welche die Kohlensäureabgabe im

Menschen copirt. Die Uebereinstimmung ist in den Versuchen XXIX und XXX ganz vollständig; in dem Versuch LXXVI zeigen sich allerdings ein paar Abweichungen (besonders um 6 bis 8 Uhr Vorm.), im grossen Ganzen muss man aber zugeben, dass auch hier die beiden Curven leidlich parallel gehen.

Ganz anders bei den Versuchen XLV und LI. Hier ist es gar nicht möglich, von einem

Parallelismus der beiden Curven zu sprechen. Dies dürfte wahrscheinlich davon bedingt sein, dass die betreffenden Versuchspersonen sehr alt (78, bzw. 85 Jahre) waren. Wenn wir nämlich bedenken, wie schwach die periphere Circulation im hohen Greisenalter ist, so ist es gar nicht unmöglich, dass bei sehr alten Individuen die Körpertemperatur in einer anderen Weise als bei jüngeren Menschen variiert. Dass Variationen in Bezug auf die Eiweisszer-

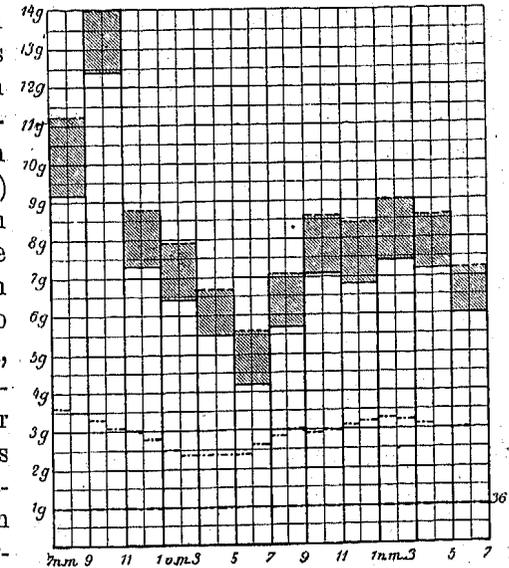


Fig. 34. Versuch XVII.

setzung diese Ausnahme nicht erklären können, geht daraus hervor, dass beim Versuch XLV die N-Ausscheidung im Harn nur geringe Variationen im Verlauf des Tages zeigte.

Wir glauben also berechtigt zu sein, aus diesen Betrachtungen zu folgern, dass die Ursache der täglichen Schwankungen in der Körpertemperatur des ruhenden Menschen wesentlich, und wahrscheinlich vor Allem, von den täglichen Schwankungen in der Intensität des Stoffwechsels bedingt sind.

Andererseits scheint dieses Ergebniss für die allgemeine Gültigkeit der Erfahrungen von Jürgensen über den Gang der täglichen Variationen in der Körpertemperatur des Menschen zu sprechen.

§ 8. Schlussfolgerungen.

Die in diesem Abschnitte zusammengestellten Versuche gestatten also die folgenden Schlussfolgerungen.

1. Bei einem ruhig stillsitzenden Menschen bietet die Kohlensäureabgabe in der Regel nur wenig umfangreiche Schwankungen von Stunde zu Stunde dar. Die mittlere Abweichung beträgt nach 44 an 9 verschiedenen Individuen gemachten Beobachtungen 6.19 Procent des mittleren Werthes pro 5 Stunden.

2. Auch wenn zwischen die Ruhestunden Arbeitsstunden eingeschaltet werden, sind die während der körperlichen Ruhe auftretenden Schwankungen nicht viel grösser. Aus 63 an 7 verschiedenen Individuen unter diesen Verhältnissen gemachten Beobachtungen haben wir nämlich die mittlere Abweichung zu 6.84 Procent des mittleren Werthes pro 3 Stunden gefunden.

3. Bei einem und demselben Individuum bietet die Kohlensäureabgabe unter denselben äusseren Verhältnissen nur geringe Variationen von Tag zu Tag dar; auch wenn die Beobachtungszeiten durch Monate von einander getrennt sind, beträgt die mittlere Abweichung nur 9.06 Procent des mittleren Werthes.

4. Im Verlauf von 24 Stunden treten beträchtliche Variationen auf, welche wesentlich vom Schlaf und vom wachen Zustande bedingt sind.

5. Im Mittel verhält sich die Kohlensäureabgabe im Schlaf und im wachen Zustande wie 100:145. Die Extreme sind 100:169 und 100:132.

6. Im wachen Zustande ist die Abweichung während zweistündiger Perioden im Mittel von 82 Beobachtungen an 11 verschiedenen Individuen 9.32 Procent des Mittels. Der aus einem zweistündigen Versuch erhaltene Werth ist also mit einem Fehler von nur etwa 10 Procent als Ausdruck für die Kohlensäureabgabe beim nicht arbeitenden Menschen im wachen Zustande gültig.

7. Im Schlaf ist die Abweichung während zweistündiger Perioden im Mittel von 42 Beobachtungen an 11 verschiedenen Individuen 6.85 Procent des Mittels, also etwa ein Drittel kleiner als im wachen Zustande.

8. Das Minimum der Kohlensäureabgabe im Schlaf, berechnet pro Quadratmeter Körperoberfläche, ist bei 11 bis 12jährigen Kindern 52 Procent und bei jungen Leuten von 18 bis 20 Jahren 17 Procent grösser als bei Greisen.

9. Bezüglich der im Verlauf des Tages erscheinenden Variationen der N-Ausscheidung verweisen wir auf das oben (§ 7) Gesagte.

10. Die Ursache der im Verlaufe des Tages erscheinenden Schwankungen in der Körpertemperatur des ruhenden Menschen sind wesentlich, und wahrscheinlich vor Allem, von den täglichen Schwankungen in der Intensität des Stoffwechsels bedingt.

Vierter Abschnitt.

Ueber die Einwirkung der Muskelarbeit auf die Kohlensäureabgabe des Menschen.

§ 1. Geschichtliche Einleitung.

In seinen im Verein mit Séguin ausgeführten Respirationsversuchen am Menschen fand Lavoisier, dass der Sauerstoffverbrauch beim Hunger durch Muskelarbeit von 24.0 bis 26.7 auf 64.5 Liter pro Stunde zunahm. Während der stattfindenden Verdauung betrug der Sauerstoffverbrauch bei Ruhe 37.7 Liter; durch Muskelarbeit stieg er auf 91.2 Liter. Die ausgeführte Arbeit bestand darin, dass die Versuchsperson während $\frac{1}{4}$ Stunde ein Gewicht von 7.343 kg zu einer Höhe von 211.146 m hob.¹

Es dauerte lange, bis diese Untersuchungen fortgesetzt wurden. Erst 1859 theilte E. Smith in Zusammenhang mit seinen übrigen Untersuchungen über die Kohlensäureabgabe des Menschen einige hierher gehörige Bestimmungen mit. Er mass die Expirationsluft mittels einer trockenen Gasuhr und leitete sie dann durch Apparate zur Absorption des in derselben enthaltenen Wassers und der Kohlensäure. Bei Versuchen über die Einwirkung des Gehens auf die Kohlensäureabgabe trug er die Gasuhr auf seinem Rücken und vereinigte die Respirationsmaske mit den Absorptionsapparaten mittels einer aus Glas und Kautschuk zusammengesetzten Röhre, welche ihm gestattete, etwa

¹ Lavoisier und Séguin, Premier mémoire sur la respiration. *Mémoires de l'académie des sciences*, année 1789, S. 185. *Oeuvres de Lavoisier*. Bd. II, S. 696. Die Reduction der in Cubikzoll angegebenen Werthe Lavoisier's zu Litern ist von Gavarret (*Physique médicale*, Paris 1855, S. 330) ausgeführt.

11 englische Ellen in jeder Richtung zu gehen. Die Entfernung wurde genau gemessen und der Takt des Ganges so genau wie möglich nach einer Taschenuhr geregelt. Vor dem Anfang des Versuches ging Smith eine Weile in demselben Takt, um den Körper unter volle Einwirkung der gesteigerten Thätigkeit zu bringen.

Bei einer Temperatur von 24.2° C. athmete er beim Gehen von 2 engl. Meilen pro Stunde 1.173 g CO_2 pro Minute aus, und 1.674 g CO_2 als er 3 engl. Meilen pro Stunde zurücklegte. Beim Sitzen und Hungern betrug die Kohlensäureabgabe zu derselben Zeit des Tages 0.482 g CO_2 pro Minute. Im ersten Falle betrug also seine Kohlensäureabgabe etwa $2\frac{1}{2}$ mal, und in dem zweiten etwa $3\frac{1}{2}$ mal so viel, als in sitzender Stellung.

Ferner untersuchte Smith die Kohlensäureabgabe bei Arbeit an einem Tretrade. Er machte drei derartige Versuche, bei welchen er während einer Viertelstunde an dem Rad arbeitete und wobei er während 5 bis 6 Min. die Kohlensäureabgabe bestimmte. Diese betrug pro Minute bezw. 2.810, 2.780, 3.153 g, also eine sehr beträchtliche Steigerung im Vergleich mit der Kohlensäureabgabe bei Ruhe.¹

Bei ihren Untersuchungen über den Gesamtstoffwechsel des Menschen beachteten Pettenkofer und Voit auch den Einfluss der körperlichen Arbeit.² Ihre Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Nummer	CO ₂ Gramm			
	bei Tag	bei Nacht	Summe	
A. Versuche beim Hungern.				
1	427	312	739	Ruhe
3	379	316	695	"
4	930	257	1187	Arbeit
B. Versuche bei mittlerer Kost.				
5	533	379	912	Ruhe
6	539	404	943	"
7	527	403	930	"
8	885	400	1285	Arbeit
9	828	306	1134	"

Die bei diesen Versuchen ausgeführte Arbeit bestand im Drehen eines Rades, welches nach der Schätzung der Versuchsperson so stark belastet war, dass der Widerstand demjenigen entsprach, wie er ge-

¹ E. Smith, *Philosophical transactions*. Bd. CXLIX, 2, S. 709—711. 1859.

² Pettenkofer und Voit, *Zeitschr. f. Biol.* Bd. II, S. 478 ff. 1866.

wöhnlich bei Drehbänken in mechanischen Werkstätten ist, welche durch ein mit der Hand getriebenes Schwungrad bewegt werden. Die Arbeit dauerte 9 Stunden täglich und die Versuchsperson fühlte sich Abends so ermüdet, wie nach einer anstrengenden Arbeit oder einem längeren Marsche.

Die bei diesen Versuchen erschienene Zunahme der Kohlensäureabgabe beträgt, wenn wir dieselbe nach der Kohlensäureabgabe während der entsprechenden Ruhetage (nicht Nachthälfte) berechnen, beim Hungern $930 - 403 = 527 \text{ g}$, bei mittlerer Kost $857 - 533 = 324 \text{ g}$. Die Differenz für 24 Stunden ist bezw. 471 und 281 g.¹

In seinem „Handbuch der Physiologie der Ernährung und des Stoffwechsels“ theilt Voit die Ergebnisse zweier neuer Arbeitsversuche am Menschen kurz mit. Die eine Versuchsperson, ein Mann von 73 kg Körpergewicht, arbeitete 5 Stunden lang; für eine Arbeit von 29529 Kilogrammometer pro Stunde nahm die Fettzersetzung um 9.1 g ($= 25.5 \text{ g CO}_2$) zu. An einem zweiten, 60 kg schweren Mann erhielt Voit für eine Arbeit von 19036 Kilogrammometer pro Stunde eine Zunahme der Fettzersetzung von 7.2 g ($= 20.2 \text{ g CO}_2$).²

Etwas später, als die ersten Untersuchungen Pettenkofer's und Voit's veröffentlicht wurden, theilte Speck eine Reihe Versuche mit, welche bezweckten, den Zusammenhang zwischen dem respiratorischen Gasaustausch und der körperlichen Arbeit festzustellen.³

In der ersten Versuchsreihe (1866) wurden die in ein Tuch gebundenen Gewichte in gleicher Weise in stets gleicher Höhe gehoben und wieder langsam gesenkt. Speck stellt sich vor, dass bei der langsamen Senkung ein gleich grosser Kraftaufwand wie beim Heben stattfindet und berechnet also die ausgeführte mechanische Arbeit gleich dem Gewicht mit der doppelten Hubhöhe multiplicirt. Die Versuchsdauer variierte zwischen 3 Min. 5 Sec. und 6 Min. 57 Sec.

Bei Ruhe betrug die Kohlensäureabgabe Speck's pro Minute 0.583 g .⁴ Durch die Arbeit nahm sie, je nach der Grösse der Arbeit, bis 0.912 und 2.276 g zu. Für 1 Kilogrammometer betrug die Zu-

¹ Pettenkofer und Voit, *Zeitschr. f. Biol.* Bd. II, S. 537—540. 1866.

² Voit, *Handbuch d. Physiologie*. Bd. VI, 1, S. 202. 1881.

³ Speck, *Arch. d. Vereins f. gemeins. Arbeit*. Bd. VI. — *Schriften d. Gesellschaft zur Beförderung der ges. Naturwiss. zu Marburg*. Bd. X. 1871. — *Deutsches Arch. f. klin. Medicin*. Bd. XLV. 1889. — *Physiologie des menschl. Athmens*. Leipzig 1892. S. 59 folg.

⁴ Hier wie überall in dieser Abhandlung haben wir zum Vergleich mit unseren eigenen Ergebnissen die ausgeschiedenen Kohlensäuremengen in Gramm berechnet.

nahme der Kohlensäureabgabe im Mittel 0.00532^g. Bei einer geringeren Arbeitsleistung (kleiner als 100 Kilogramm pro Minute) ist die Zunahme etwas grösser (im Mittel 0.00552) als bei einer grösseren (im Mittel 0.00512).

In einer zweiten Versuchsreihe von demselben Jahre untersuchte Speck den Einfluss der von ihm sogenannten statischen Arbeit, d. h. der Anstrengung, welche nöthig ist, um mit frei herabhängenden Armen oder mit dem Rücken Gewichte festzuhalten. Die Versuchsdauer war hier 6 Min. 10 Sec. bis 8 Min. 40 Sec. Hierbei stieg in Folge der körperlichen Anstrengung die Kohlensäureabgabe pro Minute von 0.583 auf 0.630 bis 1.003^g an.

Fünf Jahre später führte Speck neue Versuche in derselben Richtung aus. Hierbei hob er mit dem Arme Gewichte, welche dann von einem Assistenten empfangen und zu Boden gesetzt wurden. Die Versuchsdauer betrug 3 Min. 20 Sec. bis 4 Min. 45 Sec. Die Kohlensäureabgabe betrug in der Ruhe 0.499 bis 0.528^g pro Minute und wurde durch die Arbeit auf 0.997 bis 1.537^g gesteigert. Pro Kilogramm Muskelarbeit betrug die Steigerung im Mittel von 4 Versuchen 0.00719^g CO₂. In derselben Reihe wurde das Gewicht an einer Rolle gehoben und langsam gesenkt. Dabei wurde Heben und Senken wieder als doppelte Arbeit gerechnet, und die Steigerung der Kohlensäureabgabe für 1 Kilogramm zu 0.00394 bis 0.00493^g gefunden.

Im Jahre 1885 machte Speck noch eine Versuchsreihe über die Steigerung der Kohlensäureabgabe bei Arbeit mit dem Arm. Dabei wurde im Sitzen mit dem linken Arm eine eiserne Welle gedreht, deren Reibung durch Anziehen einer Schraube verändert werden konnte. Die durch Gewichte bestimmte Grösse des Widerstandes war das gehobene Gewicht, und der Weg, den der Handgriff der Kurbel zurücklegte, die Hubhöhe. Die Ergebnisse dieses Versuches sind folgende.

Reihe *d*. Kohlensäureabgabe bei Ruhe pro Minute 0.430^g, bei Arbeit 0.788 bis 1.566^g. Zunahme für 1 Kilogramm Arbeit im Mittel 0.00473^g CO₂. Versuchsdauer 3 Min. 2 Sec. bis 5 Min. 50 Sec.

Reihe *e*. Kohlensäureabgabe bei Ruhe pro Minute 0.422^g, bei Arbeit 0.855 bis 2.106^g. Zunahme pro Kilogramm Arbeit im Mittel 0.00709^g CO₂. Versuchsdauer 2 Min. 17 Sec. bis 5 Min. 28 Sec.

Die Versuche sind in der Weise ausgeführt, dass jeder Versuch der Reihe *d* mit einem Versuch der Reihe *e* unmittelbar fortgesetzt wurde. Hierdurch konnte Speck näher verfolgen, wie sich die Kohlensäureabgabe im Verlaufe der Arbeit verändert.

Wenn man in der Reihe *d* die Versuche nach der Grösse der geleisteten Arbeit eintheilt, so findet man, dass die Kohlensäureabgabe bei einer Arbeit von 55 bis 140 Kilogramm mit im Mittel 0.00552^g und bei einer Arbeit von 225 bis 281 Kilogramm mit im Mittel 0.00433^g pro Kilogramm zunimmt.

Im weiteren Verlauf des Versuches ist die Zunahme für 1 Kilogramm Arbeit beträchtlich grösser. Werden diese Versuche in derselben Weise wie eben vorher nach der Arbeitsgrösse geordnet, so erhalten wir pro Kilogramm bei leichterer Arbeit eine Zunahme von im Mittel 0.00768^g und bei schwererer Arbeit eine Zunahme von im Mittel 0.00668^g CO₂.

Ferner untersuchte Speck, wie sich der respiratorische Gasaustausch nach beendeter Arbeit gestaltet. Betreffs der Kohlensäureabgabe fand er, dass dieselbe eine gewisse Zeit nach der Arbeit gesteigert ist. Die hierbei hervortretende Steigerung ist so beträchtlich, dass dieselbe bei der Berechnung des Einflusses der Muskelarbeit auf die Kohlensäureabgabe nothwendig berücksichtigt werden muss. Wir finden z. B. bei zwei Versuchen, wo die Zunahme sowohl während als nach der Arbeit bestimmt wurde, die folgenden Werthe:

Zunahme der CO₂-Abgabe pro Minute.

a) Während der Arbeit. b) Nach der Arbeit.

- 1) 1.063 (Versuchsdauer 3 Min. 24 Sec.) 0.225 (Versuchsdauer 7 Min. 10 Sec.)
 2) 0.964 („ 3 „ 25 „) 1.135 („ 2 „ 14 „)

Wegen dieser Umstände ist es selbstverständlich, dass die während der Arbeit selbst erhaltenen Werthe für die Zunahme der Kohlensäureabgabe pro Kilogramm sämtlich zu niedrig sind. Speck hat daher versucht, aus den zuletzt angeführten Versuchen, unter Bezugnahme auf die Kohlensäureabgabe während der nach der Arbeit folgenden Ruheperiode, die 1 Kilogramm nützliche Arbeit entsprechende Zunahme der Kohlensäureabgabe zu berechnen und erhält dann statt 0.00453^g 0.00571^g CO₂. Die Differenz beträgt mehr als 20 Procent.

Hanriot und Richet¹ machten Versuche über den respiratorischen Gasaustausch, wenn die Versuchsperson entweder mit Raddrehen oder Heben von Gewichten beschäftigt war. Im letzteren Falle hob die Versuchsperson 5232 mal ein 18^{kg} schweres Gewicht einen halben Meter

¹ Hanriot und Richet, *Comptes rend. de l'acad. des sciences*. Bd. CV, S. 76 folg. 1887.

hoch und lies es dann wieder fallen. Ein Hub entspräche dann 9.5 Kilogramm Arbeit. Ferner liessen die Autoren solche Hübe, aber ohne ein Gewicht zu heben, machen. Der Ueberschuss der Kohlensäureabgabe über die Ruhe betrug bei der Leistung eines Hubes von 9.5 Kilogramm Arbeit 0.0971 g und bei der Leistung eines leeren Hubes 0.0183 g. Darnach blieb für 9.5 Kilogramm Arbeit eine Kohlensäureabgabe von 0.0788 g, d. h. für 1 Kilogramm Arbeit 0.00829 g.

In einer langen Versuchsreihe behandelte Katzenstein in Zuntz' Laboratorium und mit dessen Methoden die vorliegende Aufgabe.¹ Er untersuchte den respiratorischen Gasaustausch bei Arbeit mit den oberen und mit den unteren Extremitäten. In Bezug auf die ersteren benutzte er als Arbeitswerkzeug den Ergostat Gärtner's. Die Arbeit der unteren Extremitäten war theils Gehen auf (fast) horizontalem Boden, theils Steigung bergauf, wozu ein besonderer von Zuntz construirter Apparat benutzt wurde.

Bei den Versuchen am Ergostat wurde zuerst der Gasaustausch in Ruhe bestimmt; dabei lag die Versuchsperson so still wie möglich auf einem Sopha. Die Arbeit fing sogleich nach dem Ende dieser Bestimmung an. Das Versuchsindividuum bekam einen kleinen Pappornister auf den Rücken geschnallt, dessen Gewicht höchstens 200 g betrug und der ausserordentlich bequem sass. In diesem befanden sich die Ventile, und die Verbindung derselben mit dem Mundstück war durch eine passend gebogene Combination von Glas und Kautschuk derart hergestellt, dass keine Zerrungen beim Beugen und Strecken des Rumpfes erfolgen konnten. Dann wurde das Versuchsindividuum angewiesen, den Ergostaten gleichmässig zu drehen. Schon nach den ersten Drehungen stieg die Athemgrösse schnell an; dessen ungeachtet wartete man noch einige Minuten, bevor die Probenahme erfolgte; dadurch sollte es unnötig werden, den in der Nachwirkungsperiode noch erhöhten Gaswechsel bei Berechnung des Stoffverbrauches bei der Arbeit zu berücksichtigen. Die Probenahme dauerte 2 bis 6 Minuten lang. Während der Zeit (anfangs 5, später 1 bis 2 Min.), welche hierauf nöthig war, um eine neue Probenahme vorzubereiten, setzte das Versuchsindividuum die Drehungen in gleichem Tempo fort, eine zweite Probe wurde genommen, u. s. w.

