

ZEITSCHRIFT

FÜR

B I O L O G I E

VON

M. v. PETTENKOFER UND C. VOIT,
PROFESSOREN AN DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN.

SIEBZEHNTER BAND.



MÜNCHEN UND LEIPZIG 1881.

DRUCK UND VERLAG VON R. OLDENBOURG.

Inhalt.

	Seite
Versuche über den Raumsinn der Haut bei Kindern, angestellt an der obern Extremität nach der Methode der richtigen und falschen Fälle von Dr. W. Camerer	1
Ueber die Luftbewegung in den Münchener Sielen. Von Dr. Aladár v. Rózsahegyí	23
Versuche über den Raumsinn der Haut an Blinden. Von Oskar Gärttner Der Raumsinn der unteren Extremität bei Anchylose des Kniegelenkes. Von E. Schimpf	56
Respirationsversuche am schlafenden Menschen. Von Dr. L. Lewin . .	62
Liebig's Methode der Harnstofftitrirung und ihre Modificationen. Von Dr. Max Gruber	71
Vergleichende Bestimmungen des Fettgehaltes der Milch durch Gewichts- analyse, mittels des Lactobutyrometers und der neuen aräometrischen Methode von Soxhlet. Von Dr. E. Egger	78
Histologische und physiologische Studien. Von G. Valentin. XLII—XLIV.	110
Ueber den Einfluss des kohlensauren Natrons und des kohlensauren Kalks auf den Eiweissumsatz im Thierkörper. Von Dr. Adolf Ott	113
Einige Versuche über das Verhalten des Wassers in unseren Kleidern. Von Dr. Klas Linroth	165
Ueber den Stoffverbrauch im hungernden Pflanzenfresser. Von Dr. Max Rubner	184
Antwort auf Prof. E. Pflüger's „Zweiten kritischen Beitrag zur Titration des Harnstoffs“. Von Dr. Max Gruber	214
Photometrie des Absorptionsspectrums der Blutkörperchen. Von Ernst Jessen. (Mit Tafel I, II u. III)	239
Ueber Schwefelbestimmungen im Harn der Herbivoren. Von H. Weiske.	251
	273

Ueber den Stoffverbrauch im hungernden Pflanzenfresser.

Von

Dr. Max Rubner.

(Aus dem physiologischen Institute zu München.)

Es ist vorzüglich durch die Arbeiten von Pettenkofer und Voit festgestellt, dass der Fleischfresser (Hund) während des Hungers Eiweiss und Fett, und zwar je nach den Umständen in sehr verschiedenen Verhältnissen, zerstört. Dagegen sind unsere Kenntnisse von der Menge der im hungernden Pflanzenfresser (Säugethier) zersetzten Stoffe noch äusserst dürftig. Frerichs¹⁾ und Bischoff²⁾ haben die tägliche Harnstoffausscheidung bei hungernden Kaninchen, Grouven³⁾ die Stickstoffabgabe im Harn und Koth hungernder Ochsen untersucht, ferner haben Regnault und Reiset⁴⁾ bei ihren umfassenden Versuchen auch die Kohlensäureabgabe und die Sauerstoffaufnahme des Kaninchens bestimmt und in jüngster Zeit hat Finckler⁵⁾ abermals Respirationsversuche am Meerschweinchen während der Inanition ausgeführt.

Wie aus diesen Angaben ersichtlich ist, gestattet keiner der am Pflanzenfresser angestellten Versuche einen genügenden Einblick in die stofflichen Vorgänge im hungernden Organismus, weil kein

1) Frerichs: Arch. f. Anat. u. Physiol. 1848 S. 469.

2) Bischoff: der Harnstoff als Maass des Stoffwechsels 1853 S. 119.

3) Grouven: physiologisch-chemische Fütterungsversuche 1864 S. 127.

4) Regnault u. Reiset: Annal. d. Chem. u. Pharm. 1850 Bd. 73 S. 266.

5) Finckler: Archiv f. d. ges. Physiol. 1880 Bd. 23 S. 175.

Ueber den Stoffverbrauch im hungernden Pflanzenfresser. Von Max Rubner 215

Experimentator dabei die gesammten Ausscheidungsproducte des Zerfalls ermittelt d. h. keiner die Grösse des Umsatzes an Eiweiss und Fett festgestellt hat. Um aus den Umsetzungs- und Ausscheidungsproducten den Gesamtstoffwechsel eines Thierkörpers zu messen, müssen alle Ausscheidungen, so weit sie für die Beurtheilung jener Vorgänge von Belang sind, zur Bestimmung der in ihnen enthaltenen Stoffe oder Elemente gesammelt werden. Es ist selbstverständlich nicht möglich, den in der Respiration entfernten Kohlenstoff als Maass für den Verbrauch dieses Elementes, das ausserdem in sehr schwankenden Mengen auch im Harn und Koth ausgeschieden wird, zu benützen, noch weniger aber als ein Maass des Stoffwechsels überhaupt, da im Körper nicht nur eine einzige kohlenstoffhaltige Verbindung zur Zersetzung gelangt, sondern meist mehrere von ganz ungleicher Bedeutung und von verschiedenem Kohlenstoffgehalte in sehr wechselnder Proportion in den Zerfall gezogen und verbrannt werden. Aus dem gleichen Grunde ist auch die Grösse des Sauerstoffverbrauchs kein Maass des Stoffwechsels¹⁾. Nur aus der gleichzeitigen Bestimmung des in den Excreten ausgeschiedenen Stickstoffs und Kohlenstoffs können Rückschlüsse auf den Stoffwechsel im Körper und auf die im letzteren zerstörten Stoffe gemacht werden.

Da Manche die Meinung ausgesprochen haben, dass der Pflanzenfresser in Beziehung der Stoffzersetzungen, namentlich der quantitativen Verhältnisse derselben, sich wesentlich anders verhalte als der Fleischfresser, so habe ich es unternommen, einige Versuche mit Pflanzenfressern im Hungerzustande bis zum eintretenden Tode anzustellen. Ich habe als Versuchsthier das Kaninchen gewählt; ein grösseres Thier hätte wegen der voraussichtlich längeren Hungerzeit wesentlich mehr Arbeit gemacht, bei einem kleineren ist die Bestimmung des Stickstoffverbrauchs mit bedeutenden Ungenauigkeiten behaftet.

I. Der Eiweissumsatz.

Zur Bestimmung des Eiweissumsatzes im hungernden Thier genügt die Ermittlung des im Harn ausgeschiedenen Stickstoffs;

1) Voit: Ztschr. f. Biologie 1878 Bd. 14 S. 137.

die Menge des im Hungerkoth, wenigstens des Fleischfressers, enthaltenen Stickstoffs ist so gering, dass sie vernachlässigt werden kann.

Es ist beim Kaninchen nicht möglich, den Harn jedes Versuchstages genau abzugrenzen, wie es bei grösseren Hunden durch directes Auffangen desselben oder durch Katheterisiren der Blase geschehen kann. Es bleibt nichts Anderes übrig, als die Kaninchen den Harn nach Belieben in einen für das rasche Ablaufen desselben günstig eingerichteten Käfig entleeren zu lassen und zu versuchen, vor Abschluss jedes Hungertages den noch in der Blase befindlichen Harn abzupressen, wobei in der Regel eine ziemliche Menge desselben gewonnen wird. Das Einspritzen von Wasser in den Magen, wie Salkowski es thut, um die Harnmenge zu vermehren, habe ich unterlassen; jedoch durften die Thiere nach Belieben Wasser aufnehmen.

Das Thier sass in einem kleinen cylindrischen Käfige auf einem weitmaschigen Drahtgitter, auf welches in einem Abstände von 2^{cm} ein zweites Netz mit engeren Maschen folgt. Der Koth fiel alsbald durch die Maschen des ersten Gitters und blieb auf dem zweiten Netz liegen¹⁾; der Harn aber floss durch einen Zinktrichter in ein untergestelltes Glas; Netz und Trichter wurden täglich mit Wasser sorgfältig abgespült.

Bei Hunden, welche beim Entleeren des Harns in den Käfig denselben an die Wandungen spritzen und den Körper damit benetzen, gelingt es nur nach dem im hiesigen Laboratorium gebräuchlichen Verfahren, den Harn ohne jeglichen Verlust zu erhalten; bei Kaninchen ist es jedoch möglich, den Harn vollkommen zu gewinnen, wenn man den Käfig in der von mir angegebenen Weise einrichtet.

