

versetzt; die ausgefällte phosphorsaure Ammoniakmagnesia nach 24 Stunden abfiltrirt, mit verdünntem Ammoniak ausgewaschen, getrocknet, geglüht und als pyrophosphorsaure Magnesia gewogen. 1 Th.  $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$  entspricht 0,36024 Th.  $\text{MgO}$ .

Tabelle 3.

Ausfuhr der Aschenbestandtheile durch den Harn.

	Cl	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	CaO	MgO
Letzter Esstag	5,432	2,76	3,673	2,615	0,342	0,384
1. Hungertag	1,606	2,597				
2. -	2,303	2,925				
3. -	1,7	3,289			0,446	
4. -	1,548	2,974	1,284	2,843	0,47	0,297
5. -	1,396	2,871				
6. -	1,088	2,667				
7. -	0,95	2,663	0,686	2,03		
8. -	0,814	1,722				
9. -	1,104	2,065			0,322	0,162
10. -	0,62	0,948	0,27	0,496	0,277	0,179
1. Esstag	1,031	1,296				
2. -	2,42	0,421	0,942	0,517	0,14	0,142

#### § 4. Die Respiration und der Gaswechsel (Lehmann und Zuntz).

##### Cap. I. Allgemeine Gesichtspunkte.

Jede äussere Einwirkung auf den thierischen Organismus zieht die Athmung in Mitleidenschaft. Wie der Kliniker bei den verschiedensten Krankheiten, nicht nur bei solchen, welche den Athemapparat direct betreffen, Aenderungen der Athemmechanik constatirt, so lehrt die genauere Beobachtung an Mensch und Thier, dass die Athmung fortwährend von den verschiedensten inneren und äusseren Vorgängen beeinflusst und in ihrem Ablauf geändert wird. — Diese Aenderungen sind im Wesentlichen zwiefacher Natur, indem sie theils als Anpassungen der Athembewegungen an das wechselnde Ventilationsbedürfniss des Körpers aufzufassen sind, theils ohne unmittelbaren Zusammenhang mit diesem Bedürfniss aus Aenderungen der Erregbarkeit der Athemcentren und aus der Verknüpfung derselben mit allen sensibeln und sensorischen Bahnen des Körpers und mit Organen der seelischen Vorgänge resultiren. — Diese nervösen Einwir-

kungen zeigen sich, wie bekannt, in selteneren Fällen als Hemmungen, meist als Verstärkungen der Athemthätigkeit. —

Von einer so eingreifenden Aenderung der normalen Lebensbedingungen, wie sie die vollständige Entziehung der Nahrung darstellt, musste man auch Einwirkungen auf die Athemmechanik erwarten. Die Versuche an hungernden Thieren<sup>1)</sup> haben bisher blos den Chemismus der Athmung im Auge gehabt, die Mechanik derselben, d. h. die Aenderungen, welche die Ventilation der Lungen in den verschiedenen Stadien der Inanition erfährt, ist in unseren hier zu beschreibenden Versuchen zum ersten Male untersucht worden. — Die von uns gewählte Methode der Untersuchung der Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureausscheidung des Organismus bedingt die gleichzeitige Bestimmung der Ventilationsgrösse d. h. der in der Zeiteinheit expirirten Luftmenge; wir brauchten dann nur noch regelmässige Zählungen der Athemzüge hinzuzufügen, um alle wesentlichen Elemente der Athemmechanik übersehen zu können. Abgesehen von dem Interesse, welches die Athemmechanik an sich in Anspruch nimmt, gewährt ihre Kenntniss uns noch den Vortheil einer bedeutungsvollen Controle der Bestimmungen des Sauerstoffverbrauchs und der Kohlensäureausscheidung. Namentlich die letztere Grösse hängt, wie bekannt, in hohem Maasse von der Athemmechanik ab (vgl. Vierordt, Lossen, Berg, Pflüger, Finkler und Oertmann), und diese Abhängigkeit ist um so stärker, je kürzer die Zeitperioden sind, auf welche sich die Untersuchung erstreckt. Wenn man die Athemmechanik nicht nur während der zur Ermittlung der Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureausscheidung benutzten Zeitperiode, sondern auch einige Zeit vorher beobachtet hat, wird man, an der Hand der Erfahrungen der eben genannten Autoren, niemals in Zweifel darüber sein, ob etwa der Gaswechsel durch Aenderung der Vorräthe in Blut und Geweben beeinflusst war. —

