

gefütterten und beim verhungerten Thier durchaus nicht darauf schliessen, dass beim Hungern die trockene Knochensubstanz nicht angegriffen wird; denn selbst wenn die organische leimgebende Grundlage aufgelöst wird und in den Säftestrom geräth, müssen auch die damit verbunden gewesenen Kalksalze frei werden und in die Circulation gelangen, so dass, wie klein oder wie gross auch immer der Betrag des Abschmelzens beim Knochen sein mag, an dem Verhältniss zwischen organischer Grundlage und den Erdsalzen des restirenden Knochengewebes nichts geändert zu sein braucht. Demnach kann aus den Ableitungen von Bidder und Schmidt, weil die rechnerischen Grundlagen auf unsicheren Voraussetzungen fussen, ein Einwand gegen die aus directen Bestimmungen gezogenen Resultate nicht erhoben werden. Uebrigens hat für junge, noch wachsende Kaninchen Weiske¹⁾ es sehr wahrscheinlich gemacht, dass dieselben beim Hunger 3—12 pCt. ihrer Knochensubstanz einbüssen; da dieselben jedoch nicht nur hungerten, sondern auch kalkfreies Wasser bekamen, kann der Erfolg zum Theil auch auf den Kalkmangel zu beziehen sein.

Endlich beweist den Angriff des Knochengewebes selbst beim Hungern auch eine Versuchsreihe²⁾, die I. Munk am hungernden Hund durchgeführt hat und in der ebenfalls die Ausscheidung der Erdsalze und der Phosphorsäure durch den Harn beträchtlich höher gefunden worden ist, als dieselbe hätte sein können, wofern beim Hungern nur Fleisch (und Fett) zerstört würde. Auch daraus geht hervor, dass ausser der organischen auch die anorganische Grundlage des Knochens dem Abschmelzen anheimfällt, in die Circulation geräth und durch Harn und Koth zur Ausscheidung gelangt.

§ 6. Der respiratorische Stoffwechsel

(Lehmann und Zuntz).

1) in der Ruhe.

Das auffallendste an Cetti gewonnene Ergebniss, welches die Betrachtung der Tab. 5 (S. 50) ohne Weiteres erkennen lässt, ist die grosse Constanz des Sauerstoffverbrauchs während der ganzen Hungerperiode. Man muss, um diese Constanz richtig würdigen zu können, bedenken, dass die Athmung am 11. März unter dem Einfluss des 1 Stunde vorher verzehrten Frühstücks stand, dass am 12. März der Sauerstoffverbrauch durch die in den Versuchsprotocollen notirten Bewegungen erhöht war, und dass dasselbe am 18. und 19. März in Folge der ihrer Bedeutung nach sogleich noch ausführlicher zu besprechenden Kolikschmerzen der Fall war. Wenn man dies berücksichtigt, sieht man sofort, dass der

¹⁾ Zeitschr. f. Biol. Bd. 10. S. 410.

²⁾ noch nicht veröffentlicht.

Minutenwerth des gesammten Sauerstoffverbrauchs im Laufe der Hungerperiode weniger absinkt als das Körpergewicht, so dass der auf die Einheit des Gewichts bezogene Verbrauch eher eine minimale Tendenz zum Ansteigen erkennen lässt. Die Versuche an Breithaupt haben das Gleiche insofern noch deutlicher demonstriert, als zum Vergleich mit der Hungerperiode auch die vorher bei normaler Ernährung Morgens nüchtern angestellten Versuche (Tab. 9, S. 90) uns zur Verfügung stehen. Der Sauerstoffverbrauch betrug in dieser Vorperiode im Mittel 3,84 ccm, nach Wiederaufnahme der Ernährung 3,53 ccm, dagegen im Mittel der 6 täglichen Hungerperiode 4,07 ccm. — Auch bei Breithaupt wirken an einzelnen Hungertagen ebenso wie bei Cetti besondere Momente, welche den Stoffverbrauch steigern und sie dürften im Wesentlichen die Ursache sein, dass das Mittel der Hungerperiode so erheblich höher liegt, als das der Normalperioden. Gleich am zweiten Hungertage, am 18. März, bewirkte ein leichter Schnupfen mit freilich sehr geringen Fiebererscheinungen, späterhin Leibschmerzen, Steigerungen bis auf 4,38 ccm Sauerstoff.

Die absolut erheblich grösseren Schwankungen, welche bei Breithaupt aus diesen Gründen beobachtet wurden, erklären sich wohl zum Theil aus einer grösseren Abhängigkeit der Athmung des Breithaupt von psychischen Momenten, die auch bei den Einzelbeobachtungen sich in grösseren Schwankungen der Minutenwerthe aussprach.

Eine etwas grössere Constanz des Sauerstoffverbrauchs würde übrigens noch herauskommen, wenn wir die Werthe für die wechselnde Athmarbeit corrigirten. Speck hat bekanntlich angegeben, dass per Liter ausgeathmeter Luft 8 ccm Sauerstoff verbraucht werden, Loewy hat diese Zahl erheblich schwankend, im Mittel aber etwa halb so grosse Werthe gefunden.

Diese Inconstanz des Werthes, sowie der Umstand, dass wir bei Breithaupt keine Versuche gemacht haben, um die Grösse der Wirkung verstärkter Athmung direct zu ermitteln, lassen uns auf die Ausführung der Correctur verzichten.

Bereits in der vorläufigen Mittheilung über die an Cetti gewonnenen Ergebnisse (Berl. klin. Wochenschrift 1887 No. 24) wurde die Bedeutung des Constantbleibens des Sauerstoffverbrauchs im Hunger kurz beleuchtet, auch bereits hervorgehoben,

dass dieser Befund mit den Ergebnissen früherer Thierversuche nicht vollkommen übereinstimmt. Von jenen früheren Versuchen berücksichtigen die von Senator (dieses Archiv Bd. 45. S. 363 und Unters. über den fieberhaften Prozess 1873 S. 59), Voit (Zeitschrift f. Biologie II. S. 307), Leyden und Fraenkel (dies. Arch. Bd. 76. S. 126) ausschliesslich die Kohlensäure oder geben doch nur für diese zuverlässige Zahlen. Dagegen hat Finkler (Pflüger's Archiv Bd. 23. S. 175) mit dem von Pflüger modificirten Regnault-Reiset'schen Apparate arbeitend gleich zuverlässig Sauerstoffverbrauch und Kohlensäureausscheidung bestimmt. Auch er findet im Laufe des Hungerns das Absinken des Gaswechsels etwas stärker als das gleichzeitige des Körpergewichts, so dass also auch der auf die Einheit des letzteren bezogene Sauerstoffverbrauch langsam, die Kohlensäureausscheidung rascher sinkt. Da auch in Finkler's Versuchen das Absinken des Sauerstoffverbrauchs nur ein sehr geringes ist, so ergeben diese Versuche keinen principiellen Unterschied zwischen der Reaction der Menschen und der des Meerschweinchens auf Nahrungsentziehung. In beiden Fällen wird im Hunger nicht wesentlich öconomisirt, die Intensität des Stoffwechsels der Gewebe bleibt so gut wie ungeschwächt. Wir haben bereits einleitend hervorgehoben, dass die Thierversuche niemals vollkommen rein den Stoffwechsel der ruhenden Gewebe erkennen lassen, weil bei ihnen ebenso, wie bei Versuchen am Menschen, welche sich über ganze Tage erstrecken, stets eine gewisse Summe willkürlicher Bewegungen mit unterläuft, deren Ausmaass, durch äussere und innere Reize bestimmt, innerhalb weiter Grenzen schwanken kann. — Demgemäss beweisen auch Finkler's Versuche kein Absinken des Gewebestoffwechsels im Hunger, die gefundene Abnahme des Sauerstoffverbrauchs ist vielmehr so gering, dass sie durch eine sich der Beobachtung vollkommen entziehende grössere Ruhe der Versuchsthiere durchaus erklärbar ist. Es genügt selbst eine etwas straffere Haltung der kürzer hungernden Thiere im Vergleich mit den länger hungernden, um den so wenig höheren Sauerstoffverbrauch der ersteren zu erklären. — Es kommt aber noch ein anderes Moment in Betracht, welches die Versuche an Meerschweinchen weniger geeignet erscheinen lässt, als die an Menschen, wenn es sich darum handelt, die Reaction

der Gewebe auf mangelnde Nahrungszufuhr festzustellen. Wir haben nachher noch ausführlicher die Thatsache zu erörtern, dass jede Thätigkeit des Darmkanals in ähnlicher Weise wie die der Körpermusculatur den Gaswechsel steigert. Nun ist die Arbeit des Verdauungsapparates beim Menschen 24 Stunden nach der letzten Nahrungsaufnahme in der Hauptsache beendet, beim Meerschweinchen dauert es, wie bei allen Pflanzenfressern, länger, ehe die grossen Futtermassen, welche der Darmkanal beherbergt, endgültig verwerthet sind.

Ein allmählich abnehmender geringer Antheil von Verdauungsarbeit addirt sich daher noch bis in die späteren Perioden des Hungerns zum Stoffwechsel des ruhenden Thieres und hat einen Antheil an dem von Finkler beobachteten Absinken desselben.

In vollkommener Uebereinstimmung mit unserem Ergebniss stehen die Thierversuche von Posaschny, welche uns nur in dem Referate (Maly's Jahresbericht pro 1886 S. 378) zugänglich sind. Dort heisst es: Im Beginn des Hungerns verbrauchen die Thiere, auf das Körpergewicht bezogen, weniger Sauerstoff als im normalen Zustande; bei fortschreitendem Hungern wird der relative Sauerstoffverbrauch jedoch immer grösser.

Auch Hanriot und Richet¹⁾, welche die Beobachtung des Gaswechsels eines nüchternen Menschen bis auf die 46. Stunde nach der Mahlzeit ausdehnten, fanden von der 17. Stunde ab keine Abnahme des Sauerstoffverbrauchs mehr.

Ein zweites bemerkenswerthes Ergebniss unserer Versuche ist das Verhältniss der gebildeten Kohlensäure zum gleichzeitig aufgenommenen Sauerstoff, wie es sich in den respiratorischen Quotienten zeigt. Schon Regnault und Reiset's Versuche haben unzweifelhaft gelehrt, dass dieser Quotient in erster Linie von der Ernährung abhängt. Besteht die Nahrung vorwiegend aus Kohlehydraten, so kommt der Quotient der Einheit nahe, kann sie auch ein wenig überschreiten. Bei vorwiegender Eiweissnahrung beträgt er etwa 0,8, bei Fett 0,7. — Diese Zahlen entsprechen ziemlich genau dem Verhältniss, in welchem die zur vollständigen Verbrennung der betreffenden Substanzen nöthige

¹⁾ Hanriot et Richet, Comptes rendus. T. 106. p. 419 et 496.