Ganz analog wurden die Gehversuche angestellt. Nur wurde hier meistens auf eine Aufnahme des Ruhewerthes verzichtet, und wenn dieser genommen wurde, so geschah es, während das Versuchsindividuum möglichst bequem auf der Tretmaschine stand. Meist begann

¹ Katzenstein, *Arch. f. d. ges. Physiol.* Bd. XLIX, S. 330—331. 1891.

der Versuch mit Gehen auf horizontalem Boden. Nachdem das Gehen 3 bis 5 Minuten gedauert hatte, begann die Probenahme, welche 4 bis 6 Minuten dauerte. Während der Zeit von 1 bis 2 Minuten, welche hierauf nöthig war, um eine neue Probenahme vorzubereiten, dauerte das Gehen im selben Tempo fort. Dann wurde die Maschine stille gestellt und während die Versuchsperson in bequemer Stellung ruhte, wurde eine zweite Luftprobe zur Analyse aufgesammelt: dieselbe ergab die Nachwirkung der Arbeit auf den Gaswechsel.

Auf 1 kg Körpergewicht und pro Minute betrug die Zunahme der Kohlensäureabgabe in den Versuchen mit dem Ergostaten bei leichter Arbeit im Mittel von 9 an 5 verschiedenen Individuen ausgeführten Versuchen 0.0185 g, und bei starker Arbeit im Mittel von 16 an denselben 5 Individuen gemachten Versuchen 0.0318 g. Im ersten Falle betrug die Arbeit pro Kilogramm Körpergewicht und 1 Minute 3.115 Kilogramm, in dem zweiten 7.487 Kilogramm. Im ersten Falle wurde das Rad 31.04, im zweiten 26.44 mal in der Minute umgedreht.

Setzen wir nun, mit Katzenstein, die Menge Kohlensäure, die bei jeder widerstandslosen Umdrehung des Rades pro Kilogramm Körpergewicht abgegeben wird, gleich x , und diejenige Kohlensäuremenge, die für 1 Kilogramm Arbeit am gebremsten Rade abgegeben wird, gleich y , so erhalten wir

$$31.04x + 3.115y = 0.0185$$

$$26.44x + 7.487y = 0.0310$$

$$x = 0.00028 \text{ g CO}_2$$

$$y = 0.00317 \text{ g CO}_2$$

Zum Vergleich mit den Ergebnissen Speck's hat Katzenstein seine Versuche auch ohne Berücksichtigung der Kohlensäureabgabe für die widerstandslose Umdrehung berechnet und dabei die folgenden Werthe pro Kilogramm Arbeit erhalten.

1) Schwache Dreharbeit von 2.64 Kilogramm pro Kilogramm Körpergewicht und Minute im Mittel von 7 Versuchen: 0.00599 g CO₂.

2) Mittlere Dreharbeit von 5.04 Kilogramm pro Kilogramm Körpergewicht und Minute im Mittel von 7 Versuchen: 0.00473 g CO₂.

3) Starke Dreharbeit von 9.82 Kilogramm pro Kilogramm Körpergewicht und Minute im Mittel von 9 Versuchen: 0.00398 g CO₂.

¹ Katzenstein hat a. a. O. S. 360 den Sauerstoffverbrauch und nicht die Kohlensäureabgabe berechnet. Zum Vergleich mit unseren eigenen Werthen haben wir nach seinen Zahlen die letztere berechnet.

Bei Katzenstein's Versuchen war die Nachwirkung nach der Arbeit im Vergleich mit derjenigen in Speck's Versuchen ziemlich gering. Die Zunahme des Sauerstoffverbrauches während der Periode der Nachwirkung beträgt nämlich bei schwacher Arbeit 4.3 Procent, bei mittlerer Arbeit 12.7 Procent und bei starker Arbeit 17.43 Procent der während der Arbeit selbst erscheinenden Zunahme des Sauerstoffverbrauches, und etwa dieselben Werthe gelten auch für die Kohlensäureabgabe.

Katzenstein's Untersuchungen über die Geharbeit haben Folgendes ergeben.

Die Ruhewerthe beim Stehen sind, wie zu erwarten, etwas höher als beim Liegen. Die Steigerung des Sauerstoffverbrauches betrug in einer Reihe 22 Procent, in einer anderen 12 Procent und andere Versuche ergaben eine noch geringere Differenz, nämlich nur 1.2 Procent. In diesen schwankenden Werthen liegt, wie Katzenstein richtig bemerkt, nichts Auffallendes; es ist klar, dass der Stoffwechsel um so höher steigt, je „strammer“ die Versuchsperson steht, während beim ganz bequemen Stehen die Ruhe im Stehen fast ohne Muskelthätigkeit erfolgen kann.

Bei fast horizontalem Gang betrug bei einer Arbeit von 32.27 Kilogrammometer und einem Weg von 74.48 m pro Minute die Zunahme der Kohlensäureabgabe 0.792 g, und beim Gehen bergauf bei einer Arbeit von 403.72 Kilogrammometer und einem Weg von 67.42 m 1.557 g.

In derselben Weise wie eben vorher berechnet sich diejenige Kohlensäuremenge, welche abgegeben wird, um den Körper (Gewicht 55.53 kg) um 1 m in horizontaler Richtung fortzubewegen, gleich x , und diejenige Kohlensäuremenge, welche für die Hebung des Körpers pro Kilogrammometer abgegeben wird, gleich y . Wir erhalten dann

$$74.48x + 32.27y = 0.792$$

$$67.42x + 403.72y = 1.557$$

$$x = 0.00966 \text{ g CO}_2,$$

für die horizontale Fortbewegung eines Kilogrammes um 1 m:

$$0.000174 \text{ g CO}_2$$

$$y = 0.00224 \text{ g CO}_2.$$

Für drei andere Versuchsindividuen erhalten wir in derselben Weise

$$1) x = 0.01440 \text{ g CO}_2,$$

für die horizontale Fortbewegung eines Kilogrammes um 1 m:

$$0.000262 \text{ g CO}_2$$

$$y = 0.00194 \text{ g CO}_2.$$

$$2) x = 0.01375 \text{ g CO}_2,$$

für die horizontale Fortbewegung eines Kilogrammes um 1 m:

$$0.000183 \text{ g CO}_2$$

$$y = 0.00223 \text{ g CO}_2.$$

$$3) x = 0.00902 \text{ g CO}_2,$$

für die horizontale Fortbewegung eines Kilogrammes um 1 m:

$$0.000157 \text{ g CO}_2$$

$$y = 0.00243 \text{ g CO}_2.$$

Was die Nachwirkung betrifft, fand Katzenstein, dass bei fast horizontalem Gang der nach dem Ende der Arbeit erscheinende gesteigerte Sauerstoffverbrauch bei langsamem Gehen bei 4 Versuchsindividuen zwischen 3.5 und 11.42 Procent, und bei schnellerem Gehen bei 3 Versuchspersonen zwischen 8.6 und 16.0 Procent von der während der Arbeit selbst hervortretenden Steigerung des Sauerstoffverbrauches betrug.

Beim Gehen bergauf betrug die nach dem Ende der Arbeit hervortretende Steigerung des Sauerstoffverbrauches 6.3 bis 13.2 Procent der während der Arbeit selbst hervortretenden Steigerung.

Während eines sechstägigen Hungerversuches an Breithaupt machten Zuntz und Curt Lehmann einige Arbeitsversuche mit dem Ergostaten Gärtner's. Die Versuche fanden nach der oben angegebenen Methode statt. Die Probenahme dauerte $2\frac{3}{4}$ bis 5 Minuten lang. Die Zunahme der Kohlensäureabgabe durch die Arbeit ist in der folgenden Tabelle zusammengestellt.¹

Tag	Zunahme der Kohlensäureauscheidung; Gramm		
	pro Kilogrammometer	pro Umdrehung	
Vor dem Hungern	0.00387	0.05544	
Erster Hungertag	0.00528	0.07473	Mittel aus 2 Beobacht.
Zweiter „	0.00415	0.06124	„
Fünfter „	0.00452	0.06450	„
Sechster „	0.00479	0.06824	
Erster Tag nach dem Hungern	0.00432	0.05710	Mittel aus 2 Beobacht.
Zweiter „ „ „	0.00300	0.03731	„
Dritter „ „ „	0.00596	0.07494	„

¹ Lehmann und Zuntz, *Arch. f. pathol. Anat.* Bd. CXXXI. Suppl., S. 92 folg. 1893.

Die pro Minute ausgeführte Arbeit variierte zwischen 266 und 367 Kilogrammometer. Bei allen Versuchen arbeitete Breithaupt am Apparat einige Minuten vor dem Beginn der Probenahme, damit die Nachwirkung der vorangegangenen Arbeitsminuten sich zu dem Gaswechsel der zur Probenahme benutzten Minuten addiren sollte und denselben annähernd um den Werth erhöhte, welcher der Nachwirkung dieser Arbeit entsprach.

In Bezug auf die Nachwirkung geben Zuntz und Lehmann an, dass dieselbe bei normaler Ernährung schon nach 7 Minuten vollständig vorübergegangen ist, dass sie aber während der späteren Hungertage beträchtlich länger dauert, so dass z. B. der Sauerstoffverbrauch am sechsten Hungertage $13\frac{1}{2}$ Minuten nach Schluss der Arbeit noch um 31 Procent des Ruhewerthes gesteigert war.

Aus der Tabelle geht ferner hervor, dass die Kohlensäureabgabe für dieselbe Arbeit beim Hungern grösser ist, als bei normaler Ernährung. Jedoch ist am dritten Tage nach dem Hungern die Steigerung der Kohlensäureabgabe durch die Arbeit grösser, als jeder der früheren Werthe.¹

§ 2. Eigene Versuche über die Kohlensäureabgabe bei der Muskelarbeit.

Unsere eigenen Beobachtungen über die Kohlensäureabgabe bei der Muskelarbeit beziehen sich theils auf den horizontalen Gang und auf Klettern an einer Leiter — also eine hauptsächlich mit den unteren Extremitäten ausgeführte Arbeit — theils auf Arbeit am Ergostaten Gärtner's oder an Fick's Dynamometer, d. h. eine Arbeit mit den oberen Extremitäten und dem Rücken.

Alle Versuche geschahen nach dem folgenden Schema.

Nachdem wir zuerst an unseren Versuchspersonen Versuche über die stündlichen Variationen der Kohlensäureabgabe bei möglichst vollständiger körperlicher Ruhe ausgeführt und dabei uns davon überzeugt hatten, dass während der Dauer von 5 Stunden nur verhältnissmässig geringe Variationen von Stunde zu Stunde vorkommen,² schritten wir zu den eigentlichen Versuchen über die Muskelarbeit.

Diese wurden etwa zu derselben Zeit des Tages (Vormittags) wie die Ruheversuche ausgeführt; die Versuchsperson hatte zu gewohnter

¹ Lehmann und Zuntz, a. a. O., S. 184—204.

² Vgl. oben, Abschnitt III, S. 114.

Zeit ihr Frühstück genossen und man konnte daher ziemlich überzeugt davon sein, dass ihre Kohlensäureabgabe, wenn nicht die Muskelarbeit stattgefunden hätte, im grossen Ganzen denselben Verlauf wie im Ruheversuch gezeigt hätte.

Bei den Arbeitsversuchen sass die Versuchsperson die erste Stunde ganz still. Bei den Gehversuchen wurde die zweite Stunde zum Gehen benutzt. Dabei wurden die Schritte vom Versuchsindividuum selbst gezählt, nachdem es sich gezeigt hatte, dass ein Schrittzähler, den wir zu unserer Verfügung hatten, keine zuverlässigen Resultate gab. Nach dem Gehen sass das Versuchsindividuum wieder eine Stunde (die dritte Stunde) still. Darauf kletterte das Versuchsindividuum während der vierten Stunde an einer hohen Leiter, die in der Respirationkammer stand. Das Versuchsindividuum zählte hierbei selbst die Zahl der Stufen, welche es während des Versuches erkletterte. Die Leiter hatte 12 Stufen. Die verticale Entfernung von der obersten Stufe bis zu dem Boden betrug 2.62 m . Die verticale Höhe jeder Stufe war also 0.218 m . Die Leiter war ziemlich steil: ihre Neigung gegen den Boden betrug etwa 64° . Während der fünften Stunde des Versuches sass die Versuchsperson wieder ganz still.

Bei den Versuchen am Ergostaten sass die Versuchsperson wie in den Gehversuchen während der 1., 3. und 5. Stunde ganz still, und arbeitete die 2. und 4. Stunde am Ergostaten.

Durch die Einschaltung der Arbeitsperioden zwischen je zwei gleich lange Ruheperioden erhielten wir bei jedem Arbeitsversuche für die stündliche Kohlensäureabgabe bei Ruhe 3 Werthe, zwischen welche die Bestimmungen der Kohlensäureabgabe während der Arbeit fielen. Durch einen Vergleich des Verlaufes der Kohlensäureabgabe während der drei Ruhestunden mit demjenigen, welchen die Kohlensäureabgabe bei den reinen Ruheversuchen zeigte, konnte man auch einen Ausdruck für die Grösse der Nachwirkung nach der Arbeit erhalten.

Bei unseren Versuchen hatten die Versuchsindividuen Gelegenheit, sich vollständig frei zu bewegen und die Arbeit brauchte nicht, wie bei den meisten früheren Versuchen, auf einige wenige Minuten beschränkt zu werden, sondern konnte eine ganze Stunde dauern.

A. Arbeitsversuche mit den unteren Extremitäten.

Versuch XLIV. 13. Februar 1894.

F. A. W., Fabrikarbeiter, geb. 19. Juli 1861 (siehe Versuch XLIII). Körpergewicht mit Kleidern vor dem Versuch 62.62 kg, nach dem Versuch 61.90 kg. Die 2. Stunde ging F. A. W. 5508 Schritte im Zimmer, die 4. Stunde kletterte er 126 mal die ganze Leiter hinauf und herab. Die dabei ausgeführte Arbeit (ohne das Herabsteigen) betrug $126 \times 2.62 \times 62.26 = 20553$ Kilogramm-meter. 1., 3. und 5. Stunde Ruhe. A = 100.4.

Zeit	Durch die Gasubrenge- messenes Luftvolumen cbm	Absolute Temperatur		Feuchtigkeitsdruck in der Respirationkammer mm	Kohlensäure pro Mille		Gramm		Barometer
		in den Gasuhren	in der Respi- rationskammer		beobachtet	correctirt	C	CO ₂	
10 ^h 15' Vorm.		289.7	292.3	3.4	0.520 0.516	0.516	8.0	29	735
11 ^h 15' "	3.20	289.7	292.2	5.3	0.680 0.672	0.671	18.4	67	736
12 ^h 15' Nachm.		289.7	292.1	5.9	1.086 1.040	1.080	5.8	21	737
1 ^h 15' "	3.31	289.7	292.0	6.1	1.128 1.136	1.123	35.8	131	739
2 ^h 15' "	3.35	289.7	292.0	7.7	1.828 1.840	1.815	8.2	30	740
3 ^h 15' "	3.34	289.7	291.5	8.1	1.952 1.952	1.931			741

Versuch XLVI. 17. Februar 1894.

F. A. W., Fabrikarbeiter (s. Versuch XLIV). Körpergewicht mit Kleidern vor dem Versuch 62.85 kg, nach dem Versuch 62.30 kg. Die 2. Stunde ging F. A. W. 5182 Schritte im Zimmer; die 4. Stunde kletterte er 101 mal die ganze Leiter hinauf und herab. Die mechanische Arbeit (ohne das Herabsteigen) betrug $101 \times 2.62 \times 62.58 = 16560$ Kilogramm-meter. Die 1., 3. und 5. Stunde Ruhe. A = 100.4.

11 ^h Vorm.		289.8	292.9	4.2	0.504 0.600	0.501	5.3	19	767
12 ^h Mittags	3.39	289.8	292.6	5.0	0.600 0.604	0.598	16.5	60	767
1 ^h Nachm.	3.50	289.8	292.0	5.7	0.920 0.908	0.907	5.9	22	767
2 ^h "	3.47	289.9	291.2	6.0	1.012 1.008	1.002	25.5	93	767
3 ^h "	3.46	289.9	290.8	7.0	1.480 1.488	1.470	6.6	24	767
4 ^h "	3.48	289.9	290.3	6.8	1.572	1.558			767

Versuch XXXIV. 18. Januar 1894.

G. J., Laboratoriumsdiener (s. Vers. XXXII). Körpergewicht mit Kleidern vor dem Versuch 78.20 kg, nach dem Versuch 77.73 kg. Die 2. Stunde ging G. J. im Zimmer; die Anzahl der Schritte kann nicht angegeben werden, weil der Schrittzähler keine zuverlässigen Angaben machte. Die 4. Stunde kletterte G. J. 118 mal 7 Stufen an der Leiter hinauf und herab. Die geleistete mechanische Arbeit betrug $118 \times 7 \times 0.218 \times 77.97 = 14040$ Kilogramm-meter. Die 1., 3. und 5. Stunde Ruhe. A = 100.4.

Zeit	Durch die Gasuhren ge- messenes Luftvolumen cbm	Absolute Temperatur		Feuchtigkeitsdruck in der Respirationkammer mm	Kohlensäure pro Mille		Gramm		Barometer
		in den Gasuhren	in der Respi- rationskammer		beobachtet	correctirt	C	CO ₂	
11 ^h Vorm.		290.2	293.3	6.9	0.500 I. 0.500 II.	0.495	9.7	36	748
12 ^h Mittags	4.62	290.2	293.4	6.9	0.688 I. 0.684 II.	0.680	13.3	49	748
1 ^h Nachm.	4.61	290.2	293.3	6.9	0.932 I. 0.940 II.	0.927	9.2	34	748
2 ^h "	4.66	290.2	293.4	7.0	1.092 I. 1.092 II.	1.082	25.4	93	748
3 ^h "	4.63	290.2	293.6	8.4	1.576 I. 1.564 II.	1.552	9.0	33	748
4 ^h "	4.72	290.2	293.4	8.6	1.700 I. 1.688 II.	1.674			748

Versuch XXXVII. 30. Januar 1894.

G. J., Laboratoriumsdiener (s. Vers. XXXIV). Körpergewicht mit Kleidern vor dem Versuch 78.00 kg, nach dem Versuch 77.53 kg. Die 2. Stunde ging G. J. im Zimmer; die Zahl der Schritte kann wegen desselben Uebelstandes wie im Versuch XXXIV nicht angegeben werden. Die 4. Stunde kletterte er 103 mal 7 Stufen an der Leiter hinauf und herab. Die mechanische Arbeit betrug $103 \times 7 \times 0.218 \times 77.77 = 12225$ Kilogramm-meter. Die 1., 3. und 5. Stunde Ruhe. A = 100.4.

11 ^h 15' Vorm.		290.1	290.6	5.5	0.488 I. 0.492 II.	0.486	9.1	33	752
12 ^h 15' Nachm.	5.26	290.1	291.2	5.9	0.676 I. 0.656 a. 0.644 b.	0.654	14.9	55	752
1 ^h 15' "	5.42	290.1	291.4	6.2	0.936 I. 0.934 II.	0.927	8.8	32	752
2 ^h 15' "	5.37	290.1	291.5	6.5	1.076 I. 1.076 II.	1.067	22.4	82	752
3 ^h 15' "	5.41	290.1	291.6	7.3	1.480 I. 1.480 II.	1.466	9.4	35	752
4 ^h 15' "	5.40	290.1	291.7	7.5	1.608 I. 1.604 II.	1.590			752

Versuch XXXVIII. 1. Februar 1894.

G. J., Laboratoriumsdiener (s. Versuch XXXIV). Körpergewicht mit Kleidern vor dem Versuch 78.25^{kg}, nach dem Versuch 77.70^{kg}. Die 2. Stunde ging G. J. 4321 Schritte im Zimmer; die 4. Stunde kletterte er 114 mal 7 Stufen an der Leiter hinauf und herab. Die mechanische Arbeit betrug $114 \times 7 \times 0.218 \times 77.98 = 13566$ Kilogramm-meter. Die 1., 3. und 5. Stunde Ruhe. $A = 100.4$.

Zeit	Durch die Gasbrenge- messenes Luftvolumen	Absolute Temperatur		Feuchtigkeitssdruck in der Respirationkammer	Kohlensäure pro Mille		Gramm		Barometer
		in den Gasuhren	in der Respi- rationskammer		beobachtet	correct	C	CO ₂	
	cbm			mm					
11 ^h Vorm.		289.7	292.8	6.0	0.468 I. 0.456 II.	0.458			745
	5.27						11.3	41	
12 ^h Mittags		289.7	292.9	6.8	0.684 I. 0.676 II.	0.674		17.6	64
	5.34								
1 ^h Nachm.		289.7	292.9	6.9	1.004 I. 1.020 II.	1.003		9.8	36
	5.30								
2 ^h "		289.7	292.7	7.0	1.176 I. 1.168 II.	1.161		23.5	86
	5.30								
3 ^h "		289.8	292.6	8.0	1.600 I. 1.600 II.	1.583		8.7	32
	5.40								
4 ^h "		289.8	292.8	8.2	1.700 I. 1.716 II.	1.688			745

Versuch XLVIII. 20. Februar 1894.

