

(Aus dem thierphysiol. Institut der kgl. landwirthschaftl. Hochschule zu Berlin.)

Ueber Eiweissumsatz und -Ansatz bei der Muskelarbeit.

Von

Dr. **W. Caspari**, Assistent.

Die Frage, welcher Nährstoff bei der Kraftzufuhr zum thätigen Muskel in erster Linie betheiliget sei, ist seit Jahrzehnten, seit den Anfängen der modernen Physiologie, Gegenstand zahlreicher Versuche und lebhafter Discussionen gewesen. Während Voit und seine Schüler die stickstofffreien Substanzen, speciell das Fett, als die wesentliche Quelle der Muskelkraft ansehen, gelangte Pflüger im experimentellen Ausbau älterer Anschauungen Liebig's zu der Ueberzeugung, dass die „Ernährung“, das Eiweiss, alle eigentliche Arbeit des Lebens, also auch die des thätigen Muskels vollzieht. Eine dritte Gruppe von Forschern, deren Haupt in Frankreich Chauveau, in Oesterreich Seegen ist, hält dagegen den Zucker für den Kraftspender der arbeitenden Muskulatur, während die anderen Nährstoffe erst in der Leber in Zucker verwandelt werden müssen, bevor sie diese hervorragende Function übernehmen können. Im Gegensatze zu diesen Autoren vertritt eine Reihe anderer Forscher die Anschauung, dass die Natur in ihrer Vielseitigkeit dem Organismus gestatte, jede der drei grossen Nährstoffgruppen zur Bestreitung seiner Arbeitsleistungen heranzuziehen, je nachdem ihm Eiweiss, Fette oder Kohlehydrate in hervorragenderem Maasse zu Gebote stehen, und dass diese Stoffe sich hierbei gegenseitig annähernd im Verhältniss ihrer Verbrennungswerthe zu vertreten vermögen.

Betrachten wir nun näher, welchen Aufschluss uns die Versuche der verschiedenen Autoren über die Rolle des Eiweisses bei der Ernährung der arbeitenden Muskulatur geben.

Die ersten diesbezüglichen Untersuchungen, welche in ihrer Exactheit den nöthigen Ansprüchen gerecht werden, stammen von

Voit¹⁾ aus dem Jahre 1860. In diesen und späteren Versuchen²⁾ des genannten Forschers wurde bei Hungerthieren durch Laufarbeit nur eine geringe Mehrausscheidung von Stickstoff bedingt. Die Harnstoffausscheidung liegt bei einem jüngeren, fettarmen Thiere um 0,9—2,3 g (8—16 % der Gesamtmenge); bei einem älteren, fetteren trotz stärkerer Anstrengung bei achtstündigem Laufen nur um 0,1—1,2 g (1—8 % der Gesamtmenge); bei Zufuhr von 1500 g mageren Fleisches betrug die Steigerung des Harnstoffs beim Laufen mit vollem Magen 7 g (7 % der Gesamtmenge), mit leerem 4 g (3 % der Gesamtmenge).

Ferner hat Voit in Gemeinschaft mit Pettenkofer³⁾ entsprechende Versuche am Menschen angestellt. Sie liessen einen kräftigen Mann während neun Stunden des Tages bis zur Ermüdung Arbeit verrichten, indem derselbe an einem mit 25 kg belasteten Rade 7500 Umdrehungen ausführte. Doch konnte weder bei gemischter Kost noch bei Hunger ein erheblicher Unterschied in dem Eiweissumsatze zwischen der Ruhe- und Arbeitszeit nachgewiesen werden.

Voit neigt nach seinen Untersuchungen zu der Anschauung, dass ein Mehrerfall von Eiweisssubstanz durch die Arbeitsleistung nicht nothwendig bedingt sei; findet aber eine vermehrte Eiweissausscheidung statt, so sei dieselbe gering und nur eine secundäre Erscheinung, hervorgerufen in erster Linie durch den Verbrauch von Eiweiss sparender stickstoffreicher Substanz bei der Arbeit.

Der Auffassung, dass zwischen der Grösse der Muskelleistung und der Menge des Stickstoffs im Harn sichere Beziehungen nicht bestehen, schliessen sich eine Reihe Autoren an, so Speck⁴⁾ und Schenk⁵⁾, welcher in Selbstversuchen bei sehr erheblicher Körperarbeit in einer ersten Versuchsreihe eine recht bedeutende, in einer zweiten dagegen überhaupt keine Vermehrung des Harnstoffes nachweisen konnte. Oppenheim⁶⁾, welcher unter Leitung von Zuntz

1) Hermann's Handbuch der Physiologie Bd. 6 Th. 1 Cap. 3, 9.

2) Zeitschrift f. Biologie Bd. 2 S. 339. 1866.

3) Zeitschrift f. Biologie Bd. 2 S. 459. 1866.

4) Speck, Physiologie des menschlichen Athmens S. 59. Leipzig 1892.

5) Schenk, Einfluss der Muskelarbeit auf die Eiweisszersetzung im menschlichen Organismus. Arch. f. experim. Pathol. und Pharmak. Bd. 2 S. 21. 1874.

6) Oppenheim, Beiträge zur Physiologie und Pathologie der Harnausscheidung. Inaug.-Dissert. Bonn 1881 und Pflüger's Archiv Bd. 23 S. 446.

arbeitete, fand nur dann eine Vermehrung des Stickstoffs in seinem Urin, wenn er während der Arbeitsleistung dyspnoisch wurde, so dass also nach seiner Anschauung eine eventuelle Vermehrung des Eiweissumsatzes bei der Arbeit eine Nebenerscheinung ist, welche mit dem Wesen der Muskelthätigkeit an sich nichts zu thun hat.

Zu wesentlich anderen Resultaten dagegen gelangte Argutinsky¹⁾. Dieser leistete Muskelarbeit durch Bergbesteigung und verglich Stickstoff-Einfuhr und -Ausfuhr an denjenigen Tagen, an welchen keine Spaziergänge ausgeführt wurden, mit den Verhältnissen der Arbeitstage. Er konnte nun zunächst nachweisen, dass eine recht beträchtliche Vermehrung des Stickstoffgehaltes des Urins als Folge der Muskelthätigkeit auftrat. Besonders bedeutungsvoll an diesen Versuchen war, dass sich diese Steigerung nicht auf den Tag der Arbeit beschränkte, sondern mindestens drei Tage dauerte. Dieses Ergebniss ist um so interessanter, weil Liebig²⁾ bereits zwei Decennien früher, allerdings auf Grund der sehr zweifelhaften Versuche Parkes', den Beweis für erbracht hielt, dass die während der Arbeitstage zersetzten Stickstoffverbindungen nicht vollständig am Arbeitstage selbst, sondern erst später austräten. Bei Argutinsky vertheilte sich die Erhöhung der Stickstoffausfuhr in der Art, dass sie entweder am ersten und zweiten Tage nach der Bergbesteigung am stärksten war oder hauptsächlich am Arbeitstage und dem folgenden Ruhetage beobachtet wurde, während sie am dritten Tage abklang. Addirte Argutinsky die Mehrausscheidung des Stickstoffs an den verschiedenen Tagen, so fand er, dass durch Mehrverbrennung von Eiweiss 75—100 % der Bergbesteigungsarbeit gedeckt waren. Auch bei Zulage von 100 g Zucker am Arbeitstage entsprach die vermehrte N-Production noch 25—30 % der geleisteten Arbeit.