Dagegen ist es bei letzteren wegen der unregelmässigen Harnentleerung nicht möglich, den Eiweissumsatz für jeden Hungertag anzugeben, weshalb ich denselben für mehrere Tage berechnet und dann das Mittel genommen habe, indem ich diejenigen Versuchstage zusammenlegte, an welchen vorher und am Schluss eine reichliche Menge von Harn gelassen worden war, so dass an ihnen eine vollständige Entleerung der Blase angenommen werden durfte. Allerdings verzichtet man dabei auf eine genaue Kenntniss des an jedem Tage zersetzten Eiweisses.

Der Stickstoff des Harns wurde bestimmt, indem 5 oder 10^{cm} desselben unter reichlichem Zusatz von Oxalsäure im Hofmeister'schen Schälchen auf Quarzsand eingedampft und mit Natronkalk verbrannt wurden.

Den Versuchsthiere wurde das Futter am Nachmittag vor Anfang des ersten Hungertages entzogen. Da letzterer am darauf folgenden Tage um 11 Uhr Vormittags begann, so waren also zu dieser Zeit etwa 22 Stunden nach der letzten Nahrungsaufnahme verflossen.

Man könnte einwenden, dass beim Pflanzenfresser, bei dem die Vorgänge im Darm wahrscheinlich nicht vollständig während eines Tages ablaufen, wenigstens

1) Auf diese Weise wird der Koth alsbald vom Thiere getrennt, was nothwendig ist, weil die hungernden Kaninchen häufig ihren Koth auffressen; es beruht vielleicht hierauf die Angabe, dass Kaninchen in Folge von Nahrungsentziehung zu Grunde gehen, obwohl sich noch Speisereste in ihrem Magen befinden.

an den ersten Hungertagen noch Stoffe aus dem von der früheren Nahrungsaufnahme im Darm befindlichen Inhalt resorbirt werden und einen wesentlichen Einfluss auf die Zersetzungen ausüben. Es würde dann das aus der Stickstoffausscheidung berechnete zersetzte Eiweiss nicht alles aus dem Körper des hungernden Thieres stammen.

Ich habe hierüber einen Versuch, dessen Resultate ich bei einer anderen Gelegenheit mittheilen werde, angestellt, indem ich den Darminhalt eines wohlgenährten und eines verhungerten Kaninchens, welche vorher die gleiche Nahrung erhalten hatten, untersuchte, und gefunden, dass wenigstens bei dem dargereichten Futter (Weissbrod mit Milch und wenig Heu) jenes Moment nur einen geringen Einfluss auf den Verbrauch an Stickstoff (und auch an Kohlenstoff) ausübt und sich die Nachwirkung des Darminhalts höchstens auf die ersten Hungertage erstreckt. Dass bei Kaninchen die nachträgliche Aufnahme aus dem Darmkanal nicht erheblich ist, geht auch aus den Angaben von Regnault und Reiset hervor, nach welchen während 30 Stunden nüchterne Kaninchen schon den gleichen niederen respiratorischen Quotienten zeigen wie Fleischfresser. Bei einer anderen Art der Fütterung ist dies vielleicht anders; so sollen z. B. nach den Versuchen von Grouven Ochsen, welche vor der Hungerzeit Roggenstroh erhalten hatten, während 4 Tagen von letzterem noch resorbiren, und zwar so viel, dass bis zu 46% des unterdess im Harn ausgeschiedenen Stickstoffs daraus abgeleitet werden können.

a) Menge des ausgeschiedenen Stickstoffs.

Wir wissen namentlich aus den Untersuchungen von Bidder und Schmidt, Bischoff und Voit, sowie von Falck am hungernden Fleischfresser und aus denen von Schimansky an Hühnern, dass im Allgemeinen in den ersten Tagen des Hungers die Stickstoffausscheidung oder die Eiweisszersetzung sinkt und zwar besonders rasch bei hoher Anfangszersetzung oder vorausgehender reichlicher Eiweisszufuhr, dass dieselbe ferner, wenn einmal ein gewisser Abfall erreicht ist, längere Zeit nahezu gleich bleibt, um dann entweder in ein fortwährendes Absinken oder sogar in eine Zunahme des Eiweisszerfalls überzugehen.

Die bis jetzt an pflanzenfressenden Säugethiere angestellten Hungerversuche haben in dieser Beziehung verschiedene Resultate ergeben. Die beiden Kaninchen Bischoff's zeigten in 6—8 Hungertagen keine bemerkenswerthe Aenderung der Harnstoffausscheidung; das Kaninchen von Frerichs, welches schon am vierten Tage der Inanition zu Grunde ging, lieferte am ersten Tage 0,38^g Harnstoff, am zweiten 1,82^g und am dritten 4,20^g; die von Grouven untersuchten Ochsen ergaben in einer Anzahl von Fällen

vom ersten Tage an ein Ansteigen der Stickstoffmenge im Harn, in anderen jedoch nicht.

Man muss sich, namentlich bei den kleinen Kaninchen, hüten, jede solche Steigerung der Stickstoffausscheidung auf eine Steigerung in der Eiweisszersetzung zu beziehen, da man durch die unregelmässige Harnentleerung leicht getäuscht werden kann, namentlich dann, wenn es sich um schwache Thiere handelt, welche in wenigen Tagen dem Hunger erliegen. Ich habe z. B. ein Kaninchen (Nr. I) vom 23. Nov. 1879 an beobachtet, welches am 8. Hungertage verendete und bei sehr unregelmässigem Harnlassen folgende Stickstoffmengen im Harn zeigte:

Hungertag	Gewicht	Stickstoff im Harn
1.	2091,3	0
2.	1965,0	0,439
3.	1931,3	0
4.	1934,0	1,320
5.	1773,3	0,887
6.	1749,3	0,444
7.	1597,3	2,126
8.	1437,8	—
	(1429,3 ^s todt)	

Man könnte hier zwar die Stickstoffausscheidung auf die einzelnen Tage vertheilen, nämlich

1.	0,22
2.	0,22
3.	0,66
4.	0,66
5.	0,89
6.	1,28
7.	1,28

und daraus ein allmähliches Ansteigen der Zersetzung folgern wollen, aber es ist wohl nicht möglich, dass ein kräftiges Kaninchen von 2091^s Gewicht an den zwei ersten Hungertagen nur je 0,22^s Stickstoff liefert.

Die Hauptreihen über den Gang der Stickstoffausscheidung sind an drei Kaninchen (Nr. II, III und V) gemacht worden. Nr. II (Lapin) wog bei Beginn des Hungers (21. Sept. 1880) 2985^s und ging bei einem Gewicht von 2029^s am Beginn des 10. Hungertages zu Grunde; Nr. III (deutsches Kaninchen) wog anfangs (22. Sept. 1880) 2341^s, am 19. Hungertage, wo es verendete, 1388^s; Nr. V (deutsches Kaninchen) hatte am ersten Hungertage ein Gewicht von 1506^s, nach dem Tode (am 19. Hungertage) von 761^s. Die Thiere gaben die folgenden Resultate:

Tag	Harnmenge in Ccm.	spec. Gewicht	Reaction	Stickstoff im Harn	Bemerkungen
Kaninchen II					
1.	—	—	alkalisch	1,170	mit Waschwasser gemessen
2. }	96	1051	sauer	3,861	am Schluss des 3. Tages
3. }					
4.					
5.	28	1040	„	1,147	„
6.	43	1050	„	1,78	„
7.	93	1050	„	3,54	Harn zw. 8—9.30 Vorm.
8.	75	1050	„	3,04	am Schluss des Tages
9.	85	1038	„	3,07	„
	148	1016	„	2,25	—
Kaninchen III					
1. }	138	1035	schwach alkalisch	3,00	—
2. }					
3. }	40	1053	sauer	1,242	kein Harn entleert Harn abgepresst
4. }					
5.					
6.					
7.	24	1044	„	0,718	„
8.	46	1044	„	1,284	„
9.	32	1045	„	1,049	„
10. }	80	1030	„	1,886	„
	60	1036	„	1,682	Abpressen ohne Erfolg abgepresst
11.	30	1033	„	0,811	„
12.	43	1045	„	1,563	„
13. }	36	1044	„	1,226	Abpressen ohne Erfolg abgepresst
14. }					
15.	44	1027	„	1,060	„
16.	110	1025	„	2,381	„
17.	122	1028	„	2,858	„
18.	95	1035	„	2,705	„
19.	49	1025	„	0,825	—

Tag	Harnmenge in Ccm.	spec. Gewicht	Reaction	Stickstoff im Harn	corrigirte N-Werthe	Bemerkungen
Kaninchen V						
1.	39	—	schwach sauer	0,719	0,719	am Ende des Versuchstages Harn abgepresst
2.	36	—	sauer	0,693	0,693	„
3.	20	1047	„	0,697	0,697	„
4. }	32	—	„	1,087	0,584	Blase nicht völlig leer
5. }						
6.	14	—	„	0,667	0,584	Blase völlig entleert
7.	31	1030	„	0,632	0,632	„

Fortsetzung der Tabelle von vor. Seite.