L. B., Bäcker (s. Versuch XLVII). Körpergewicht mit Kleidern vor dem Versuch 70.34^{kg}, nach dem Versuch 69.70^{kg}. Während des Versuches genoss L. B. 40^g Wasser. Die 2. Stunde ging L. B. 5428 Schritte; die 4. Stunde kletterte er 170 mal 7 Stufen an der Leiter hinauf und herab. Die mechanische Arbeit betrug $170 \times 7 \times 0.218 \times 70.02 = 18165$ Kilogramm-meter. Die 1., 3. und 5. Stunde Ruhe. $A = 100.4$.

10 ^h Vorm.		289.8	293.0	5.0	0.460 0.452	0.453			767
	3.27						7.8	29	
11 ^h "		289.8	292.9	5.6	0.612 0.596	0.600			767
	3.36						20.6	75	
12 ^h Mittags		289.8	292.6	6.4	0.996 1.000	0.990			767
	3.37						8.1	30	
1 ^h Nachm.		289.8	292.2	6.6	1.128 1.140	1.124			767
	3.35						31.2	115	
2 ^h "		289.8	292.0	8.2	1.716 1.724	1.702			767
	3.32						8.8	32	
3 ^h "		289.8	291.6	8.2	1.848 1.844	1.826			767

Versuch L. 26. Februar 1894.

L. B., Bäcker (s. Versuch XLVII). Körpergewicht mit Kleidern vor dem Versuch 69.85^{kg}, nach dem Versuch 69.00^{kg}. Die 2. Stunde ging L. B. 5920 Schritte im Zimmer; die 4. Stunde kletterte er 185 mal 7 Stufen an der Leiter hinauf und herab. Die mechanische Arbeit betrug $185 \times 7 \times 0.218 \times 69.43 = 19601$ Kilogramm-meter. Die 1., 3. und 5. Stunde Ruhe. $A = 100.4$.

Zeit	Durch die Gasbrenge- messenes Luftvolumen	Absolute Temperatur		Feuchtigkeitssdruck in der Respirationkammer	Kohlensäure pro Mille		Gramm		Barometer
		in den Gasuhren	in der Respi- rationskammer		beobachtet	correct	C	CO ₂	
	cbm			mm					
11 ^h Vorm.		290.0	294.1	5.6	0.484 0.476	0.476			738
	3.30						10.1	37	
12 ^h Mittags		290.0	294.1	6.5	0.680 0.684	0.676		15.8	58
	3.21								738
1 ^h Nachm.		290.0	294.0	7.7	1.000 0.992	0.986		13.8	51
	3.27								738
2 ^h "		290.0	293.8	7.9	1.256 1.260	1.245		32.0	118
	3.28								738
3 ^h "		290.0	293.7	9.5	1.888 1.888	1.864		8.2	30
	3.34								738
4 ^h "		290.0	293.6	9.7	2.008 2.004	1.980			738

Versuch XL. 3. Februar 1894.

F., Studirender (s. Versuch XXXIX). Körpergewicht mit Kleidern vor dem Versuch 68.77^{kg}, nach dem Versuch 68.07^{kg}. Die 2. Stunde ging F. 3000 Schritte im Zimmer; die 4. Stunde kletterte er 1450 Stufen an der Leiter hinauf und herab. Die mechanische Arbeit betrug $1450 \times 0.218 \times 68.42 = 21627$ Kilogramm-meter. Die 1., 3. und 5. Stunde Ruhe. $A = 100.4$.

11 ^h 15' Vorm.		290.2	294.0	6.1	0.448 0.444	0.442			743
	4.93						9.9	36	
12 ^h 15' Nachm.		290.2	293.9	6.4	0.640 0.640	0.634		13.6	50
	4.98								743
1 ^h 15' "		290.2	293.4	7.0	0.904 0.892	0.890		10.1	37
	4.89								743
2 ^h 15' "		290.2	293.1	7.1	1.076 1.076	1.065		32.0	118
	5.00								743
3 ^h 15' "		290.2	293.1	9.0	1.692 1.680	1.666		10.3	38
	5.06								743
4 ^h 15' "		290.2	292.9	9.4	1.832 1.824	1.805			743

Während der Ruhestunden, zwischen welchen die Arbeitsstunden eingeschaltet sind, bietet die Kohlensäureabgabe nur unerheblich grössere Variationen als bei den reinen Ruheversuchen dar. Wir können hieraus schliessen, dass die Nachwirkung einer Muskelarbeit von 1 Stunde Dauer so gering sei, dass sie sich während der folgenden Stunde nicht merkbar geltend macht.

Unter unseren Versuchen findet sich jedoch einer, der von dieser Regel eine Ausnahme bildet, nämlich Versuch L. In diesem steigt die Kohlensäureabgabe während der zweiten Versuchsstunde von 37 auf 58 g, ist aber während der dritten Stunde (Ruhe) 51 g. Wovon diese alleinstehende Nachwirkung bedingt ist, können wir nicht sagen. Sie erscheint nicht nach dem Klettern während der vierten Stunde desselben Versuches, auch nicht im Versuch XLVIII, welcher an derselben Versuchsperson ausgeführt ist.

Um einen Ausdruck dafür zu gewinnen, in welchem Umfang die Kohlensäureabgabe durch die Muskelarbeit gesteigert wird, haben wir, in Betracht der geringen oder gänzlich fehlenden Nachwirkung, welche während der Ruhestunden nachgewiesen werden konnte, als Ruhewerth der Kohlensäureabgabe das Mittel der drei Ruhestunden genommen und diesen mittleren Werth von den in den Arbeitsstunden gefundenen Werthen der Kohlensäureabgabe abgezogen. Im Versuch L, wo während der dritten Versuchsstunde eine starke Nachwirkung hervortrat, haben wir als Ausdruck der Kohlensäureabgabe in Ruhe das Mittel der ersten und der letzten Stunde genommen, und, um die ganze Zunahme der Kohlensäureabgabe, welche dem Gehen während der zweiten Versuchsstunde entspricht, zu finden, zu der während dieser Stunde hervortretenden Zunahme die während der dritten erscheinende addirt.

In dieser Weise haben wir die folgenden Ergebnisse erhalten:

Versuch	Kohlensäure pro Stunde; Gramm		
	Ruhe	Zunahme beim Gehen	Zunahme beim Klettern
XLIV. F. A. W.	27	40	104
XLVI. "	22	39	72
XXXIV. G. J.	34	15	59
XXXVII. "	33	21	53
XXXVIII. "	36	28	50
XLVIII. L. B.	30	45	84
L. "	34	41	84
XL. F.	37	13	80

Durch das Gehen hat also die stündliche Kohlensäureabgabe bei den verschiedenen Versuchen um 13 bis 45 g, und durch das Klettern um 50 bis 104 g zugenommen. Die grossen Differenzen der Zunahme sind, wie gleich nachgewiesen werden soll, in erster Linie von der verschieden grossen Arbeit bedingt, welche bei den verschiedenen Versuchen ausgeführt wurde.

Wir werden die Frage von der Quelle der Muskelkraft nicht hier näher erörtern, können jedoch nicht unterlassen, darauf hinzuweisen, wie die grosse Zunahme der Kohlensäureabgabe, welche bei einer Stunde lang ziemlich ununterbrochen stattfindenden Arbeit hervortritt, für die Richtigkeit der Anschauung, welche in der Verbrennung stickstofffreier Nahrungsstoffe die Quelle der Muskelarbeit sieht, kräftig spricht.

Denn wenn die Muskelarbeit, wie es von einigen Forschern noch angenommen wird, auf Kosten des Eiweisses stattfände, so würde diese starke Kohlensäureabgabe eine Eiweisszersetzung von einem ausserordentlich grossen Umfange voraussetzen, wie aus der folgenden kleinen Rechnung hervorgeht.

Das Eiweiss enthält auf 1 g N 3.28 g C; im Harn findet sich für 1 g N 0.67 g C. Also muss für jedes Gramm N, welches im Harn abgegeben wird, $3.28 - 0.67 = 2.61$ g C durch die Lungen abgegeben werden. Das heisst, wenn man annimmt, dass die Muskelarbeit auf Kosten des Eiweisses stattfindet, würde man die N-Menge dieses Eiweisses durch Division der durch die Lungen abgegebenen C-Menge mit 2.61 erhalten.

Was ergibt nun eine solche Berechnung?

Im Versuch XLIV betrug die durch Klettern bewirkte Zunahme der Kohlensäureabgabe 104 g, entsprechend 28.4 g C = 10.9 g N = 68.1 g Eiweiss.

Wenn also die in diesem Versuch hervortretende, durch Muskelarbeit bewirkte Zunahme der Kohlensäureabgabe durch die Verbrennung des Eiweisses entstanden wäre, so hätte die Eiweisszersetzung während dieser Arbeitsstunde um 68.1 g zunehmen müssen.

Dies ist aber unmöglich.

Gegen unsere Ueberlegung konnte geltend gemacht werden, dass bei der Arbeit zweierlei Prozesse in den Muskeln stattfinden, nämlich erstens die mechanische Leistung und zweitens die Wärmebildung, und dass jene auf Kosten des Eiweisses, diese auf Kosten der Stickstofffreien Nahrungsstoffe geschehe. Diese Einwendung scheint uns jedoch

nicht berechtigt zu sein, bis man nachgewiesen hat, dass die beiden betreffenden Prozesse im Muskel vollständig unabhängig von einander verlaufen. So lange dies nicht geschehen ist, dürfen wir wohl annehmen, dass Wärmebildung und mechanische Arbeit zwei neben einander verlaufende Erscheinungen der Muskelthätigkeit sind, und wir können vor allem nicht den Satz willkürlich aufstellen, dass der Muskel durch Zersetzung der Eiweissstoffe mechanische Arbeit leistet, und durch Verbrennung der stickstofffreien Nahrungsstoffe Wärme erzeugt.

Man könnte noch fragen, warum wir bei diesen Versuchen nur die Kohlensäureabgabe und nicht auch die durch die Nieren ausgeschiedene Stickstoffmenge bestimmt haben. Wir haben dies unterlassen, weil eine derartige Bestimmung für die Frage von der Quelle der Muskelkraft vollständig belanglos gewesen wäre. Denn auch wenn wir während der Versuchsdauer und mehrere Stunden nachher den Harn gesammelt hätten, so hätte man ja gegen die Ergebnisse die oft wiederholte Bemerkung machen können, dass der aus dem bei der Arbeit zersetzten Eiweiss entstammende Stickstoff nicht am Arbeitstage, sondern am folgenden Tage oder noch später vom Körper ausgeschieden sei.

Aus unseren Versuchen haben wir die Steigerung der Kohlensäureabgabe für jeden Schritt beim horizontalen Gang und für jede Arbeitseinheit (Kilogramm-meter) beim Klettern berechnet.

Die Gehversuche sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Versuch	Zahl der Schritte	CO ₂ -Zunahme; Gramm	CO ₂ -Zunahme pro Schritt; Gramm	CO ₂ -Zunahme pro Schritt und Kilogramm; Gramm
XLIV. F. A. W.	5508	40	0.00735	0.000118
XLVI. "	5182	39	0.00748	0.000118
XXXIV. G. J.	?	15	?	?
XXXVII. "	?	21	?	?
XXXVIII. "	4321	28	0.00649	0.000083
XLVIII. L. B.	5428	45	0.00836	0.000119
L. "	5920	41	0.00700	0.000101
XL. F.	3000	13	0.00424	0.000071

Durch diese Tabelle werden die beträchtlichen Differenzen hinsichtlich der durch das Gehen hervorgerufenen Zunahme der Kohlensäureabgabe erklärt: die Zahl der Schritte ebenso wie das Körpergewicht der Versuchspersonen hat innerhalb weiter Grenzen variirt. Wird die

Kohlensäurezunahme pro Schritt und Kilogramm Körpergewicht berechnet, so stellen sich die Variationen viel geringer dar, nämlich zwischen 0.000071 und 0.000119 g CO₂.

Das Mittel pro Schritt und Kilogramm Körpergewicht ist

$$0.000102 \text{ g CO}_2.$$

Die Wahrscheinlichkeitsrechnung ergibt die folgenden Fehlergrenzen:

Mittel	= 0.000102 g CO ₂
Mittlerer Fehler	= ±0.000021 g "
Wahrscheinlicher Fehler der einzelnen Beobachtung	= ±0.000014 g "
Wahrscheinlicher Fehler des Mittels	= ±0.000006 g "

Für die Arbeit, welche nöthig ist, um beim Gehen 1 kg des Körpers einen Schritt in horizontaler Richtung fortzubewegen, beträgt also die Zunahme der Kohlensäureabgabe

$$0.000102 \pm 0.000006 \text{ g.}$$

Der wahrscheinliche Fehler ist 5.88 Procent des Mittels.
Die Schrittlänge unserer Versuchsperson war

bei F. A. W.	0.680 m ¹
" G. J.	0.714 m
" L. B.	0.688 m
" F.	0.640 m

Die Zunahme der Kohlensäureabgabe für die horizontale Fortbewegung von 1 kg des Körpergewichtes um 1 m beträgt also

bei F. A. W.	0.000118 : 0.680 = 0.000174 g CO ₂
" G. J. (Versuch XXXVIII)	0.000083 : 0.714 = 0.000116 g "
" L. B. (Versuch XLVIII)	0.000119 : 0.688 = 0.000173 g "
" " (Versuch L)	0.000101 : 0.688 = 0.000147 g "
" F.	0.000071 : 0.640 = 0.000111 g "

Das Mittel dieser Versuche ist

$$0.000149 \text{ g CO}_2$$

¹ Nicht direct gemessen, sondern als Mittel der Werthe für die drei anderen Versuchspersonen berechnet.

- mit einem mittleren Fehler = ±0.000030
- „ einem wahrscheinlichen Fehler der einzelnen Beobachtung = ±0.000020
- „ einem wahrscheinlichen Fehler des Mittels = ±0.000008

Wir haben schon im ersten Paragraph aus den Versuchen Katzenstein's die Zunahme der Kohlensäureabgabe für die horizontale Fortbewegung von 1 kg des Körpergewichtes um 1 m berechnet. Für vier Versuchspersonen sind diese Werthe:

- 0.000174 g CO₂
- 0.000262 g „
- 0.000183 g „
- 0.000157 g „

Unser Mittelwerth ist also etwas niedriger als der kleinste Werth Katzenstein's. Sein Mittel ist 0.000194 g CO₂.

Die Ursache, warum unsere Werthe im Allgemeinen kleiner als diejenigen von Katzenstein sind, dürfte wesentlich darin zu suchen sein, dass unsere Versuchspersonen sich vollständig frei und unbehindert bewegten. Doch dürfen wir nicht die bedeutende Differenz vergessen, die entstehen muss, je nachdem hauptsächlich Fett oder hauptsächlich Kohlehydrate bei der Muskelarbeit verbrennen. Im ersten Falle muss natürlich die Zunahme der Kohlensäureabgabe für die Arbeitseinheit (hier die horizontale Fortbewegung eines Kilogrammes um 1 m) viel weniger als im zweiten zunehmen.

Aus diesem Gesichtspunkte möchten auch die in unseren Versuchen auftretenden individuellen Variationen theilweise ihre Erklärung finden. Hierzu kommt aber noch ein Umstand, dessen Bedeutung Katzenstein hervorgehoben hat, nämlich die verschieden grosse Muskelanstrengung, welche verschiedene Individuen beim Gehen leisten, indem einige dabei eine Menge unnütze begleitende Bewegungen ausführen, welche andere vermeiden.

Uebrigens sind die individuellen Variationen in Katzenstein's Versuchen etwas grösser als in den unsrigen. Bei Katzenstein verhält sich das Minimum der Kohlensäureabgabe pro Arbeitseinheit zum Maximum wie 100:167, bei unseren Versuchen wie 100:157.

Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung der Ergebnisse unserer Versuche beim Klettern.

Versuch	Arbeit; Kilogrammmer	CO ₂ -Zunahme; Gramm	CO ₂ -Zunahme pro Kilogrammmer Gramm
XLIV. F. A. W.	20553	104	0.00508
XLVI. „	16560	72	0.00432
XXXIV. G. J.	14040	59	0.00421
XXXVII. „	12225	53	0.00433
XXXVIII. „	13566	50	0.00368
XLVIII. L. B.	18165	84	0.00465
L. „	19601	84	0.00428
XL. F.	21627	80	0.00372

- Mittel = 0.00428
- Mittlerer Fehler = ±0.00046
- Wahrscheinlicher Fehler der einzelnen Beobachtung = ±0.00031
- Wahrscheinlicher Fehler des Mittels = ±0.00011

Für eine äussere nützliche Arbeit von 1 Kilogrammmer beim Klettern beträgt also die Zunahme der Kohlensäureabgabe

$$0.00428 \pm 0.00011 \text{ g CO}_2.$$

Der wahrscheinliche Fehler des Mittels ist hier nur 2.55 Procent des Mittelwerthes und also nicht unbedeutend kleiner als der wahrscheinliche Fehler bei den Gehversuchen am horizontalen Boden.

Auch in dieser Beziehung stimmen unsere Versuche mit denjenigen von Katzenstein überein, denn auch bei diesen variirt die Kohlensäureabgabe pro Kilogrammmer Steigarbeit bei verschiedenen Individuen weniger, als die Kohlensäurezunahme pro Arbeitseinheit beim horizontalen Gehen. Katzenstein erklärt, wie es uns scheint, ganz richtig, dieses Verhalten in der Weise, dass beim Gange bergauf die grössere Anforderung zu einer ökonomischeren Verwerthung der Kräfte führt.¹

Das Minimum der Kohlensäurezunahme pro Kilogrammmer verhält sich in unseren Versuchen zum Maximum wie 100:138, in denjenigen Katzenstein's wie 100:125. Bei Katzenstein sind also die Variationen etwas kleiner als bei uns.

Dagegen findet sich hinsichtlich der absoluten Werthe für die Zunahme der Kohlensäureabgabe pro Kilogrammmer zwischen Katzenstein's und unseren Versuchen eine sehr erhebliche Differenz. Diese

¹ Katzenstein, a. a. O., S. 368.

Zunahme ist bei Katzenstein im Mittel 0.00221, bei uns 0.00428 CO_2 , also fast doppelt so gross.

Diese Differenz liegt aber in der Natur der Sache. Wie aus § 1 hervorgeht, beziehen sich die Werthe Katzenstein's ausschliesslich auf die zur Hebung des Körpers beim Gehen bergauf verwendete Arbeit. Wir haben freilich unsere Bestimmungen in derselben Weise berechnet, bis jetzt aber nur diejenige Arbeit berücksichtigt, welche als äussere nützliche Arbeit hervortrat, d. h. zum Erheben des Körpers diente. Bei unseren Versuchen kommt aber noch die Arbeit hinzu, welche beim Herabsteigen geleistet wurde und in den Versuchen Katzenstein's seiner Versuchsanordnung gemäss nicht vorkam, sowie die Arbeit, welche die bei jedem Schritt stattfindenden Oscillationen des Schwerpunktes beanspruchen.

Da nun besonders das Herabsteigen jedenfalls einen gewissen Kraftaufwand erfordert, muss also der von uns berechnete Werth der einem Kilogramm Arbeit entsprechenden Kohlendioxidzunahme jedenfalls zu gross sein.

In Kilogramm Metern einen exacten Ausdruck für die beim Herabsteigen geleistete Arbeit zu finden, ist nicht möglich. Da aber, wie oben erwähnt, die zum Klettern benutzte Leiter sehr steil war, ist es vollkommen sicher, dass die Arbeit beim Herabsteigen ein sehr beträchtlicher Bruchtheil der beim Heraufsteigen selbst ausgeführten sein muss. Stellen wir uns vor, dass das Herabsteigen äusserst langsam stattfand, so dass durch Muskelanstrengung der Einwirkung der Schwere auf den Körper ein vollkommenes Gleichgewicht gehalten wurde, so hätte das Herabsteigen etwa dieselbe Arbeitsleistung als das Heraufsteigen beansprucht.

Nun können wir zwar nicht beweisen oder bestimmt behaupten, dass dies in unseren Versuchen der Fall gewesen; jedenfalls erhalten wir einen richtigeren Werth, wenn wir diese Annahme machen, als wenn wir nur die zum Erheben des Körpers nothwendige Arbeit berücksichtigen. Pro Kilogramm würde die Kohlendioxidabgabe also im Mittel um 0.00214 CO_2 zunehmen.

Zwischen diesen Werthen 0.00428 und 0.00214 CO_2 liegt die wirkliche Zunahme der Kohlendioxidabgabe, welche in unseren Versuchen der von den Muskeln thatsächlich ausgeführten Arbeit entspricht — wenn wir die zur Oscillationen des Schwerpunktes des Körpers erforderliche Arbeit nicht berücksichtigen.

Wenn wir annehmen, dass die Zunahme der Kohlendioxidabgabe bei der Arbeit durch Verbrennung von Kohlehydraten entstanden ist, so entspricht 1 g Kohlenstoff (= 3.667 g Kohlendioxid) in der exspirirten

Luft 9.50 grossen Wärmeeinheiten (WE). Wenn die gesammte potentielle Energie der Kohlehydrate zu mechanischer Arbeit verwandelt werden würde, so würde die Kohlendioxidzunahme pro Kilogramm Arbeit 0.0009081 g betragen. Die bei unseren Versuchen gefundenen Grenzwerte sind 0.00428 und 0.00214 g CO_2 . Im besten Falle würden also von der ganzen potentiellen Energie der verbrannten Kohlehydrate 42.4 Procent als mechanische Arbeit erscheinen.