Zu ähnlichen Resultaten wie Argutinsky gelangte auch Krummacher³⁾, welcher seinen Versuch in durchaus entsprechender Form ausgeführt hat. Er fand, dass die Mehrausscheidung von Eiweiss genügte, um 64 bezw. 48 % der Arbeit zu bestreiten. Auch hier

1) Argutinsky, Muskelarbeit und Stickstoffumsatz. Pflüger's Archiv Bd. 46 S. 552. 1890.

2) Liebig, Ueber die Gärung und die Quelle der Muskelkraft. Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. 153 S. 137. 1870.

3) Krummacher, Ueber den Einfluss der Muskelarbeit auf die Eiweisszersetzung bei gleicher Nahrung. Pflüger's Archiv Bd. 47 S. 454 1890.

war die Stickstoffausfuhr im Urin am ersten resp. zweiten Tage nach der Arbeit am grössesten.

Gegen die Versuche Argutinsky's hat I. Munk¹⁾ den Einwand erhoben, dass der starke Eiweisszerfall durch die geringe Nahrungszufuhr überhaupt bedingt war. Es kommt hinzu, dass die Berechnung der Arbeitsleistung wahrscheinlich eine zu niedrige ist, weil Argutinsky nur die Steigbarkeit in Berechnung zog, während er die Arbeitsleistung für die Horizontalbewegung vernachlässigt hat, da er sie der Muskelarbeit an den Ruhetagen für entsprechend hielt. Jedenfalls aber kommt die Nahrungswärme des mehr umgesetzten Eiweisses nur dem mechanischen Aequivalent der Steigarbeit gleich und deckt nicht die drei Mal grössere Energiemenge, welche in Form von Wärme bei der Arbeit entwickelt wird.

Alle Ausstellungen, welche Munk an dem Versuche Argutinsky's macht, gelten übrigens auch für den Krummacher's, wie dieser selbst in einer späteren Publication zugibt.

Eine Stütze der Anschauungen von Munk, dass die Resultate Argutinsky's durch im Allgemeinen ungenügende Ernährung bedingt sind, brachten zwei Arbeiten von Hirschfeld. Dieser fand²⁾ dass bei genügender Ernährung, gleichgültig, ob dieselbe eiweiss-reich oder arm sei, eine Vermehrung der N-Ausscheidung bei erhöhter Muskelthätigkeit nicht eintrat. Dagegen constatirte er in einer anderen Versuchsreihe³⁾, welche mit ungenügender Ernährung an gestellt wurde, zum Theil recht erhebliche Mehrausscheidung von Eiweiss bei Muskelarbeit.

Doch sind diese Untersuchungen Hirschfeld's keineswegs einwandfrei. In dem erst citirten Versuche ist der Stickstoff der Nahrung analytisch nicht ermittelt, sondern „nach den gebräuchlichen Angaben von Voit und König berechnet“. Es ist klar, dass für derartige Untersuchungen, bei denen es eventuell auf den Nachweis geringer Vermehrungen des Eiweissumsatzes ankommt, eine solche Methode keine überzeugenden Resultate liefern kann. Ferner wird in Hirschfeld's Versuchen an den Ruhetagen gewöhnliche Labora-

1) I. Munk, Ueber Muskelarbeit u. Eiweisszerfall. Du Bois' Archiv 1890. S. 557.

2) Hirschfeld, Ueber den Einfluss erhöhter Muskelthätigkeit auf den Eiweissstoffwechsel des Menschen. Virchow's Archiv Bd. 121 S. 501. 1890.

3) Derselbe, Beiträge zur Ernährung des Menschen. Virchow's Arch. Bd. 114 S. 301. 1889.

toriumsthätigkeit verrichtet. Die Muskelthätigkeit an den Controltagen ist also, ähnlich wie in den Versuchen von Argutinsky und Krummacher, eine vollständig unbekannte. Wie sehr sich aber die gewöhnliche Thätigkeit in ihrer Einwirkung auf den Eiweissstoffwechsel von wirklicher Ruhe unterscheidet, hat Hirschfeld selbst sehr deutlich in seiner an zweiter Stelle citirten Arbeit dargegan (Reihe I und III, S. 323).

Diese Untersuchung ist wesentlich exakter angelegt als die erstere, und ist wohl die erhebliche Vermehrung der Stickstoffausscheidung bei ungenügender Ernährung und Muskelthätigkeit als erwiesen anzusehen; dagegen geben die Versuche Hirschfeld's keinen sicheren Aufschluss darüber, wie sich der Eiweissumsatz in diesem Falle bei ausreichender Ernährung verhält.

Im Jahre 1891 veröffentlichte dann Pflüger¹⁾ seine bekannte und viel discutirte Arbeit „Die Quelle der Muskelkraft“, welche leider auch heute noch nur als vorläufiger Abriss vorliegt. Pflüger fütterte eine ausserordentlich magere Dogge von ungefähr 30 kg Gewicht während sieben Monaten ausschliesslich mit magerstem Fleische, welches nur äusserst geringe Mengen von Fett und Kohlehydraten enthielt. Der Hund nun erfreute sich nicht nur bei dieser Kost des besten Wohlbefindens, sondern er leistete auch in einer 14-, 35- bzw. 41tägigen Periode eine sehr erhebliche Muskelarbeit (59117—109608 mkg pro Tag). Aus diesem Versuche folgt die ausserordentlich bedeutsame Thatsache, dass der Organismus, wenn er überhaupt im Stande ist, solche Mengen von Eiweiss aufzunehmen, allein mit Eiweissnahrung sämtliche Bedürfnisse des Lebens zu bestreiten vermag.