Die Verbrennungsprozesse im Thierkörper werden bekanntlich durch keinen anderen Factor in gleich mächtiger Weise

<sup>1)</sup> v. Pettenkofer und Voit, Zeitschr. f. Biolog. V. S. 369. (Resp.-Versuche am Hunde bei Hunger und ausschliesslicher Fettzufuhr.) — Senator, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1872. S. 1. — Finkler, Respiration in der Inanition. Pflüger's Arch. Bd. 23. S. 75. 1880.

angefacht, wie durch Muskelthätigkeit. — Während die Menge der im Harn ausgeschiedenen stickstoffhaltigen Endprodukte des Stoffwechsels häufig bei Arbeit nur geringe und der Leistung keineswegs proportionale Aenderungen erfährt, führt jede Bewegung unfehlbar zu einer Steigerung des Sauerstoffverbrauchs und der Kohlensäureausscheidung. Das gilt nicht allein von den willkürlichen Contractionen der quergestreiften Musculatur, sondern ebenso von der Thätigkeit des Herzens und der glatten Musculatur der Gedärme <sup>1)</sup>.

Die Grösse der Wirkung der Muskelthätigkeit auf den Stoffwechsel wurde noch in jüngster Zeit vielfach unterschätzt. So knüpft Voit (Handbuch der Phystologie VI. 1. S. 201) an die Mittheilung der von ihm und Pettenkofer in des letzteren Apparat angestellten Messungen des Gaswechsels arbeitender Männer die Bemerkung: „Die Steigerung des Gaswechsels durch die Arbeit ist darnach nicht im Entferntesten so bedeutend als man nach anderen Angaben, namentlich nach denen von Smith, der manchmal das Zehnfache der normalen Abscheidung und Aufnahme beobachtet haben will, hätte erwarten sollen“.

In den letzten Jahren sind im hiesigen Laboratorium zahlreiche Messungen des Gaswechsels bei Ausführung bestimmter Arbeitsleistungen an Menschen und Pferden gemacht worden. Von den Resultaten ist inzwischen das Meiste bereits veröffentlicht worden <sup>2)</sup>. — Aus diesen Versuchen geht mit Sicherheit hervor, dass bei Arbeitsleistungen, welche sich noch durchaus innerhalb mässiger Grenzen bewegen, der Sauerstoffverbrauch gegenüber der Ruhe auf's Siebenfache bis Neunfache und noch mehr gesteigert ist und längere Zeit auf dieser Höhe verharren kann. In einer Reihe von Versuchen diente der Gärtner'sche Ergostat zur Leistung gemessener Arbeitsgrössen. Schon bei

<sup>1)</sup> Vgl. v. Mering und Zuntz, Pflüger's Arch. Bd. 32. S. 173. — Loewy, ebendasselbst. Bd. 43. S. 515.

<sup>2)</sup> Untersuchungen über den Stoffwechsel des Pferdes bei Ruhe und Arbeit von N. Zuntz und C. Lehmann, unter Mitwirkung von O. Hagemann, Landw. Jahrbücher. XVIII. 1889. S. 1. — Vorl. Mitth. der von George Katzenstein ausgeführten Versuche. Verh. d. berliner phys. Gesellsch. 1890. Ausführl. Publication Pflüger's Archiv. Bd. 49. S. 330.

einer Sekundenarbeit von 5—9 kgm (Kilogrammmer) war der respiratorische Stoffwechsel 5—7 mal so hoch, als in der Ruhe.

Diese vorläufigen Angaben werden genügen, um zu zeigen, wie wichtig eine genaue Controle der Muskelthätigkeit zur Erlangung vergleichbarer Resultate bei derartigen Respirationsversuchen ist. — Schon Speck<sup>1)</sup> hat gezeigt, dass wenige Bewegungen der Hand, ja selbst unbequemes Sitzen genügen, um den Gaswechsel merklich in die Höhe zu treiben. Bei vielstündigen Versuchen ist es natürlich vollkommen unmöglich, alle willkürlichen Bewegungen auszuschliessen; diese Bewegungen aber werden ihrer Häufigkeit und Stärke nach von einem zum anderen Tage wechseln, da sie von inneren und äusseren Erregungen abhängen, welche in weiten Grenzen schwanken. — Mehr noch als beim Menschen werden solche Bewegungen bei Thieren unberechenbar auftreten und die Erlangung exacter Normalzahlen erschweren. — Die Untersuchung des Gaswechsels muss offenbar streben scharf auseinanderzuhalten: „den Gaswechsel des ruhenden Körpers“, „den Zuwachs, welchen dieser Gaswechsel für eine bestimmte Arbeitsleistung erfährt“.