Tag	Harnmenge in Ccm.	spec. Gewicht	Reaction	Stickstoff im Harn	corrigirte N-Werthe	Bemerkungen
8.	27	1031	sauer	0,617	0,617	Blase am Ende des Versuchstages entleert
9.	28	1030	"	0,611	0,611	"
10.	20	—	"	0,584	0,661	vor Ende des Versuchstages Harn gelassen
11.	25	1042	"	0,738	0,661	Harn völlig entleert
12.	20	1040	"	0,584	0,664	vor Ende des Versuchstages Harn gelassen
13.	22	1045	"	0,744	0,664	Blase völlig entleert
14.	26	1043	"	0,925	0,925	"
15.	31	1042	"	1,039	1,391	Blase vor Ende des Versuchstages entleert
16.	52	1037	"	1,744	1,391	Blase völlig entleert
17.	61	1030	"	1,708	1,708	"
18.	40	1032	"	1,171	1,171	"
19.	12	—	"	0,522	0,522	Harn theils entleert, theils noch in der Blase vorhanden

Daraus stelle ich, indem ich nach dem vorher angegebenen Princip einzelne Tage zusammennehme, folgende Reihe her; es werden ausgeschieden:

Tag	Gesamtstickstoff	Stickstoff im Mittel im Tag	Eiweissumsatz im Mittel im Tag
Kaninchen II			
1. — 3.	5,03	1,67	10,86
4. — 5.	2,92	1,46	9,49
6. — 8.	9,65	3,21	20,87
Kaninchen III			
1. — 2.	3,00	1,50	9,75
3. — 8.	6,18	1,03	6,70
9. — 15.	6,34	0,91	5,92
16. — 18.	7,94	2,65	17,23
Kaninchen V			
1. — 7.	4,495	0,642	4,17
8. — 13.)	4,803	0,646	4,46
15. — 18.	5,662	1,415	9,20

1) Hierbei ist der 14. Tag ausgeschlossen, da er eine Mischung der Eiweisszersetzung des noch fetthaltigen und des fettfreien Thieres zeigt.

Daraus ergibt sich, dass bei wohlgenährten und kräftigen Kaninchen die Stickstoffausscheidung wie bei fettreichen Fleischfressern längere Zeit gleich bleibt oder allmählich und langsam absinkt. Der Abfall ist an den ersten Tagen nicht so bedeutend wie bei den vorher reichlich mit Eiweiss gefütterten Fleischfressern, da die Kaninchen vor dem Hungern keinen so grossen Ueberschuss an Eiweiss erhalten haben. Im weiteren Verlaufe nimmt die Eiweisszersetzung nur wenig ab; so änderte sich die mittlere Stickstoffausscheidung bei Kaninchen III von einer Woche zur andern nur um 0,1%, so dass man hier, bei Vorliegen der täglichen Werthe, wie beim Hunde von einem gleichbleibenden Zerfall sprechen könnte. Später tritt in beiden Fällen eine am fettarmen Fleischfresser schon erkannte Erscheinung auf, nämlich eine Erhöhung der Eiweisszersetzung. Dieselbe ist von Voit zuerst bei einer fettarmen Katze nachgewiesen und als Folge der Abnahme des Körperfettes gedeutet worden; das Gleiche beobachteten später Falck an Hunden und Schimansky an Hühnern. Bei den von mir untersuchten Kaninchen ist diese schliessliche, 3 — 4 Tage vor dem Tode auftretende Steigerung des Eiweisszerfalles sehr gross, denn sie übertrifft die Zersetzung bei Beginn des Hungers um mehr als das Doppelte. Es ist auffallend, dass die Thiere, welche in der Regel bis dahin kein Wasser aufgenommen haben, zu dieser Zeit mit Begierde Wasser saufen; möglicherweise geschieht dies, um das zur Ausscheidung der grösseren Harnstoffmenge dem Körper entzogene Wasser wieder zu ersetzen; die Harnmenge ist dabei sehr vermehrt.

Es ist möglich, dass die von Frerichs bei dem schon am 4. Hungertage erlegenen Kaninchen gleich vom ersten Tag des Hungers an wahrgenommene Vermehrung der Harnstoffmenge darauf beruht, dass das Thier schon sehr heruntergekommen und arm an Fett war; dieselbe könnte jedoch auch nur eine scheinbare, durch ungleichmässiges Harnlassen verursachte sein; es wäre aber auch denkbar, dass, wenn bei fettarmen Thieren an den ersten Tagen noch Kohlehydrate aus dem Darminhalte resorbirt werden, die Eiweisszersetzung an diesen Tagen sehr herabgesetzt wird. Ich habe ein Kaninchen (Nr. IV) von 1813g Gewicht untersucht, welches vorher Milch mit Hornspänen erhalten und schon längere Zeit zu ander-

weitigen Ernährungsversuchen gedient hatte und wie das von Frerichs am vierten Tage zu Grunde ging; dasselbe lieferte:

1. 98^{cem} schwach alkalischen Harn mit 0,74^g Stickstoff,
2. 93^{cem} schwach sauren Harn mit 1,732^g Stickstoff,
3. 120^{cem} schwach sauren Harn mit 1,297^g Stickstoff.

Hier sind nur die zwei zuerst genannten Möglichkeiten gegeben. Wenn die Ochsen von Grouven den Harn regelmässig gelassen haben, dann ist bei ihnen die wahrscheinlichste Ursache der zumeist gleich von Anfang an beobachteten Zunahme der Stickstoffausscheidung die allmähliche Abnahme der Resorption von Kohlehydraten aus dem Darmkanal.

b) Grösse des Stickstoffverbrauchs an den einzelnen Hungertagen bei Reduction auf 100 Theile im Körper vorhandenen Stickstoffs.

Um die Intensität der Zersetzung von Eiweiss während der einzelnen Hungertage zu messen, ist es nöthig, die Zersetzung auf ein einheitliches Maass zu beziehen.

Man hat zu diesem Zwecke gewöhnlich die täglichen Ausscheidungen auf 1^{kg} Thier reducirt. Diese Reduction ist aber, wie schon Voit¹⁾ gezeigt hat, mit mancherlei Fehlern behaftet, da 1^{kg} Thier sehr ungleich zusammengesetzt sein kann. Auf das Körpergewicht wirken nämlich eine Reihe von Factoren ein, wodurch diese Vergleichseinheit beständig geändert wird. Es ist namentlich der Wassergehalt der Organe variabel, dann nimmt beim Hunger in Folge der ungleichen Zerstörung von Eiweiss und Fett der Fettbestand des Körpers in anderer Weise ab als der Eiweissbestand. Eine erhöhte Eiweisszersetzung lässt ferner das Körpergewicht rascher sinken als die gleich grosse Fettzersetzung, weil der Körper im letzteren Falle nur so viel an Gewicht verliert als die Menge des verbrannten Fettes beträgt, während bei einem Verlust von Eiweiss auch das mit demselben in den Organen verbunden gewesene Wasser und die Mineralbestandtheile ausgeschieden werden.