Zugleich stellte Pflüger eine zweite sehr wichtige Thatsache fest. Ging nämlich der im Stickstoffgleichgewicht befindliche Hund aus einer Periode der Ruhe zu einer solchen der Arbeit über, so steigerte sich allerdings der Stickstoffumsatz, aber diese Steigerung war wesentlich geringer als nach der Grösse der Arbeit vorausgesetzt werden musste. Sie betrug nämlich nur $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{2}$ der zur Leistung der Arbeit nöthigen Eiweissmenge. Pflüger schliesst hieraus, dass der Körper, sobald ihm nicht die für eine Muskelarbeit genügende Mehrzufuhr von Eiweiss geboten wird, den entsprechenden Mehrverbrauch durch Sparung an anderen Orten und zu anderen Stunden

1) Pflüger, Die Quelle der Muskelkraft. Pflüger's Arch. Bd. 50 S. 98. 1891.

deckt. Im weiteren Verlaufe des Versuches passte sich der Organismus des Thieres den Ernährungsbedingungen so vorzüglich an, dass er an manchen Tagen gar keine Steigerung des Stickstoffverbrauches darbot und immer sparsam arbeitete. Auch war bei diesen Versuchen, wiederum, ähnlich wie bei Argutinsky und Krummacher, die Steigerung der Stickstoffausscheidung am zweiten und dritten Arbeitstage grösser als am ersten.

In den Mechanismus der von Pflüger postulirten Sparung gewähren wohl die Stoffwechselversuche einen Einblick, welche Zuntz und Hagemann¹⁾ am Pferde angestellt haben. Diese Autoren konnten nachweisen, dass die Thiere, wenn sie nicht gearbeitet hatten, durch lebhaftere Luxusbewegungen während der „Ruhe“ einen erheblich höheren Energieverbrauch hatten, als wenn sie vor der Ruhezeit durch die Arbeit ermüdet waren. Wie gross die hierdurch bedingten Unterschiede sein können, geht daraus hervor, dass die Sauerstoffaufnahme in einem Versuche, bei welchem das Thier während der Ruhezeit im Stalle lebhaftere Bewegungen ausführte, um 11,5 % gegenüber dem Normalwerthe gesteigert war.

Wenn Pflüger ferner einem im Stickstoffgleichgewichte befindlichen Hunde grosse Zulagen von Fett und Stärke gab, konnte er trotzdem den Eiweissumsatz nur um höchstens 7 % herabdrücken. Wenn aber auf irgend welche Weise Eiweissmangel eintrat, vollzog sich sofort die Vertretung fast beliebig grosser Mengen von Eiweiss durch Fett und Kohlehydrat. Wurde schliesslich einem Hunde die grösstmögliche Menge Fett und Reis gereicht, so gelang es auch mit einer täglichen Stickstoffzufuhr von nur 6 g bei 34 kg Körpergewicht, in der arbeitsfreien Zeit beinahe N-Gleichgewicht herbeizuführen. Wurde nun eine Arbeit geleistet, die einen bedeutend höheren Eiweissverbrauch erforderte, als in der geringen Eiweissmenge der Nahrung enthalten war, so trat auch in dieser Versuchsanordnung eine Steigerung des Stickstoffumsatzes ein, welche aber nur gering war. Jedenfalls also fand Pflüger, dass in keinem Falle Muskelarbeit ohne Mehrzersetzung von Eiweiss geleistet wurde.

Pflüger hält aber auch stets das Eiweiss für die alleinige un-

1) Zuntz und Hagemann, Untersuchungen über den Stoffwechsel des Pferdes bei Ruhe und Arbeit. Neue Folge. Landwirthschaftliche Jahrbücher Bd. 27. Ergänzungsband 3. 1898.

mittelbare Quelle der Muskelkraft. Um diese seine Anschauung mit den Resultaten seiner Versuche in Einklang zu bringen, stellte Pflüger folgende Hypothesen auf:

Die erste Möglichkeit sei, dass bei grossem Eiweissmangel das Eiweissmolekül in einen stickstoffhaltigen und einen N-freien Bestandtheil zerfalle. Letzterer wird verbrannt, während der verbleibende Eiweissrest sich auf Kosten von Alkoholradicalen, welche den Fetten und Kohlehydraten entnommen werden, wieder zu einem Eiweissmolekül aufbaut. Es ist nun wohl unleugbar, dass ein solcher Vorgang im Organismus statthaben kann, da ja auch der umgekehrte Process, d. h. die Bildung von Kohlehydratmolekülen aus Eiweiss, im höchsten Grade wahrscheinlich ist. Eine Entscheidung jedoch darüber, ob dieser Vorgang wirklich in der Oekonomie des Thierkörpers eine so grosse Rolle spielt, wie es zur Erklärung der Pflüger'schen Resultate nothwendig wäre, ist auf experimentellem Wege bisher nicht herbeigeführt worden. Jedenfalls aber würde er nur den speciellen Weg bedeuten, auf dem sich die Verwerthung der Fette und Kohlehydrate für die Arbeit vollzöge, und es wären dann doch, wenn auch indirect, die stickstofffreien Nährkörper als Quelle der Muskelkraft zu betrachten.

Eine andere Möglichkeit ist nach Pflüger die folgende: Die Vorräthe von Kräften, welche sich zur Erzeugung von Muskelzusammenziehungen umsetzen, liefern nur zum kleineren Theile mechanische Arbeit, zum grösseren Theil Wärme. Pflüger nimmt nun an, dass den die mechanische Arbeit leistenden Eiweissmolekülen durch Verbrennung von Fett der Wärmeverlust erspart wird und so eine viel grössere Menge von Spannkraft für die mechanische Arbeit disponibel würde.

Diese Hypothese ist allein sicher nicht ausreichend, alle Verhältnisse zu erklären; denn es existiren in der Literatur eine ganze Anzahl Versuche, in welchen das eiweisshaltige Material durchaus nicht im Stande war, auch nur die geleistete äussere Arbeit zu bestreiten. So habe ich mich überzeugt, dass unter den Versuchen, welche E. Wolff in Hohenheim an Pferden ausgeführt hat¹⁾, nicht wenige sind, in denen der Kraftverbrauch für die äussere Arbeit

1) E. Wolff, Grundlagen für die rationelle Fütterung des Pferdes. Als Programm der 67. Jahresfeier der kgl. württemb. landwirthschaftl. Akademie Hohenheim herausgegeben 1885 und desgleichen neue Beiträge. Landwirthsch. Jahrbücher Bd. 16 Supplement 3. 1887.

durch das umgesetzte Eiweiss nicht gedeckt sein kann, und Frenz el hat dasselbe für einen seiner Versuche selbst nachgewiesen¹⁾).