Sauerstoffmenge zu der daraus resultirenden Kohlensäure steht. Bei Berechnung dieses Verhältnisses muss selbstverständlich den Mengen von Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff, welche sich im Harn und den Darmsecreten befinden, Rechnung getragen werden.

Rubner¹⁾ hat durch directe Elementaranalyse des trockenen Harns und Koths von Hungerthieren zuverlässige Unterlagen für diese Rechnung geschaffen. Er findet, dass aus 100 g trockener Muskel resultiren:

38,2 g organische Harnbestandtheile
2,7 - - - Kothbestandtheile.

Die Vertheilung der stickstoffhaltigen Auswurfstoffe zwischen Harn und Koth ist beim Menschen fast genau dieselbe, welche Rubner (a. a. O. S. 364) der Berechnung der Wärmeentwicklung bei Verbrennung von Muskelfleisch zu Grunde gelegt hat:

Er fand auf 15,16 g Harnstickstoff 0,24 g Kothstickstoff, d. h. der letztere betrug 1,58 pCt. des Harnstickstoffs.

Nach den oben (S. 18, 21, 67, 68) mitgetheilten Analysen von Fr. Müller und I. Munk schieden unsere Hungerer im Durchschnitt täglich aus:

	g N	g N	
Cetti . . im Harn	11,253,	im Koth 0,316	= 2,81 pCt. }
Breithaupt - -	11,140,	- - 0,113	= 1,02 - } des Harn-N.

Das Verhältniss des Stickstoffs zum Kohlenstoff im Harn findet Munk (S. 145) bei unserem Hungerer Breithaupt wie 1:0,829. Rubner findet das Verhältniss für die 3 ersten Hungertage 1:0,728. Voit giebt an 1:0,746²⁾. Meissl³⁾ bei vorher mit Reiss gefütterten Schweinen einmal 1:0,766, dann in einer fünf-tägigen Hungerreihe

am 1.	Hungertage	1:0,846
- 2.	-	1:0,96
- 3.—5.	-	1:0,743.

Auch hier kommen die Zahlen einander nahe genug, um die von Rubner am Thier nachgewiesene Art der Zersetzung des stickstoffhaltigen Körpermaterials unbedenklich auf den Menschen

¹⁾ Rubner, Zeitschr. f. Biol. Bd. 21. S. 364.

²⁾ Rubner, Zeitschr. f. Biol. Bd. 21. S. 329.

³⁾ Meissl, Zeitschr. f. Biol. Bd. 22. S. 105.

übertragen zu können. Wir können demgemäss für die Eiweisszersetzung beim Hungerer folgende Rechnung anstellen:

In 100 g trockener fettfreier Körpersubstanz sind enthalten:

	C	H	N	O	Asche
	50,5	7,6	15,4	20,97	5,5
In 40,9 g trockenen Harn+Koth:	11,3	2,77	15,4	11,44	
Es bleiben für die Respiration	39,2	4,83	—	9,53	
		9,53 g O	vorräthig.		

Sauerstoffbedarf

133,61 g und zwar 104,5 g O + 29,11 g O eingeathmet.

Es resultiren 143,7 - CO₂ 43,47 - Wasser.

Der respiratorische Quotient, d. h. das Verhältniss des in der Kohlensäure enthaltenen zum gesammten Sauerstoff, ist $\frac{104,5}{133,61} = 0,781$.

Die Berechnung des respiratorischen Quotienten gestaltet sich nur wenig anders, wenn wir, den Ausführungen Pflüger's¹⁾ folgend, das Aetherextract des Kothes, weil es in seiner Zusammensetzung dem Körperfett nahe steht, nicht zu den Zersetzungsprodukten des Fleisches rechnen. Wir haben dann pro Tag

	im Harn	im Koth	
bei Cetti	11,253 g N,	0,316 g N,	1,989 g organ. fettfreie Subst.
- Breithaupt	11,140 - -	0,113 - -	1,182 - - - -
im Mittel	11,196 g N,	0,215 g N,	1,585 g organ. fettfreie Subst.

Auf 11,411 g ausgeschiedenen N haben wir also 1,585 g organische Kothsubstanz, auf 15,4 g N = 100 g zersetzten Fleisches haben wir 2,139 g fettfreie organische Kothsubstanz und 0,290 g Kothstickstoff. Die Zusammensetzung dieser fettfreien Masse dürfen wir wohl der des fettfreien Fleischkothes gleich setzen. Pflüger untersucht (a. a. O. S. 26) einen Trockenkoth, welcher 4,8 pCt. Aetherextract und 80,2 pCt. organische Substanz hat, also auf 100 organische Substanz = 5,985 Aetherextract. Die organische Substanz²⁾ enthält in:

¹⁾ Pflüger, sein Archiv. Bd. 52. S. 1.

²⁾ In dem von Pflüger als Rest bestimmten Sauerstoff ist auch noch der Schwefelgehalt des Kothes inbegriffen. Die dadurch bedingte Correctur ist aber unwesentlich, denn der durch Fr. Mueller direct bestimmte Schwefelgehalt des Kothes unserer beiden Hungerer war bei Cetti = 12,1 mg, bei Breithaupt gar nur 3,7 mg pro die, im Mittel 7,9 mg pro die bei 11,411 g Stickstoffumsatz. Wir können daher auf 15,4 g umgesetzten Stickstoff 10,66 mg S im Kothre rechnen.

	C	H	N	O + S
100 Gewichtstheilen	51,75	7,20	14,98	26,07
5,985 pCt. Fett	4,578	0,712		0,694
94,015 pCt. fettfreie organ. Subst.	47,172	6,488	14,98	25,376
auf 100 - - - - -	50,176	6,901	15,933	26,991
auf 0,290 Koth-N kommt 1,820				
fettfreie organ. Substanz mit	0,913	0,126	0,290	0,491.

Unser Hungerkoth ist, wie wir oben sahen, etwas ärmer an Stickstoff, er hat auf 2,139 g organische Substanz 0,290 g N. Nehmen wir an, dass in den nach Abzug des N übrig bleibenden 1,849 g die Elemente C, H und O in demselben Verhältniss enthalten seien, wie in dem N-freien Reste des Koths von Pflüger's Hund, so kommen wir zu folgender Zusammensetzung des auf 100 g Körperfleisch abfallenden, fett- und aschefreien Hungerkoths:

	C	H	N	O	
2,139 g org. Subst. mit	1,103	0,152	0,290	0,594	
hierzu 38,080 - - - im Harn mit	9,600	2,510	15,110	10,870	
40,22 g org. Ausscheidungen mit	10,70	2,66	15,40	11,46	
in 100 g fettfreier Körpersubstanz sind					Asche
enthalten	50,50	7,60	15,40	20,97	5,5
es bleiben für die Respiration	39,8	4,94	—	9,51	—
Es brauchen 39,8 g C zur Bildung von			145,93 g CO ₂	= 106,13 g O	
- - - 4,94 - H - - - - -			44,46 - H ₂ O	= 39,52 - -	
Sauerstoff erforderlich				145,65 g O	
- in der organischen Substanz				9,51 - -	
Durch die Athmung zuzuführen				136,14 g O.	

Von diesen 136,14 g Sauerstoff erschienen 106,13 g O in der Kohlensäure wieder. Der respiratorische Quotient beim Umsatz des Eiweisses unserer Hungerer berechnet sich also zu $\frac{106,13}{136,14} = 0,7796$. — Die Abweichung von der nach Rubner berechneten Zahl = 0,781 ist für uns bedeutungslos.

Das menschliche Fett enthält nach E. Schultze und A. Reinecke in 1 g:

0,765 g C 0,119 g H 0,116 g O.

Der intramoleculare Sauerstoff kann mit 0,0145 g H Wasser bilden; es bleiben dann zur Verbrennung durch den eingeathmeten Sauerstoff:

0,765 g C und 0,1045 g H
 Einzuathmen 2,876 g O: $\frac{2,040 \text{ g O} + 0,8360 \text{ g O}}{2,876}$
 Es resultiren 2,805 g CO₂ und 0,9405 g H₂O.

Der respiratorische Quotient = $\frac{2,040}{2,876} = 0,71$.

Wenn im Organismus des Hungerers die Zersetzung in der hier angedeuteten Weise erfolgte, müssten die Athemversuche einen zwischen 0,71 und 0,781 liegenden respiratorischen Quotienten ergeben, der durch die Wahrscheinlichkeit, dass in den ersten Tagen auch noch eine geringe Menge Kohlehydrat oxydirt wird, noch ein wenig erhöht würde. Statt dessen finden wir bei Cetti nur am ersten Hungertage den Quotienten 0,72, schon am 2. erreicht er 0,68, um während der ganzen Hungerperiode nicht mehr diesen Werth zu übersteigen. Bei der Constanz dieses Resultats ist an einen analytischen Fehler im gewöhnlichen Sinne nicht zu denken.

Bei der Discussion der Fehlermöglichkeiten kamen wir allerdings auf einen bisher nicht beachteten Factor, die Fähigkeit des feuchten Glases geringe Mengen von Kohlensäure zu absorbiren. Wir haben dies in unseren „Untersuchungen über den Stoffwechsel des Pferdes“ (Landwirthschaftliche Jahrbücher. 1889) auf S. 25 genauer discutirt. Es machte sich in einigen Controlanalysen der bei Cetti gesammelten Gase, welche erst nach mehrwöchentlichem Stehen der Gasproben ausgeführt wurden, eine Abnahme des CO_2 -Gehalts um 0,1 pCt. und mehr geltend. Diese Analysen wurden selbstverständlich verworfen.

Eine Analyse wenigstens wurde alsbald nach Gewinnung der Gasprobe ausgeführt, für sie kann also die Wirkung des Glases, zu deren nachweisbarem Zustandekommen immer Wochen und Monate gehören, nicht in's Gewicht fallen, so dass wir nicht zweifeln dürfen, dass der respiratorische Quotient factisch erheblich unter dem theoretischen Werthe liegt. Dies wird auch im Wesentlichen durch die gleich zu besprechende 2. Hungerreihe an Breithaupt bestätigt.