Da wir jedoch in diesen Versuchen die von den Muskeln thatsächlich ausgeführte mechanische Arbeit nicht haben ermitteln können, stellten wir eine neue Versuchsreihe an, in welcher wir den Ergostaten Gärtner's als Arbeitswerkzeug benutzten.

B. Arbeitsversuche mit den oberen Extremitäten.

I. Versuche mit dem Gärtner'schen Ergostaten.

Der Gärtner'sche Ergostat besteht, wie bekannt, aus einem eisernen Rad, welches mittels einer Kurbel gedreht wird. Das Rad wird durch eine dasselbe umgebende Reihe von Holzklötzen gebremst und die Grösse des Widerstandes dadurch verändert, dass die Holzklötze mittels eines an einem Hebel angebrachten Laufgewichtes mehr oder weniger stark gegen das Rad gedrückt werden. Vor dem Beginn des Versuches müssen die Holzklötze mit Oel geschmiert werden, weil sonst die Reibung viel zu gross wird. Der Apparat trägt eine empirische Graduirung, welche in Kilogramm Metern die Arbeit anzeigt, welche eine Umdrehung des Rades bei verschiedener Grösse des Widerstandes repräsentirt.

Diese Graduirung war, bei dem von uns benutzten Exemplare wenigstens, lange nicht richtig, denn die von uns selbst gemachte Graduirung gab uns ganz andere Werthe. Diese Graduirung wurde in der folgenden Weise ausgeführt.

An der Axe des Rades brachten wir eine Kurbel an, die sich ganz leicht um dieselbe bewegte, und verbanden diese Kurbel mittels einer Federwaage mit der an der Axe festgeschraubten zum Apparat gehörigen Kurbel. Wenn bei einer gewissen Belastung ein Zug an der beweglichen Kurbel ausgeübt wurde, so gab die Federwaage an, wie gross die thatsächliche Spannung im Systeme war.

Es stellte sich nun heraus — wie man dies von vornherein erwarten konnte — dass die Spannung beim Drehen sehr verschieden war, je nachdem mehr oder weniger Oel zum Schmieren der Holzklötze benutzt wurde, und dass sie im Verlauf des Drehens ununterbrochen zunahm in dem Maass, als das Oel allmählich verbraucht wurde.

Bei unseren Versuchen war der Radius des Kurbelarmes 0.380 m lang, und also der Weg einer Umdrehung $2 \times 3.14 \times 0.380 = 2.386$ m, das Laufgewicht stand bei schwerer Belastung auf dem Punkte 20, bei schwacher auf dem Punkte 5 der Scala. Bei unserer Graduierung des Apparates erhielten wir nun die folgenden Werthe, wenn der Apparat vor dem Versuche geschmiert worden war:

Laufgewicht auf 20.

Umdrehung	Widerstand; Kilogramm	Arbeit pro Umdrehung; Kilogrammmeter
1—34	4.763	11.36
35—110	5.196	12.40
111—660	5.629	13.43
661—711	5.846	13.95
712—1712	6.062	14.46

Laufgewicht auf 5.

Umdrehung	Widerstand; Kilogramm	Arbeit pro Umdrehung; Kilogrammmeter
1—335	1.50	3.58
336—660	1.75	4.18
661—785	2.00	4.77
786—1360	2.25	5.37
1361—1510	2.50	5.97

Der Widerstand und die mechanische Arbeit steigen also im Verlauf eines Versuches sehr beträchtlich an. Da nun weiter der Widerstand von der zum Schmieren verwendeten Oelmenge in einem sehr hohen Grade abhängig ist, so folgt daraus, dass den mit diesem Apparate erhaltenen Werthen keine grössere Zuverlässigkeit zugesprochen werden kann.

Wir theilen jedoch, unter aller Reservation, die von uns mit diesem Apparat ausgeführten Versuche hier mit, da sie für die Frage von dem Einfluss der Muskelarbeit auf den Stoffverbrauch von einem gewissen, wenn auch verhältnissmässig geringen Interesse sind.

Versuch LIV. 21. September 1894.

G. J., Laboratoriumsdiener, geb. 2. Juni 1863. Körpergewicht mit Kleidern vor dem Versuch 77.5 kg, nach dem Versuch 76.85 kg. G. J. arbeitete die 2. Stunde an Gärtner's Ergostaten, fast unbelastet, und drehte das Rad 2446 mal. Die 4. Stunde war der Ergostat belastet; Zahl der Umdrehungen: 1671. Die Arbeit wurde in stehender Stellung ausgeführt. Die 1., 3. und 5. Stunde wurde sitzend zugebracht. A = 100.4.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen ebm	Absolute Temperatur		Feuchtigkeitsdruck in der Respirationskammer mm	Kohlensäure pro Mille		Gramm		Barometer
		in den Gasuhren	in der Respirationskammer		beobachtet	correct	C	CO ₂	
11 ^h 12' Vorm.		290.4	291.8	6.6	0.528 0.512	0.516			763
	6.58						10.5	39	
12 ^h 12' Nachm.		290.4	291.8	7.0	0.716 0.708	0.706			763
	6.52						23.1	85	
1 ^h 12' "		290.4	292.1	7.8	1.128 1.144	1.124			763
	6.54						9.1	38	
2 ^h 12' "		290.5	292.1	7.9	1.264 1.256	1.247			763
	6.62						34.8	128	
3 ^h 12' "		290.5	292.5	9.4	1.876 1.880	1.855			763
	6.82						9.5	35	
4 ^h 12' "		290.6	292.4	9.4	1.960	1.936			763

Versuch LV. 25. September 1894.

G. J., Laboratoriumsdiener. Körpergewicht mit Kleidern vor dem Versuch 76.88 kg, nach dem Versuch 76.32 kg. 1., 3. und 5. Stunde ruhend. 2. Stunde: Arbeit am Ergostaten, schwer belastet, 1600 Drehungen. 4. Stunde: Arbeit am Ergostaten, leicht belastet, 1802 Drehungen. Die Arbeit wurde in stehender Stellung ausgeführt. A = 100.4.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen ebm	Absolute Temperatur		Feuchtigkeitsdruck in der Respirationskammer mm	Kohlensäure pro Mille		Gramm		Barometer
		in den Gasuhren	in der Respirationskammer		beobachtet	correct	C	CO ₂	
10 ^h 10' Vorm.		289.7	289.0	6.4	0.480 0.448	0.460			763
	6.61						9.7	35	
11 ^h 10' "		289.7	289.4	6.7	0.636 0.644	0.634			761
	6.67						36.1	132	
12 ^h 10' Nachm.		289.7	290.2	8.0	1.316 1.308	1.298			761
	6.71						9.1	34	
1 ^h 10' "		289.7	290.2	8.2	1.416 1.432	1.409			762
	6.83						24.5	90	
2 ^h 10' "		289.7	290.6	8.7	1.828 1.820	1.803			762
	6.85						9.0	33	
3 ^h 10' "		289.7	290.6	8.9	1.896 1.904	1.878			762

Versuch LVI. 26. September 1894.

L. B., Bäcker, geb. 16. Mai 1868. Körpergewicht mit Kleidern vor dem Versuch 66.4^{kg}, nach dem Versuch 66.3^{kg}. Genoss während des Versuches 395^g Wasser. 1., 3. und 5. Stunde ruhend. 2. Stunde: Arbeit am Ergostaten bei leichter Belastung, 1760 Umdrehungen. 4. Stunde: Arbeit am Ergostaten bei schwerer Belastung, 1151 Umdrehungen. Die Arbeit wurde in stehender Stellung ausgeführt.

Zeit	Durch die Gasubrenge- messenes Luftvolumen		Absolute Temperatur		Feuchtigkeitsdruck in der Respirationkammer mm	Kohlensäure pro Mille		Gramm		Barometer
	cbm	in den Gasuhren	in der Respirationkammer	beobachtet		corrigirt	C	CO ₂		
									in den Gasuhren	
11 ^h 30' Vorm.		289.6	289.9	8.5 ¹	0.840	0.830			760	
12 ^h 30' Nachm.	6.82	289.6	290.0	8.5 ¹	0.924	0.914	6.1	22	760	
1 ^h 30' "	6.82	289.6	290.5	8.5 ¹	1.860	1.348		90	760	
2 ^h 30' "	6.81	289.6	290.5	8.5 ¹	1.356	1.436	7.5	28	760	
3 ^h 30' "	6.86	289.6	290.6	8.5 ¹	1.436	1.420	25.2	93	760	
4 ^h 30' "	6.91	289.6	290.6	8.5 ¹	1.852	1.839	9.4	35	760	

Versuch LVII. 27. September 1894.

L. B., Bäcker. Körpergewicht mit Kleidern vor dem Versuch 68.22^{kg}, nach dem Versuch 67.90^{kg}. Genoss während des Versuches 325^g Wasser. 1., 3. und 5. Stunde ruhend. 2. Stunde: Arbeit am schwer belasteten Ergostaten, 1673 Umdrehungen. 4. Stunde: Arbeit am leicht belasteten Ergostaten, 1793 Umdrehungen. Die Arbeit wurde in stehender Stellung ausgeführt. A = 100.4.

10 ^h 15' Vorm.		289.5	287.9	6.3	0.400	0.397			755
11 ^h 16' "	6.76	289.5	288.3	7.2	0.400	0.592	10.2	37	755
12 ^h 16' Nachm.	6.60	289.5	288.8	8.6	0.592	0.587		137	755
1 ^h 18' "	6.70	289.5	288.8	8.7	1.308	1.288	8.7	32	755
2 ^h 16' "	6.70	289.5	288.8	8.9	1.300	1.400	20.3	75	755
3 ^h 16' "	6.70	289.5	288.8	8.9	1.408	1.388	8.6	32	755
		289.5	288.8	8.9	1.724	1.708			755
		289.5	288.8	8.9	1.732	1.777			755

¹ Der Feuchtigkeitsdruck wurde bei diesem Versuch nicht beobachtet, sondern ist hier nur geschätzt.

Versuch LVIII. 29. September 1894.

E. T., Stud. med., geb. 25. Juli 1873. Körpergewicht mit Kleidern vor dem Versuch 77.30^{kg}, nach dem Versuch 76.97^{kg}. Genoss während des Versuches 140^g Wasser. 1., 3. und 5. Stunde ruhend. 2. Stunde: Arbeit am Ergostaten, leicht belastet, 1615 Umdrehungen. 4. Stunde: Arbeit am Ergostaten, schwer belastet, 1200 Umdrehungen. Die Arbeit wurde in sitzender Stellung ausgeführt. A = 100.4.

Zeit	Durch die Gasubrenge- messenes Luftvolumen		Absolute Temperatur		Feuchtigkeitsdruck in der Respirationkammer mm	Kohlensäure pro Mille		Gramm		Barometer
	cbm	in den Gasuhren	in der Respirationkammer	beobachtet		corrigirt	C	CO ₂		
									in den Gasuhren	
10 ^h 35' Vorm.		289.8	290.4	8.0	0.472	0.469			767	
11 ^h 35' "	6.82	289.8	290.6	8.3	0.476	0.635	9.3	34	767	
12 ^h 35' Nachm.	7.04	289.8	291.2	8.9	0.644	0.644	26.4	97	766	
1 ^h 35' "	7.07	289.8	291.2	8.9	1.128	1.118	8.3	30	766	
2 ^h 35' "	7.10	289.9	291.3	9.1	1.124	1.215	28.4	103	766	
3 ^h 35' "	7.12	289.9	291.6	9.9	1.236	1.694	8.7	32	766	
		289.9	291.6	10.1	1.224	1.765			766	
		289.9	291.6	10.1	1.720	1.780			766	

Versuch LIX. 2. October 1894.

O. O. Ä., Stud. med., 24 Jahre alt. Körpergewicht mit Kleidern vor dem Versuch 72.00^{kg}, nach dem Versuch 71.55^{kg}. Genoss während des Versuches 405^g Wasser. 1., 3. und 5. Stunde ruhend. 2. Stunde: Arbeit am schwer belasteten Ergostaten, 2000 Umdrehungen. 4. Stunde: Arbeit am leicht belasteten Ergostaten, 1500 Umdrehungen. Die Arbeit wurde in stehender Stellung ausgeführt. A = 100.4.

10 ^h 18' Vorm.									
11 ^h 20' "		290.9	290.7	7.8	0.636	0.630			772
12 ^h 20' Nachm.	6.84	290.9	291.5	9.7	0.636	1.477	46.0	169	772
1 ^h 20' "	6.90	290.9	291.7	10.2	1.504	1.569	8.9	33	772
2 ^h 20' "	6.93	290.9	291.7	10.9	1.488	1.885	21.1	77	770
3 ^h 20' "	6.94	290.9	291.7	10.9	1.592	1.964	8.3	30	770
		290.9	291.7	10.9	1.588	1.968			770

¹ Die Analyse der Luft um 10^h 18' Vorm. ist misslungen.

Versuch LX. 3. October 1894.

C. W. E., Stud. med., 24 Jahre alt. Körpergewicht mit Kleidern vor dem Versuch 73·10^{kg}, nach dem Versuch 72·67^{kg}. Genoss während des Versuches 110^g Wasser. 1., 3. und 5. Stunde ruhend. 2. Stunde: Arbeit am leicht belasteten Ergostaten, 1917 Umdrehungen; 4. Stunde: Arbeit am schwer belasteten Ergostaten, 1173 Umdrehungen. Die Arbeit wurde in stehender Stellung ausgeführt. A = 100·4.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen ebm	Absolute Temperatur		Feuchtigkeitsdruck in der Respirationkammer mm	Kohlensäure pro Mille		Gramm		Barometer
		in den Gasuhren	in der Respirationkammer		beobachtet	correct	C	CO ₂	
10 ^h 30' Vorm.	6·65	290·9	290·1	8·2	0·396 0·400	0·394	10·3	38	760
11 ^h 30' "		290·9	290·6	8·7	0·592 0·592	0·585			
12 ^h 30' Nachm.	6·73	290·9	291·0	8·3	1·132 1·136	1·122	8·2	30	760
1 ^h 30' "		290·9	291·1	9·9	1·248 1·244	1·228			
2 ^h 30' "	6·85	290·9	291·4	10·9	1·764 1·768	1·741	10·9	40	760
3 ^h 30' "		290·9	291·4	11·0	1·880	1·853			

In den vorstehenden Versuchsprotocollen haben wir nur die Zahl der Umdrehungen und ob schwere oder leichte Belastung angegeben. In der folgenden Tabelle haben wir unter Anwendung unserer Graduirung des Apparates (vgl. S. 188) die entsprechenden Arbeitswerthe approximativ berechnet, sowie auch die Zunahme der Kohlensäureabgabe während der Arbeitsstunden aufgenommen. Diese Zunahme ist in derselben Weise wie bei Gehversuchen berechnet, indem wir von der bei einer Arbeitsstunde gefundenen Kohlensäureabgabe das Mittel für die Ruhestunden in demselben Versuch abgezogen haben.

Versuch	Zahl der Umdrehungen	Belastung	Arbeit Kilogramm-meter	Zunahme der Kohlensäureabgabe; Gramm
LIV. G. J.	2446 1671	schwach stark	? ¹ 22101	49·0 92·0
LV. "	1600 1802	stark schwach	22239 9260	98·4 55·7
LVI. L. B.	1760 1151	schwach stark	9009 15746	61·7 64·7
LVII. "	1673 1793	stark schwach	23294 9206	103·8 41·0
LVIII. E. T.	1615 1200	schwach stark	8144 16455	64·6 70·9
LIX. O. O. Ä.	2000 1500	stark schwach	28023 7457	137·1 45·8
LX. C. W. E.	1917 1173	schwach stark	9946 15774	70·3 73·9

Wenn wir diese Zahlen in derselben Weise wie Katzenstein berechnen (vgl. S. 171), so erhalten wir die folgenden Werthe für die Zunahme der Kohlensäureabgabe für eine Umdrehung und für 1 Kilogramm-meter Arbeit.

Versuch	Zunahme der Kohlensäureabgabe; Gramm	
	für 1 Umdrehung	für 1 Kilogramm-meter Arbeit
LV. ² G. J.	0·01298	0·003489
LVI. L. B.	0·02244	0·002469
LVII. "	0·00010	0·004425
LVIII. E. T.	0·02892	0·002201
LIX. O. O. Ä.	0·00964	0·004204
LX. C. W. E.	0·02045	0·005126

Als Mittelwerthe finden wir

für 1 Umdrehung 0·01576^g CO₂
für 1 Kilogramm-meter Arbeit . . 0·003319^g CO₂.

¹ Bei dieser Arbeitsstunde war das Laufgewicht vom Hebel des Ergostaten ganz entfernt; für diese Lage des Laufgewichtes haben wir keine Graduirung des Apparates ausgeführt.

² Der Versuch LIV kann hier nicht aufgenommen werden, weil die Arbeitsgrösse bei schwacher Belastung nicht bestimmt worden ist.

Katzenstein's Werthe sind: für eine widerstandslose Umdrehung pro Kilogramm Körpergewicht eine Zunahme der Kohlensäureabgabe von 0.00028 (pro 70^{kg} = 0.0196 g), und für 1 Kilogramm Arbeit eine von 0.00317 g. Letzterer Werth ist mit unserem Werth fast identisch. Da wir jedoch kein grosses Zutrauen zu den absoluten Arbeitsbestimmungen mittels des Ergostaten haben, wollen wir auf diese Bestimmungen nicht weiter eingehen.

II. Versuche mit einem Dynamometer nach Fick.

Da die Versuche mit dem Gärtner'schen Ergostaten also gescheitert waren, machten wir neue Versuche mit einem von Fick vorgeschlagenen Dynamometer.¹ Um den Kranz des Rades im Ergostaten wurde ein Gurt geschnallt. In eine Oese am frei herabhängenden Ende des Gurtes wurde eine starke Spiralfeder eingehängt, deren anderes Ende mittels eines Hakens am Sockel der Maschine befestigt war.

Es ist nicht möglich, dieses Rad mit einer solchen Gleichmässigkeit zu drehen, dass die Spannung immer gleich gross wäre. Im Gegentheil zeigt sie bei jeder Umdrehung gar nicht unbedeutliche Variationen. Wir registrirten dieselben am Ludwig'schen Kymographion bei langsamem Gang mittels eines an der Feder befestigten festen Schreibhebels und ermittelten die mittlere Spannung durch planimetrische Messung der Curve. Fig. 35 stellt einen Theil einer

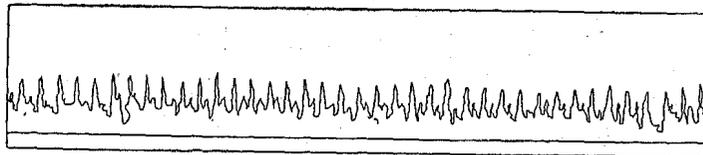


Fig. 35.

solchen Curve dar. Die Abscisse bezeichnet eine Spannung von 6.80^{kg}. Die einzelnen Umdrehungen sind an derselben sehr gut erkenntlich; übrigens wurden sie am Zählerwerk des Ergostaten direct abgelesen. Die Arbeit bei jeder Umdrehung ist das Product der mittleren Spannung durch den Umfang des Rades (= 0.818 m).

Diese Versuche wurden alle an einem und demselben Individuum, dem Laboratoriumsdiener G. J., ausgeführt und waren sonst im grossen Ganzen wie die früher mitgetheilten angeordnet.

¹ Fick, *Arch. f. d. ges. Physiol.* Bd. L, S. 189—191. 1891.

Versuch LXVIII. 24. November 1894.

G. J. Körpergewicht mit Kleidern vor dem Versuch 78.2^{kg}, nach dem Versuch 77.8^{kg}. 1. und 3. Stunde: Ruhe. 2. Stunde: Arbeit am Dynamometer, 1260 Umdrehungen; 4. Stunde: 1295 Umdrehungen. A = 100.4.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen ebm	Absolute Temperatur		Feuchtigkeitsdruck in der Respirationkammer mm	Kohlensäure pro Mille		Gramm		Barometer
		in den Gasuhren	in der Respirationkammer		beobachtet	correctirt	C	CO ₂	
10 ^h 25' Vorm.	6.81	289.3	287.8	6.6	0.440	0.434	9.8	36	769
					0.436				
11 ^h 25' "	6.98	289.3	288.0	7.1	0.620	0.610	20.7	76	769
					0.612				
12 ^h 25' Nachm.	6.97	289.3	288.5	9.9	0.988	0.979	8.9	33	769
					0.996				
1 ^h 25' "	6.88	289.3	288.6	10.2	1.116	1.102	19.0	70	771
					1.120				
2 ^h 25' "		289.3	288.6	10.5	1.432	1.406			771
					1.420				

Versuch LXIX. 28. November 1894.

G. J. Körpergewicht mit Kleidern vor dem Versuch 78.00^{kg}, nach dem Versuch 77.50^{kg}. 1., 3. und 5. Stunde: Ruhe. 2. Stunde: Arbeit am Dynamometer 1603 Umdrehungen; 4. Stunde: 1652 Umdrehungen. A = 100.4.