Zur Erklärung könnten dann ferner noch die Erwägungen herangezogen werden, welche Pflüger in seiner jüngst erschienenen Arbeit²⁾ über den Kraftwerth der Eiweissstoffe anstellt. Er bespricht hier die Möglichkeit, dass der Nutzwert des Eiweiss im lebenden Muskel grösser sei, als ihn das Kalorimeter anzeigt, eine Anschauung, welcher übrigens bereits Liebig Ausdruck gegeben hat. Pflüger erklärt dies daraus, dass das lebendige Eiweiss der Zelle vielleicht eine höhere Verbrennungswärme besitze als das todte Eiweiss. Des Weiteren wäre nach Pflüger auch daran zu denken, dass nicht nur der Harnstoff erst synthetisch aus CO_2 und NH_3 entstünde, sondern dass auch das Ammoniak im Körper aus dem bis zum atomistischen N abgebauten Eiweissmolekül hervorgeht, kurz, dass das Eiweissmolekül von den Muskeln in viel höherem Maasse ausgenutzt würde, als man bisher annahm.

Im Gegensatze zu seinen ursprünglichen mit denen Pflüger's übereinstimmenden Anschauungen schloss sich Krummacher später dem Standpunkte Voit's an³⁾. Diese Sinnesänderung vollzog sich auf Grund dreier Versuche an Menschen, welche bei verschiedenen zusammengesetzter Kost gemessene Körperarbeit leisteten. In dem ersten Versuche war das Stickstoffgleichgewicht in der Ruheperiode nicht völlig erreicht, im zweiten war ein Ueberschuss an Eiweisszufuhr, im dritten war bei sehr reichlicher Zugabe von stickstofffreiem Nährmaterial trotz geringem Eiweissgehalte der Kost die Stickstoffbilanz positiv. In allen diesen Fällen nun fand Krummacher eine Erhöhung des Eiweissumsatzes durch die Muskelthätigkeit. Doch reichte auch hier die Mehrausscheidung nicht im Entferntesten für die Bestreitung der Leistung aus, und liess sich zwischen Arbeit und mehr zersetztem Eiweiss überhaupt keine Proportionalität feststellen, so dass der Autor nunmehr einen directen Zusammenhang zwischen diesen beiden Factoren leugnet.

1) Frenz el, Ein Beitrag zur Frage nach der Quelle der Muskelkraft. Pflüger's Arch. Bd. 68 S. 212. 1897.

2) Pflüger, Unsere Kenntniss über den Kraftwerth des Fleisches und der Eiweissstoffe. Pflüger's Arch. Bd. 79 S. 1. 1900.

3) Krummacher, Versuche über den Einfluss der Muskelarbeit auf die Eiweisszersetzung. Zeitschr. f. Biol. Bd. 33 S. 108. 1896.

Es erübrigt kurz zu betrachten, wie sich in den Versuchen von Zuntz und seinen Mitarbeitern der Eiweissumsatz bei der Arbeit stellte.

Auch hier wird wiederholt eine Vermehrung des N-Gehaltes des Urins bei Muskelarbeit angegeben. So in den Versuchen über die zulässige Belastung des Soldaten auf Märschen¹⁾, welche auch in voller Uebereinstimmung mit Argutinsky an den zwei der Arbeit folgenden Tagen noch erhebliche Mehrausscheidungen von Stickstoff ergaben. Doch konnte gerade bei diesen Untersuchungen mit besonderer Deutlichkeit constatirt werden, dass die Grösse des durch Arbeit bewirkten Eiweisszerfalles nicht der Arbeit parallel geht, sondern durch Nebenumstände beeinflusst wird. Es fand nämlich bei geringerer Belastung, aber drückender Hitze ein stärkerer Eiweissumsatz statt als bei schwerem Gepäck und normalen Temperaturverhältnissen. Im Uebrigen ergab sich aus den Versuchen von Zuntz und Loeb, über welche in den Verhandlungen der Physiologischen Gesellschaft zu Berlin kurz berichtet worden ist, wie aus denen von Heineman, Frentzel und Reach, welche zugleich mit dieser Arbeit erscheinen werden, das Resultat, dass sowohl Eiweiss als auch Fette und Kohlehydrate in gleicher Weise als Kraftzufuhr zum Muskel dienen können, und dass das Gesetz der Vertretung der Nährstoffe nach ihrem Brennwerthe auch bei der Muskelarbeit Geltung behält. Doch fand sich in Versuchen an Hunden, in denen der Körper sonst die Arbeit durch Verbrauch stickstofffreien Materials verrichtete, eine geringe Vermehrung des Eiweissumsatzes²⁾. Dieselbe war aber so gering, dass in einem Falle, in dem ein reichliches, aus gemischter Kost bestehendes Mastfutter gereicht wurde, auch während der Arbeitsperiode ein N-Ansatz von 2,79 g täglich constatirt werden konnte, gegen 3,33 während der Ruheperiode.

Ziehen wir aus dem Ueberblicke über die Literatur ein Facit für die Bedeutung des Eiweisses für die Kraftleistung der Muskulatur, so ergibt sich Folgendes:

Der Organismus ist im Stande, bei ausschliesslicher Eiweissernährung und möglichst geringem Körperbestande an stickstofffreiem

1) Zuntz und Schumburg. Militärärztl. Zeitschr. 1895.

2) Zuntz, Ueber die Bedeutung der verschiedenen Nährstoffe als Erzeuger der Muskelkraft. (Nach mit Frentzel und Loeb ausgeführten Versuchen.) Verhandl. der physiol. Gesellschaft zu Berlin. 22. Juni 1894.

Material dauernd ohne Schädigung erhebliche Arbeit zu leisten. Unter gewöhnlichen Bedingungen ist dagegen der Stoffwechsel bei der Arbeit abhängig von der augenblicklich vorhandenen Nahrung, und vertreten sich die Nährstoffe etwa im Verhältniss ihrer Verbrennungswärme. Aber auch in den Fällen, in denen Fette und Kohlehydrate im Wesentlichen den Mehrbedarf bestritten, zeigt sich fast durchweg bei der Arbeit eine mehr oder weniger grosse Vermehrung des Eiweissumsatzes. Gegen die Versuche aber, bei denen sich eine solche primäre Erhöhung des Eiweissumsatzes nicht fand, lässt sich zum Theil eine nicht genügende Exactheit der Methode einwenden, für andere jedoch eine Erklärung finden dafür, dass eine eventuelle Mehrausscheidung der Beobachtung entgehen konnte. Fast alle Autoren nämlich (Argutinsky, Krummacher, Zuntz und Schumburg, Pflüger) geben an, dass nicht am ersten Arbeitstage die N-Ausscheidung am grössten war, sondern am zweiten oder dritten Tage. Manche Versuche jedoch, welche eine Vermehrung des Eiweisszerfalles vermissen liessen, wurden bereits am Ende des ersten bezw. des zweiten Tages abgebrochen, und es scheint nicht ausgeschlossen, dass bei längerer Beobachtung dennoch die Erhöhung der Eiweissverbrennung in Erscheinung getreten wäre.