Voit hat zuerst versucht, den Eiweissumsatz auf die Eiweiss- oder die Fleischmenge im Körper zu reduciren, d. h. zu prüfen,

1) Voit: Ztschr. f. Biologie 1866 Bd. 2 S. 342.

welcher Bruchtheil derselben täglich beim Hunger zerstört wird. Da die Ursachen der Zersetzung in den Zellen sich finden, so scheint es mir nicht nur sachgemäss, die Zersetzung auf sie zu beziehen, sondern ich glaube auch, dass sich nur schwer ein anderer, exacterer Maassstab finden lässt. Während aber Voit die Fleischmenge am Körper bei seinem Hunde nur annähernd schätzte, habe ich sie direct nach dem Tode des Thieres bestimmt. Man hätte dabei, wie es Manche z. B. Bidder und Schmidt thaten, von zwei möglichst gleichen Thieren, von dem gleichen Wurf und gleicher Fütterung, das eine sofort tödten und die Zusammensetzung seines Körpers ermitteln, das andere aber erst nach dem Hungertode daraufhin untersuchen können, um den Eiweiss- und auch den Fettbestand des Thieres bei Beginn und am Ende der Hungerreihe zu erfahren. Aber eine solche Bestimmung ist sehr umständlich und hätte vielleicht bei dem Kaninchen zu keinem Resultate geführt. Ich habe deshalb zunächst die Gesamttrockensubstanz des verhungerten Thieres, nach Entfernung des Felles und des Darminhaltes, und deren Stickstoffgehalt ermittelt; da ich aber von Beginn der Hungerzeit an die im Harn entleerte Stickstoffmenge kenne, so ist es leicht möglich, durch Summirung aller dieser Stickstoffwerthe den Anfangsbestand des Thieres an Stickstoff und trockenem Fleisch¹⁾ und dann durch Subtraction der Harnstickstoffwerthe bis zu einem beliebigen Termine den dem letzteren zugehörigen Stick-

1) a) Das verhungerte Kaninchen II (2029,0^g Gewicht) gab:

321,97 ^g Trockensubstanz mit 11,28 ^o Stickstoff	
es waren demnach im verhungerten Körper	36,32 ^g Stickstoff
es wurden im Harn entfernt	19,86 "
also Bestand bei Beginn des Hungers	56,18 ^g Stickstoff

b) Das verhungerte Kaninchen III (1388,0^g Gewicht) gab:

252,6 ^g Trockensubstanz mit 11,65 ^o Stickstoff	
es waren demnach im verhungerten Körper	29,43 ^g Stickstoff
es wurden im Harn entfernt	24,28 "
also Bestand bei Beginn des Hungers	53,71 ^g Stickstoff

c) Das verhungerte Kaninchen V (761^g Gewicht) gab:

155,3 ^g Trockensubstanz mit 10,24 ^o Stickstoff	
es waren demnach im verhungerten Körper	15,90 ^g Stickstoff
es wurden im Harn entfernt	15,48 "
also Bestand bei Beginn des Hungers	31,38 ^g Stickstoff

stoff- und Fleischbestand zu erhalten. Ich habe jedoch nicht die fettfreie stickstoffhaltige Trockensubstanz des Körpers zu Grunde gelegt, sondern der Einfachheit halber den Stickstoff derselben als Maass und Einheit benützt; ich reducire daher die Ausscheidung des Stickstoffs auf 100^g im Organismus befindlichen Stickstoffs.

Man könnte gegen die Beziehung des Umsatzes auf den in der stickstoffhaltigen fettfreien Trockensubstanz des Körpers enthaltenen Stickstoff einwenden, dass auch diese im Laufe des Hungers verschieden zusammengesetzt sei dadurch, dass die einzelnen Organe beim Hunger in ungleicher Weise abnehmen.

Um die Berechtigung dieses Einwandes zu prüfen, kann man die Organvertheilung eines verhungerten mit der eines gut genährten Thieres vergleichen. Am besten zu verwerthen scheinen mir die Zahlen zu sein, welche Voit¹⁾ an Katzen gewonnen hat. Dabei ist vor allem zu berücksichtigen, dass die Organvertheilung bei dem normalen Thier bestimmt worden ist, als sich noch Fett an demselben befand, während das andere Thier durch den Hunger fast fettfrei geworden war. Um also für unseren Zweck gleiche Verhältnisse zu schaffen, berechne ich auch das Normalthier fettfrei (d. h. mit Hinweglassung des als Fettgewebe abtrennbaren Fettes). Man erhält dann für die Hauptorgane folgende Zahlen:

	100 Theile Normalthier	100 Theile Hungerthier	Differenz
Knochen .	13,8	16,2	+ 2,4
Muskeln .	49,7	47,0	- 2,7
Leber . . .	3,2	2,0	- 1,2
Haut . . .	15,3	16,5	+ 1,2
Blut	4,8	4,1	- 0,7

Die Differenzen sind nicht von wesentlichem Belang, wenn auch ein geringes Ueberwiegen des Knochengewebes und der Haut beim verhungerten Thier erkennbar ist. Es werden demnach die Relationen der einzelnen Organe beim Hunger nur wenig verändert, so dass gegen eine Verwendung des Eiweiss- oder Fleischbestandes als Ausmaass für den Umsatz kein Einwand besteht. Das allmähliche Vorwiegen der Knochen, welches auch deutlich in dem etwas höheren Procentgehalt des Hungerthieres an Trockensubstanz und Asche sich ausdrückt, dürfte noch grösser sein und wäre doch nur von geringem Einfluss, da die Knochen verhältnissmässig wenig Stickstoff enthalten.

Nach den Ermittlungen von Voit steht der Eiweissverbrauch beim hungernden Fleischfresser in enger Beziehung zu dem Bestande seines Körpers an Eiweiss, so zwar, dass täglich ein bestimmter kleiner Bruchtheil der vorhandenen Eiweissmenge zerstört wird. Er schloss aus seinen vielfachen Versuchen, dass die Masse der im

1) Voit: Ztschr. f. Biologie 1866 Bd. 2 S. 327.

Körper vorhandenen Organe oder stofflich thätigen Zellen, neben der Grösse der Eiweisszufuhr, vor allem den Eiweisszerfall bestimmt.

Um für das Kaninchen die Intensität der Eiweisszersetzung zu finden, berechne ich auf die vorher angegebene Weise die Quantität der an jedem Hungertage im Thier befindlichen stickstoffhaltigen, fettfreien Trockensubstanz oder der mittleren Stickstoffmenge im Körper und den procentigen Verlust derselben durch die Zersetzung.

Ich erhalte auf diese Weise:

Tag	mittlerer Bestand an N	% Verlust an N
Kaninchen II		
1. — 3.	53,66	3,12
4. — 5.	49,68	2,94
6. — 9.	43,39	7,41
Kaninchen III		
1. — 2.	52,22	2,87
3. — 8.	47,63	2,16
9. — 15.	41,37	2,19
16. — 19.	34,23	7,73
Kaninchen V		
1. — 7.	29,13	2,35
8. — 13.	24,94	2,58
15. — 18.	19,25	7,35

Am Anfang des Hungers, wohl schon mit dem zweiten Tage abschliessend, findet sich bei Kaninchen II und III eine etwas grössere Eiweisszersetzung; dieselbe rührt wohl unstreitig wie beim Fleischfresser von dem aus der vorausgehenden Nahrung stammenden Eiweiss, d. h. aus dem Vorrathe desjenigen Eiweisses, welches Voit das circulirende Eiweiss nannte, her. Schon vom dritten Tage an geht aber bei Kaninchen III der Eiweissverbrauch in fast vollkommen gleichmässiger Weise bis zum 16. Tage fort; bei Kaninchen V ist dies vom ersten Tage an der Fall. Bei den drei Thieren gehen zu dieser Periode täglich fast gleiche Bruchtheile des Gesamtstickstoffs, nämlich 2—3 % des letzteren, zu Verlust¹⁾. Die tägliche Eiweiss-

1) Auch für ein anderes Kaninchen (Nr. I), von 2091^g Gewicht, dessen Stickstoffausscheidung bis zum Hungertode (7 Tage) beobachtet wurde, berechnete sich ein ähnlicher procentiger Stickstoffverbrauch. Das verhungerte Thier (1437,8^g schwer) gab:

zersetzung ist also in diesem Stadium äusserst gering; sie kann aber noch mehr herabgesetzt werden, wenn man dem Thiere stickstofffreie Stoffe zuführt.

Von einem bestimmten Zeitpunkt an ändert sich aber die Sache. Von 100 Theilen noch vorhandenen Eiweisses gehen jetzt nicht nur 2—3 Theile, sondern 8 Theile zu Grunde, wesentlich mehr als selbst am ersten Hungertage. Es rührt dies, wie vorher schon betont worden ist, von der Fettarmuth des Thieres her; ich werde später noch bei Betrachtung des Fettumsatzes darthun, dass zu dieser Zeit das Fett fast völlig verschwunden ist.