10 ^h 30' Vorm.	6.59	288.6	293.1	9.0	0.392	0.381	8.8	32	757
					0.380				
11 ^h 30' "	6.69	288.6	292.8	10.8	0.556	0.548	20.2	74	757
					0.556				
12 ^h 30' Nachm.	6.73	288.6	291.9	11.2	0.940	0.924	9.0	33	757
					0.936				
1 ^h 30' "	6.73	288.6	291.4	11.1	1.080	1.058	17.4	64	757
					1.068				
2 ^h 30' "	6.69	288.6	290.9	10.8	1.368	1.345	9.6	35	757
					1.360				
3 ^h 30' "		288.6	290.5	10.9	1.484	1.463			757

Versuch LXX. 1. December 1894.

G. J. 1., 3. und 5. Stunde: Ruhe. 2. Stunde: 1768 Umdrehungen am nicht belasteten Dynamometer; 4. Stunde: 1430 Umdrehungen am belasteten Dynamometer. A = 100·4.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen cbm	Absolute Temperatur		Feuchtigkeitsdruck in der Respirationsskammer mm	Kohlensäure pro Mille		Gramm		Barometer
		in den Gasuhren	in der Respirationsskammer		beobachtet	correct	C	CO ₂	
10 ^h 15' Vorm.	6·45	288·4	288·4	7·8	0·440 0·440	0·436	7·5	27	760
11 ^h 15' "	6·68	288·4	290·4	9·0	0·576 0·580	0·571	13·2	49	760
12 ^h 15' Nachm.	6·72	288·4	291·5	9·6	0·816 0·820	0·808	6·9	25	760
1 ^h 15' "	6·79	288·4	291·3	10·0	0·920 0·920	0·908	17·7	65	760
2 ^h 15' "	6·87	288·4	290·8	10·2	1·216 1·228	1·207	7·8	29	760
3 ^h 15' "		288·4	290·0	10·0	1·312 1·316	1·297			760

Versuch LXXI. 3. December 1894.

G. J. Körpergewicht mit Kleidern vor dem Versuch 77·30 kg. 1., 3. und 5. Stunde: Ruhe. 2. Stunde: Arbeit am belasteten Dynamometer, 1362 Umdrehungen; 4. Stunde: Arbeit am nicht belasteten Dynamometer, 1638 Umdrehungen. A = 100·4.

10 ^h 35' Vorm.	6·65	288·0	293·0	6·0	0·400 0·400	0·397	8·7	32	764
11 ^h 35' "	6·73	288·0	292·4	6·8	0·568 0·560	0·559	21·2	78	764
12 ^h 35' Nachm.	6·74	288·0	291·5	7·7	0·960 0·956	0·948	7·9	29	764
1 ^h 35' "	6·79	288·0	290·6	7·5	1·072 1·064	1·057	12·2	45	764
2 ^h 35' "	6·86	288·0	290·0	7·5	1·248 1·256	1·240	6·3	23	764
3 ^h 35' "		288·0	289·8	7·4	1·316 1·308	1·299			764

Versuch LXXII. 6. December 1894.

G. J. Körpergewicht mit Kleidern vor dem Versuch 78·2 kg. 1. Stunde: Ruhe. 2. Stunde: Arbeit am belasteten Dynamometer, 1317 Umdrehungen. A = 100·4.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen cbm	Absolute Temperatur		Feuchtigkeitsdruck in der Respirationsskammer mm	Kohlensäure pro Mille		Gramm		Barometer
		in den Gasuhren	in der Respirationsskammer		beobachtet	correct	C	CO ₂	
10 ^h 45' Vorm.	6·67	287·8	291·5	6·1	0·400 0·400	0·397	9·0	33	761
11 ^h 45' "	6·67	287·8	291·3	6·8	0·580 0·560	0·565	20·3	74	761
12 ^h 45' Nachm.		287·8	290·7	7·5	0·948 0·944	0·937			761

Versuch LXXIII. 10. December 1894.

G. J. Körpergewicht vor dem Versuch 77·84 kg. 1., 3. und 5. Stunde: Ruhe. 2. Stunde: Arbeit am nicht belasteten Dynamometer, 2400 Umdrehungen; 4. Stunde: Arbeit am belasteten Dynamometer, 1393 Umdrehungen. A = 100·4.

10 ^h 45' Vorm.		287·8	293·3	6·2	0·400 0·380	0·387	8·7	32	764
11 ^h 45' "	6·54	287·8	292·7	6·8	0·560 0·548	0·549	15·5	57	764
12 ^h 45' Nachm.	6·63	287·8	291·8	7·5	0·840 0·836	0·830	8·9	33	764
1 ^h 45' "	6·62	287·8	290·9	7·6	0·980 0·972	0·966	22·3	82	764
2 ^h 45' "	6·83	287·8	290·4	8·0	1·364 1·364	1·350	10·0	37	764
3 ^h 45' "		287·9	289·9	8·0	1·488	1·472			764

Versuch LXXIV. 13. December 1894.

G. J. Körpergewicht mit Kleidern vor dem Versuch 78.25 ^{kg}, nach dem Versuch 77.85 ^{kg}. 1., 3. und 5. Stunde: Ruhe. 2. Stunde: Arbeit am nicht belasteten Dynamometer, 2214 Umdrehungen; 4. Stunde: Arbeit am belasteten Dynamometer 1263 Umdrehungen. A = 100.4.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen cbm	Absolute Temperatur		Feuchtigkeitsdruck in der Respirationskammer mm	Kohlensäure pro Mille		Gramm		Barometer
		in den Gasuhren	in der Respirationskammer		beobachtet	correctirt	C	CO ₂	
10 ^h Vorm.	6.50	288.1	294.0	7.6	0.362 0.372	0.366	7.8	29	758
11 ^h „		288.1	294.1	8.2	0.520 0.520	0.514			
12 ^h Mittags	6.73	288.1	298.0	9.5	0.724	0.715	6.4	24	758
1 ^h Nachm.		288.2	292.0	9.6	0.808 0.832 0.820	0.810			
2 ^h „	6.74	288.4	291.5	9.8	1.120 1.116	1.104	8.3	30	758
3 ^h „		288.5	290.8	9.8	1.236 1.220	1.212			

Versuch LXXVIII. 5. Februar 1895.

G. J. Körpergewicht mit Kleidern vor dem Versuch 79.35 ^{kg}. 1., 3. und 5. Stunde: Ruhe. 2. und 4. Stunde: Arbeit am nicht belasteten Dynamometer, 2632 bzw. 2458 Umdrehungen. A = 100.4.

10 ^h 15' Vorm.	7.51	288.9	294.2	2.9	0.476 0.468	0.470	9.3	34	768
11 ^h 15' „		288.8	294.0	3.4	0.640	0.637			
12 ^h 15' Nachm.	6.20	288.8	292.8	4.0	0.880 0.892	0.881	8.0	29	768
1 ^h 15' „		288.9	291.6	4.3	1.012 1.000	1.000			
2 ^h 15' „	7.17	288.9	291.0	4.4	1.204 1.212	1.201	7.0	26	768
3 ^h 15' „		288.9	290.1	4.5	1.280 1.280	1.273			

Bei der Berechnung dieser Versuche sind wir etwas anders als bei derjenigen der früheren zuwege gegangen. Da es sich nämlich zeigte, dass bei einigen der hierher gehörigen Versuche die Kohlensäureabgabe während der letzten (5.) Ruhestunde grösser war, als während der zwei ersten Ruhestunden, haben wir als Ruhewerth das Mittel dieser zwei Stunden gewählt und den während der letzten Ruhestunde auftretenden Ueberschuss als Nachwirkung der Arbeit aufgefasst und also der bei der Arbeit erscheinenden Zunahme der Kohlensäureabgabe addirt.

Ferner ist es uns nicht möglich gewesen, die Zunahme der Kohlensäureabgabe pro widerstandslose Umdrehung des Rades und für 1 Kilogramm Arbeit in der früher nach Katzenstein geübten Weise zu berechnen, denn schon bei dem zweiten hierher gehörigen Versuche (Vers. LXIX) erhielten wir für jene einen negativen Werth. Wir haben daher die für eine widerstandslose Umdrehung stattfindende Kohlensäureabgabe direct berechnet, indem wir die bei der Arbeit am nicht belasteten Dynamometer erscheinende Zunahme der Kohlensäureabgabe durch die Zahl der Umdrehungen dividirt haben. Den solcher Art erhaltenen Werth für eine widerstandslose Umdrehung haben wir dann mit der Zahl der Umdrehungen bei belastetem Dynamometer multiplicirt und das Product von der dabei erhaltenen Kohlensäurezunahme abgezogen. Der Rest stellte dann die Kohlensäurezunahme für die Arbeit an und für sich dar.

Nicht in allen Versuchen ist aber Arbeit am nicht belasteten Dynamometer ausgeführt worden. Um auch die bei diesen Versuchen pro Kilogramm Arbeit stattfindende Zunahme der Kohlensäureabgabe zu finden, haben wir aus sämtlichen Bestimmungen der Kohlensäurezunahme pro widerstandslose Umdrehung das Mittel berechnet, und dieses Mittel in der eben beschriebenen Weise bei den betreffenden Versuchen zur Berechnung der Kohlensäurezunahme pro Kilogramm Arbeit benutzt.

Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung der Arbeitswerthe und der Kohlensäurezunahme bei den erwähnten Versuchen.

Versuch	Stunde	Zahl der Umdrehungen bei nicht belastetem Dynamometer	Zahl der Umdrehungen bei belastetem Dynamometer	Arbeit; Kilogramm-meter	Zunahme der Kohlensäureabgabe; Gramm
LXVIII.	2	—	1260	7585	41.7
	4	—	1295	7170	35.8

Versuch	Stunde	Zahl der Umdrehungen bei nicht belastetem Dynamometer	Zahl der Umdrehungen bei belastetem Dynamometer	Arbeit; Kilogramm-meter	Zunahme der Kohlensäureabgabe; Gramm
LXIX.	2	—	1608	6071	41.5
	4	—	1652	7037	33.7
LXX.	2	1768	—	—	22.2
	4	—	1430	6324	40.6
LXXI.	2	—	1362	7969	49.7
	4	1638	—	—	16.6
LXXII.	2	—	1317	8175	41.2
LXXIII.	2	2400	—	—	24.5
	4	—	1393	10529	54.2
LXXIV.	2	2214	—	—	14.3
	4	—	1263	9549	40.3
LXXVIII.	2	2632	—	—	20.9
	4	2458	—	—	18.1

Die Zunahme der Kohlensäureabgabe pro Umdrehung am nicht belasteten Dynamometer beträgt:

Versuch	CO ₂ pro Umdrehung; Gramm
LXX.	0.01256
LXXI.	0.01014
LXXIII.	0.01020
LXXIV.	0.00646
LXXVIII. I.	0.00794
„ II.	0.00736

Mittel sämtlicher Beobachtungen **0.00911^g CO₂**
 Mittlerer Fehler ±0.00226^g „
 Wahrscheinlicher Fehler der einzelnen Beobachtung ±0.00125^g „
 Wahrscheinlicher Fehler des Mittels ±0.00051^g „

Das Mittel pro Umdrehung ist hier kleiner als bei den sub I angeführten Versuchen, welches 0.01576^g CO₂ beträgt (S. 193). Die Ursache davon liegt theils darin, dass die Umdrehungen bei den hier vorliegenden Versuchen in sitzender Stellung, bei jenen in stehender Stellung ausgeführt wurden, theils wohl auch in der Berechnungs-

weise und in der Unsicherheit, mit welcher die Bestimmung der Arbeitswerthe bei den Versuchen sub I behaftet sind.

Die Zunahme der Kohlensäureabgabe pro Kilogramm-meter Arbeit beträgt nach der schon besprochenen Art der Berechnung:

Nummer	Versuch	Stunde	Zunahme der CO ₂ -Abgabe; Gramm	Zahl der Umdrehungen	Entsprechende CO ₂ -Abgabe; Gramm	Arbeit; Kilogramm-meter	CO ₂ -Abgabe für die Arbeit; Gramm	CO ₂ -Abgabe pro Kilogramm-meter Arbeit
1	LXVIII.	2	41.7	1260	11.5	7585	30.2	0.00398
2	„	4	35.3	1295	11.8	7170	23.5	0.00328
3	LXIX.	2	41.5	1603	14.6	6071	26.9	0.00443
4	„	4	33.7	1652	15.1	7037	18.6	0.00264
5	LXX.	4	40.6	1430	18.0	6324	22.6	0.00357
6	LXXI.	2	49.7	1362	13.8	7969	35.9	0.00451
7	LXXII.	2	41.2	1317	12.0	8175	29.2	0.00357
8	LXXIII.	4	54.2	1393	14.2	10529	40.0	0.00380
9	LXXIV.	4	40.3	1263	8.2	9549	32.1	0.00336

Mittel pro Kilogramm-meter Arbeit **0.00368**
 Mittlerer Fehler ± 0.00058
 Wahrscheinlicher Fehler der einzelnen Beobachtung ± 0.00039
 Wahrscheinlicher Fehler des Mittels ± 0.00013

Für eine äussere nützliche Arbeit von 1 Kilogramm-meter (bei Drehen einer Maschine) beträgt also die Zunahme der Kohlensäureabgabe

0.00368 ± 0.00013^g CO₂.

Der wahrscheinliche Fehler des Mittels ist hier 3.53 Procent des Mittelwerthes.

Da 1^g C aus Kohlehydraten 9.50 WE entsprechen, so ist der calorimetrische Werth von 1^g CO₂ aus Kohlehydraten = 2.591 WE und der entsprechende Arbeitswerth 1101.2 Kilogramm-meter. Also ist das Aequivalent für 1 Kilogramm-meter Arbeit = 0.0009081^g CO₂ aus Kohlehydraten.

Wenn wir also annehmen, dass die Arbeit in unseren Versuchen auf Kosten der Kohlehydrate ausgeführt worden ist, so ergeben die Versuche, dass 24.7 Procent der Energie zur mechanischen Arbeit verwendet worden sind.

Die von früheren Autoren und von uns an Menschen gefundenen Werthe für die Zunahme der Kohlensäureabgabe pro Kilogramm-meter Arbeit sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Nummer	CO ₂ pro Kilogramm-meter Arbeit; Gramm	Art der Arbeit	Autor
1	0.00086	?	Voit. ¹
2	0.00106	?	„ ¹
3	0.00532	Heben von Gewichten mit dem Arm.	Speck, 1866. ²
4	0.00719	do.	„ 1871. ³
5	0.00394—0.00493	do.	„ „ ⁴
6	0.00473	Drehung mit dem Arm.	„ 1885. ⁵
7	0.00571	do.	„ „ ⁶
8	0.00829	Heben von Gewichten.	Hanriot u. Richet. ⁷
9	0.00317	Arbeit an Gärtner's Ergostat. Mittel.	Katzenstein. ⁸
10	0.00221	Steigen. Mittel.	„ ⁹
11	0.00428	Klettern. Mittel aus 8 Versuchen.	Sondén u. Tigerstedt.
	[0.00214	do.]	„
12	0.00332	Arbeit an Gärtner's Ergostat. Mittel aus 8 Versuchen.	„
13	0.00368	Arbeit an Fick's Dynamometer. Mittel aus 9 Versuchen.	„

Die Werthe differiren also sehr erheblich. Wie aber Katzenstein hervorgehoben hat, sind die Zahlen von Speck wegen verschiedener Umstände, die bei Katzenstein nachzulesen sind,¹⁰ nicht dazu geeignet, das Verhältniss zwischen Arbeit und Kohlensäureabgabe festzustellen, so interessant diese Versuche sonst in mehreren anderen Hinsichten sind. Wir können daher von denselben hier absehen.

¹ Voit, *Handbuch d. Physiol.* Bd. VI, 1, S. 202. 1881.

² Speck, *Physiologie des menschlichen Athmens.* Leipzig 1892. S. 63.

³ Speck, *ibid.* S. 66—68. ⁴ Speck, *ibid.* S. 66—68.

⁵ Speck, *ibid.* S. 69 folg. ⁶ Speck, *ibid.* S. 80.

⁷ Hanriot und Richet, *Comptes rend. de l'académie des sciences.* Bd. CV, S. 78. 1887.

⁸ Katzenstein, a. a. O. S. 359, 360. Die Kohlensäureabgabe von uns berechnet.

⁹ Katzenstein, a. a. O. S. 367, 368. Die Kohlensäureabgabe von uns berechnet.

¹⁰ Katzenstein, a. a. O. S. 346, 350 folg.

Voit's Versuche sind ausserordentlich merkwürdig wegen der sehr geringen Zunahme der Kohlensäureabgabe pro Kilogramm-meter Arbeit, die dort hervortritt. Da 1 Kilogramm-meter Arbeit 0.0009081^s CO₂ aus Kohlehydraten und 0.000702^s CO₂ aus Fett entspricht, muss die Arbeit hier wesentlich auf Kosten des Fettes ausgeführt gewesen sein. Und dabei stellt sich heraus, dass 81.6 bzw. 66.2 Procent der Energie des Fettes als mechanische Arbeit hervorgetreten ist. Nur stehen diese Versuche ganz vereinzelt da und Voit hat leider, unseres Wissens, nie Näheres über diese Versuche mitgetheilt, wir wissen sogar nicht, welcher Art diese Arbeit war und in welcher Weise die absolute Arbeitsgrösse bestimmt wurde.

Im Gegensatz hierzu ist die Kohlensäurezunahme pro Kilogramm-meter bei den Versuchen von Hanriot und Richet eine sehr beträchtliche. Der Nutzeffect beträgt nur 11 Procent der Energie der Kohlehydrate. Wie Katzenstein glauben auch wir, dass die dynamische Arbeit des Hebens von Gewichten wahrscheinlich bei diesen Forschern ebenso wie bei Speck zu niedrig angesetzt worden ist, da ja ein mehr oder minder grosser Theil statischer Arbeit, die stets mitgeleistet wird, nicht berechnet werden kann.

Es bleiben also die Bestimmungen von Katzenstein und uns.

Aus schon hervorgehobenen Gründen glauben wir, dass der Werth 0.00428^s CO₂ für 1 Kilogramm-meter Arbeit beim Klettern viel zu gross ist und dass etwa die Hälfte davon, 0.00214^s CO₂, dem wirklichen Thatbestand beträchtlich näher kommt (vgl. S. 186). Dieser Werth stimmt aber mit dem von Katzenstein beim Steigen gefundenen, 0.00221^s CO₂, ausserordentlich gut überein.

Für 1 Kilogramm-meter Arbeit beim Drehen an Gärtner's Ergostat hat Katzenstein als Mittel 0.00317, wir 0.00332. Auch diese Werthe zeigen eine sehr gute Uebereinstimmung.

Gegen dieselben kann jedoch ganz bestimmt geltend gemacht werden, dass der Ergostat lange nicht erlaubt, die absolute Arbeitsgrösse mit genügender Genauigkeit zu bestimmen und diese Werthe sind daher mit einem gewissen Fehler behaftet.

Die Grösse dieses Fehlers kann allerdings nicht bestimmt angegeben werden. Bei unserer letzten Versuchsreihe aber, wo die Arbeit an Fick's Dynamometer ausgeführt wurde und genau berechnet werden konnte, ist die CO₂-Abgabe pro Kilogramm-meter Arbeit = 0.00368^s, und differirt also nicht besonders viel von den mittels des Ergostaten gefundenen Werthen, 0.00317 bzw. 0.00332. Wir können daher mit einer gewissen Berechtigung sagen, dass der Fehler bei den Versuchen am Ergostaten wahrscheinlich nicht viel grösser als etwa 10 Procent ist.

Da nun die Bestimmung der Arbeitsgrösse bei unseren Versuchen an Fick's Dynamometer am genauesten ist, da weiter die Anordnung der Versuche an und für sich kein Hinderniss für die normale Athmung u. s. w. des Versuchsindividuums erzeugte, und da endlich die ausgeführte Arbeit nicht übermässig gross war, so glauben wir den aus diesen Versuchen hervorgegangenen Werth zur Zeit als den genauesten Ausdruck für die Kohlensäurezunahme bei Dreharbeit mit den oberen Extremitäten hervorheben zu können.

Endlich wollen wir nicht unterlassen zu bemerken, dass sich bei unseren Versuchen wie bei denen von Katzenstein die Arbeit mit den unteren Extremitäten viel öconomischer als die mit den oberen Extremitäten ausgeführte gestaltet hat.

§ 3. Schlussfolgerungen.

Die Versuche dieses Abschnittes haben hauptsächlich Folgendes ergeben:

1. Die durch Muskelarbeit bewirkte Zunahme der Kohlensäureabgabe ist so gross, dass es nicht gut möglich sein kann, dass die Arbeit auf Kosten des Eiweisses stattfindet.
2. Für die Arbeit, welche nöthig ist, um beim Gehen 1^{kg} des Körpers einen Schritt in horizontaler Richtung fortzubewegen, beträgt die Zunahme der Kohlensäureabgabe 0.000102 ± 0.000006 g.
3. Die Zunahme der Kohlensäureabgabe für die horizontale Fortbewegung von 1^{kg} des Körpergewichtes um 1^m beträgt 0.000149 ± 0.000008 g.
4. Für eine äussere nützliche Arbeit von 1 Kilogramm-meter beim Klettern beträgt die Zunahme der Kohlensäureabgabe, wenn die Arbeit beim Herabsteigen derjenigen beim Aufsteigen gleich ist, 0.00214 ± 0.00006 g.
5. Die Ausnützung der Energie, wenn die Arbeit auf Kosten der Kohlehydrate stattfindet, beträgt dann 42.4 Procent.
6. Für eine äussere nützliche Arbeit von 1 Kilogramm-meter beim Drehen beträgt die Zunahme der Kohlensäureabgabe 0.00368 ± 0.00013 g.
7. Die Ausnützung der Energie, wenn die Arbeit auf Kosten der Kohlehydrate stattfindet, beträgt dann 24.7 Procent.