Auch Luciani's Erfahrungen an Succi bestätigen unser Ergebniss, er findet im Mittel zwischen dem 12. und 30. Hungertage den respir. Quotienten $\approx 0,685$. Dabei ist zu bedenken, dass die Reinheit des Versuchs mehrmals durch experimentelle Eingriffe, welche geeignet waren den Quotienten in die Höhe zu treiben, gestört wurde¹⁾, und dass, wie S. 33 aus-

¹⁾ Vergl. Luciani, Das Hungern u. s. w. S. 185—196.

geführt wurde, Luciani's Methode im Allgemeinen zu hohe respiratorische Quotienten ergeben muss.

Man könnte noch daran denken, dass die niedrigen respirat. Quotienten in unseren wie auch in Luciani's Versuchen auf der ausschliesslichen Berücksichtigung der Lungenathmung beruhten. Es ist in der That aus physikalischen Gründen wahrscheinlich, dass durch die Hautoberfläche und den Darm weit mehr CO_2 ausgeschieden als Sauerstoff aufgenommen wird. Die absolute Menge des auf diesen Wegen erfolgenden Gaswechsels ist aber so gering (für die Haut nach Aubert etwa $\frac{1}{3}$ pCt. der ausgeschiedenen CO_2 , für den Darm bei der geringen Gasentwicklung im Hungerdarme noch viel weniger), dass der hier event. begangene Fehler erst die dritte Decimale des respir. Quotienten um wenige Einheiten ändern könnte.

Wir finden übrigens auch in der älteren Literatur Anhaltspunkte dafür, dass im Hunger und bei reiner Fleisch- und Fettkost der respiratorische Quotient unter den berechneten Werth sinkt.

Bei Regnault und Reiset¹⁾ finden sich sowohl von hungrigen Thieren, als auch von solchen, welche nur Fett als Nahrung erhalten hatten, gleiche respiratorische Quotienten, wie wir sie bei Cetti gefunden haben. Besonders auffallend und zur Illustration unseres Befundes geeignet sind die extremen Verhältnisse, welche die Autoren bei winterschlafenden Murmelthieren fanden. Hier ging der respiratorische Quotient in einem Falle bis 0,40 herab, während der Periode tiefsten Schlafes.

Abgesehen hiervon finden sich die niedrigsten Zahlen bei Vögeln (Hühnern in Vers. 54 und 59), bei welchen, in Folge des Vorwiegens der Harnsäure im Urin, dieser wesentlich reicher an Kohlenstoff ist, als bei Säugethieren und bei welchen ausserdem, soweit der Augenschein ein Urtheil zulässt, sehr viel mehr kohlenstoffreiche Galle im Hungerzustande entleert wird. Die Fäces hungernder Tauben und Hühner sind bekanntlich grasgrün (vgl. Chossat, Mémoires prés. à l'Acad. des Sciences t. VIII p. 588).

D. Finkler²⁾, welcher im Wesentlichen die erste Hälfte der Hungerperiode, bis zu einem Gewichtsverlust von 18,8 pCt.

¹⁾ Recherches chimiques sur la resp. des animaux. Paris 1849.

²⁾ Pflüger's Archiv. Bd. 23. S. 175. Tabelle S. 197.

untersuchte, findet auch einmal den Quotienten 0,66 — in den übrigen Fällen liegt er nicht unter 0,70.

Ein Sinken des Quotienten unter den Werth 0,70 ist ferner von Quinquaud bei Thieren, welche an entzündlichen Krankheiten der Respirationsorgane litten, gefunden worden. Die Richtigkeit dieses Befundes hat Ad. Loewy in noch nicht publicirten, im hiesigen Laboratorium ausgeführten Versuchen bestätigt. Derselbe fand auch beim wesentlich mit Fett und Eiweiss genährten seit 12 bis 18 Stunden nüchternen Menschen in kurz dauernden ebenso wie die unserigen angestellten Versuchen respir. Quotienten zwischen 0,6—0,7.

Ein dauernd niedriger Stand der Quotienten erscheint nur möglich, wenn Eiweiss und Fett nicht in normaler Weise zer setzt werden, vielmehr ein kohlenstoff- und sauerstoffreicher Rest entweder im Körper abgelagert bleibt, oder in den festen Excreten entleert wird. Letztere Möglichkeit ist in unserem Falle durch die normale Beschaffenheit des Harns (die geringe Kothmenge kommt nicht in Betracht, um so weniger als ihr wichtigster organischer Bestandtheil kaum vom Körperfett in seiner Zusammensetzung abweicht) ausgeschlossen. Das Verhältniss von Kohlenstoff zu Stickstoff im Harn ist, wie die Analysen von I. Munk bei Breithaupt lehren, fast genau entsprechend der Zusammensetzung, welche Rubner beim Hunde gefunden und auf welche sich die Berechnung des respiratorischen Quotienten stützt. Auch die approximative Bestimmung der festen Bestandtheile des Harns aus dem specifischen Gewichte nach der Formel von Neubauer¹⁾ zeigt die Menge derselben nach Abzug des anorganischen Theiles im richtigen Verhältniss zum Stickstoff.

Da sich der gefundene respiratorische Quotient aus den Ausscheidungen nicht erklären lässt, bleibt nur die Möglichkeit, dass der Sauerstoff, welcher sich in der ausgeathmeten Kohlensäure nicht wiederfindet, im Körper des Hungerers abgelagert wird. Wäre diese Ablagerung eine dauernde, so müsste daraus eine wesentliche Aenderung der Zusammensetzung der Leibessubstanz resultiren. Ueber Art und Grösse derselben können wir uns leicht Klarheit verschaffen. Aus den Daten der Tabelle 15 S. 205

¹⁾ Neubauer-Vogel, Analyse des Harns. 1881. 8. Aufl. S. 232.

und den Harnanalysen von I. Munk ergeben sich folgende Werthe bezogen auf 24 Stunden in Grammen:

	O	CO ₂	N im Harn
12. März	570,4	566,6	— 13,545
13. -	534,1	500,5	— 12,586
14. -	512,1	482,2	— 13,121
15. -	536,4	478,3	— 12,393
Mittel d. ersten 4 Hungertage	538,25	506,9	— 12,911 N im Harn
			0,316 - - Koth
			13,227 N pro die.

Leitet man den Stickstoff aus der Zersetzung von N-haltigem Material der S. 178 berechneten Zusammensetzung ab, so theilt sich dasselbe nach dem dort gegebenen Tableau am Respirationsprozess mit 114,76 g O 123,42 g CO₂;

es bleiben also für N-freies Körper-

material 423,49 g O 383,48 g CO₂.

Denken wir uns das zersetzte N-freie Material ausschliesslich als Fett, so würden davon 136,72 g zur Bildung der 383,48 g CO₂ erforderlich sein, diese 136,72 g Fett würden 393,06 g Sauerstoff zu ihrer Verbrennung brauchen, d. h. 30,43 g weniger als factisch aufgenommen wurde. Da der Quotient im Laufe des Hungerns z. Th. noch unter den Durchschnittswerth dieser 4 Tage sank, würden während der 10 Hungertage im Körper über 300 g Sauerstoff aufgespeichert worden sein. Das gäbe eine so grosse Menge im Verhältniss zur ganzen Masse vorhandener trockener Körpersubstanz, dass die Aenderung bei den Untersuchungen der Zusammensetzung der Organe hungernder Thiere sich bemerkbar gemacht hätte. Man hätte nicht den fast fett- und kohlehydratfreien Körper derselben ebenso wie das von Fett befreite Fleisch normaler Thiere zusammengesetzt finden können.

Wir kommen so zu dem Schlusse, dass die Aufspeicherung von O im hungernden Körper nur eine temporäre sein kann, dass also der überschüssig angesammelte Sauerstoff zu anderen Zeiten, welche bei unseren Respirationsversuchen nie gefasst wurden, den Körper wieder in Form von CO₂ verliess. Da wir immer nur Zeiten absoluter Ruhe untersuchten, liegt es nahe, hier an die Muskelthätigkeit zu denken, um so mehr, als in fast

allen vorliegenden Untersuchungen sich die Angabe findet, dass die Kohlensäureausscheidung bei der Muskelthätigkeit mehr wachse als der Sauerstoffverbrauch.

Diese Erwägungen führten, abgesehen von der Bedeutung, welche ihr an sich zukommt, zu dem Entschlusse, bei der 2. Versuchsreihe am hungernden Menschen der Muskelthätigkeit ein besonderes Studium zu widmen. Das erwartete Verhalten des respiratorischen Quotienten fand sich hierbei im Allgemeinen bestätigt.

Breithaupt lieferte, entsprechend dem höheren Kohlehydratgehalte seiner Nahrung in der Vorperiode, während der ersten Hungertage höhere respiratorische Quotienten in der Ruhe als Cetti; 39 Stunden nach der letzten Mahlzeit noch 0,87, am andern Tage 0,74; während der letzten 3 Hungertage aber lagen auch bei ihm die respiratorischen Quotienten so tief, dass eine Aufspeicherung von Sauerstoff unverkennbar scheint: (0,63—0,66—0,69). Der Werth 0,63 ist übrigens zu niedrig in Folge unregelmässiger Athemmechanik wie im Versuchsprotocoll S. 78 ausgeführt ist. An eben diesen Tagen hatte er während der Arbeit bedeutend höhere Quotienten: 0,79—0,77—0,74.