Absolute Ruhe der dem Willen unterworfenen Musculatur lässt sich beim Menschen erzielen, wenn man die Beobachtungszeit nicht zu lange, etwa nicht über 1 Stunde ausdehnt. — Mit der Möglichkeit, den Gaswechsel bei Ausschaltung jeder willkürlichen Bewegung zu beobachten, gestattet das Studium des Hungerzustandes beim Menschen eine Genauigkeit der Vergleichung mit anderen Ernährungszuständen, wie sie bei Thieren nur selten zu erreichen ist. — Die Gelegenheit unter physiologischen Bedingungen den Gaswechsel des längere Zeit hungernden Menschen zu beobachten, war demgemäss nicht nur wegen des besonderen gewissermaassen egoistischen Interesses, welches wir den Lebensvorgängen im menschlichen Körper entgegenbringen, und wegen der Nutzenwendungen für die Heilkunde, sondern auch deswegen willkommen, weil die eben angedeuteten Fragen von allgemeinem biologischem Interesse an keinem anderen Objecte mit ähnlicher Präcision beantwortet werden können, wie am Menschen. — Das Verfahren, welches wir früher bei Thierversuchen mehrfach mit

<sup>1)</sup> Speck, Physiologie des menschlichen Athmens. Leipzig, Vogel, 1892.

Erfolg zur Ausschliessung willkürlicher Bewegungen bei Stoffwechselperimenten angewandt hatten, die Curarisirung der Thiere, ist bei der Untersuchung des Hungerzustandes selbstverständlich unanwendbar, weil die Beobachtung über viele Tage, eventuell über Wochen an demselben Thiere ausgedehnt werden muss.

## Cap. II. Methoden.

Die Methode der Untersuchung, welche wir benutzt haben, ist nicht wesentlich verschieden von einer Anordnung, welche wir gemeinschaftlich mit Geppert vor mehr als 5 Jahren zur Untersuchung des Respirationsprozesses von Hunden zusammengestellt hatten (vgl. Geppert und Zuntz, Ueber die Regulation der Athmung u. s. w. Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 42. S. 196 bis 198).

Der zu beobachtende Mensch athmet durch ein luftdicht schliessendes Mundstück, während die Nase durch eine federnde Klemme, welche mit breiten gepolsterten, der Form des häutigen Nasendaches entsprechenden Pelotten dieses sanft zusammendrückt, verschlossen ist. Das Anpassen dieser Klemme erfordert eine gewisse Sorgfalt, damit absoluter Schluss ohne jeden, auf die Dauer lästig werdenden Druck erreicht werde. Das Mundstück besteht aus einer Platte von Hartkautschuk <sup>1)</sup>, welche dem vorderen Zahnbogen entsprechend geformt sein muss. Dieselbe wird zwischen Zähnen und Lippen eingeschoben, sie ist so bemessen, dass sie rechts und links bis zum ersten Backzahn, oben und unten bis nahe zur Umschlagsfalte zwischen Zahnfleisch und Lippen reicht. In der Mitte hat die Platte eine Bohrung von 20 bis 30 mm Durchmesser (wechselnd mit der Grösse des Versuchsindividuum und der dieser entsprechenden Grösse der Platten, deren eine ganze Anzahl vorrätig sind), in welche ein aus dem Munde hervorragendes etwa 3 cm langes Rohr von Hartkautschuk eingefügt ist. Die befeuchtete Platte schliesst die Mundöffnung so vollkommen, dass bei verschlossenem Rohr eine Inspiration durch den Mund ganz und gar unmöglich ist, während es beim Versuch zu Expiriren erst durch sehr starken Druck gelingt, den Verschluss zwischen Lippen und Platte unter hörbarem Explosionsgeräusch zu sprengen. Demgemäss ist absolut nicht zu fürchten, dass Luft verloren gehe, so lange die Athmung durch das eben genannte Rohr frei erfolgen kann. — An dieses Rohr ist durch ein kurzes Stückchen Gummirohr eine T-förmige Glasröhre von gleicher Weite angefügt, deren andere Schenkel sich in zwei längere, durch eingelegte Drahtspiralen am Knicken gehinderte Kautschuk-

<sup>1)</sup> Statt desselben verwenden wir jetzt weichen vulcanisirten Kautschuk, welcher im Munde angenehmer ist und ebenso sicheren Schluss ermöglicht.