Fünfter Abschnitt.

Ueber den Gesamtstoffwechsel bei Menschen von verschiedenem Alter.

§ 1. Geschichtliche Einleitung.

Ueber den Gesamtstoffwechsel des gesunden Menschen besitzen wir allerdings eine grosse Anzahl Erfahrungen, welche sich auf Untersuchungen über, die von verschiedenen Individuen genossene Kost stützen. Dagegen liegen nur wenige Untersuchungen vor, bei welchen sowohl die festen und flüssigen als die gasförmigen Ausscheidungsproducte quantitativ bestimmt worden sind.

Die einzigen hierhergehörigen Untersuchungen sind im physiologischen Laboratorium in München mit dem Pettenkofer'schen Respirationsapparat ausgeführt.

Die ersten mit demselben gewonnenen Resultate wurden im Jahre 1862 von Ranke mitgetheilt. Die Analysen sind von Pettenkofer und Voit ausgeführt, die Versuche geschahen an Ranke selbst.

Diese Versuche bezweckten in erster Linie, den Einfluss festzustellen, welchen eine verschiedenartige Kost auf den Stoffwechsel des ruhenden Menschen ausübte. Ihre Resultate sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Nummer	Nahrung	N-Ausscheidung im Harn ¹	C pro 24 Stunden; Gramm	CO ₂ pro 24 Stunden; Gramm
1	Erster Hungertag ²	8.024	184.5	676.7
2	Erster Hungertag ²	10.4	180.8	663.2
3	Zweiter Hungertag	8.62	180.9	663.6
4	Fleischkost (1832 ³ Fleisch)	44.19	231.2	847.9
5	N-freie Kost	8.16	200.5	735.2
6	Gewöhnliche Kost	18.85	215.7	791.0
7	Maximale Kost	21.4	252.4	925.7 ³

Vier Jahre später veröffentlichten Pettenkofer und Voit ihre berühmte Beobachtungsreihe über den Gesamtstoffwechsel des Menschen.

¹ Als Harnstoff und Harnsäure bestimmt.

² Ranke genoss seine letzte Mahlzeit 19 Stunden vor dem Beginn des Versuches.

³ Ranke, *Arch. f. Anat. u. Physiol.* 1862. S. 311—380.

Die Versuche geschahen hauptsächlich an einer und derselben Person, einem 28-jährigen Mann von 70 ^{kg} Körpergewicht. Nur bei einem einzigen Versuch wurde eine andere Versuchsperson, ein 36-jähriger Mann von 53 ^{kg} Körpergewicht benutzt.

Die Versuche wurden theils bei Arbeit, theils bei Ruhe, theils bei Hunger, theils bei Zufuhr von Nahrung ausgeführt. Bei den Hungerversuchen hatte die Versuchsperson 12 Stunden vor dem Versuch ihre letzte Mahlzeit, eine Portion Beefsteak und $\frac{1}{2}$ Liter Bier, genossen. Im Versuch 2 (siehe unten), der nur eine Nacht dauerte, hatte die Versuchsperson kurz vorher Abendbrod gegessen.

Die Ergebnisse sind folgende:

Versuche über den Gesamtstoffwechsel des Menschen von Pettenkofer und Voit.

Versuchs- person	Nummer	C in der Respiration; Gramm	CO ₂ in der Respiration; Gramm	N im Harn; Gramm	C im Harn; Gramm
I.	1. Hunger, Ruhe	201.3	730	12.51	8.25
	2. do. (eine Nacht)	98.1	360	—	—
	3. do.	189.5	695	12.27	8.05
	4. Hunger, Arbeit	323.9	1187	11.76	9.30
	5. Mittlere Kost, Ruhe	248.6	912	17.35	12.60
	6. do. do.	257.2	943	16.32	12.60
	7. do. do.	253.7	930	17.36	12.60
	8. do. Arbeit	350.2	1285	17.26	12.40
	9. do. do.	309.2	1134	17.41	12.60
	10. Eiweissreiche Kost, Ruhe	273.6	1003	26.04	17.40
	11. do. do.	283.1	1038	32.82	22.00
	12. N-freie Kost, Ruhe	228.8	839	12.93	8.80
	13. do. do. (12 Stunden)	142.4	522	—	—
	14. do. do.	254.3	932	18.10	12.00
II.	15. Mittlere Kost, Ruhe	189.0	695	18.03	12.70 ¹

In der letzten Zeit hat Laves² mit dem Respirationsapparat von Hoppe-Seyler in Strassburg an einem und demselben Individuum, einem 30-jährigen Mann von 66 ^{kg} Körpergewicht, zwei 24-stündige Versuche über den respiratorischen Stoffwechsel bei gemischter Kost

¹ Pettenkofer und Voit, *Zeitschr. f. Biol.* Bd. II, S. 459—573. 1866.

² Laves, *Zeitschr. f. physiol. Chemie.* Bd. XIX, S. 590—602. 1894.

(der Harn wurde nicht berücksichtigt) ausgeführt. Die Ergebnisse sind folgende:

Versuch VI.¹ Kohlensäureabgabe: 344 Liter — Sauerstoffaufnahme:
409.5 Liter.

„ VII. Kohlensäureabgabe: 296 Liter — Sauerstoffaufnahme:
391 Liter.

§ 2. Eigene Untersuchungen.

Unseres Wissens liegen bis jetzt keine anderen, als die eben erwähnten Untersuchungen vor, bei welchen die Kohlensäureabgabe beim gesunden Menschen pro 24 Stunden quantitativ bestimmt worden ist. Die Anzahl von Versuchsindividuen beträgt also in Allem nur 4 — und zwar Männer von ungefähr demselben Alter.

Unsere eigenen Untersuchungen sind noch nicht sehr umfassend, sie erstrecken sich nur auf 13 verschiedene Individuen. Es liegt auch in unserer Absicht, wenn Zeit und Kräfte es erlauben, ein reichhaltigeres Versuchsmaterial zusammenzubringen und hätten wir vielleicht auch die bis jetzt ausgeführten Versuche noch nicht veröffentlichen sollen. Wir entschliessen uns jedoch dies zu thun, theils weil wir diese Versuche für das Studium der Variationen der Kohlensäureabgabe im Verlauf des Tages nöthig hatten (siehe Abschnitt III), theils weil das bis jetzt vorliegende hierhergehörige Material an und für sich so wenig umfangreich ist, dass die geringe Vermehrung, die wir nun darbieten können, jedenfalls nicht ganz ohne Interesse sein dürfte, besonders da sich unter unseren Versuchen auch solche vorfinden, welche an 11- bis 12-jährigen Kindern und an sehr alten Menschen ausgeführt worden sind.

In Bezug auf die Anordnung dieser Versuche weisen wir auf den III. Abschnitt hin. Die Versuche, welche wir hier zu erörtern haben, sind grösstentheils dort mitgetheilt. Dazu kommen noch 2 Versuche, bei welchen die Kohlensäureabgabe nicht in zweistündigen, sondern in sechsstündigen Perioden bestimmt wurde.

Wir theilen die Protocolle dieser Versuche auf Seite 208 mit.

Bei den hier zu besprechenden Versuchen haben wir also den in der Respiration abgegebenen Kohlenstoff und den im Harn ausgeschiedenen Stickstoff bestimmt. Dagegen haben wir es unterlassen, die Darmentleerungen zu analysieren, weil eine derartige Analyse kein

¹ Die Versuche I bis V dauerten nur 8 bis 10 Stunden.

Versuch LIII. 21. bis 22. Mai 1894.

G. J., Laboratoriamsdiener, geb. 2. Juni 1863. Körpergewicht ohne Kleider vor dem Versuch 75.70 kg, nach dem Versuch 75.46 kg. Während des Versuches genoss die Versuchsperson Frühstück um 9 Uhr 30 Min. Vorm. (belegte Brödchen 95 g, Ei 45 g, Sahne 50 g, Zucker 30 g, Weissbrod 115 g, Kaffee 440 g) und Mittagessen um 3 Uhr 45 Min. Nachm. (Brod 95 g, Fleisch und Kartoffeln 530 g, Kaffee 250 g, Zucker 30 g, Sahne 40 g) sowie 100 g Wasser. Ging zu Bett um 11 Uhr 30 Min. Nachm., schlief bis 5 Uhr Vorm., stand auf um 7 Uhr 50 Min. Vorm. A = 100.4.

Zeit	Durch die Gasuhren gemessenes Luftvolumen cbm	Absolute Temperatur		Feuchtigkeitsdruck in der Respirationskammer mm	Kohlensäure pro Mille		Gramm		Barometer
		in den Gasuhren	in der Respirationskammer		beobachtet	correct	C	CO ₂	
8 ^h Nachm.	16.83	291.8	293.1	6.0	0.460 0.448	0.450	49.6	182	758
2 ^h Vorm.	15.46	291.6	292.8	7.1	1.360 1.352	1.348	39.7	146	760
8 ^h Nachm.	15.59	291.4	294.6	8.6	1.936 1.940	1.916	58.4	214	762
2 ^h "	15.18	291.4	293.4	9.0	2.804 2.796	2.767	52.9	194	762
8 ^h "		291.4	292.5	8.7	3.440 3.440	3.401			764

Versuch LII. 9. bis 10. Mai 1894.

John S., Arzt, geb. 18. April 1863. Körpergewicht ohne Kleider vor dem Versuch 55.01 kg, nach dem Versuch 54.96 kg. Während des Versuches genoss die Versuchsperson Abendbrod um 9 Uhr 30 Min. Nachm. (belegte Brödchen 140 g, Weissbrod 22 g, Zucker 32 g, Thee 650 g), Frühstück (belegte Brödchen 120 g, Eier 77 g), Mittagessen (Braten mit Kartoffeln 285 g, Preiselbeeren 56 g, Confituren 144 g, Brod 153 g) sowie 510 g Wasser. Ging zu Bett um 12 Uhr Nachts, stand auf um 9 Uhr Vorm. A = 100.4.

7 ^h Nachm.	18.20	290.8	292.4	6.6	0.444 0.436	0.436	48.5	178	760
1 ^h Vorm.	18.49	291.0	292.6	8.0	1.316 1.316	1.302	37.6	138	760
7 ^h "	18.73	291.0	295.6	8.8	1.848 1.840	1.823	47.8	175	763
1 ^h Nachm.	17.77	291.2	295.0	10.4	2.468 2.480	2.440	55.2	202	762
7 ^h "		291.7	294.6	10.7	3.148 3.152	3.106			762

grösseres Interesse hat, wenn man nicht auch die genossene Nahrung analysirt und die derselben entsprechenden Fäces genau abgrenzt.

Die C-Menge im Harn haben wir aus dem Stickstoff nach der Relation N:C = 1:0.67 berechnet.¹

Wir stellen zuerst unsere Versuche nach dem Alter der Versuchspersonen geordnet in der folgenden Tabelle zusammen.

Die C- und N-Abgabe während 24 Stunden bei Menschen von verschiedenem Alter.

Nummer	Versuch	Geburtsjahr und Tag	Körpergewicht; Kilogramm	CO ₂ in der ausgeathmeten Luft; Gramm	C; Gramm			N im Harn; Gramm	Bemerkungen
					in der ausgeathmeten Luft	im Harn berechnet	Summa		
1	XXIX. K. T.	1882 17./X.	32.05	630	171.9	9.3	181.2	13.94 ²	Gew. Kost
2	XXX. L. K.	1882 6./I.	38.30	641	174.9	10.7	185.6	15.92 ²	do.
3	XLI. T. L.	1875 13./VIII.	57.00	686	187.0	8.6	195.6	12.86	Hunger (nur Frühstück)
4	XXXI. A. M.	1873 9./XI.	71.18	804	219.3	14.4	233.7	21.51	Hunger
5	LXXVII. E. T.	1873 25./VII.	72.70	795	216.8	13.2	230.0	19.64	Gew. Kost
6	XLIX. T. S.	1864 5./VII.	63.00	648	176.8	10.0	186.8	14.95	Hunger
7	LIII. G. J.	1863 2./VI.	75.58	786	200.6	9.2	209.8	13.70 ⁴	Gew. Kost
8	LII. J. S.	1863 18./IV.	54.99	693	189.1	11.5	200.6	17.20 ⁶	do.
9	XVII. J. E. J.	1862 22./III.	69.51	794	216.5	11.9	228.4	17.79	Hunger
10	XLII. J. W.	1850 26./VIII.	83.51	769	209.7	12.9	222.6	19.26 ⁰	do.
11	LXXVI. Å.	1826 31./V.	66.60	634	172.9	8.5	181.4	12.63 ⁷	Gew. Kost
12	XLV. H. R.	1815 1./VIII.	59.00	633	172.7	6.6	179.3	9.81 ⁸	do.
13	LI. L.	1809 31./X.	61.31	635	173.2	6.6	179.8	9.83 ⁹	do.

¹ Vgl. Pflüger, *Arch. f. d. ges. Physiol.* Bd. LI, S. 236 folg. 1891.

² 850 ccm Harn; Sp. Gew. = 1.023; Procent N = 1.64.

³ 773 ccm Harn; Sp. Gew. = 1.029; Procent N = 2.06.

⁴ 901 ccm Harn; Sp. Gew. = 1.025; Procent N = 1.52.

⁵ 956 ccm Harn; Sp. Gew. = 1.026; Procent N = 1.80.

⁶ 1041 ccm Harn; Sp. Gew. = 1.028; Procent N = 1.85.

⁷ 1435 ccm Harn; Sp. Gew. = 1.020; Procent N = 0.88.

⁸ Da, wie oben erwähnt, etwa 50 ccm Harn verloren gegangen sind, haben wir aus dem mittleren Procentgehalt des Harns an N die N-Menge in 50 ccm Harn (= 0.64 g N) berechnet und diese Quantität der direct gefundenen N-Menge (= 9.17 g) addirt.

⁹ Bei diesem Versuche wurden Harn und Fäces gar nicht getrennt, und in Folge dessen die gesammte N-Menge im Harn und Fäces bestimmt. Die Summe

Nach Pflüger's Standardzahl für das Eiweiss (Fleisch) N:C = 1:3.28, berechnen wir zuerst die Menge des abgegebenen Kohlenstoffes, die dem Eiweiss entstammt. Der Rest kommt aus N-freien Substanzen. Aus dem Stickstoff berechnen wir wieder das Eiweiss, unter Anwendung des Coefficienten 6.25. Wir erhalten dann die in der folgenden Tabelle verzeichneten Werthe.

Der Gesamtstoffwechsel bei Menschen von verschiedenem Alter.

Nummer	Versuch	Geburtsjahr und Tag	Körpergewicht; Kilogramm	Zersetztes Eiweiss; Gramm	C aus N-freier Substanz; Gramm	Bemerkungen
1	XXIX. K. T.	1882 17./X.	32.05	87	135.5	Gewöbnl. Kost
2	XXX. L. K.	1882 6./I.	38.30	100	133.4	do.
3	XLI. T. L.	1875 13./VIII.	57.00	81	153.4	Hunger (nur Frühstück)
4	XXXI. A. M.	1873 9./XI.	71.18	134	163.1	Hunger
5	LXXVII. E. T.	1873 25./VII.	72.70	123	165.6	Gewöbnl. Kost
6	XLIX. T. S.	1864 5./VII.	63.00	93	137.8	Hunger
7	LIII. G. J.	1863 2./VI.	75.58	86	164.9	Gewöbnl. Kost
8	LII. J. S.	1863 18./IV.	54.99	108	144.2	do.
9	XVII. J. E. J.	1862 22./III.	69.51	111	170.0	Hunger
10	XLII. J. W.	1850 26./VIII.	83.51	120	159.4	do.
11	LXXVI. Å.	1826 31./V.	66.60	79	140.0	Gewöbnl. Kost
12	XLV. H. R.	1815 1./VIII.	59.00	61	147.1	do.
13	LI. L.	1809 31./X.	61.30	61	147.6	do.

Wir besitzen leider keine bestimmten Gründe, um zu entscheiden, wie der aus N-freien Substanzen entstammende Kohlenstoff auf Fett und Kohlehydrate vertheilt gewesen ist. Mit Kenntniss von der Lebensweise unserer Versuchspersonen können wir jedoch mit aller Bestimmtheit behaupten, dass ein nicht unbeträchtlicher Theil dieses Kohlenstoffes aus Fett entstammt.

Die calorische Berechnung von Fett und Kohlenstoff ergibt, dass 1^g Kohlenstoff aus Fett einen Verbrennungswerth von 12.31 WE, und

beträgt 10.83^g; um einen mit den übrigen Versuchen vergleichbaren Werth zu erhalten, haben wir für die Fäces 1.00^g N abgezogen und den Rest 9.83 als Harnstickstoff angenommen.

1^g Kohlenstoff aus Kohlehydraten einen solchen von 9.50 WE hat.¹ Die Differenz ist etwa 30 Procent.

Es ist daher sehr wichtig zu wissen, wie viel Fett und wie viel Kohlehydrate im Körper zu Grunde gegangen sind.

Hultgren's und Landergren's Untersuchungen über die Ernährung bei frei gewählter Kost haben ergeben, dass bei den ökonomisch glücklicher gestellten Classen der Gesellschaft das Verhältniss zwischen Fett und Kohlehydraten in der Kost im Mittel wie 100:270 ist.² Wir glauben, dass wir der Wahrheit am nächsten kommen, wenn wir annehmen, dass bei unseren Versuchspersonen — welche wohl unter etwa denselben Ernährungsbedingungen wie die Versuchspersonen Hultgren's und Landergren's lebten — die zersetzte N-freie Substanz in derselben Proportion 100:270 auf Fett und Kohlehydrate vertheilt war. Die Vertheilung des Kohlenstoffes auf Fett und Kohlehydrate würde sich da wie rund 100:150 verhalten.

Unter dieser Voraussetzung erhalten wir die folgende

Vertheilung der Elemente der Ausgaben auf die verschiedenen organischen Nahrungsstoffe.

Nummer	Versuch	N; Gramm	C aus Fett; Gramm	C aus Kohlehydraten; Gramm
1	XXIX.	13.94	54.2	81.3
2	XXX.	15.92	53.4	80.0
3	XLI.	12.86	61.4	92.0
4	XXXI.	21.51	65.2	97.9
5	LXXVII.	19.64	66.2	99.4
6	XLIX.	14.95	55.1	82.7
7	LIII.	13.70	66.0	98.9
8	LII.	17.20	57.7	86.5
9	XVII.	17.79	68.0	102.0
10	XLII.	19.26	63.8	95.6
11	LXXVI.	12.63	56.0	84.0
12	XLV.	9.81	58.8	88.3
13	LI.	9.83	59.0	88.6

Diesen Zahlen entsprechen die folgenden Mengen von Eiweiss, Fett und Kohlehydraten.³

¹ Rubner, *Zeitschr. f. Biol.* 1885. Bd. XXI, S. 363.

² Hultgren und Landergren, *Hygiea Festband.* 1889. Nr. 11, S. 18. Auch in *Mittheilungen aus dem physiol. Laboratorium des Carolinischen medicochirurgischen Instituts in Stockholm.* 1889. Heft 6.

³ Unter Anwendung der Relationen C:Fett = 1:1.307, C:Kohlehydrate = 1:2.317.

Der Gesamtstoffwechsel bei Menschen von verschiedenem Alter.

Nummer	Versuch	Zersetztes Eiweiss; Gramm	Zersetztes Fett; Gramm	Zersetzte Kohlehydrate; Gramm
1	XXIX. K. T.	87	71	188
2	XXX. L. K.	100	70	185
3	XLI. T. L.	81	80	213
4	XXXI. A. M.	184	85	227
5	LXXVII. E. T.	123	87	230
6	XLIX. T. S.	93	72	192
7	LIII. G. J.	86	86	229
8	LII. J. S.	108	75	200
9	XVII. J. E. J.	111	89	236
10	XLII. J. W.	120	83	222
11	LXXVI. Å.	79	73	195
12	XLV. H. R.	61	77	205
13	LI. L.	61	77	205

Angenommen, dass 1^g N im Harn 25.98 WE, 1^g C aus Fett 12.31 WE und 1^g C aus Kohlehydraten 9.50 WE entsprechen, erhalten wir aus den vorstehenden Tabellen die folgenden Zahlen für den Gesamtstoffwechsel in WE.

Der Gesamtstoffwechsel in WE bei Menschen von verschiedenem Alter.

Nummer	Versuch	WE aus Eiweiss	WE aus Fett	WE aus Kohlehydrate	Summa WE	Bemerkungen.
1	XXIX. K. T.	362	667	772	1801	Gewönl. Kost
2	XXX. L. K.	414	657	760	1831	do.
3	XLI. T. L.	334	756	874	1964	Hunger (nur Frühstück)
4	XXXI. A. M.	559	803	930	2292	Hunger
5	LXXVII. E. T.	510	815	944	2269	Gewönl. Kost
6	XLIX. T. S.	389	678	786	1853	Hunger
7	LIII. G. J.	356	812	940	2108	Gewönl. Kost
8	LII. J. S.	447	710	822	1979	do.
9	XVII. J. E. J.	462	837	969	2268	Hunger
10	XLII. J. W.	501	785	908	2194	do.
11	LXXVI. Å.	328	689	798	1815	Gewönl. Kost
12	XLV. H. R.	255	724	839	1818	do.
13	LI. L.	255	726	842	1823	do.