Für fleischfressende Thiere von annähernd dem gleichen Körpergewicht wie die Kaninchen, nämlich für die von Bidder und Schmidt sowie von Voit beobachteten Katzen, erhält man, unter der Annahme, dass die verhungerten Katzen in ihrer Trockensubstanz den nämlichen Stickstoffgehalt hatten wie meine Kaninchen, fast die gleichen Werthe; bei den Katzen betrug der tägliche Stickstoffverlust 2,44—2,55 %. Bei grossen Hunden findet sich dagegen ein geringerer täglicher Umsatz, und zwar nach den Angaben von Voit bei einem 35 kg schweren Hunde von höchstens 0,8 %.

Es ist bekannt, dass kleinere Thiere verhältnissmässig mehr Eiweiss unter sonst gleichen Umständen zerstören als grössere, und zwar, wie Voit meint, weil bei ihnen nach Vierordt's Bestimmungen auf gleiche Organmasse ein grösserer Säftestrom circulirt. Dagegen wird der relative Eiweisszerfall, wie meine Kaninchen gezeigt haben, nicht grösser, wenn ein und dasselbe Thier durch längeren Hunger bis zur Hälfte seines ursprünglichen Körpergewichtes eingebüsst hat, offenbar weil das Verhältniss zwischen Organmasse und circulirendem Eiweiss das gleiche bleibt. Es wurde im Hunger täglich zerstört:

245,1 ^g Trockensubstanz mit 11,47 % Stickstoff (Mittel aus der Stickstoffzahl von Kaninchen II und III)	
es waren demnach im verhungerten Körper . . .	28,12 ^g Stickstoff
es wurden im Harn entfernt	5,22 "
also Bestand bei Beginn des Hungers	33,34 ^g Stickstoff
Der Stickstoffverlust in 7 Tagen betrug	15,65 %
also in 1 Tag	2,23 %.

		auf 1 ^{kg} Thier Stickstoff ausgeschieden	
Hund	von 33 ^{kg}		0,18
"	" 3,2		0,53
Katze	" 1,86		0,93
"	" 2,61		0,73
"	" 2,83		0,58
Kaninchen	" 2,7		0,57
"	" 2,0		0,51
Ochse	" 408		0,08

Der hungernde Pflanzenfresser zerstört demnach nahezu so viel Eiweiss wie der hungernde Fleischfresser von demselben Gewicht; nur wenn man einen grösseren Pflanzenfresser mit einem kleineren Fleischfresser vergleicht, wird man bei ersterem eine relativ geringere Zersetzung finden.

Nach der Anschauung von Voit wird beim Hunger der angegebene Bruchtheil der in den Organen abgelagerten Eiweissmenge flüssig und dann durch die Zellen zerstört, wenn er im Säftestrom gelöst den letzteren zugeführt wird.

II. Der Fettumsatz.

Die Grösse des Fettumsatzes wird bestimmt, indem man zunächst die Menge des in sämtlichen Excreten ausgeschiedenen Kohlenstoffs ermittelt und dann die in der zersetzten eiweisshaltigen Substanz enthaltene Quantität Kohlenstoff abzieht; der Rest Kohlenstoff muss aus anderen kohlenstoffhaltigen und stickstofffreien Stoffen stammen.

Pettenkofer und Voit haben durch die Uebereinstimmung des direct vom Thier aufgenommenen Sauerstoffes mit dem zur Verbrennung des zersetzten Eiweisses und Fettes nöthigen dargethan, dass beim hungernden Fleischfresser wirklich nur diese beiden Stoffe zerlegt werden. Bei dem Pflanzenfresser könnte möglicherweise bei Beginn der Hungerreihe noch Kohlehydrat aus dem Darm aufgenommen und statt des Fettes verbrannt werden. Ich habe vorher gezeigt, dass diese nachträgliche Resorption in nicht beträchtlichem Maasse bei dem mit Milch, Brod und etwas Heu ernährten Kaninchen stattfindet; keinesfalls wirkt dieselbe über die ersten Hungertage hinaus.

Der Kohlenstoff wird beim hungernden Thier fast ganz in der Athemluft und dem Harn ausgeschieden, der Koth führt dabei nur kleine, zu vernachlässigende Mengen aus.

Die Kohlensäurebestimmung in der Athemluft geschah mittels des kleinen Voit'schen Apparates, der auf die Genauigkeit seiner Angaben geprüft ist. In fast allen Fällen blieb dabei das Thier 22 Stunden in dem Apparate; der so gewonnene Werth wurde dann auf 24 Stunden berechnet. Auf die Ausscheidung anderer kohlenstoffhaltiger Gase wie z. B. von Grubengas wurde keine Rücksicht genommen, da nach Regnault und Reiset solche Gase beim hungernden Pflanzenfresser nur in ganz geringen Spuren auftreten. Der Raum, in welchem die Thiere sich befanden, wurde stets möglichst gleichmässig auf mittlerer Zimmertemperatur gehalten.

Der Kohlenstoffgehalt des Harns ist nach einer Analyse, welche ich am dritten Hungertage im Harn eines Kaninchens ausführte, berechnet.

Ich fand in 5^{cem} Harn 0,0758^g Stickstoff,
und 0,06031^g Kohlenstoff,

es treffen somit auf 1 Theil Stickstoff 0,7956 Theile Kohlenstoff.

Im Harnstoff treffen auf 1 Theil Stickstoff nur 0,43 Theile Kohlenstoff.

Auch der Harn des hungernden Fleischfressers (Hundes) enthält, wie Voit¹⁾ früher nachgewiesen hat, mehr Kohlenstoff als dem darin vorhandenen Harnstoff entspricht, denn er fand für denselben im Mittel auf 1 Theil Stickstoff 0,7462 Theile Kohlenstoff.

Um daraus die Menge des zerstörten Fettes zu erfahren, habe ich den Stickstoff- und Kohlenstoffgehalt der fettfreien Trockensubstanz des ganzen Körpers (des Fleisches), über deren Bestimmung vorher schon berichtet worden ist, ermittelt; aus der Stickstoffausscheidung entnehme ich die Grösse des Zerfalls der stickstoffhaltigen Trockensubstanz, deren Kohlenstoffgehalt berechnet wird, und aus dem überschüssig ausgeschiedenen Kohlenstoff die des Fettzerfalls. Ich fand:

1. bei Kaninchen II nach dem Verhungern in 100^g Trockensubstanz
38,22 ^gKohlenstoff
für 2,11^g darin befindlichen Fettes sind abzuziehen . 1,61 ^g „
36,61 ^g Kohlenstoff

100^g Trockensubstanz enthielten ferner 11,28^g Stickstoff
also trafen in der fettfreien Trockensubstanz auf 1 Theil Stickstoff 3,25 Theile Kohlenstoff.

2. bei Kaninchen III nach dem Verhungern in 100^g Trockensubstanz
38,18 ^g Kohlenstoff
für 2,62^g darin befindlichen Fettes sind abzuziehen . 2,00 ^g „
36,18 ^g Kohlenstoff

100^g Trockensubstanz enthielten ferner 11,65^g Stickstoff
also trafen in der fettfreien Trockensubstanz auf 1 Theil Stickstoff 3,11 Theile Kohlenstoff.

Durch die Erschöpfung der gesammten Trockensubstanz des todtten Thieres mit Aether erfuhr ich den Fettgehalt des verhungerten Thieres; da mir aber der Fettverbrauch im Thier aus der Kohlenstoffausscheidung bekannt war, so konnte ich für den ersten und jeden kommenden Hungertag leicht den Fettbestand am Körper berechnen.

1) Voit: Ztschr. f. Biologie 1865 Bd. 1 S. 141.

Es finden sich immer noch geringe Fettmengen im verhungerten Kaninchen; denn es gaben

100 trockener Muskel 3,64 % Fett (Kaninchen I)
100 trockenes Thier 2,11 „ (Kaninchen II)
100 „ „ 2,62 „ (Kaninchen III)

an Aether ab¹⁾.

Ich habe zunächst in folgender Tabelle die für 24 Stunden erhaltenen absoluten Werthe der Kohlensäure und die auf 100 Theile im Körper enthaltenen Stickstoffs treffenden Quantitäten derselben eingetragen.