2. Der Gaswechsel bei der Arbeit.

Ueber den Einfluss der Inanition auf die Leistungen des Muskelapparates liegen nur wenig präzise Angaben vor. Chossat begnügt sich mit der Angabe: *A l'exception d'un degré d'affaiblissement qui paraît peu considérable, les fonctions musculaires jusqu'au dernier et à l'avant dernier jour n'offrent rien de particulier.*

Luciani¹⁾, dessen nach unseren Versuchen an Succi angestellte Beobachtungen bereits in extenso vorliegen, giebt einige Erfahrungen über die Maximalleistungen einzelner Muskelgruppen, welche mit Hilfe des Dynamometers gewonnen wurden. Aus seinen Angaben geht ferner hervor, dass Succi am 12. Hungertage eine sehr bedeutende Summe von Muskelthätigkeit aufgewendet hat, indem er einen Ritt von 1 Stunde 40 Min. machte,

¹⁾ Luciani, *Fisiologia del Digiuno*. Deutsche Uebersetzung von M. O. Fraenkel. S. 33 und 54.

mit 3 Studenten um die Wette einen Dauerlauf von 8 Minuten ausführte, eine Fechtübung abhielt, ausserdem viel im Zimmer umherspazierte, so dass das Podometer in Summa 19900 Schritte als Tagesleistung anzeigte. Am 23. Hungertage machte er noch 7000 Schritte, betheiligte sich an Fechtspielen und dergleichen. Die am Dynamometer geprüfte Druckkraft der Hände zeigte sich am 20. Tage höher als am 11., was Luciani mit Recht aus den psychischen Vorgängen bei Succi erklärt, der sich fest eingeredet hatte, er gewinne im Hunger an Kraft und, dementsprechend, anfangs bei den Kraftprüfungen nicht die volle Energie aufwendete. Um so beweisender ist es, dass vom 20. Tage ab die Druckkraft sank und am Schluss der Versuchreihe merklich unter dem Anfangswerthe stand. Immerhin ist die grosse Leistungsfähigkeit nach langem Hungern bemerkenswerth und speciell hervorzuheben, dass bei alle 2 Secunden wiederholter Compression des Dynamometers am 29. Hungertage eine Ermüdungscurve gewonnen wurde, welche von der des Gesunden nicht wesentlich abwich. — Man gewinnt aus Luciani's Angaben den Eindruck, als habe die Kraft der Muskeln nicht einmal in gleichem Maasse, wie das Gewicht abgenommen. In scheinbar unversöhnlichem Widerspruch hiermit stehen die Ergebnisse, welche Mosso und Maggiora¹⁾ mit Hülfe des von dem ersteren construirten Ergographen gewonnen haben. Die gemessene Muskelleistung nahm schon am ersten Hungertage bis auf ein Dritttheil des Normalwerthes ab.

Wir beobachteten auch bei Cetti, seinem lebhaften Temperament entsprechend, ziemlich viel willkürliche Muskelthätigkeit. Die wenigen Prüfungen mittelst des Dynamometers dürften bei dem nervösen Menschen mehr einen Ausdruck der aufgewendeten wechselnden Innervationsenergie als der wirklichen Muskelkraft gegeben haben, eine Auffassung, die durch Luciani's Erfahrungen im Wesentlichen bestätigt wird (vgl. J. Loeb, Untersuchungen über den Einfluss psychischer Thätigkeit auf den dynamometrisch gemessenen Druck der Hand — Pflüger's Archiv 39. S. 592).

¹⁾ Mosso und Maggiora, du Bois' Archiv. 1890. S. 191. X. Einfluss des Fastens. S. 227.

Als ein relativ wenig Täuschungen ausgesetztes Maass der Muskelkraft erschien uns die Bestimmung der Vitalcapacität, also des durch maximale Anstrengung der Athemmusculatur zu fördernden Luftquantums. Wir führten diese Bestimmung ziemlich regelmässig bei Cetti durch. Auch hierbei machten wir indess bald die Erfahrung, dass die aufgewendete Willensenergie nicht immer die grösstmögliche war und dass dadurch die Resultate eine gewisse Unsicherheit erlangten. Wir suchten dem Uebelstande nicht ohne Erfolg dadurch abzuhelpen, dass wir dem Willen zu tiefer Inspiration durch Erregung eines mässigen Grades von Dyspnoë zu Hülfe kamen. Die Wirkung dieses Kunstgriffs ist aus der Vergleichung von Stab 5 und 6 der Tabelle 5 leicht erkennbar. Durchschnittlich erhöht er die Vitalcapacität; die Wirkung ist namentlich in den ersten Tagen, bei geringer Uebung des Cetti in Ausführung des Versuchs, bedeutend, später verschwindet sie fast ganz und an einzelnen Tagen giebt sogar die directe Prüfung höhere Werthe, als sie bei Zuhülfenahme der Dyspnoë sich zeigen.

Im Ganzen ist vom 5. bis zum 10. Hungertage keine Abnahme der Vitalcapacität bemerkbar, dagegen zeigt sich dieselbe nach Wiederaufnahme der Ernährung um einige hundert Cubikcentimeter höher als im Durchschnitt während des Hungerns. Die niedrigsten Werthe zeigen sich an den Tagen der Kolikschmerzen, im Zusammenhang mit dem an diesen Tagen auffälligen allgemeinen Schwächezustand. Die verminderte Muskelkraft ist also an diesen Tagen weniger durch das Fehlen von Nahrung als durch positive, wohl die Herzthätigkeit und die Blutvertheilung schädigende Reizwirkungen, welche vom Darmkanale ausgehen, bedingt. Die Erscheinungen von Schwäche, welche bis nahe zu Ohnmachtserscheinungen gehen, die man bei so vielen Menschen schon beim Versäumen einer einzigen Mahlzeit beobachtet, gehören offenbar in die Kategorie dieser vom Verdauungsapparat ausgehenden Reflexe und haben durchaus Nichts mit einem Mangel an Nährstoffen zu thun. Das geht auch schon aus ihrer Beseitigung durch nicht nährrende Reizmittel (Bouillon, Alkohol) oder Narcotica (Tabak, Coca) hervor.

Im Einklang mit diesen Erwägungen möchten wir auch die starke Verminderung der Leistungsfähigkeit der Handmuskeln

am ersten Hungertage, welche *Maggiora*¹⁾ mit Hülfe des *Mosso*'schen Ergographen feststellte, nicht ohne Weiteres von absolutem Mangel an nöthigen Nährstoffen ableiten. *Maggiora* und *Mosso* haben den starken Einfluss der verminderten Blutzufuhr auf die Leistungsfähigkeit des Muskels festgestellt. Es können daher vasomotorische Wirkungen des starken Hungergefühls, welche bei länger andauernder Nahrungsentziehung wieder schwinden, sehr wohl an der in wenigen Stunden erfolgenden Abnahme der Leistungsfähigkeit der Muskeln um mehr als $\frac{2}{3}$ ihres ursprünglichen Werthes theilhaftig sein.

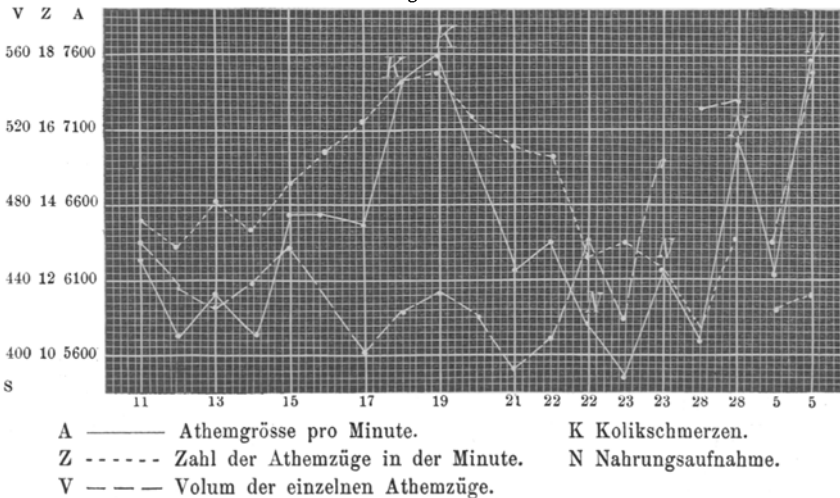
Uebrigens zeigen die Beobachtungen an *Breithaupt* unzweifelhaft, dass die Leistungsfähigkeit des Muskelapparates im Laufe des Hungerns erheblich abgenommen hat. Auffallend ist besonders das schnelle Auftreten von Zeichen ungenügender Blutversorgung, die enorme Pulsbeschleunigung, die Cyanose, wie solche in den Protokollen genauer beschrieben sind. Da auch bei *Cetti*, welcher systematische Arbeitsproben nicht vollführte, aber vielfach Turnübungen u. dergl. ausführte, die Abnahme der Leistungsfähigkeit und besonders die Neigung zu excessiver Pulsbeschleunigung bei geringfügiger Anstrengung unverkennbar war, können wir der von *Luciani* bei seinem Hungerer gefundenen Constanz der Muskelkraft keine allgemeine Gültigkeit zuerkennen. Gewiss kommt ein Theil des Unterschiedes auf den Umstand, dass *Succi* mit einem weit grösseren Vorrath an Reservematerial, speciell an Fett, das Hungern begann. Ob auch die bei letzterem erfolgte Zufuhr von Mineralwasser irgend einen Antheil an der grösseren Leistungsfähigkeit hat, bleibe dahingestellt. Wie weit der Gebrauch des Opiums, das *Succi* schon vor Beginn des Hungerns und während desselben wohl in wechselnder Menge nahm, complicirend wirkte, müssen wir auch dahingestellt sein lassen.

Hier ist auch noch der Einfluss des Hungerns auf die Athemmechanik, das bei der Athmung geförderte Luftquantum, die Zahl und Tiefe der Athemzüge zu erörtern. Bei *Cetti* zeigt sich bei Betrachtung der ersten Stäbe der Tab. 5 unverkennbar, dass die Athemzüge im Laufe des Hungerns zahlreicher und

¹⁾ *Maggiora*, Ueber die Gesetze der Ermüdung; X. Einfluss des Fastens und der Nahrungsaufnahme auf die Muskelmüdigkeit. Arch. f. (Anatomie und) Physiologie. 1890. S. 227.

flacher werden. Das Wachsen der Zahl überwiegt die Abnahme der Tiefe derart, dass die Ventilation an den letzten Hungertagen um etwa 10 pCt. grösser ist, als an den ersten. Der Wiederbeginn der Ernährung lässt die Ventilation sofort unter den Werth der ersten Hungertage sinken und zwar durch starke Abnahme der Frequenz bei geringerer Zunahme der Tiefe. Die charakterisirte Wirkung des Fastens auf die Athemmechanik tritt an den Tagen der Kolikschmerzen in verstärktem Maasse auf. Das eben Gesagte wird durch die Curven der Fig. 11 illustriert.

Fig. 11.



Bei Breithaupt ist die Regelmässigkeit der geschilderten Erscheinungen durch die ungewöhnliche Labilität seiner Athmung in etwas verdeckt, doch widersprechen die Befunde nicht gerade der bei Cetti beobachteten Gesetzmässigkeit.