Laut dieser Berechnung würden die verschiedenen Nahrungsstoffe in der folgenden Weise bei dem Gesamtstoffwechsel des Körpers theilnehmen.

Nummer	Versuch	Procent WE aus Eiweiss	Procent WE aus Fett	Procent WE aus Kohlehydraten	Procent WE aus Fett + Kohlehydraten
1	XXIX. K. T.	20.1	37.0	42.9	79.9
2	XXX. L. K.	22.6	35.9	41.5	77.4
3	XLI. T. L.	17.0	38.5	44.5	83.0
4	XXXI. A. M.	24.4	35.0	40.6	75.6
5	LXXVII. E. T.	22.5	35.9	41.6	77.5
6	XLIX. T. S.	21.0	36.6	42.4	79.0
7	LIII. G. J.	16.9	38.5	44.6	83.1
8	LII. J. S.	22.6	35.9	41.5	77.4
9	XVII. J. E. J.	20.4	36.9	42.7	79.6
10	XLII. J. W.	22.8	35.8	41.4	77.2
11	LXXVI. Å.	18.1	38.0	43.9	81.9
12	XLV. H. R.	14.0	39.8	46.2	86.0
13	LI. L.	14.0	39.8	46.2	86.0
Mittel aus 1—11		20.8	36.7	42.5	79.2
Das Mittel aus den Versuchen von Hultgren und Landergren ist		18.5	37.2	44.3	81.5

Gegen diese ganze Berechnung kann man jedoch einwenden, dass die Vertheilung des Kohlenstoffes auf Fett und Kohlehydrate willkürlich ist, und, vor Allem, dass der Körper beim Hunger ausser Eiweiss hauptsächlich Fett und nicht Kohlehydrate zersetzt. Hierbei muss man jedoch beachten, dass die Versuchsindividuen bei allen Hungerversuchen kurz vor dem Beginn des Versuches ihr Mittagessen genossen hatten und dass also ein wirklicher Hungerzustand sicherlich nicht früher eingetreten ist, als mindestens schon die Hälfte des Versuchstages zu Ende gewesen ist. Und ferner ist es gar nicht möglich, dass vor dem Ende des ersten Hungertages die totale Menge der im Körper aufgespeicherten Kohlehydrate zu Grunde gegangen sei. Wenn wir also annehmen, dass aller abgegebene Kohlenstoff, der bei den Hungerversuchen aus N-freien Substanzen entstammt, vom Fett herrührt, so erhalten wir unzweifelhaft einen zu hohen Werth. Wir haben jedoch unsere Hungerversuche (einschliesslich Versuch XLI) auch unter der Annahme berechnet, dass aller abgegebene Kohlenstoff aus N-freien Substanzen vom Fett abstammt, um solcher Art den maximalen Grenz-

werth des Gesamtstoffwechsels zu erhalten. Das Ergebniss ist folgendes:

Nummer	Versuch	WE aus Eiweiss	WE aus Fett	Summe
3	XLI. T. L.	334	1889	2223
4	XXXI. A. M.	559	2008	2567
6	XLIX. T. S.	389	1696	2085
8	XVII. J. E. J.	462	2093	2555
10	XLII. J. W.	501	1963	2464

Die Differenz zwischen den also gefundenen Werthen und den nach der früheren Berechnungsweise erhaltenen beträgt für diese fünf Versuche bezw. 13·2, 12·0, 12·5, 12·7 und 12·3 Procent des kleineren Zahlenwerthes.

Da aber die nach der letzten Berechnung gefundenen Werthe entschieden zu hoch sind, kann die Differenz zwischen dem von uns früher berechneten Werthe und der thatsächlichen Grösse des Stoffwechsels nicht höher als etwa 10 Procent geschätzt werden.

Wir bemerken, dass die Unsicherheit, mit welcher unsere Ergebnisse in dieser Hinsicht behaftet sind, allen ähnlichen Versuchen, wo nicht auch der O-Verbrauch und die Wasserabgabe direct bestimmt sind, d. h. allen bis jetzt vorliegenden Versuchen über den Gesamtstoffwechsel des Menschen während 24 Stunden,¹ gemeinsam ist.

Unsere Versuche, so wenig zahlreich sie auch sind, sind jedoch die einzigen, bei welchen man während 24 Stunden die Grösse der Stickstoff- und Kohlenstoffabgabe bei Menschen von verschiedenem Alter bestimmt hat. Es bietet daher ein gewisses Interesse, zu untersuchen, wie sich der Stoffwechsel bei verschiedenem Alter in seiner Abhängigkeit vom Körpergewicht und von der Körperoberfläche gestaltet.

Die Resultate einer derartigen Berechnung sind in der Tabelle auf Seite 215 enthalten.

Wir werden diese Versuche in zwei Gruppen ordnen, je nachdem die Versuchspersonen gewöhnliche Kost erhielten oder während des Versuches fasteten.

¹ Bei den in Hoppe-Seyler's Laboratorium ausgeführten Versuchen, wo auch der Sauerstoff direct bestimmt wurde, wurde dagegen weder Wasser noch Stickstoff bestimmt.

Der Gesamtstoffwechsel in WE pro Kilogramm Körpergewicht und Quadratmeter Körperoberfläche.

Nummer	Versuch	Geburtsjahr und Tag	Körper- gewicht; Kilogramm	WE pro Kilogramm	Körper- oberfläche; Quadratmeter	WE pro Quadratmeter	Bemerkungen
1	XXIX. K. T.	1882 17./X.	32·05	56·2	1·296	1390·5	Gew. Kost
2	XXX. L. K.	1882 6./I.	38·30	47·8	1·460	1254·1	do.
3	XXI. T. L.	1875 13./VIII.	57·00	34·4	1·903	1032·2	Hunger (nur Frühstück)
4	XXXI. A. M.	1878 9./XI.	71·18	32·2	2·207	1038·6	Hunger
5	LXXVII. E. T.	1873 25./VII.	72·70	31·2	2·238	1013·9	Gew. Kost
6	XLIX. T. S.	1864 5./VII.	63·00	29·4	1·984	934·0	Hunger
7	LIII. G. J.	1863 2./VI.	75·58	27·9	2·240	941·1	Gew. Kost
8	LII. J. S.	1863 18./IV.	54·99	36·0	1·812	1092·2	do.
9	XVII. J. E. J.	1862 22./III.	69·51	32·6	2·118	1071·0	Hunger
10	XLII. J. W.	1850 26./VIII.	83·51	26·3	2·394	916·5	do.
11	LXXVI. Å.	1826 31./V.	66·60	27·3	2·059	881·5	Gew. Kost
12	XLV. H. R.	1815 1./VIII.	59·00	30·8	1·899	957·4	do.
13	LI. L.	1809 31./X.	61·30	29·7	1·948	935·8	do.

A. Versuche bei gewöhnlicher Kost.

In Bezug auf diese Versuche müssen wir zuerst bemerken, dass wenn der in Versuch XLV stattfindende Verlust an Harn, den wir zu 50^{ccm} geschätzt haben (vgl. S. 156), in der That grösser gewesen wäre, dies die Folge gehabt hätte, dass der oben mitgetheilte Werth für den Gesamtstoffwechsel zu hoch und nicht zu niedrig geworden wäre. Denn 1^g N im Harn entspricht 0·67^g C im Harn. Für einen Verlust von 1^g N wird also die totale C-Menge um 0·67^g zu niedrig. Auf der anderen Seite enthält das Eiweiss pro Gramm N 3·28^g C, welches von der totalen Menge C abgezogen werden muss. Der Verlust von 1^g N bewirkt also, dass die aus N-freier Substanz entstammende C-Menge in der Respiration 3·28—0·27 = 2·61^g grösser wird. Nun repräsentirt aber 1^g N im Harn einen Verbrennungswerth von 25·98 WE, und 1^g C, nach der von uns angenommenen Relation (vgl. S. 211), 10·63 WE, was für 2·61^g C 27·75 WE beträgt. Die Zahl für den Gesamtstoffwechsel bei der Versuchsperson H. R. hat daher durch den betreffenden Uebelstand nicht zu klein werden können, vorausgesetzt, dass die verloren gegangene Harnmenge nicht geringer als 50^{ccm} gewesen ist. Ist sie aber geringer gewesen, so ist also die Zahl für den Gesamtstoffwechsel

etwas zu niedrig; auch dies bedeutet aber nicht viel, da die ganze N-Menge in 50^{cm} Harn nicht mehr als 0.67^g beträgt.

Zur besseren Uebersicht stellen wir die Versuche bei gewöhnlicher Kost in der folgenden Tabelle zusammen.

Nummer	Versuch	Geburtsjahr und Tag	Körpergewicht, Kilogramm	WE pro Kilogramm	WE pro Quadratmeter	WE pro Quadratmeter Mittel
1	XXIX. K. T.	1882 17./X.	32.05	56.2	1390.5	1322.3
2	XXX. L. K.	1882 6./I.	38.30	47.8	1254.1	
5	LXXVII. E. T.	1873 25./VII.	72.70	31.2	1013.9	
7	LIII. G. J.	1863 2./VI.	75.58	27.9	941.1	1015.7
8	LII. J. S.	1863 18./IV.	54.99	36.0	1092.2	
11	LXXVI. Å.	1826 31./V.	66.60	27.3	881.5	924.9
12	XLV. H. R.	1815 1./VIII.	59.00	30.8	957.4	
13	LI. L.	1809 31./X.	61.30	29.7	935.8	

Pro Kilogramm Körpergewicht hatten die beiden Knaben einen Stoffwechsel von 56.2 bzw. 47.8, im Mittel 52.0 WE, die jungen Leute zwischen 22 und 31 Jahren bzw. 31.2, 27.9 und 36.0, im Mittel 31.7 WE, und die alten Leute über 68 Jahre bzw. 27.3, 30.8, 29.7, im Mittel 29.3 WE. Wird letzteres Mittel = 100 gesetzt, so ist der Gesamtstoffwechsel bei den Knaben = 177 und bei den jungen Leuten = 108.

Auch innerhalb der verschiedenen Altersklassen tritt der Einfluss des Körpergewichtes deutlich hervor. So finden wir unter den Versuchen an jungen Leuten zwischen 22 und 31 Jahren, dass der Gesamtstoffwechsel bei Nr. 8 mit einem Körpergewicht von nur 55^{kg} pro Kilogramm 36 WE beträgt, während er bei den schwereren Individuen Nr. 5 und 7 31.2 und 27.9 WE ist, und auch unter diesen hat der schwerere Mann den kleineren Stoffwechsel pro Kilogramm Körpergewicht.

Pro Quadratmeter Körperoberfläche sind die Zahlen für den Gesamtstoffwechsel bei den drei Altersgruppen im Mittel bzw. 1322.3, 1015.7, 924.9. Wird der letztere Werth = 100 gesetzt, so ist der Gesamtstoffwechsel bei den Knaben = 143 und bei den jungen Leuten = 110.

Bei den im zweiten Abschnitt mitgetheilten Versuchen fanden wir bei zweistündigen Versuchen die folgende Relation zwischen der pro Quadratmeter Körperoberfläche berechneten Kohlensäureabgabe bei Individuen von verschiedenem Alter.

Männliche Individuen (S. 79). Weibliche Individuen (S. 91).

Nummer	Alter, Jahre	CO ₂ pro Stunde und Quadratmeter; Relationszahlen	Nummer	Alter, Jahre	CO ₂ pro Stunde und Quadratmeter; Relationszahlen
[1	7	184]	1	7	211
2	9	210	2	9	164
4	10	198	3	11	172
6	11	193	4	12	159
7	12	186	5	13	146
9	13	194	6	14	144
10	14	187	7	15	126
11	15	165	8	15	145
12	17	170	9	17	117
13	19	153	10	30	129
14	22	131	11	40-50	142
15	25	130	12	65	100
16	34	118			
17	44	117			
18	57	100			

Das Minimum der Kohlensäureabgabe während des Schlafes ist nach den im dritten Abschnitt zusammengestellten Versuchen pro Quadratmeter Körperoberfläche (S. 150).

Nummer	Alter, Jahre	CO ₂ pro 2 Stunden und 1 ^{cm} Körperoberfläche; Relationszahlen
1	11	154
2	12	150
3	18	113
4	20	121
5	22	105
6	30	106
7	32	115
8	43	98
9	69	100
10	78	
11	84	

In dem vorliegenden Abschnitt haben wir endlich für den Gesamtstoffwechsel pro Quadratmeter Körperoberfläche bei gewöhnlicher Kost die folgenden Relationszahlen gefunden:

Nummer	Alter, Jahre	WE pro 24 Stunden und 1 ^{qm} Körperoberfläche; Relationszahlen
1	11	150
2	12	136
5	22	110
7	31	102
8	31	118
11	69	100
12	78	
13	84	

Aus allen diesen Versuchen geht also mit der grössten Bestimmtheit hervor, dass das Lebensalter und ganz besonders die Zeit des Wachstums an und für sich einen sehr bedeutenden Einfluss auf die Grösse des Stoffwechsels ausübt und zwar so, dass sie pro Einheit der Körperoberfläche bei jugendlichen Individuen grösser ist als bei älteren.

Neuerdings hat Camerer den Satz ausgesprochen, dass der Nahrungsbedarf in jedem Alter im Grossen und Ganzen proportional der absoluten Grösse der Körperoberfläche ist.¹ Diesen Satz leitet er aus Beobachtungen über die von Kindern verschiedenen Alters genossene Nahrung her. Sehen wir aber nach, was seine eigenen Tabellen darthun, so werden wir finden, dass sie im Gegentheil vom zweiten Lebensjahre an mit unseren Ergebnissen ausserordentlich gut übereinstimmen, wie es aus dem folgenden Auszug aus der Tabelle XLV Camerer's hervorgeht.

Knaben.			Mädchen.		
Nr.	Alter, Jahre	WE pro Quadratmeter Körperoberfläche	Nr.	Alter, Jahre	WE pro Quadratmeter Körperoberfläche
1	5—6	1680	1	2—4	1470
2	7—10	1440	2	5—7	1460
3	11—14	1250	3	8—10	1390
4	15—16	1220	4	11—14	1330
5	17—18	1200	5	15—18	930
			6	21—24	1150

¹ Camerer, *Der Stoffwechsel des Kindes*. Tübingen 1894. S. 109.

Hier findet sich nur eine einzige Ausnahme von der Regel, nämlich Mädchen Nr. 5, was aber dadurch leicht erklärlich ist, dass, wie Camerer selbst angiebt, die Nahrungszufuhr der Mädchen in diesem Alter geradezu ungenügend war.¹

Dagegen zeigen die Energiemengen pro Quadratmeter Körperoberfläche bei Kindern im ersten Lebensjahre beträchtliche Schwankungen und überhaupt gar keinen regelmässigen Verlauf, wie aus der folgenden Zusammenstellung nach Camerer² ersichtlich ist.

Nummer	Alter, Wochen	WE pro Quadratmeter Körperoberfläche	Nummer	Alter, Wochen	WE pro Quadratmeter Körperoberfläche
1	$\frac{3}{7}$	800	7	14	1330
2	1	900	8	20	1270
3	2	1020	9	40	1660
4	4	1190	10	52	1810
5	7	1420	11	59	1390
6	10	1380			

Der Gesamtstoffwechsel pro Quadratmeter Körperoberfläche steigt von der Geburt bis zur 7. Woche (Nr. 1 bis 5) regelmässig von 800 bis auf 1420 WE an. Dann folgt bis zur 20. Woche incl. eine Abnahme auf 1270 WE, darnach erscheint wieder, als das Kind Kuhmilch bekommt, eine Steigerung bis zum Ende des ersten Lebensjahres (1810 WE), welche ihrerseits, bei Ernährung mit gemischter Kost, von einer Abnahme (1390 WE in der 59. Woche) gefolgt war.

Man kann ja von vornherein nicht behaupten, dass diese Variationen lauter Zufälligkeiten sind, wie schwierig auch eine befriedigende Erklärung derselben erscheint. Jedenfalls erlauben sie aber nicht die von Camerer formulierte Schlussfolgerung, dass der Nahrungsbedarf im Grossen und Ganzen der absoluten Grösse der Körperoberfläche proportional ist.

¹ Camerer, a. a. O., S. 63.

² Camerer, a. a. O., S. 108.

B. Versuche bei Hunger.

Diese Versuche sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Nummer	Versuch	Geburtsjahr und Tag	Körper- gewicht; Kilogramm	WE pro Kilogramm	WE pro Quadratmeter
3	XLI. T. L.	1875 13./VIII.	57.00	34.4	1032.2
4	XXXI. A. M.	1873 9./XI.	71.18	32.2	1038.6
6	XLIX. T. S.	1864 5./VII.	63.00	29.4	934.0
9	XVII. J. E. J.	1862 22./III.	69.51	32.6	1071.0
10	XLII. J. W.	1850 26./VIII.	88.51	26.3	916.5

Von diesen Versuchen muss wohl Nr. 3 (Versuch XLI) ausgeschlossen werden, weil die Versuchsperson während des Versuches Frühstück genoss. Die vier übrigen Versuche ergeben pro Kilogramm Körpergewicht im Maximum 32.2, im Minimum 26.3 WE, und pro Quadratmeter Körperoberfläche im Maximum 1038.6, im Minimum 916.5 WE.

Auch bei diesen Versuchen finden wir eine Andeutung von dem Einfluss des Lebensalters auf den Stoffwechsel. Sowohl pro Kilogramm Körpergewicht, als pro Quadratmeter Körperoberfläche nimmt in den Versuchen XXXI, XLIX und XLII der Gesamtstoffwechsel ab, und zwar so, dass sich derselbe pro Kilogramm Körpergewicht wie 122:111:100 und pro Quadratmeter Körperoberfläche wie 114:102:100 verhält.

Der Versuch XVII (Nr. 9) bildet von dieser Regel eine Ausnahme. Die Ursache davon liegt aber ziemlich klar: bei diesem Versuche war die Versuchsperson entschieden in einer bedeutend stärkeren körperlichen Bewegung, als dies bei den übrigen Versuchen der Fall war.

§ 3. Zusammenstellung unserer Ergebnisse mit früheren Beobachtungen.

Wir erlauben uns zum Schluss einen Vergleich zwischen unseren Beobachtungen und den Ergebnissen früherer Erfahrungen über den Gesamtstoffwechsel des erwachsenen Menschen zu machen.

Auf Grund der vorliegenden Untersuchungen über die bei freigelegter Kost und verschieden strenger Arbeit genossene Nahrung hat der eine von uns vor einigen Jahren die folgende Tabelle ent-

worfen, in welcher die Netto-Kraftzufuhr (= dem Gesamtstoffwechsel) unter der Annahme berechnet worden ist, dass von dem Wärmewerth der eingenommenen Nahrung 90 Procent im Darne ausgenützt worden sind.

Nummer	Charakteristik	Eiweiss; Gramm	Fett; Gramm	Kohle- hydrate; Gramm	Gesamte Kraftzufuhr WE	
					Brutto	Netto (10% Abzug)
1	Voit, Minimalbedarf	85	30	300	1868	1681
2	Gruppe A, Minimalbedarf	67	28	377	2064	1858
3	„ B,	84	56	399	2483	2235
4	„ I, Leichte Arbeit	88	39	512	2825	2538
5	Voit, mittlerer Arbeiter	118	56	500	3055	2749
6	Gruppe II, mittlere Arbeit	130	64	520	3257	2932
7	Voit, Soldat bei Manöver	135	80	500	3348	3013
8	Voit, Soldat im Felde	145	100	500	3575	3218
9	Gruppe III, strenge Arbeit	141	71	677	4020	3618
10	Gruppe IV, angestrenzte Arbeit	167	89	774	4685	4218

Unsere Resultate betreffend den Gesamtstoffwechsel bei alten Individuen, 1815 bis 1823 WE, fallen mit den sub Nr. 1 und 2 in der vorstehenden Tabelle aufgenommenen Zahlen für den Minimalbedarf sehr nahe zusammen. Dasselbe gilt auch von der Eiweissumsetzung, 61, 61 bzw. 79, im Mittel 67^g, welche unter der Annahme, dass der Stickstoff der genossenen Nahrung mit einem Verlust von 20 Procent im Darne ausgenutzt wird, im Mittel einer Zufuhr von 84^g Eiweiss entspricht.

Alle drei alten Leute, welche sich mit grosser Liebenswürdigkeit zu unserer Disposition gestellt hatten, waren für ihr Alter sehr rüstig und in allen Hinsichten normal. Die Nahrung stand ihnen in beliebiger Quantität zur Verfügung. Die in der Tabelle sub 1 und 2 aufgenommenen Werthe für den Minimalbedarf bei alten, nicht arbeitenden Menschen gewinnen durch unsere Beobachtungen eine, wie es uns scheint, wichtige Bestätigung.

Die Werthe für den Gesamtstoffwechsel bei unseren Hungerversuchen — bzw. 1964, 2292, 1853, 2268, 2194, Mittel 2114 WE — entsprechen am nächsten der Nettokraftzufuhr bei Nr. 3 (Gruppe B) in der vorstehenden Tabelle. Während der ganzen Versuchsdauer

¹ Tigerstedt, *Grundsatter för utspisningen i allmänna anstalter*. Stockholm 1891. S. 99.

ist aber kein wirklicher Hungerzustand bei unseren Versuchspersonen eingetreten. Die Versuchsergebnisse dürfen daher als Ausdruck für den Gesamtstoffwechsel bei körperlicher Ruhe bei gut nutrirten männlichen Individuen aufgefasst werden. Bei denselben erreicht der Stoffwechsel nicht denjenigen eines mittleren Arbeiters, er sinkt aber, was bemerkenswerth genug erscheint, nicht tiefer herab, als dass er etwa dem Stoffwechsel bei zahlreichen Fabrikarbeitern, Erdarbeitern in mehreren Ländern, u. s. w. entspricht.¹

Es ist schon früher mehrmals hervorgehoben worden, dass diese Arbeiter keinen „mittleren Arbeiter“ im Sinne Voit's darstellen. Dies wird durch unsere Erfahrungen bestätigt, die ja zeigen, dass nichtarbeitende Individuen im Alter zwischen 20 und 44 Jahren beim Fasten einen etwa gleich grossen Stoffwechsel wie die betreffenden Arbeiter haben.