Um so mehr erschien es nothwendig, die Erhöhung des Eiweissumsatzes durch Muskelarbeit näher zu untersuchen, um wo möglich festzustellen, ob der beobachtete Mehrzerfall von stickstoffhaltiger Substanz eine Nebenerscheinung ist, welche mit der Arbeitsleistung selbst nur in mittelbarem Zusammenhange steht, wofür die erwähnten Versuche Oppenheim's und die Beobachtungen von Zuntz und Schumburg an marschirenden Soldaten zu sprechen schienen, oder ob ein gewisser Mehrverbrauch von Eiweiss unbedingt bei jeder Muskelarbeit eintritt. In letzterem Falle würde die Anschauung, dass die Nährstoffe sich gegenseitig im Verhältniss ihrer Verbrennungswärme bei der Arbeit vertreten, in ähnlicher Weise durchbrochen, wie das Rubner'sche Gesetz von der Vertretung der Nährstoffe bei der Ernährung des Organismus dadurch modificirt wird, dass eine gewisse Menge von Eiweiss unbedingt in der Nahrung gereicht werden muss.

Mit Freude folgte ich daher einer Anregung meines hochverehrten Lehrers und Chefs, Professor Zuntz, die Frage nach dem Eiweiss-Umsatz bei Muskelarbeit einer erneuten Untersuchung zu untersuchen. Ich benutze die Gelegenheit Herrn Prof. Zuntz für sein stetes Interesse

für die vorliegende Arbeit und seine liebenswürdige Unterstützung an dieser Stelle meinen wärmsten Dank auszusprechen.

Wenn der erhöhte Eiweissverbrauch bei der Muskelarbeit keine *conditio sine qua non* ist, so mussten sich Versuchsbedingungen finden lassen, bei denen er völlig unterblieb. Wenn ferner die Ansicht richtig ist, dass der Organismus denjenigen Nährstoff zur Bestreitung der Arbeitsleistung heranzieht, welcher gerade vorwiegend im Blute circulirt, so musste sich ein Mehrverbrauch von Eiweiss dadurch vermeiden lassen, dass dem Organismus für die Muskelarbeit eine ausreichende, aus stickstofffreiem Material bestehende Kraftquelle zur Verfügung gestellt wurde.

Auf dieser Ueberlegung gründete sich der Plan der Versuchsanordnung. Der Versuch wurde angestellt an einer grossen Hündin, welche drei Monate hindurch einer Mästung unterzogen worden war. In dieser Zeit war das Körpergewicht um ca. 8 kg gestiegen. Später hatte ich dann an diesem Thiere einen Stoffwechselversuch mit einem Nährpräparate, dem Plasmon, angestellt, über den ich anderen Ortes berichtet habe¹⁾. Am Tage der Beendigung dieses Versuches begann das Thier seine Muskelarbeit auszuführen, für welche es schon lange vorher dressirt war. Die Nachperiode des Plasmonversuches ist also zugleich als Vorperiode unseres Versuches aufzufassen, und ist es daher nöthig, mit einigen Worten auf dieselbe einzugehen.

Dieser Versuchsabschnitt umfasst zehn Tage, vom 13. bis 23. Februar 1899.

Das tägliche Futter des Thieres setzte sich folgendermaassen zusammen:

176 g	Fleischmehl mit 22,51 g N und 15,71 g Fett		
200 „	Reis	2,36 „ „ „	156 g Stärke
109 „	Schmalz	109,00 „ „	
	Summa	24,87 g N	124,71 g Fett 156 g Stärke

Der Stickstoff des Fleischmehls und des Reises wurde in einer möglichst genauen Durchschnittsprobe nach Kjeldahl bestimmt. Der Fettgehalt des Fleischmehls nach der von E. Voit angegebenen Modification des Soxhlet'schen Verfahrens, d. h. durch Extraction mit Aether nach vorheriger Behandlung mit Alkohol, ermittelt. Die Stärkemenge im Reis wurde auf Grund früherer Analysen der

1) Caspari, Die Bedeutung des Milcheiweiss für die Fleischbildung. Zeitschr. f. diätetische und physikalische Therapie Bd. 3. 1899.

gleichen Sorte geschätzt. Der Wassergehalt des Schmalzes wurde vernachlässigt.

Während der zehn Tage dieser Versuchsperiode wurde der Hund in grösstmöglicher Körperruhe in einem engen Käfige gehalten. Aus diesem wurde er nur ein Mal am Tage heraus genommen, um ihn zu katheterisiren und die Blase auszuspülen, sowie das Körpergewicht zu bestimmen. Darauf wurde der Hund auch auf einige Minuten hinausgeführt, damit er seinen Koth absetzen konnte. Vom 14. bis 18. Februar wurde der Harn in den zum quantitativen Sammeln gut eingerichteten Käfig entleert und in einer Portion gesammelt, um nicht durch unnöthig häufigen Katheterismus das Thier zu schädigen.

Der mittelst Katheters abgegrenzte Urin wurde sammt dem Spülwasser auf ein gemessenes Volumen aufgefüllt, gut durchgemischt und der Stickstoff nach Kjeldahl bestimmt.

Der Koth wurde mittelst Kieselsäure abgegrenzt, getrocknet und in einer Durchschnittsprobe der N-Gehalt ermittelt. Der Fettgehalt des Kothes wurde durch Extraction nach Soxhlet festgestellt und ausserdem die Fettsäuren nach Behandlung mit sauerem Alkohol durch Extraction mit Aether gewonnen. Die Summe beider Factoren wurde als Gesamtfett in Rechnung gestellt. Die Methode der Fettbestimmung war also im Futter und Koth im Wesentlichen die gleiche.

Die Ausscheidung des Stickstoffs im Urin während dieser Periode gestaltete sich nun folgendermaassen:

13.—14. Februar	22,10 g N
14.—18. „	94,77 g N, also pro Tag 23,69 g N
18.—19. „	23,80 g N
19.—20. „	23,45 g N
20.—21. „	21,15 g N
21.—22. „	23,32 g N
22.—23. „	22,61 g N

Summa 231,20 g N in zehn Tagen, also pro Tag im Durchschnitt . . . 23,12 g N.