Bekanntlich steht die Leistung des Athemapparates in der Ruhe in engster Beziehung zum Kohlensäuregehalt des Blutes und damit zum Kohlensäuregehalt der Expirationsluft. Wenn bei gleicher Athemtiefe und gleicher Ventilation der Kohlensäuregehalt der Expirationsluft niedriger ist, ist auch der Reiz, welcher das Athemcentrum trifft, ein kleinerer und das letztere muss erregbarer sein, wenn die Ventilation unverändert oder

gar verstärkt ist¹⁾. Diese Verhältnisse treffen nun in den späteren Hungertagen zu, wir müssen also annehmen, dass in ihnen eine grössere Erregbarkeit des Athemcentrums besteht, welche der S. 101 discutirten gesteigerten Erregbarkeit des Herzens parallel geht.

Gleichzeitige Messungen der Arbeit und des dabei stattfindenden Gaswechsels waren bisher bei hungernden Menschen niemals vorgenommen worden. Auch die Erfahrungen an normalen Individuen hierüber waren so spärlich, dass die nachträgliche Beschaffung einer grösseren Versuchsreihe an normalen Menschen nothwendig erschien, um ein genügendes Vergleichsmaterial für unsere Beobachtungen am Hungerer zu haben. Diese Versuche hat inzwischen Herr Dr. G. Katzenstein²⁾ ausgeführt.

Als weiteres Vergleichsmaterial liegen uns die seitdem erschienenen Mittheilungen von Speck³⁾, von Hanriot und Richet⁴⁾ über den Stoffverbrauch bei Muskelthätigkeit vor, sowie endlich eine Reihe für die Deutung unserer Ergebnisse wichtiger Erfahrungen über die Abhängigkeit des Stoffverbrauchs bei Muskelthätigkeit von der Ermüdung und dem Ernährungszustande der Muskeln, welche Herr Dr. Loewy inzwischen gesammelt hat⁵⁾. Wir werden auf diese sämmtlichen Arbeiten hier nur so weit eingehen, als dies zum Verständniss der an Breithaupt ausgeführten Versuche nothwendig ist. Diese in den Protocollen genügend ausführlich beschriebenen Versuche sind in Tab. 12 und 13 S. 92—94 zusammengestellt. Aus den ersten Stäben der Tab. 12 erhellt, dass es in Folge der etwas wechselnden Geschwindigkeit des Drehens und der später auftretenden Abnahme der Bremswirkung nicht möglich war, die per Minute geleistete Arbeit ganz constant zu halten; dieselbe schwankte zwischen 266 und

¹⁾ Vergl. Cohnstein und Zuntz, Pflüger's Archiv. Bd. 42. S. 365 und Ad. Loewy, Zur Kenntniss der Erregbarkeit des Athemcentrums. Pflüger's Archiv. Bd. 47. S. 601.

²⁾ Pflüger's Archiv. Bd. 49. S. 330.

³⁾ Speck, Deutsches Archiv f. klin. Med. Bd. 45. S. 461.

⁴⁾ Hanriot et Richet, Comptes rendus de l'Académie des Sciences. 104. p. 435. 105. p. 76.

⁵⁾ Loewy, Die Wirkung ermüdender Muskelarbeit auf den respir. Stoffwechsel. Pflüger's Archiv. Bd. 49. S. 405.

367 kgm. Stets war die Arbeit und die Athmung am Apparat schon einige Minuten im Gange, ehe die Probenahme begann. Dadurch wurde bewirkt, dass die Nachwirkung der vorangegangenen Arbeitsminuten sich zum Gaswechsel der zur Probenahme benutzten Minuten addirte und denselben annähernd um den Werth erhöhte, welcher der Nachwirkung dieser Arbeit entsprach. Dass wir auf diese Weise richtige Werthe für den gesammten Stoffverbrauch der untersuchten Arbeitsminuten erhielten, ergibt sich aus den citirten Untersuchungen von Katzenstein und aus unseren eigenen Erfahrungen am arbeitenden Pferde. Die von unseren Arbeitsversuchen am Pferde stammenden Erfahrungen über diese Nachwirkung, welche uns damals allein zu Gebote standen, liessen uns den Werth derselben sehr gering schätzen, im Gegensatz zu den Angaben, welche seitdem Speck über die Nachwirkung der Arbeit beim Menschen publicirt hat. Dass in Speck's Versuchen besondere, die lange Nachwirkung der Arbeit bedingende Momente mitgespielt haben, ist inzwischen durch Katzenstein und Loewy (a. a. O.) dargelegt worden.

In näherer Beziehung zu den bei unseren Hungerern obwaltenden Verhältnissen scheint uns folgende am Pferde gemachte Erfahrung zu stehen. In einem Versuche (No. 31 der citirten Abhandlung) betrug während der letzten Zeit der Arbeit der Mehrverbrauch an Sauerstoff 18,04 ccm pro kg und Min., während die nächsten 43 Ruheminuten zusammen 47,35 ccm über den Ruhewerth ergaben. Diese 47,35 ccm machen 7,4 pCt. des während der ganzen Arbeit beobachteten Zuwachses an Sauerstoff aus. Im Protocoll dieses Tages ist angegeben, dass das Thier in Folge excessiver Sommerhitze unwohl war und am Morgen den grössten Theil seines Futters verschmäht hatte. In den übrigen Versuchen beträgt die Menge des nach der Arbeit aufgenommenen Ueberschusses an Sauerstoff nur 2,2—3,3 pCt. von dem, was während der ganzen Arbeitsperiode selbst aufgenommen wird.

Diese Erfahrungen am Pferde liessen erwarten, dass schwächende Momente die Nachwirkung der Arbeit verstärken würden. Betrachten wir von diesem Gesichtspunkte die in Tab. 13 S. 94 gegebenen Zahlen des Gaswechsels nach der Arbeit bei Breithaupt.

Vor dem Hungern, bezw. 15 Stunden nach der letzten Mahl-

zeit ist nur einmal am 16. März der Stoffverbrauch von der 7. bis zur 19. Minute nach der Arbeit bestimmt; der Sauerstoffverbrauch beträgt hier 246,1 ccm gegen 234,9 ccm im Durchschnitt der 2 vorangegangenen Ruheversuche. Da bei den letzteren Breithaupt lag, bei ersteren am Ergostaten, wenn auch in möglichst bequemer Haltung, stand, so ist der Zuwachs von 11,2 ccm pro Minute $= 4,8$ pCt. durch die Muskelthätigkeit des Stehens vollkommen erklärt; von einer steigernden Wirkung der vor 7 Minuten abgeschlossenen Arbeit ist Nichts mehr nachzuweisen. Präcise Zahlen über die Steigerung des Sauerstoffverbrauchs durch das Stehen ohne vorangegangene Arbeit wurden an Breithaupt nicht in genügender Zahl gewonnen. Von den 2 bezüglichen Versuchen ist der am 15. durch die Wirkung der vor $5\frac{1}{2}$ Stunden genommenen Mittagsmahlzeit complicirt und giebt darum einen zu hohen Werth im Vergleich zu dem am selben Tage morgens nüchtern gemachten Versuche, am 20. aber, dem 5. Hungertage, ist der Normalwerth im Liegen höher, als der im Stehen gefundene. Die ungewöhnliche Höhe des Sauerstoffverbrauchs im Liegen an diesem Tage beruht auf einer nicht aufgeklärten Störung im Befinden Breithaupt's. Wir können, bei der geringen Veränderung des Gaswechsels im Laufe der Hungerperiode, den am 20. März gefundenen Sauerstoffverbrauch im Stehen $= 4,05$ ccm mit dem Durchschnitt der durch keine steigernden Einwirkungen complicirten Ruheversuche dieser Reihe vergleichen. Es kommen hierfür die Bestimmungen vom 17., 21. und 22. März in Betracht, deren Mittel 3,72 ccm Sauerstoff pro kg beträgt. Die Steigerung im Stehen ist demnach $4,05 - 3,72 = 0,33$ ccm $= 8,9$ pCt. des Ruhewerthes. — Es liegen uns eine Anzahl von Katzenstein gesammelter Vergleichen des Sauerstoffverbrauchs im Stehen und im Liegen vor, aus denen hervorgeht, dass die aufrechte Stellung Steigerungen um durchschnittlich 10 pCt. des Ruhewerthes zur Folge hat; die Grösse der Steigerung ist ziemlich erheblichen Schwankungen unterworfen, je nachdem das Individuum beim Stehen sich straff hält oder eine Stütze findet, welches letzteres bei Breithaupt der Fall war. Katzenstein fand an sich selbst einmal 22 pCt., einmal 12 pCt., an Dr. L. in einem, mit der Intention, jede Muskelspannung möglichst zu vermeiden,

angestellten Versuche, konnte der Unterschied bis auf 1,2 pCt. herabgedrückt werden.

Während also die Nachwirkung der Arbeit zur Zeit der normalen Ernährung in 7 Minuten vollkommen vorüber ist, dauert dieselbe in den späteren Hungertagen viel länger. Am 21. März, dem 6. Hungertage zeigt die $13\frac{1}{2}$ Min. nach Schluss der Arbeit begonnene und 12 Minuten dauernde Probenahme noch einen Sauerstoffverbrauch von 258,4 ccm gegen 196,5 ccm in ruhiger Lage vor der Arbeit, das ist eine Steigerung von 61,9 ccm oder 31 pCt. des Ruhewerthes, am 22. März haben wir entsprechende Resultate, trotzdem schon 2 Mahlzeiten vorausgegangen sind, die aber natürlich noch nicht im Stande waren, die Reservevorräthe des Organismus wesentlich zu erhöhen. Die $10\frac{1}{2}$ Minuten nach Schluss der Arbeit begonnene und 10 Minuten dauernde Probe ergab 335,2 ccm O-Verbrauch pro Min., der vorangehende Ruheversuch 240,0 ccm. Die Differenz von 95,2 ccm entspricht 39,7 pCt. des Ruhewerthes. Am zweiten Tage der Nahrungsaufnahme dem 23. März sind die Verhältnisse wieder ähnlich, wie vor dem Hungern. Die Athemgrösse ist schon nach 6 Minuten wieder normal geworden und der Ueberschuss des Sauerstoffverbrauchs in den ersten 11 Nachwirkungsminuten ist mit 53,6 ccm = 21 pCt. des Ruhewerthes geringer als er sich beim Hunger in den folgenden 10 Min. stellt.