Hungertag	Kohlensäure im Tag	Kohlensäure auf 100 Stickstoff im Körper
Kaninchen I ²⁾		
1.	38,84	—
3.	36,03	—
5.	34,70	—
7.	28,96 ³⁾	—
Kaninchen II		
2.	44,05	82,0
6.	40,54	86,9
8.	35,76	88,9
Kaninchen III		
3.	47,86 ⁴⁾	77,9
5.	36,10	
7.	31,84	69,3
9.	30,29	
10.	29,18	
12.	30,23	
13.	27,38	76,0
14.	27,38	
15.	25,45	
16.	26,68	76,0
17.	25,98	
18.	25,46	
19.	(7,56) ⁵⁾	

Es hätte für unsere Zwecke wenig Interesse, die Bestimmungen der Kohlensäureausscheidung und der Sauerstoffaufnahme, welche

- 1) Das Aetherextract besteht nicht ganz aus Neutralfetten; es ist nicht völlig mit alkoholischer Kalilauge zu verseifen.
- 2) 23. November 1879.
- 3) Dauer des Versuchs während 6 Tagesstunden.
- 4) Dauer des Versuchs während 10 Tagesstunden.
- 5) Versuch bis zum eingetretenen Tode fortgeführt.

an Kaninchen und anderen kleinen Pflanzenfressern schon ausgeführt worden sind, anzugeben, da man, wie ich schon hervorgehoben habe, daraus keinen genügenden Einblick in die Zersetzungsvorgänge im Körper erhält. Es werden nämlich beim Hunger zwei Stoffe von ungleichem Kohlenstoffgehalt, Eiweiss und Fett, und zwar in sehr wechselnden Mengen zerstört, weshalb nur bei einer gleichzeitigen Berücksichtigung der Stickstoffausscheidung ein Urtheil möglich ist.

Aus diesem Grunde waren auch die in anderer Richtung und für die damalige Zeit so bedeutungsvollen Respirationsversuche von Regnault und Reiset nur wenig verwerthbar für Schlüsse über die Qualität und Quantität der im Organismus zerstörten Stoffe. Sie haben in dieser Richtung für den Pflanzenfresser nur gelehrt, dass beim Hunger weniger Sauerstoff aufgenommen und weniger Kohlensäure ausgeschieden wird als bei Nahrungsaufnahme, und dass der respiratorische Quotient abnimmt, der dann der gleiche wie bei Fleischkost wird, woraus für das fastende Thier auf die Umsetzung der eigenen Körpersubstanz, welche von derselben Natur ist wie das bei Fleischkost verzehrte Fleisch, gefolgert werden konnte. Finckler, welcher an Meerschweinchen am 1.—4. Hungertage während 2—3 Stunden den Gaswechsel bestimmte, hat dem nichts wesentlich Neues hinzugefügt; er fand allerdings trotz grossen Körperverlustes beim Hunger nur eine sehr geringe Abnahme des Sauerstoffverbrauchs, während die Kohlensäureausscheidung weit schneller absank, wodurch der respiratorische Quotient kleiner wird. Es ist jedoch nicht eine allgemeine Regel, dass der Consum von Sauerstoff beim Hunger nahezu derselbe bleibt wie bei guter Ernährung; dies ist nur dann der Fall, wenn vorher eine Nahrung mit wenig Eiweiss und genügend stickstofffreien Stoffen, eben hinreichend den Körper zu erhalten, wie es bei Pflanzenfressern nicht selten der Fall ist, aufgenommen worden ist. Dass je nach der Art und Menge der Nahrung die Sauerstoffaufnahme die beim Hunger ganz beträchtlich übertreffen kann, ist durch die Untersuchungen von Regnault und Reiset an Kaninchen, sowie von Pettenkofer und Voit am Hund und Menschen festgestellt. Wenn Finckler aus der Abnahme des respiratorischen Quotienten entnimmt, dass bei dem gut genährten Pflanzenfresser vorzugsweise Kohlehydrate, bei Entziehung der Nahrung

das Fleisch und Fett des Körpers zerstört werden, so ist dies zwar nichts Neues, aber es ist doch daraus zu hoffen, es werde endlich einmal allgemeiner eingesehen, dass weder die Kohlensäureausscheidung noch die Sauerstoffaufnahme ein genaues Maass für den Stoffwechsel zu liefern im Stande ist. Ueber die Ursachen der Verschiedenheit des respiratorischen Quotienten hat sich Voit¹⁾ schon vor längerer Zeit eingehend geäussert.

Berechnet man²⁾ aus der Gesamtkohlenstoffausscheidung nach dem angegebenen Verfahren den mittleren täglichen Verbrauch an Fett für das Kaninchen II und III, so ergibt sich:

Hungertag	Kohlenstoff im zersetzten Fett	Fettverbrauch im Tag	auf 100 Stickstoff wird Fett zerstört	mittlerer Bestand an Fett	von 100 Fett werden zerstört
Kaninchen II					
2.	7,90	10,3	14,7	49,86	1,9
4.	7,95	10,3	15,8	—	—
8.	1,87	2,4	4,0	2,26	—
Kaninchen III					
3.—8.	7,72	10,0	16,20	86,5	11,6
9.—15.	5,7	7,4	13,77	31,9	23,2
16.—19.	0,8	1,0	2,33	3,1	34,9

1) Voit: Ztschr. f. Biologie 1878 Bd. 14 S. 124.

2) Die Berechnung des Fettbestandes bei dem Kaninchen II am 2. Hungertag (2698^s) ist folgende:

in 285,36 ^s Kohlensäure	= 77,82 ^s Kohlenstoff
im Harn auf 18,19 Stickstoff	= 14,74 ^s „
im Ganzen	= 92,29 ^s Kohlenstoff
im zersetzten Fleisch	= 59,12 ^s „
also im zersetzten Fett	= 33,17 ^s Kohlenstoff
Dies entspricht	43,16 ^s Fett
im Thier	6,70 ^s „
im Ganzen	= 49,86 ^s Fett
	= 1,9% Fett.

Die Berechnung des Fettbestandes bei dem Kaninchen III am 3. Hungertag ist folgende:

in 509,4 ^s Kohlensäure	= 138,91 ^s Kohlenstoff
im Harn auf 21,28 Stickstoff	= 16,93 ^s „
im Ganzen	= 155,84 ^s Kohlenstoff
im zersetzten Fleisch	= 66,18 ^s „
also im zersetzten Fett	= 89,66 ^s Kohlenstoff
Dies entspricht	116,56 ^s Fett
im Thier	6,62 ^s „
im Ganzen	= 123,18 ^s Fett
	= 5,3% Fett.

Daraus ist ersichtlich, dass die täglich zersetzte Fettmenge im Laufe der Hungerzeit allmählich etwas abnimmt; aber bis in späte Tage fort wird immer neben Eiweiss noch Fett verbrannt. Erst mit der Zeit der gesteigerten Eiweisszersetzung fällt das fast völlige Verschwinden der Fettzersetzung zusammen. Denn man erhält für den 8. Hungertag des Kaninchens II:

Kohlenstoff in der Respiration . . .	9,75 ^g
Kohlenstoff im Harn	2,55
im Ganzen	<u>12,30^g</u>
im zersetzten Fleisch	10,56
Rest Kohlenstoff im Fett	1,74 ^g
daraus Fett	2,26 ^g

Für die drei letzten Lebenstage des Kaninchens III berechnet sich:

16. Tag. Kohlenstoff in der Respiration . . .	7,27 ^g
Kohlenstoff im Harn	2,11
im Ganzen	<u>9,38^g</u>
im zersetzten Fleisch	8,27
Rest Kohlenstoff im Fett	1,11 ^g
daraus Fett	1,44 ^g
17. Tag. Kohlenstoff in der Respiration . . .	7,07 ^g
Kohlenstoff im Harn	2,11
im Ganzen	<u>9,18^g</u>
im zersetzten Fleisch	8,27
Rest Kohlenstoff im Fett	0,91 ^g
daraus Fett	1,18 ^g
18. Tag. Kohlenstoff in der Respiration . . .	6,94 ^g
Kohlenstoff im Harn	2,11
im Ganzen	<u>9,05^g</u>
im zersetzten Fleisch	8,27
Rest Kohlenstoff im Fett	0,78 ^g
daraus Fett	1,01 ^g

Für das Kaninchen I, dessen Fett nach dem Hungertode völlig verbraucht war, berechnet sich, unter der Annahme, dass die Zusammensetzung des toten Thieres wie die der Kaninchen II und III war, ein Fettgehalt des Thieres am ersten Hungertage von 3,8%.