Das Gewicht des Trockenkoths betrug 205,85 g. In demselben waren enthalten 16,63 g N, also pro Tag 1,66 g und 25,02 g Fett (einschliesslich Fettsäuren), also pro Tag 2,5 g Fett.

Die Ausnutzung der täglichen Nahrung gestaltete sich demnach folgendermaassen:

eingeführt 24,87 g N im Koth, 124,71 g Fett
 im Koth, also nicht resorbirt 1,66 g N 2,50 g „
 also verdaut 23,21 g N = 93,33% 122,21 g Fett = 98%.

Die N-Bilanz während des Ruheversuches war im Durchschnitt täglich die folgende:

resorbirt 23,21 g N
 ausgeschieden im Urin pro Tag 23,12 g N
 es kamen im Körper zum Ansatz 0,09 g N.

Dieser Ansatz entspricht knapp dem Verluste an Epidermisgebilden, liegt also innerhalb der Fehlergrenze. Der Hund befand sich demnach im Stickstoffgleichgewicht. Dabei zeigt die tägliche Bilanz noch einige Schwankungen, wie dies ja gewöhnlich der Fall ist. Ueber die Grösse derselben gibt die folgende Tabelle Aufschluss, in welcher ich die Bilanz der Periode für jeden Tag bestimmt habe, unter der Voraussetzung, dass täglich in der That die gleiche Menge Stickstoff resorbirt worden sei. Zwar bin ich mir bewusst, dass eine derartige Vertheilung des Kothes auf die einzelnen Tage den factischen Verhältnissen niemals ganz entspricht. Andererseits ist aber der so begangene Fehler wohl auch nicht so gross, dass er das Bild der wirklichen Vorgänge allzu sehr verwischen könnte.

Tägliche N-Bilanz des Versuches.

resorbirt pro Tag . . . 23,12 g N. Ausgeschieden im Urin vom
 13.—14. Februar . . . 22,10 g N
 Bilanz + 1,02 g N
 14.—18. Februar pro die — 0,57 g N
 18.—19. „ — 0,68 g N
 19.—20. „ — 0,33 g N
 20.—21. „ + 1,97 g N
 21.—22. „ — 0,20 g N
 22.—23. „ + 0,51 g N.

Das Körpergewicht blieb im Grossen und Ganzen constant, wie die folgenden Daten zeigen.

Körpergewicht:

13. Februar	32 200	19. Februar	32 250	22. Februar	32 220
14. „	32 150	20. „	32 400	23. „	32 200
18. „	32 120	21. „	32 350.		

Endlich habe ich auch versucht, die dem Thiere täglich zugeführte Energiemenge so genau zu berechnen, wie es ohne kalorimetrische Bestimmungen möglich ist, da es für spätere Betrachtungen nicht ohne Interesse ist, wenigstens einen ungefähren Ueberblick über den Energieverbrauch zu gewinnen.

Zunächst suchte ich den Wärmewerth der Eiweisssubstanz des Futters zu ermitteln. Ich verwandte zu diesem Zwecke die Zahlen, welche Stohmann und Langbein¹⁾ für mit Wasser und Aether extrahirtes Rindfleisch angeben, Werthe, die denjenigen unseres Fleischmehles sicherlich sehr nahe stehen. Da für den Reis entsprechende Analysen noch nicht vorliegen, so habe ich die geringe Stickstoffmenge dieser Substanz derart in die Rechnung einbezogen, als wäre auch dies Eiweissmaterial in Form von Fleischmehl gereicht worden. Im entfetteten und von Extractivstoffen befreiten Rindfleisch entsprechen 16,44 g N 572,05 Cal., also würden 24,87 g N entsprechen 865,4 Cal.

Um die Energiemenge festzustellen, welche das Thier von diesen 865,4 Cal. ausnutzte, muss von dieser Zahl zunächst die dem Stickstoffgehalte des Kothes entsprechende Wärmemenge abgezogen werden. Nach Pflüger²⁾ entspricht 1 g N des fettfreien Fleischkothes 28,2 Cal. Die Stickstoffmenge im Kothe betrug pro die 1,66 g. Für diese wären also in Abzug zu bringen $1,66 \times 28,2 = 46,81$ Cal., so dass 818,6 Cal. dem Körper zu Gute kamen.

Es wurden resorbirt pro Tag im Durchschnitt 23,21 g N. Von diesen 23,21 g N wurden aber nur 23,12 g wirklich im Körper umgesetzt. Nach Rubner³⁾ liefert der Harn eines Hundes, welcher mit im Wasser völlig ausgelaugtem, also von Extractivstoffen befreitem Muskelfleisch gefüttert wurde, auf 1 g N 6,69 Cal. Den 23,12 g N im Urin entsprechen also $23,12 \times 6,69 = 154,67$ Cal. Ziehe ich diesen Werth von den aus Eiweiss resorbirten 818,6 Cal. ab, so ergibt sich, dass 663,9 Cal. von den im Eiweiss gereichten 865,4 Cal. im Organismus umgesetzt wurden.

1) Stohmann und Langbein, Ueber den Wärmewerth der Nahrungbestandtheile und deren Derivate. Journ. f. prakt. Chemie Bd. 44 S. 368.

2) Pflüger, Ueber Fleisch- und Fettmästung. Pflüger's Arch. Bd. 52 S. 78.

3) Rubner, Kalorimetrische Untersuchungen. Zeitschr. f. Biologie Bd. 21 S. 303. 1885.

Da ich den respiratorischen Stoffwechsel nicht in's Bereich meiner Messungen gezogen habe, so kann ich für Fett und Kohlehydrate nur die resorbirte Energiemenge in Rechnung stellen.

Der Verbrennungswerth für das Fett berechnet sich dann in folgender Weise:

gereicht	124,7 g
im Koth	2,5 g
also resorbirt	<u>122,2 g.</u>

Die Verbrennungswärme für 1 g Schweineschmalz beträgt 9,423 Cal.¹⁾; also wurde im Fett ausgenutzt $122,2 \times 9,423 = 1151,5$ Cal.

Da ferner im Koth nach Aufschliessen mit Milchsäure im Autoclaven und Invertirung des Filtrates eine Reduction nicht nachgewiesen werden konnte, habe ich die ganze Menge der Kohlehydrate als resorbirt gerechnet. Die Verbrennungswärme für Stärke wird von Stohmann²⁾ zu 4,182 Cal. angegeben. Wir haben also für die Kohlehydrate in Anrechnung zu bringen $156 \times 4,182 = 652,4$ Cal.

Die Nahrung enthielt also im Ganzen etwa 2468 Cal. pro Tag, von denen 1804 im stickstofffreien Material und 664 im Eiweiss enthalten waren.