Am 20., 22. und 23. März dauert die unmittelbar nach Schluss der Arbeit begonnene Probenahme der Nachwirkung annähernd gleich lang, so dass der Ueberschuss des gesammten Sauerstoffverbrauchs dieser Minuten über den Ruhewerth direct verglichen werden kann. Das Plus des Sauerstoffverbrauchs über den Ruhewerth zeigt folgende Zusammenstellung:

20. März	9 Min.	à	152,3 ccm	=	1370,7 ccm	entspr.	1,24 Arbeitsmin.
22.	-	$8\frac{1}{2}$	-	à	171,4	-	= 1371,2 - - 1,70 -
23.	-	11	-	à	53,6	-	= 589,6 - - 1,10 -

Auch hier zeigt sich sehr deutlich die stärkere Nachwirkung der Arbeit auf den Sauerstoffverbrauch am 20. und 22. März, das heisst im Hunger.

An der Hand unserer und aller sonst vorliegenden Erfahrungen über die Nachwirkung der Arbeit auf den Gaswechsel wird man wenig geneigt sein, die Erklärung anzunehmen, welche

Luciani (a. a. O. S. 189) für den hohen Sauerstoffverbrauch seines Hungerers am 12. Fasttage giebt. Der Werth ist an diesem Tage genau 3mal so gross, wie am 18. Tage. Diese riesige Differenz, etwa entsprechend der zwischen einem ruhig liegenden und einem in raschem Schritt gehenden Menschen, kann unmöglich, wie dies Luciani versucht, auf die Nachwirkung der am 12. Fasttage ausgeführten Arbeiten bezogen werden. Das verbietet sich auch durch die von uns und Speck ausnahmslos gemachte Erfahrung, dass, so lange nach Muskelarbeit der Sauerstoffverbrauch erhöht ist, auch das geathmete Luftvolum, und zwar in erheblich stärkerem Maasse, vergrössert ist. Bei Succi aber beträgt dies Volum am

12. Tage in 30 Min.	157 Liter	bei 7940 ccm Sauerstoffverbrauch
18. - - 30 -	151 - -	2547 - -

Man kann kaum zweifeln, dass am 18. Tage durch einen analytischen Fehler der Sauerstoffverbrauch viel zu niedrig gefunden wurde, vielleicht auch war am 12., dem ersten Tage, dessen Ergebniss Luciani mittheilt (die früheren hat er ihrer inneren Unwahrscheinlichkeit wegen selbst verworfen), noch ein entgegengesetzter Fehler untergelaufen.

Ausser der Dauer der Nachwirkung haben wir noch ein Kriterium für den Grad der Erschöpfung des Arbeiters, das ist das Wachsen des Sauerstoffverbrauches für gleiche Arbeit. Wir haben schon bei unseren Versuchen am Pferde gefunden, dass sehr anstrengende Arbeiten einen grösseren Sauerstoffverbrauch pro Kilogrammometer geleisteter Arbeit bedingen. — Loewy hat am Menschen (a. a. O. S. 413) das Gleiche in einer ad hoc angestellten Versuchsreihe gefunden und ist auch durch genaue Beobachtung des Verhaltens der Versuchsperson in diesem Stadium zu derselben Erklärung gekommen, welche uns beim Pferde die wahrscheinlichste schien, dass nemlich mit eintretender Ermüdung immer mehr, für die vorliegende Arbeit weniger zweckmässig angeordnete, Muskeln für die Arbeit herangezogen werden.

Einen Ueberblick über die Steigerung des Sauerstoffverbrauchs pro Kilogrammometer im zweiten Theil der Arbeitsperioden giebt folgende Zusammenstellung, in der wir zugleich die mittlere Minutenleistung der ganzen Arbeitsperioden in Kilogrammometer beifügen.

	Steigerung	Mittlere Minutenarbeit
16. März (Normale Ernährung)	0,006 cem O,	304 kgm
17. - (erster Hungertag)	0,222 - -	361 -
20. - (vierter Hungertag)	0,173 - -	293 -
22. - (erster Esstag)	0,079 - -	274 -
23. - (zweiter Esstag)	0,405 - -	290 -
24. - (Biergenuss und starke Mahlzeit)	0,280 - -	316 -

Wir sehen, dass bei normaler Ernährung unserer Versuchsperson (16. März) im Laufe einer mässigen Arbeit, die nicht merklich ermüdend wirkt, keine Steigerung des Sauerstoffverbrauchs pro Kilogrammmer stattfindet. Schon am ersten Hungertage ist eine solche zu bemerken, gewiss noch erhöht durch die stärkere Minutenarbeit.

Am vierten Hungertage ist die Steigerung fast eben so gross, trotz erheblich schwächerer Arbeit. Am ersten Esstag, an welchem die Nachwirkung der Arbeit sich ähnlich gezeigt hat wie beim Hunger, ist doch die Steigerung des Sauerstoffverbrauchs im Laufe der Arbeit wesentlich kleiner, allerdings auch die im Versuch geleistete Minutenarbeit eine noch geringere.

Der zweite Esstag mit seiner alle anderen Tage übertreffenden Steigerung kann hier nicht verwerthet werden; die absolute Grösse des Sauerstoffverbrauchs besonders im ersten Theil der Arbeit weicht so auffallend von allen anderen Werthen ab, dass wir auf eine Erklärung verzichten müssen.

Am 24. März spielt ein neues Moment mit, nemlich die Wirkung einer unmittelbar vorher eingenommenen fast überreichlich zu nennenden Mahlzeit, verbunden mit Biergenuss, dessen Wirkung durch die längere Abstinenz um so mehr zur Geltung kommen musste.

Jedenfalls ist die Wirkung der Inanition auf das Wachsen des Sauerstoffverbrauchs bei verlängerter Arbeit keine sehr bedeutende; Loewy hat bei gesunden Personen, wenn er starke Ermüdung herbeiführte, sogar höhere Werthe gefunden (a. a. O. S. 413). Man kann wohl annehmen, dass beim Hungern in Folge der grösseren Ermüdbarkeit seines Herzens die Erschöpfung schon der Arbeit ein Ende macht,

ehe alle Hülfsmuskeln in derselben Weise, wie das beim Gesunden geschieht, in Anspruch genommen werden (s. Protocoll 21. März S. 82).

Bei einer Betrachtung der absoluten Menge des Sauerstoffverbrauchs pro Einheit geleisteter Arbeit kommt man ebenfalls zu dem Ergebniss, dass der Hungerer bei andauernder Arbeit nicht so zweckmässig mit seinen Körperkräften umzugehen vermag. Auch hier zeigen unsere Erfahrungen, dass alle beobachteten Störungen des normalen Befindens dieselben Wirkungen haben, wie der Hungerzustand.

Ein Blick auf Tab. 12 zeigt, dass der Zuwachs des Sauerstoffverbrauchs pro Kilogrammmer Arbeit, sowie pro Kurbelumdrehung des Ergostaten während des Hungerns erheblich höher ist als in der Vorperiode. In dieser Hinsicht können wir den ersten Hungertag noch der Vorperiode und den ersten Tag der Wiederernährung der Hungerperiode zurechnen. Der zweite Tag der Wiederernährung muss aus früher erörterten Gründen ausser Betrachtung bleiben. Am letzten Versuchstage, den 24. März, kommt, wie auch schon hervorgehoben, die Ueberfüllung des Magens sowie der ungewohnte Biergenuss als schwächendes Moment mit der gleichen Wirkung wie der Hungerzustand in Betracht.

Wie oben bereits bemerkt, waren die Versuche von Katzenstein zum Theil aus dem Wunsche hervorgegangen, Vergleichsmaterial von einer grösseren Anzahl normal ernährter Menschen zu erhalten. Dort ist durch Combination von Versuchen mit verschieden starker Bremsung des Ergostaten ein Anhalt gewonnen worden zur Bestimmung des Antheiles, welchen die für die Drehung des Ergostaten an sich nöthigen Körperbewegungen und welchen die Ueberwindung der gemessenen Reibungswiderstände an der Steigerung des Sauerstoffverbrauchs haben.

Im Mittel war gefunden worden, (a. a. O. S. 360), dass die Umdrehung der Kurbel pro Kilo Körpergewicht der Versuchsperson einen Sauerstoffverbrauch von 0,1711 ccm und die letztgenannte Arbeit, sog. Dreharbeit, pro Kilogrammmer einen solchen von 1,957 ccm erforderte. Die Berechnung des ersten Arbeitsantheils auf das Kilo Körpergewicht rechtfertigt sich dadurch, dass diese Arbeit wesentlich in Verlagerung des Körperschwer-

punktes besteht, wobei die bewegten Massen dem gesammten Körpergewicht annähernd proportional sein dürften.

Wenden wir diese Zahlen zu einer Controle des bei Breithaupt gefundenen Sauerstoffverbrauchs an, so würden wir z. B. für den 20. März (erster Versuch) folgende Rechnung auszuführen haben:

Lebend-Gewicht des Breithaupt 60,12 kg, das ergibt für 21 Drehungen pro Minute

$$60,12 \times 21 \times 0,1711 = 216,02 \text{ ccm O}$$

$$\text{Für 301 kgm geleistete Arbeit } 301 \times 1,957 = 588,73 \text{ - -}$$

$$\text{Summa } 804,75 \text{ ccm O.}$$

Gefunden wurde ein Verbrauch von 1039,6 ccm

davon ab Ruhewerth 230,5 -

Bleibt 809,1 ccm für die Arbeit.

Gefundener und berechneter Sauerstoffverbrauch stimmen also fast absolut überein.

Führt man nun die Berechnung in gleicher Weise für alle Arbeitsversuche durch, so ergibt sich folgende Tabelle.

Tabelle 14.

Datum	Berechneter Sauerstoffverbrauch für die Kurbeldrehung	Sauerstoffverbrauch für die kgm Arbeit	insgesamt	Wirklich gefundener Sauerstoffverbrauch abzüglich Ruhewerth	
15. März	221	609	830	783	} Vor dem Hungern.
16. -	216	589	805	809	
16. -	219	597	816	822	
17. -	261	718	978	870	
17. -	265	729	994	966	
Mittel			885	850	
20. -	193	554	747	779	} Unter Einwirkung des Hungerns.
20. -	200	572	771	856	
21. -	201	578	778	998	
22. -	183	521	704	753	
Mittel			750	847	
24. -	252	608	860	915	} Grosse Mahlzeit und Biergenuss.
24. -	251	606	857	998	

Aus vorstehender Tabelle geht hervor, dass Breithaupt in der Vorperiode sich in seinem Sauerstoffverbrauch fast so wie der Durchschnitt der von Katzenstein verwendeten Versuchspersonen verhielt. Während des und durch das Hungern wurde

der für gleiche Arbeitsmengen erforderliche Sauerstoffverbrauch zwar gesteigert aber doch nicht in sehr erheblichem Maasse; eine stärkere Mahlzeit, combinirt mit ungewohnter Alkoholzufuhr hatte beinahe denselben Einfluss.