Die Menge des zersetzten Eiweisses hält sich bei den Hungerversuchen sehr hoch und schwankt zwischen 81 und 134 g; im Mittel beträgt sie 108 g. Wenn wir bedenken, wie die Eiweisszersetzung vor Allem von der Eiweisszufuhr abhängt, sowie dass die N-Ausscheidung im Verlauf des Hungertages im grossen Ganzen abgenommen hat, so können wir es nicht vermeiden, hierin einen Ausdruck dafür zu finden, dass unsere Versuchsindividuen bei frei gewählter Kost in der Regel ziemlich grosse Mengen von Eiweiss zu geniessen pflegen.

Der Gesamtstoffwechsel der Knaben ist, wie schon bemerkt, sehr gross, ebenso gross wie derjenige der alten Versuchspersonen und nur wenig geringer als der Gesamtstoffwechsel bei einem hungernden 30jährigen Mann (Versuch XLIX). Auch ist die Eiweisszersetzung sehr beträchtlich: 87 bezw. 100 g. Wir glauben, dass wir uns nicht irren, wenn wir auch dieses als einen Ausdruck für die kräftige Lebens-thätigkeit des jungen Körpers auffassen, und hoffen einmal die Gelegenheit zu finden, dieser Frage an der Hand zahlreicherer Versuche näher treten zu können.

Die drei Erwachsenen im Alter zwischen 21 und 31 Jahren, welche während des Versuches ihre gewöhnliche Kost genossen, hatten einen Gesamtstoffwechsel von bezw. 2269, 2108 und 1979, im Mittel 2119 WE. Der Stoffwechsel war also hier im Mittel fast ebenso gross,

¹ Die Beobachtungen, welche dem sub 3 (Gruppe B) ausgeführten Mittelwerthe zu Grunde liegen, beziehen sich auf einen Maler in Leipzig (untersucht von Meinert), einen Mechaniker in München (untersucht von Forster), Seidenweber in Coventry, Handschuharbeiter in Yeovil, Weber in Derbyshire (untersucht von Simon).

wie bei den Hungerversuchen, welche ja alle an männlichen Individuen von etwa demselben Alter ausgeführt wurden. Auch die Eiweisszersetzung ist mit derjenigen in den Hungerversuchen fast identisch (im Mittel 106 g). Wir brauchen also hier nicht dasjenige zu wiederholen, was wir betreffs unserer Hungerer schon bemerkt haben.

Unser verhältnissmässig geringes Material erlaubt uns natürlich nicht, die Frage von dem thatsächlichen Bedarf des Menschen an Eiweiss eingehend zu erörtern. Wir können jedoch nicht umhin, hervorzuheben, wie auch unsere Erfahrungen dafür sprechen, dass der menschliche Körper, wenn die Gelegenheit dazu geboten wird, in der That dahin strebt, einen recht grossen Eiweissumsatz zu erreichen.

Uebrigens dürfen wir nicht unterlassen zu erwähnen, dass der aus unseren Versuchen an männlichen Individuen im Alter zwischen 20 und 44 Jahren hervorgehende Mittelwerth für die Eiweisszersetzung mit demjenigen, welchen Hultgren und Landergren bei ihrer Untersuchung über den Stoffwechsel bei frei gewählter Kost bei 6 Individuen in etwa derselben ökonomischen Stellung wie diejenige unserer Versuchspersonen mitgetheilt haben,¹ eine sehr gute Uebereinstimmung zeigt.

Bei den betreffenden Versuchen wurde der Harn während wenigstens 8 Tagen gesammelt und die dort eingehende N-Menge täglich bestimmt. Die aus der N-Menge berechnete Zersetzung von Eiweiss im Körper betrug im Mittel pro Tag

beim Versuch	I.	102 g	—	Anzahl der Beobachtungstage	16
„	II.	77 g	„	„	8
„	III.	113 g	„	„	10
„	IV.	120 g	„	„	10
„	V.	144 g	„	„	8
„	VI.	120 g	„	„	8
	Mittel	113 g			

¹ Hultgren und Landergren, a. a. O., S. 34.

² Dieselbe Versuchsperson wie diejenige in unserem Versuch XLIX; der betreffende Versuch wurde November 1888 ausgeführt.

Erklärung der Tafeln.

(Taf. I—V.)

- Tafel I. Querdurchschnitt der Respirationskammer und des Apparatenzimmers.
„ II. Längendurchschnitt des Apparatenzimmers.
„ III. Längendurchschnitt der Respirationskammer.
„ IV. Grundplan der Respirationskammer und des Apparatenzimmers.
„ V. Fig. 1. Schema der Leitungen für die Probenahme der ausventilirt
Luft.
„ 2. Der Apparat zur Analyse der Kohlensäure.

Bemerkungen.

1) Betreffs der Versuchsprotocolle muss noch bemerkt werden, dass da, wo die zusammengehörigen Analysen der Kohlensäure mit I und II bezeichnet sind, die eine Probe direct aus der Röhrenleitung, die andere aus dem Behälter (*g*, s. Seite 15) genommen ist. Wenn zwei oder mehrere Analysen mit *a*, *b*, *c* oder gar nicht näher bezeichnet sind, so sind die betreffenden Proben sämmtlich aus dem Behälter genommen.

2) In den ersten zwei Bogen ist der Cubikmeter an mehreren Stellen mit **km** statt **cbm** bezeichnet worden.

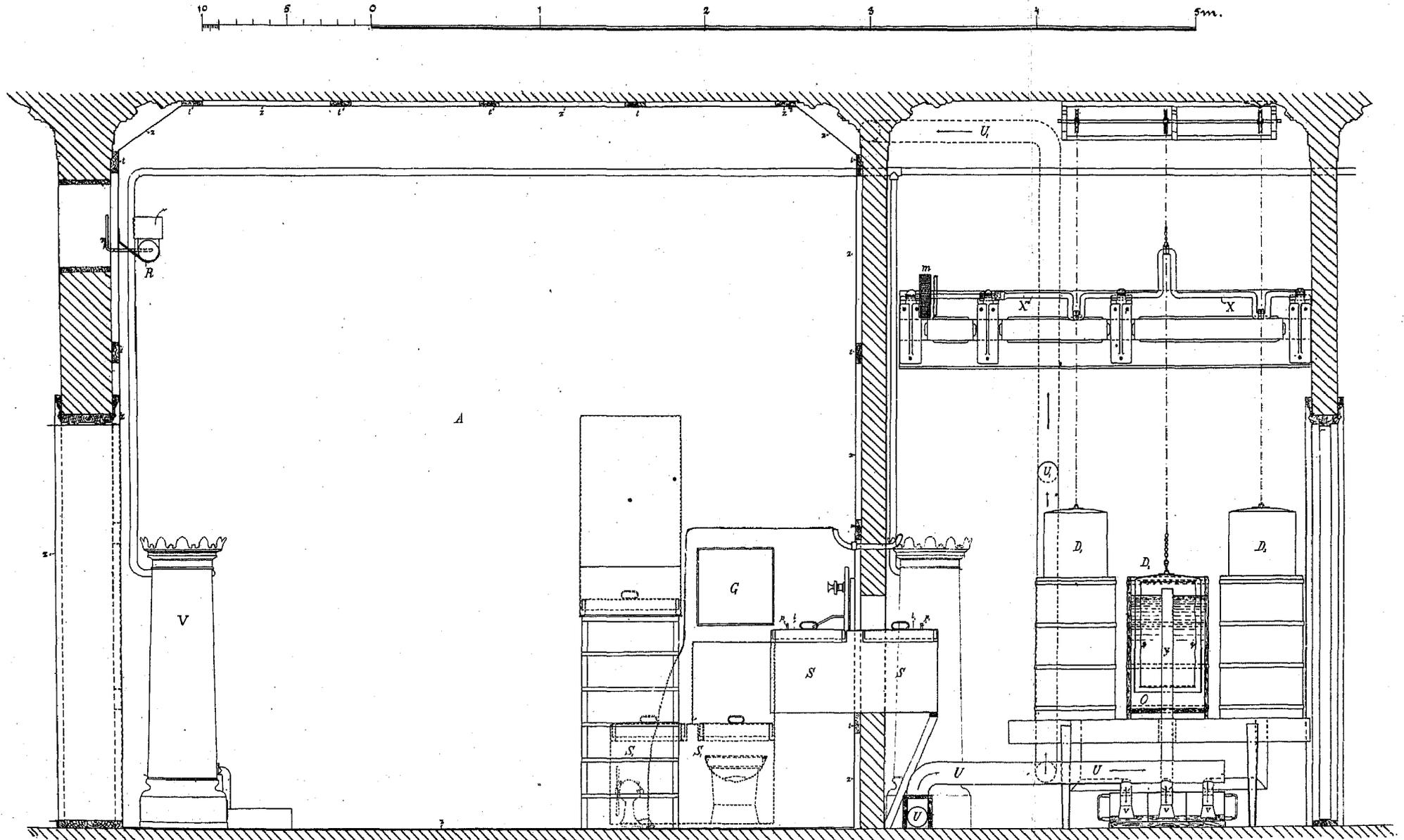
Berichtigungen.

S. 107. Im Versuch XXXII sollen die CO₂-Analysen mit I, II bezeichnet werden.

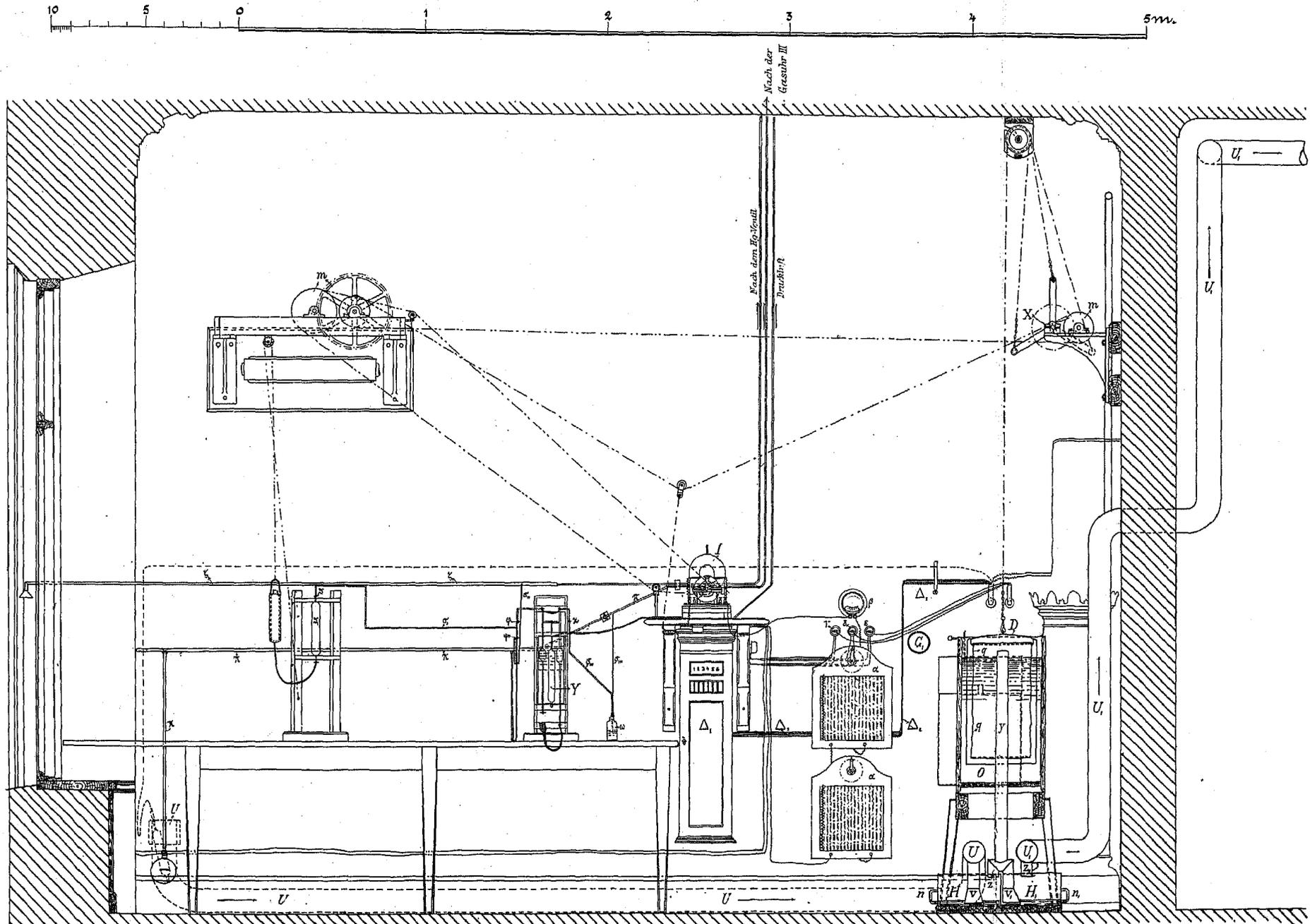
S. 124. Das Körpergewicht der Versuchsperson T. S. betrug vor dem Versuch 63·74^{kg}, nach dem Versuch 62·26^{kg}.

S. 125. Das Körpergewicht der Versuchsperson J. E. J. betrug nach dem Versuch 68·69^{kg}.

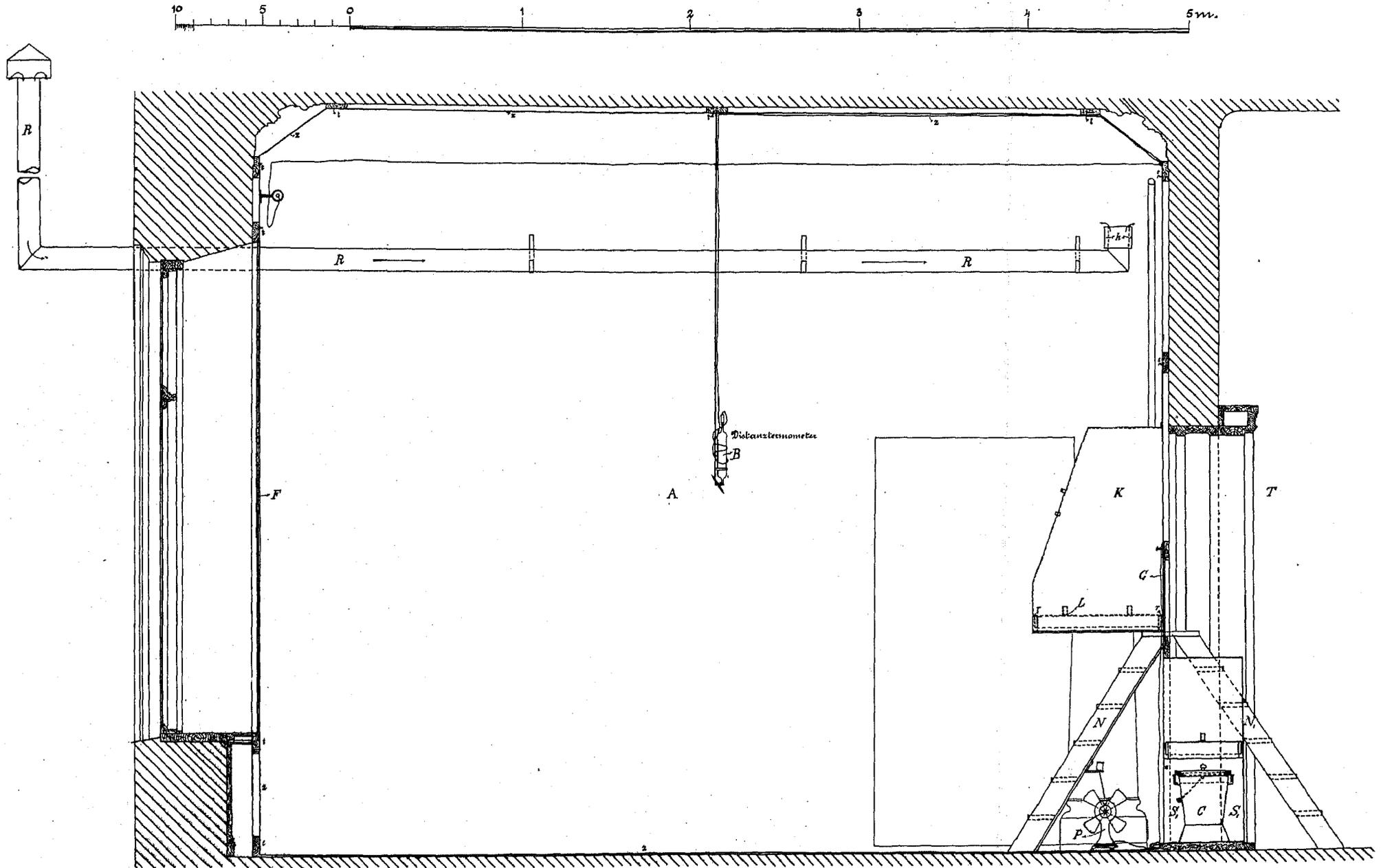
Respirationsapparat.



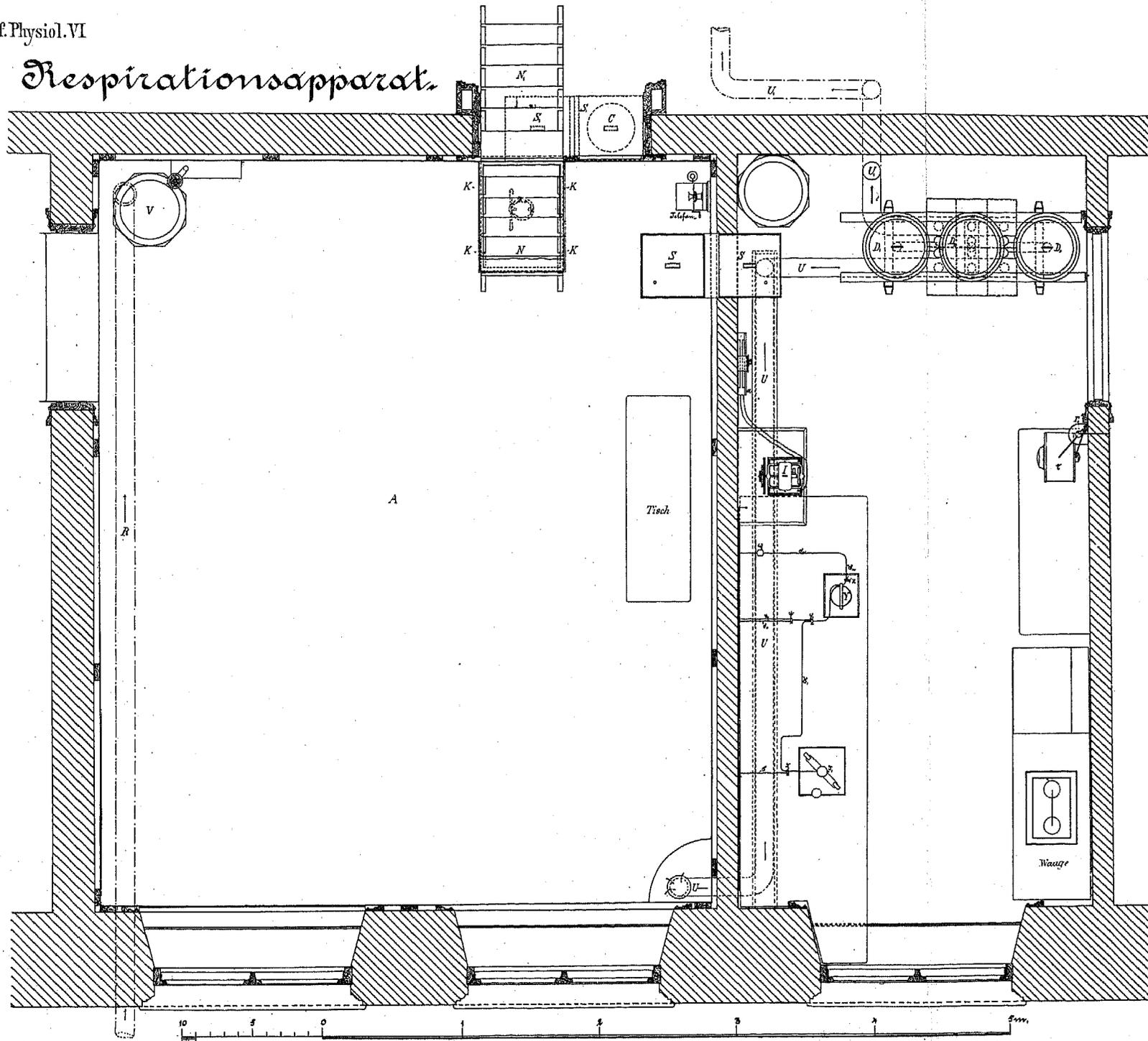
Respirationsapparat.



Respirationsapparat.



Respirationsapparat



Respirationsapparat.