Am 22. Februar Abends hatte der Hund Kieselsäure zur Kothabgrenzung erhalten, und so begann am 23. Februar der eigentliche Arbeitsversuch. Die Arbeit wurde auf der oft beschriebenen Treibahn geleistet, indem eine bestimmte Wegstrecke bei gemessener Steigung der Bahn von dem Thiere zurückgelegt wurde. Um nun, wie oben besprochen, dafür zu sorgen, dass dem Thiere während der Dauer der Arbeit genügend stickstofffreie Nährstoffe zur Verfügung ständen, damit ein erhöhter Eiweisszerfall umgangen werden könne, wurde in folgender Weise verfahren:

Die Futterration wurde in zwei Mahlzeiten getheilt. Um 12 Uhr erhielt der Hund die erste Portion, bestehend aus 150 g Reis. Um 2 Uhr wurde der Urin entnommen, Körpertemperatur gemessen,

1) Rubner, a. a. O. S. 333. Bei Benutzung der besser fundirten Stohmann'schen Zahl (Stohmann und Langbein, Journal f. prakt. Chemie Bd. 42 S. 363. 1890) würde sich der Werth um etwa 1% höher gestalten.

2) A. a. O. S. 414.

das Thier gewogen und auf die Tretbahn geführt. Dort erhielt es am ersten und zweiten Versuchstage eine gewogene Menge Zucker. Die Arbeitsleistung dauerte etwa zwei Stunden. Hierauf wurde wiederum die Temperatur bestimmt und der Hund in seinen Käfig zurückgeführt. Um 6 Uhr wurde das Thier von Neuem katheterisirt und erhielt dann die zweite Portion seines Futters, bestehend aus dem restirenden Reis, der Fettration und dem Fleischmehl. Es wurde also bis auf die geringe Zuckerzulage das Futter der Ruheperiode unverändert gegeben, besonders aber die Eiweisszufuhr nicht vermehrt und nur durch die Vertheilung der Kost dafür gesorgt, dass während der Arbeitsleistung dem Organismus im Wesentlichen stickstoffreies Nährmaterial zur Verfügung stand.

Ferner wurde mit Berücksichtigung der Erfahrungen Oppenheim's und Zuntz' darauf gesehen, dass der Hund niemals ausser Athem kam, allzu stark hachelte oder sich erhitzte. Zu diesem Zwecke wurde etwa alle Viertelstunden eine Pause von mehreren Minuten eingeschoben, ähnlich wie es ja bei anstrengenden Gebirgstouren empfohlen wird, nach einer Viertelstunde Bergbesteigung stets eine kurze Erholungspause eintreten zu lassen. Dennoch wurde durch die Arbeit bei unserem Thiere immer eine Erhöhung der Temperatur hervorgerufen, welche zwischen den Extremen $0,1-1,1^{\circ}$ schwankte, im Mittel aller Versuchstage $0,7^{\circ}$ betrug. Doch ging der Eiweisszerfall der mehr oder weniger erhöhten Eigenwärme in keiner Weise parallel, so dass ich glaube, dass diesem Momente bei der Betrachtung der Ergebnisse nicht weiter Rechnung getragen zu werden braucht.

Es mögen hier kurz die Daten der einzelnen Versuchstage folgen:

23. Februar. Der Hund erhält um 12 Uhr 150 g Reis mit 117 g Stärke und 1,77 g N, sowie 30 g Zucker. Um 2 Uhr wird er auf die Tretbahn geführt und ihm dort nochmals unmittelbar vor Beginn der Arbeit 20 g Zucker gereicht. Die Arbeit dauerte 2 Stunden 16 Minuten. In dieser Zeit machte das Führungsräder der Tretbahn 2551 Umdrehungen, deren jede einer Strecke von 2,643 m entspricht, so dass der Hund im Ganzen einen Weg von $2551 \times 2,643 = 6742$ m zurücklegte. Der Steigungswinkel der Bahn wurde zu $9^{\circ} 1'$ ermittelt. Die Steigung betrug also $6742 \times \sin. 9^{\circ} 1' = 1057$ m.

Das Gewicht des Hundes war vor der Arbeit 33,2 kg, nach derselben 32,6 kg, also im Mittel 32,9 kg. Die Steigarbeit betrug also $1057 \times 32,9 = 34765$ mkg.

Ein Meterkilogramm Arbeit durch Steigen erfordert beim Hunde, wenn wesentlich Fett und Kohlehydrat als Kraftquelle des Muskels in Betracht kommen, einen

Energieverbrauch von 7,668 cal.¹⁾ Der Kraftverbrauch für die geleistete Steigarbeit in unserem Falle betrug $34765 \times 7,668 = 266,6$ Cal.

Diese Steigarbeit ist aber nur die eine Componente der wirklich von dem Thiere verrichteten Leistung. Man muss zu dieser noch addiren die Arbeit, welche das Thier bei der ebenen Fortbewegung seines Gewichtes — 32,9 kg — über die gemessene Wegstrecke 6742 m ausführte. Zur horizontalen Fortbewegung von 1 kg um 1 m sind nach Zuntz beim Hunde erforderlich 1,179 cal. wenn die Arbeit aus N-freiem Materiale bestritten wird. Folglich wurde für die zweite Componente der Arbeitsleistung verbraucht $32,9 \times 6742 \times 1,179 = 261,5$ Cal.

Für die gesammte Arbeitsleistung also war erforderlich $261,5 + 266,6 = 528,1$ Cal.

Das vor der Arbeit gereichte Futter enthielt:

$$\begin{aligned} & 50,0 \text{ g Zucker} = 197,8 \text{ Cal.}^2) \\ & + 117,0 \text{ g Stärke} = 489,3 \text{ Cal.} \end{aligned}$$

Summa 687,1 Cal.

Der in dem N-freien Material dem Organismus gebotene Wärmewerth übertraf also nicht unbedeutend den für die Arbeitsleistung erforderlichen Verbrauch, doch ist zu bedenken, dass ein unbekannter Theil des Materials selbst am Schlusse der Arbeitsleistung noch nicht resorbirt sein konnte.

Der Urin vom 22.—23. enthielt 22,61 g N, also pro Stunde 0,94 g N.

Der Urin am 23. von 2—6 Uhr Nachmittags während der Arbeit enthielt 2,51 g N, also pro Stunde 0,63 g N.

24. Februar. Der Hund erhält auf der Tretbahn unmittelbar vor der Arbeit nur 28 g Zucker gegen 50 g am 23.; sonst ist das Futter unverändert.