Von besonderem Interesse sind endlich noch die qualitativen Aenderungen des Stoffwechsels durch die Arbeit.

Wir haben oben S. 184 bereits angedeutet, dass bei der Arbeit nicht nur die absolute Grösse des Gaswechsels sich ändert, sondern auch das Verhältniss des Sauerstoffverbrauchs zur Kohlensäureproduction eine Verschiebung gegenüber den Befunden bei absoluter Ruhe erfährt. Thatsächlich finden wir, dass beim Hungernden der respir. Quotient die Tendenz hat, durch die Arbeit zu wachsen. Vergl. folgende Zahlen.

Datum	Respiratorischer Ruhe vor der Arbeit	Quotient bei Arbeit	Differenz zwischen Ruhe und Arbeit Mittel	
15. März	0,85	0,80	—0,05	} +0,01
16. -	0,86	0,96	+0,10	
17. -	0,87	0,84	—0,03	
20. -	0,63	0,78	+0,15	} +0,09
21. -	0,66	0,74	+0,08	
22. -	0,69	0,74	+0,05	

Die absolute Grösse des Wachsens der respir. Quotienten ist allerdings nicht erheblich. Man begegnet ähnlichen, zum Theil noch bedeutenderen Steigerungen in den Versuchsreihen von Speck, Katzenstein, Loewy, allerdings vorwiegend bei solchen Individuen, welche eine an Eiweiss und Fett reiche Kost genossen und in Folge dessen niedrige Quotienten in der Ruhe hatten. Bei solchen, die kohlenhydratreiche Nahrung aufnahmen, fand, wie bei unseren Pferdeversuchen, eher eine Erniedrigung des Quotienten statt.

Hiernach ist bereits zu ersehen, dass, da der Hungernde eben auch von Fleisch und Fett seines Körpers lebt, zur Erklärung der Steigerung des Quotienten keine für ihn besonders geltenden Gründe anzunehmen sind.

Wir können hier einmal an die bekannte Thatsache denken, dass die Muskelthätigkeit stets mit Bildung von Säure verbunden ist, welche einen Theil präformirter Kohlensäure aus Blut und

Gewebe austreiben kann¹⁾. Eine Ueberschlagsrechnung auf Grund der Alkalescenzenbestimmungen von Cohnstein¹⁾ lässt sofort erkennen, dass die mögliche Säurebildung bei weitem nicht ausreicht, um die Aenderung des respir. Quotienten zu erklären. — Es ist ferner daran zu erinnern, dass Arbeit den Glykogenvorrath des Körpers rasch consumirt und derselbe in der Ruhe wieder ersetzt werden könnte; einerlei, ob Fett oder Eiweiss hierfür das Material liefert, muss eine Bindung von Sauerstoff, also eine relative Verminderung der Kohlensäureausscheidung stattfinden, der respir. Quotient sich erniedrigen.

Der Verbrauch von Kohlenhydraten bei der Muskelthätigkeit ist durch vielfache Versuche erwiesen. Die directe Vergleichung des Glykogengehalts in ruhenden und tetanisirten Froschschenkeln ergiebt eine Abnahme in letzteren (Nasse, Weiss, Manché, Külz²⁾). Der analoge Versuch, der darin besteht, dass bei einem sich frei bewegenden Thiere die Bewegungen einer Extremität dadurch ausgeschaltet werden, dass man ihre Nerven durchschneidet, ergiebt nach Chandélon und Manché (Zeitschrift f. Biol. 25, 1889 S. 137) fast regelmässig ein kleines Mehr an Glykogen auf der gelähmten Seite. Deutlicher wird der Unterschied wenn man durch Zufuhr nicht zu grosser Gaben von Strychnin Krämpfe erzeugt, an denen natürlich das gelähmte Bein nicht theilnimmt³⁾. — Sehr überzeugend sind die Experimente von Külz an arbeitenden Hunden; während sonst eine Fastenzeit von 3 bis 4 Wochen nöthig ist, um die Leber eines

¹⁾ Siehe in dieser Hinsicht ausser den beiläufigen Erfahrungen von Gelpert und Zuntz (Pflüger's Archiv. Bd. 42. S. 233) die systematische, im hiesigen Laboratorium ausgeführte Untersuchung von Wilhelm Cohnstein, Ueber die Aenderung der Blutalkalescenz durch Muskelarbeit. (Aus dem thierphysiol. Lab. der landw. Hochschule.) Dieses Archiv. Bd. 130. 1892. S. 332.

²⁾ Jüngst durch Morat und Dufourt (Arch. de Physiol. IV. p. 457) am Hunde bestätigt. Eine nach Ausschaltung des Kreislaufs bis zur Erschöpfung tetanisirte Muskelgruppe zeigte 40—80 pCt. weniger Glykogen als die Parallelmuskeln.

³⁾ Siehe E. Külz, Beiträge zur Kenntniss des Glykogen, 1890, S. 119 ff., wo die älteren Angaben von Rosenbaum und Demant über die schnelle Zerstörung des Glykogen im Strychninkrampf durch mit allen Cautelen angestellte Versuche bestätigt und erweitert werden.

Hundes fast glykogenfrei zu machen, wird dies Ziel schon am ersten Hungertage durch 5—7 stündiges Ziehen eines belasteten Wagens erreicht. Die Muskeln sind dann zwar noch nicht frei von Glykogen, aber doch sehr arm daran. Bei 3 neueren Versuchen fand Külz pr. kg Hund 0,2—1,63 g Glykogenrest. Hier sind ferner die von Chauveau und Kauffmann ausgeführten vergleichenden Untersuchungen des Arterien- und des Muskelvenenbluts bei Ruhe und Arbeit zu berücksichtigen (C. R. de l'Acad. des Sciences t. 103, 22. et 29. nov. 1886). Die schon in der Ruhe nachweisbare Abnahme des Zuckers im venösen Blute ist während der Arbeit eine grössere; dieser Unterschied gewinnt noch erheblich an Bedeutung durch die im Durchschnitt auf's Dreifache erhöhte Stromgeschwindigkeit des Blutes¹⁾. In ausgezeichneter Weise wird die Bedeutung der Muskelthätigkeit für die Oxydation der Kohlenhydrate dargethan durch den von Külz zuerst geführten und seitdem mehrfach bestätigten Nachweis, dass grössere Arbeitsleistungen die Zuckerausscheidung bei Diabetikern erheblich herabsetzen, ja zeitweilig den Harn ganz zuckerfrei machen können.

Durch diese stärkere Zerstörung von Kohlenhydraten bei der Muskelthätigkeit lässt sich die bei Breithaupt gefundene Steigerung des respir. Quotienten in den Arbeitsversuchen erklären. Die Steigerung ist aber lange nicht bedeutend genug, um an eine ausschliessliche Benutzung von Kohlenhydraten für die Arbeit denken zu können, etwa in dem Sinne der von Seegen vertretenen, von Pflüger (sein Archiv Bd. 50 S. 396) genügend widerlegten Anschauung. In dieser Hinsicht sind unsere oben erwähnten Erfahrungen am kohlenhydratreich genährten Pferde bedeutungsvoll. Der respir. Quotient geht hier bei der Arbeit fast regelmässig herunter. Die Erfahrungen an Breithaupt während des Hungerns würden sich auch mit der Annahme, dass der Hungerer bei der Arbeit vorwiegend Eiweiss oxydirt, gut vertragen. Es geht aber aus der Summe der oben mitgetheilten Erfahrungen über Glykogenschwund und Zuckerconsum während

¹⁾ Auch diese Angaben haben durch Quinquaud (C. r. soc. de biologie. 1886. p. 410), sowie durch neueste Untersuchungen von Morat und Dufourt (l. c. p. 327) Bestätigung gefunden.

der Arbeit hervor, dass eine Betheiligung der Kohlenhydrate an dem Arbeitsumsatz unzweifelhaft besteht. Schon die mässigen mechanischen Leistungen im Körper des nicht eigentlich arbeitenden Hungerers müssten daher dessen Kohlenhydrate bald aufbrauchen, wenn nicht ein stetiger Ersatz stattfände. Für eine solche Neubildung von Kohlenhydraten im hungernden Körper sprechen aber viele Thatsachen.

Die Grundlage zu der Annahme, dass auch bei fehlender Zufuhr von aussen aus den Körpervorräthen (Eiweiss event. Fett) neues Glykogen gebildet werden könne, wird durch den Nachweis geliefert, dass kohlenhydratfreie Nährstoffe zu einer Anhäufung von Glykogen bei einem vorher möglichst davon befreiten Thiere führen können. Die zahlreichen älteren diesem Nachweise gewidmeten Versuche, bei denen es sich hauptsächlich um die Entscheidung der Frage handelte, ob das Glykogen aus präformirten Kohlenhydraten oder aus den Umsetzungen des Eiweiss stamme (Anhydrid- bzw. Ersparungshypothese) sind von Külz in seinen „Beiträgen zur Kenntniss des Glykogen“ ausführlich kritisirt worden. Ebenda giebt Külz seine eigenen mit peinlichster Berücksichtigung aller Einwendungen durchgeführten Versuche, deren Endergebniss er in die Worte zusammenfasst: In der That scheint mir durch sie der unantastbare Nachweis geliefert zu sein, dass aus Eiweiss Glykogen gebildet werden kann.

Dass eine derartige Neubildung von Kohlenhydrat auch im Körper des hungernden Thieres stattfinden kann, wird trotz der Einwendungen von Külz und Wright¹⁾ durch die Beobachtungen von Mering's²⁾ über den Phlorhizindiabetes im höchsten Maasse wahrscheinlich gemacht. In den Versuchen von Külz und Wright selbst ist der nach einmaliger Phlorhizinwirkung gefundene Glykogenrest im ganzen Körper viel zu gering, als dass daraus die Zuckermenge, welche dasselbe Thier bei wiederholter Phlorhizinwirkung voraussichtlich ausgeschieden hätte, abgeleitet werden könnte. Beispielsweise finden Wright und Külz nach Ablauf des Diabetes bei einem Hunde

¹⁾ Külz und Wright, Zeitschr. f. Biol. Bd. 27. S. 181.