Bei einem normalen, wohlgenährten Kaninchen, welches nach Abzug des Harns und Kothes 1445^g wog, fand ich 104,8 Fett = 7,3% Fett.

19. Tag ¹⁾ . Kohlenstoff in der Respiration (während	
9 Stunden)	2,062 ^g
Kohlenstoff im Harn	0,656
im Ganzen	<u>2,718^g</u>
im zersetzten Fleisch	2,582
Rest Kohlenstoff im Fett	0,136 ^g
daraus Fett	0,178 ^g

Es werden also in den letzten Tagen, wenn der Eiweisszerfall wächst, nur mehr sehr geringe Mengen von Fett und fast ausschliesslich Eiweiss zerstört; mit diesem Ergebnisse stimmt es überein, dass sich aus den verhungerten Kaninchen nur noch Spuren von Fett gewinnen liessen. Es kann wohl nicht zweifelhaft sein, dass die Abnahme des Fettes am Körper die Ursache für den schliesslichen erhöhten Eiweisszerfall ist. Es ist eine der wichtigen Rollen, welche das Fett bei den Vorgängen im Thierkörper spielt, die Zersetzung des Eiweisses in Schranken zu halten.

Um die Intensität oder die Grösse der Fettzersetzung an den verschiedenen Tagen vergleichen zu können, habe ich dieselbe auf das für die Eiweisszersetzung schon gebrauchte Maass, nämlich auf 100^g im Körper befindlichen Stickstoffs, reducirt. Man erkennt daraus, dass auf 100 Theile Eiweissbestand bezogen anfangs der Fettzerfall, ähnlich wie der Eiweisszerfall, ziemlich gleich bleibt (Kaninchen II, 2.—4. Tag), dann aber vor Ansteigen der Eiweisszersetzung etwas abnimmt (Kaninchen III, 2.—15. Tag).

Nach den Untersuchungen von Voit wird der Verbrauch an Fett im Körper vor allem durch die nach der Eiweisszersetzung den Zellen noch übrige Kraft, Stoffe zu zerlegen, und ferner durch den Grad der Arbeitsleistung des Organismus bestimmt. Es nimmt daher entweder die Fähigkeit der Stoffzersetzung beim Hunger allmählich etwas ab, oder es hat, was mir wahrscheinlicher scheint, das hungernde Thier die Herz- und Athemmuskeln, sowie die übrigen Muskeln weniger angestrengt.

Während von dem am Körper abgelagerten Eiweiss während des Hungers geraume Zeit hindurch ein nahezu gleicher Bruchtheil

1) Am 19. Tage, dem Todestage, wurde die Kohlensäure des letzten Athemzuges noch gewonnen und ebenso sicher der Harn, welcher der Blase entnommen wurde, erhalten.

zerstört wird, ist dies für das Fett nicht der Fall. Es verringert sich nämlich die Menge des Fettes im Körper, wegen der ziemlich gleichmässigen Zersetzung desselben, von Tag zu Tag, so dass von dem im Organismus befindlichen Fettvorrathe ein immer grösserer Theil verbrannt wird, z. B. beim Kaninchen III in der ersten Woche im Mittel gegen 12 %, in der zweiten Woche 23 %.

Der Gehalt der Kaninchen an Fett bei Beginn der Hungerzeit ist nicht gross. Das Kaninchen III (2341^g) enthielt 123,2^g = 5,3% Fett, das Kaninchen II (2698^g) 49,9^g = 1,9 %, das Kaninchen I (2091^g) 79,5^g = 3,8 %. Das Kaninchen V (1506^g mit und 1414^g ohne Fell wiegend) enthielt bei Beginn des Hungers 107,0^g = 7,56 % Fett, worüber bei einer anderen Gelegenheit näher berichtet werden soll; ein eben vom Futtertrog weggenommenes Thier 104,8^g = 7,3%. Daraus wird ersichtlich, warum die fettreicheren Kaninchen III und V den Hunger während 19 Tagen ertrugen, das schwerere, aber fettarme Kaninchen II nur während 9 Tagen.

Kleine Kaninchen gehen unter sonst gleichen Verhältnissen eher zu Grunde als die grösseren, da sie relativ mehr Eiweiss zersetzen und absolut weniger Fett besitzen, das dann rascher verbraucht ist. Schwache fettarme Thiere gehen darum in wenigen Tagen bei der Inanition zu Grunde. Ich kann z. B. angeben, dass ein Lapin von 2029^g Gewicht am 15. Hungertag nach einem Verlust von 38 % der Körpersubstanz verendete; ein deutsches Kaninchen von 1261^g Gewicht hielt den Hunger nur 7 Tage aus und erlag nach einem Verlust von 42 % des Körpergewichts.

Das Fett ist im Vorrath in gewissen Reservoiren, im Unterhautzellgewebe, im Gekröse, um die Nieren etc. abgelagert. Wir müssen uns vorstellen, dass auch in den Säften, in welchen das Verbrauchsmaterial für die Zellen enthalten ist, immer eine gewisse, dem Vorrathe entsprechende Menge von Fett enthalten ist, welches nach der Zerstörung aus jenen Reservoiren immer wieder ergänzt wird. So lange also in letzteren noch Fett vorhanden ist, findet sich für die Zellen kein eigentlicher Mangel an Fett und wird dasselbe in ziemlich gleich bleibender Menge durch die Zellen zersetzt. Sinkt das Fett in den Reservoiren und den Säften unter eine bestimmte Grenze herab, dann tritt wegen Fettmangels die Erhöhung des Eiweisszerfalls ein.

Es ist von Interesse, die Frage aufzuwerfen, wieviel zu diesem Zeitpunkte mehr Eiweiss und wieviel weniger Fett zersetzt wird. Zu dem Zwecke vergleiche ich die mittleren Werthe des 14. und 15. Hungertags bei Kaninchen III, an welchen noch Fett zerstört wurde, mit denen des 16. und 17. Hungertages, wo viel Eiweiss und nur mehr sehr geringe Mengen von Fett in Zerfall geriethen. Man erhält dabei, auf 100^g im Körper vorhandenen Stickstoffs als Einheit bezogen, folgende Werthe¹⁾:

14. u. 15. Tag auf 100 Stickstoff am Körper 2,19 Stickstoff verbraucht und	13,82 Kohlenstoff aus Fett
16. u. 17. Tag auf 100 Stickstoff am Körper 7,44 Stickstoff verbraucht und	2,89 Kohlenstoff aus Fett
Differenz: + 5,25 Stickst. u. - 10,93 Kohlenst. aus Fett	

d. h. es sind statt 10,93^g Kohlenstoff, welche früher aus der Zerlegung von 14,21^g Fett²⁾ den Körper verliessen, 5,25^g Stickstoff mehr verbraucht worden, welche mit 16,33^g Kohlenstoff in 32,8^g stickstoffhaltiger Trockensubstanz³⁾ verbunden waren.

Statt 43,31^g Fett sind demnach 100^g stickstoffhaltige Trockensubstanz zersetzt worden. Es wäre denkbar, dass statt 43,31^g Fett

1) a) am 14. und 15. Tag:

Stickstoff am Körper 41,37 ^g , Stickstoff verbraucht 0,91 ^g = 2,19% (9.—16. Tag)	
mittlere Kohlensäureausscheidung 27,12 ^g = 7,39 ^g Kohlenstoff	
im Harn	0,73 "
im Ganzen ausgeschieden	8,12 ^g Kohlenstoff
im zersetzten Fleisch	2,87 "
im zersetzten Fett	5,25 ^g Kohlenstoff
Fett zersetzt	6,82 ^g

Auf 100 Stickstoff am Körper treffen 13,82 Kohlenstoff aus Fett.

b) am 16. und 17. Tag:

Stickstoff am Körper 35,55 ^g , Stickstoff verbraucht 2,646 ^g = 7,44%	
mittlere Kohlensäureausscheidung 26,31 ^g = 7,17 ^g Kohlenstoff	
im Harn	2,11 "
im Ganzen ausgeschieden	9,28 ^g Kohlenstoff
im zersetzten Fleisch	8,23 "
im zersetzten Fett	1,05 ^g Kohlenstoff
Fett zersetzt	1,37 ^g

Auf 100 Stickstoff am Körper treffen 2,89 Kohlenstoff aus Fett.