²⁾ von Mering, Ueber Diabetes mellitus. Zeitschr. f. klin. Med. Bd. 24.

von 12 kg Gewicht	=	8,6 g Glykogen im ganzen Körper
- 6,9 -	=	3,8 -
- 9,6 -	=	6,6 -
- 11,4 -	=	5,3 -
- 7,6 -	=	7,9 -

Bei Wiederholung der Phlorhizingabe hätten diese Thiere voraussichtlich grössere Mengen Zucker ausgeschieden als ihrem ganzen Glykogenvorrathe entspricht, denn v. Mering findet bei dem zweiten Phlorhizindiabetes in derselben Hungerreihe.

bei einem Hunde von 10 kg = 19 g Zucker
 - - - - 23 - = 37 -

Höhere Glykogenvorräthe finden Külz und Wright überraschender Weise gerade bei 2 Thieren, welche nicht nur Phlorhizin erhalten, sondern auch so lange gehungert hatten, dass das Fasten allein ihren Glykogenbestand schon auf einen sehr niedrigen Werth hätte reduciren sollen. Das ist kaum anders, als durch eine Neubildung des Glykogens während des Hungerns zu verstehen.

Noch energischer treten für eine solche Neubildung die zahlreichen Versuche von Nebelthau¹⁾ ein. Dieser prüfte die Wirkung einer Reihe narkotisch bzw. antifebril wirkender Mittel auf den Glykogenbestand solcher Thiere, welche durch Hunger sehr glykogenarm gemacht waren. Ausnahmslos fanden sich nach Einwirkung der Mittel in der Leber, meist auch in den Muskeln, so grosse Glykogenmengen, dass an eine Neubildung nicht zu zweifeln war. Besonders bedeutungsvoll sind die Versuche mit Chloralhydrat, welches bekanntlich nach v. Mering's Entdeckung zur Bildung von Urochloralsäure und damit zur Ausfuhr der dem Zucker sehr nahestehenden Glykuronsäure durch den Harn Anlass giebt. Während dieser Kohlenhydratverlust durch den Harn stattfindet²⁾, wächst gleichzeitig, wie Nebelthau nachweist, der Glykogenvorrath im Körper. Allen den genannten Mitteln gemeinsam ist die Abschwächung der Muskelthätigkeit. Die Annahme, dass sie zur Aufhäufung des Glykogen führe, findet eine weitere Bestätigung in der Wirkung der Rücken-

¹⁾ Nebelthau, Zeitschr. f. Biol. N. F. X. 1891. S. 138.

²⁾ H. Thierfelder, Zeitschr. f. physiol. Chemie. Bd. 10. S. 163.

marksdurchschneidung; auch sie steigert, wie Nebelthau im Anschluss an analoge Befunde von Böhm und Hoffmann ermittelt hat, der Glykogenvorrath im Körper von Hungerthieren.

Besonders beweiskräftig erscheint uns noch der folgende Versuch von Külz¹⁾). Ein Jagdhund von 12150 g arbeitet am 1. und 2. Hungertage während $11\frac{1}{2}$ Stunden im Tretrade. Was nach solcher Arbeit an Glykogen übrig zu bleiben pflegt, lehren 5 Versuche, in denen die Thiere bald nach vollendeter Arbeit getödtet und auf Glykogen untersucht wurden.

Es fand sich pro kg Thier 1,16 g, 0,20 g, 1,63 g, 0,66 g Glykogen. Der fragliche Jagdhund wurde nun nach beendigter Arbeit 10 Tage lang ohne Nahrung in Chloralhydratnarkose gehalten. Er entleerte in dieser Zeit im Ganzen 69,2 g Urochloral-säure, entsprechend 41,24 g Glykuronsäure = **3,75 g** Glykuronsäure pro kg seines Anfangsgewichts; — nach dem Tode hatte er noch 0,16 g Glykogen pro Körperkilo.

Abgesehen von der grossen Menge ausgeschiedenen Kohlenhydrats spricht auch die Analyse zweier intra vitam ausgeschnittener Stücke des M. gluteus dieses Hundes für die nachträgliche Bildung von Glykogen. Das 4 Stunden nach Schluss der Arbeit entnommene Stück hatte 0,151 pCt., das zweite nach Stägigem Chloralgebrauch = 0,205 pCt. Glykogen. Als strenger Beweis kann dieser letzte Befund freilich nicht gelten, weil mehrere Stücke desselben Muskels erheblich verschiedenen Glykogengehalt zeigen können.

Aus all' dem Gesagten dürfen wir wohl mit hoher Wahrscheinlichkeit den Schluss ableiten, dass die auffallend niedrigen respiratorischen Quotienten des ruhenden Hungerers zum Theil auf einer Bildung und Anhäufung von Kohlenhydraten beruhen, welche Kohlenhydrate dann immer wieder bei Bewegungen verbraucht werden. Die geringe Steigerung des respiratorischen Quotienten schliesst allerdings die Möglichkeit aus, das Kohlenhydrat als vorwiegende Kraftquelle bei der Muskelthätigkeit in Anspruch zu nehmen.

Der Quotient erreichte im Durchschnitt kaum den Werth, der der Verbrennung reinen Eiweisses im Organismus entspricht. Wenn wir uns nicht in zu weitgehende Hypothesen verlieren

¹⁾ Külz, Beiträge zur Kenntniss des Glykogen. 1890. S. 116.

wollen, müssen wir es unentschieden sein lassen, in welchem Maasse die angeführten Ursachen bei der Gestaltung der respiratorischen Quotienten im Hunger theilhaftig sind und ob vielleicht noch andere Gründe dabei mitwirken.

Leichter zu erklären sind die ungewöhnlich hohen respiratorischen Quotienten, welche wir in den ersten Tagen der Wiederernährung bei Breithaupt finden. Derselbe nahm zeitweilig Ueberschüsse von Kohlenhydraten auf und konnte daraus zum Theil Fett bilden. Wenn aber aus einem Material, welches für sich verbrennend den Quotienten 1,00 liefern würde, eine Substanz, deren Verbrennungsquotient $= 0,7$ ist, abgespalten und im Körper aufgespeichert wird, muss in der Respiration mehr CO_2 erscheinen als gleichzeitig Sauerstoff aufgenommen wird. Das bei Breithaupt mehrfach beobachtete Steigen des Quotienten über die Einheit verstehen wir demnach als Ausdruck der Bildung von Fett aus Kohlenhydraten.

Man könnte auch an Gährungsprozesse im Darmkanal denken, welche, wie die Buttersäuregährung, Wasserstoff abspalten, so dass Sauerstoff für die Oxydation von Kohlenstoff disponibel wird¹⁾. Ein solcher Gährungsprozess kann aber in der hier vorausgesetzten Intensität beim Menschen nicht unbemerkt stattfinden, ist daher für uns ausgeschlossen, so dass nur an Fettbildung zu denken ist. — Dann aber kommt man zu der Vermuthung, dass der ausgehungerte Körper eine grössere Neigung zur Fettbildung hat als der normal genährte. Für einen solchen hat zwar Hanriot²⁾ das Auftreten respiratorischer Quotienten bis 1,25 nach Zufuhr mässiger Zuckermengen angegeben und daraus geschlossen, dass fast alles resorbierte Kohlenhydrat zunächst in Fett verwandelt werde. Diese Angaben haben sich aber bei einer durch Dr. Ad. Magnus-Levy³⁾ ausgeführten Prüfung im hiesigen Laboratorium als nicht stichhaltig erwiesen; vielmehr hat sich gezeigt, dass weder beim Menschen noch beim Hunde zu irgend einer Zeit nach der Aufnahme solcher Kohlenhydratmengen, wie sie Breithaupt erhielt, der Quotient den Werth 1,00 erreicht oder gar übersteigt.

¹⁾ Vgl. Wolfers, Pflüger's Archiv. Bd. 32. S. 264—266.

²⁾ Hanriot, Comptes rendus. 1892. t. 114. p. 371.

³⁾ Ad. Magnus-Levy, Naturwissenschaftl. Rundschau. 7. 1892. S. 360.

In gewissem Sinne der äusseren Arbeit vergleichbar sind jene inneren Vorgänge, welche sich an die Aufnahme der Nahrung anschliessen. Wir haben sowohl bei Cetti als bei Breithaupt die Wirkung dieser Verdauungsarbeit auf den Gaswechsel geprüft und konnten jedesmal erhebliche Steigerungen der Sauerstoffaufnahme und der Kohlensäureausscheidung als Folge derselben constatiren. Leider haben wir nur Erfahrungen über die Wirkung der Verdauungsarbeit in der Nachperiode des Hungerns, so dass wir nicht entscheiden können, ob der längere Zeit der Nahrung beraubt gewesene Organismus auf die gleiche Zufuhr anders reagirt als der normale. Wenn wir die von uns beobachteten Steigerungen des Gaswechsels in den nächsten Tagen nach Beendigung des Hungerns mit denen vergleichen, welche Magnus-Levy und Zuntz¹⁾ und der erstere allein in noch nicht veröffentlichten Versuchen an verschiedenen Menschen gefunden haben, erscheint es uns nicht wahrscheinlich, dass die längere vorausgegangene Nahrungsentziehung den Effect einer bestimmten Nahrungsmenge auf die Athmung in einer oder der anderen Richtung beeinflusste. — Wir brauchen wohl kaum hervorzuheben, dass wir unter „Verdauungsarbeit“ alle sich an die Zufuhr von Nahrung anschliessenden Leistungen des Organismus verstehen, also nicht nur die mechanische und secretorische Thätigkeit des Darmkanals, sondern auch die gesteigerte Arbeit des Herzens, den Kraftaufwand, welchen die chemischen Prozesse im Körper, die Glykogen- und Fettbildung u. s. w. erfordern.

§ 7. Verbrauch an Körperbestandtheilen und Wärme-production des Hungernden (Lehmann und Zuntz).

Aus den in Tab. 5 für die Athmung Cetti's gegebenen Daten lässt sich leicht berechnen, wie viel Sauerstoff derselbe in 24 Stunden consumirt und wie viel Kohlensäure er in derselben Zeit producirt haben würde, wenn er sich andauernd so ruhig gehalten hätte, wie während des Respirationsversuchs. Durch Multiplication des in Tab. 5 angegebenen Minutenwerthes mit der Zahl der Minuten des Tages = 1440 ergibt sich der Gaswechsel pro 24 Stunden in Cubikcentimeter

¹⁾ Magnus-Levy und Zuntz, Pflüger's Archiv. Bd. 49. S. 455.