2) Im Fett sind 76,5% Kohlenstoff.

3) In der fett- und aschefreien Trockensubstanz waren 16,00% Stickstoff, also entspricht 1^g Stickstoff 6,25^g stickstoffhaltiger Trockensubstanz.

diejenige Menge von Eiweiss in Zerfall geräth, aus welcher 43,31^g Fett entstehen.

Man kann nun nach Henneberg's Vorgang berechnen, wieviel Fett im Maximum 100^g der stickstoffhaltigen Trockensubstanz zu liefern im Stande sind. Man hätte dabei folgende Zahlen:

	C	H	N	O
in 100 fett- u. aschefreier Trockensubstanz ¹⁾	49,7	6,6	16,00	27,7
dem N entspricht Harn ²⁾ mit	11,9	2,9	16,00	15,8
Rest	37,8	3,7	0	11,9
in 49,4 Fett	37,8	5,9	0	5,7
Rest	0	- 2,2	0	+ 6,2
2,2 H geben 19,8 Wasser		+ 2,2		+ 17,6
	0	0	0	+ 23,8

Der Rest von 23,8 Sauerstoff oxydirt 15,3^g stickstoffhaltige Trockensubstanz; es liefern unter diesen Annahmen also 115,3 der letzteren 49,4^g oder 41,5 % Fett.

Es ist höchst auffallend, dass statt 100 Theilen stickstoffhaltiger Trockensubstanz 42,7 Theile Fett zersetzt werden und aus ersterer 41,5 Theile Fett möglicherweise entstehen können. Darnach gewinnt es den Anschein, als ob sich Eiweiss und Fett in diesen Quantitäten

1) 100 stickstoffhaltige Trockensubstanz enthalten:

Asche	24,78
Fett	2,62
Stickstoff	11,62
Kohlenstoff	38,18
Wasserstoff	5,14
Sauerstoff	20,28

oder 100 Theile fett- und aschefreier Trockensubstanz:

Kohlenstoff	49,7
Stickstoff	6,6
Wasserstoff	16,0
Sauerstoff	27,7

2) Für die elementare Zusammensetzung des organischen Theils des Harns wurde die von Voit für den hungernden Hund erhaltene Mittelzahl angenommen:

Kohlenstoff	25,5
Wasserstoff	6,4
Stickstoff	34,4
Sauerstoff	33,7
	<hr/>
	100,0

äquivalent sind und als ob das Eiweiss diejenige Menge von Fett vertritt, die aus ihm zu entstehen vermag.

Bei der Vertretung von Fett durch Eiweiss muss mehr Kohlenstoff verbraucht werden, denn es haben 16,33^g Kohlenstoff in der stickstoffhaltigen Trockensubstanz 10,93^g Kohlenstoff in dem Fett ersetzt, welche Zahlen sich wie 149:100 verhalten. Von dem Kohlenstoff des zersetzten Eiweisses geht aber ein Theil im Harn weg, und zwar von den 16,33^g Kohlenstoff der zerstörten stickstoffhaltigen Trockensubstanz 4,28^g (auf 1 Theil Stickstoff 0,7956 Theile Kohlenstoff), so dass 12,05^g Kohlenstoff in dem Athem abgegeben werden können, während aus der Fettzersetzung nur 10,93^g Kohlenstoff für die Respiration zur Verfügung stehen; diese Zahlen verhalten sich wie 100:91. Die ausgeschiedenen Kohlensäuremengen in der Eiweissperiode verhielten sich zu denen in der Fettperiode in Wirklichkeit wie 100:90. Die erhöhte Eiweisszersetzung muss sich also durch eine erhöhte Kohlensäureausscheidung zu erkennen geben, während der Sauerstoffverbrauch dadurch nicht geändert wird, denn wir haben zu verbrennen:

	C	H	O
im stickstofffreien Rest der Trockensubstanz	37,8	3,7	11,9
11,9 Sauerstoff oxydiren	—	1,5	11,9
Rest	37,8	2,2	0
sonit bleiben 37,8 Kohlenstoff =	100,5	O	
2,2 Wasserstoff =	17,6	"	
Summe =	119,1	O	

43,31^g Fett haben aber 122,5 Sauerstoff zur Verbrennung nöthig, so dass die Mengen des verbrauchten Sauerstoffs nur wenig differiren.

Es ist schon von Voit¹⁾ hervorgehoben worden, dass kleine Thiere zwar verhältnissmässig mehr Eiweiss in Folge der grösseren Säfteströmung zersetzen, aber die Fettzerstörung ziemlich gleich bleibt und nur dann wächst, wenn die kleinen Thiere sehr viel sich bewegen, wie z. B. die Ratten. Die relativ grössere Kohlensäureausscheidung und Sauerstoffaufnahme bei kleinen Thieren kommt also zumeist auf Rechnung des grösseren Eiweisszerfalls. Das Kaninchen verhält sich in dieser Beziehung ebenso, wie die folgende Tabelle ergibt:

1) Voit: Handb. d. Physiologie Bd. 6 S. 88.

	Körper- gewicht	Fleisch- verbrauch auf 1 kg	Fett- verbrauch auf 1 kg
Hund 6. Hungertag	31,2	5,6	3,43
" 10. "	30,1	5,1	2,76
Hund 1. Hungertag	18,2	10,5	3,30
" 3. "	17,2	7,6	3,70
Katze —	1,86	27,1	4,10
" —	2,83	16,9	3,61
Kaninchen 4.—5. Hungertag	2,56	17,0	4,00
" 3.—8. "	2,09	15,0	4,78

Diese Zahlen lassen sich deuten unter der von Voit aus seinen Versuchsergebnissen gemachten Annahme, dass das Eiweiss als am leichtesten zersetzliche Substanz zunächst in den Zerfall gezogen wird und die Grösse der Zersetzung desselben abhängig ist von der Quantität des den Zellen in der Saftströmung zugeführten gelösten Eiweisses und von der Masse der stofflich thätigen Zellen. Ist dadurch die Kraft der Zellen, Stoffe zu zerstören, noch nicht verbraucht, so wird erst das Fett in Angriff genommen. Das letztere sollte daher unter sonst gleichen Verhältnissen bei reichlichem Eiweissverbrauch in geringerer Menge verbrannt werden. Dies ist auch in der That der Fall; da aber zumeist bei kleinen Organismen die Thätigkeit der Athem- und Herzmuskeln, sowie auch der übrigen Muskeln verhältnissmässig grösser ist, so nimmt dadurch die Zerstörung des Fettes entsprechend etwas zu, aber lange nicht in dem Grade wie die des Eiweisses unter dem Einflusse der intensiveren Saftströmung.

Antwort

auf Prof. E. Pflüger's

„Zweiten kritischen Beitrag zur Titration des Harnstoffs“.

Von

Dr. Max Gruber.

Prof. Pflüger hat sich zu einem zweiten Angriffe betreffs der Titration des Harnstoffs hinreissen lassen. Ich bin dadurch gezwungen, nochmals auf diesen Gegenstand zurückzukommen, werde mich aber bei der Entkräftung der in Pflüger's Schrift¹⁾ enthaltenen, scheinbar sachlichen Einwände möglichst kurz zu fassen suchen.

Unter vielem Irrthümlichen und Missverstandenen findet sich in der ersten Abhandlung Pflüger's²⁾ über die Titration des Harnstoffs als Kern die zutreffende Angabe, dass innerhalb gewisser Grenzen der Punkt des Eintrittes der Endreaction von dem Punkt der vorhergehenden Neutralisation der Gesamtfüssigkeit abhängt und dass man daher zur Vermeidung grosser Fehler die Flüssigkeit erst nach Zusatz der grössten Menge der nöthigen Quecksilberlösung und zwar nur einmal neutralisiren dürfe, oder, wie ich es zweckmässiger als praktische Regel formulirt habe, dass man die Titration so oft unter immer späterem Neutralisiren wiederholen müsse, bis der Endpunkt constant geworden ist.

Durch eine kurze Auseinandersetzung der im hiesigen Laboratorium üblichen Art der Harnstofftitration hatte ich gezeigt³⁾, dass die von Pflüger mit Recht betonte Fehlerquelle uns nichts völlig

1) Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 25 S. 292.

2) ebd. Bd. 21 S. 248.

3) Ztschr. f. Biologie Bd. 16 S. 198.