Zurückgelegt wurden an diesem Tage in zwei Stunden sechs Minuten 2900 Touren, entsprechend einem Wege von 7665 m. Die Steigung betrug 1201 m.

Der Hund wog zu Beginn der Arbeit 33,04 kg, nach Beendigung derselben 32,59 kg, also im Durchschnitt 32,815 kg.

Die Steigarbeit berechnet sich also zu 39419 mkg entsprechend einem Verbrauch von 302,3 Cal. Die Fortbewegung von 32,815 kg über 7665 m Weg erfordert einen Verbrauch von 296,5 Cal.

Es waren also für die Leistung der Arbeit im ganzen erforderlich 598,8 Cal.

In der N-freien Substanz vor der Arbeit verabfolgt:

$$\begin{aligned} & 28 \text{ g Zucker} = 110,7 \text{ Cal.} \\ & + 117 \text{ g Stärke} = 489,3 \text{ Cal.} \end{aligned}$$

Summa 600,0 Cal.

Die N-freien Nährstoffe wären also hier gerade im Stande gewesen, den Verbrauch bei der Muskelarbeit zu decken, wenn man annehmen dürfte, dass sie bis zum Schlusse der Arbeit ganz resorbirt seien.

Der Urin vom 23. 6 Uhr Nachmittags bis 24. 2 Uhr Nachmittags enthielt 19,01 g N, also pro Stunde im Durchschnitt 0,95 g N.

1) Zuntz, Ueber den Stoffverbrauch des Hundes bei Muskelarbeit. Pflüger's Arch. Bd. 68 S. 205. 1897.

2) 1 g Zucker = 3,955 Cal. Stohmann, a. a. O. S. 413.

Der Urin am 24. 2 Uhr bis 6 Uhr Nachmittags enthielt 4,08 g N, also pro Stunde im Durchschnitt 1,02 g N.

25. Februar. Der Hund erhielt vor der Arbeit bereits um 11 Uhr Vormittags lediglich 140 g Reis. Das Gesamtfutter wurde nicht geändert; nur wurde von der Zuckerzulage abgesehen. Die Arbeit begann aus äusseren Gründen bereits um 1 Uhr. Zurückgelegt wurden in zwei Stunden 16 Minuten 2902 Touren der Treibahn, entsprechend einem Wege von 7670 m und bei 9° 1' Steigungswinkel einer Steigung von 1202 m.

Das Körpergewicht des Hundes betrug vor der Arbeit 32,5, nach derselben 31,3 kg, das Mittel also 31,9 kg.

Es wurde also eine Steigarbeit von 38346 mkg geleistet, entsprechend einem Energieverbrauch von 294,0 Cal.

Die Fortbewegung von 31,9 kg über einen Weg von 7670 m erforderte 288,5 Cal. Der Gesamtverbrauch für die Arbeit belief sich also auf 582,5 Cal.

Nun wurden vor der Arbeit dem Thiere nur 140 g Reis mit 109 g Stärke gereicht. Dies sind nur 455,9 Cal., so dass die Calorienzufuhr in der stickstofffreien Nahrung in keinem Falle ausreichte, die Kraftausgabe zu bestreiten.

Der Harn vom 24. 6 Uhr Nachmittags bis 25. 1 Uhr Mittags, also in 19 Stunden, enthielt 20,08 g N, also in einer Stunde 1,05 g N.

Im Harn am 25. 1 Uhr bis 5 Uhr Nachmittags 3,47 g N, also in einer Stunde 0,87 g N.

26. Februar. Der Hund hatte etwas von dem Nachmittagsfutter vom 25. übrig gelassen. Um 12 Uhr erhielt er diesen Rest, sowie 100 g Reis und 40 g Zucker. Um 2 Uhr wurde das Thier katheterisirt und sein Gewicht zu 32,5 kg festgestellt.

Auf die Treibbahn wurde der Hund nicht geführt.

Um 6 Uhr wurde er wiederum katheterisirt. Das Körpergewicht betrug 32,25 kg.

Der Urin vom 25. 5 Uhr Nachmittags bis 26. 2 Uhr Nachmittags enthielt 18,58 g N, also in einer Stunde 0,93 g N. Der Urin am 26. von 2 Uhr bis 6 Uhr Nachmittags enthielt 4,01 g N, also in einer Stunde 1,00 g N.

27. Februar. Der Hund hat von seinem gestrigen Nachmittagsfutter eine beträchtliche Menge übrig gelassen. Heute verweigert er die Nahrungsaufnahme gänzlich.

28. Februar. Es besteht noch dieselbe Unmöglichkeit, dem Hunde sein regelmässiges Futter beizubringen. In Folge dessen erhält er um 10 Uhr Abends 50 g frischen Hackfleisches mit Kieselsäure zur Abgrenzung des Kothes. Dieses geringe Quantum wird gefressen.

Der Koth dieses Versuchsabschnittes wog trocken 119 g und enthielt im Ganzen 9,85 g N, sowie 16,2 g Fett incl. Fettsäuren.

Eine Vertheilung der Bestandtheile des Kothes auf die einzelnen Tage ist naturgemäss sehr schwierig in Folge der Unregelmässigkeiten der Ernährung. Versuche, welche ich gemacht habe, die tägliche Bilanz in der Weise festzustellen, dass ich den der täglichen Stickstoffmenge des Futters entsprechenden Werth des Kothstickstoffs

berechnete, ergaben Resultate, welche mir so unwahrscheinlich schienen, dass ich es für richtig halte, auf eine Verwerthung der Analyse des Kothes dieser Versuchsperiode zu verzichten.

Wenn ich trotzdem des Näheren auf die Daten dieser Reihe eingegangen bin, so war der Grund hierfür der, dass auch aus dem Umsatz des Eiweisses, welcher sich in den Verhältnissen des Harnstickstoffs ausprägt, immerhin einige Folgerungen gezogen werden können, welche eine eingehendere Betrachtung rechtfertigen.

Ich gebe daher nochmals in tabellarischer Uebersicht die N-Ausscheidung im Harn der verschiedenen Tage:

Datum	N-Gehalt in 24 Stunden	Bemerkungen
18.—22. (4 Tage)	Mittel = 22,93 g	—
22. 2 ^h Nachm. bis 23. 2 ^h Nachm.	22,61 g	keine Arbeit
23. 2 ^h „ „ 24. 2 ^h „	21,52 g	Arbeit
24. 2 ^h „ „ 25. 2 ^h „	25,21 g ¹⁾	„
25. 2 ^h „ „ 26. 2 ^h „	21,17 g	„

Betrachtet man diese Zahlen, so ist die gewaltige Vermehrung des Eiweissumsatzes am zweiten Arbeitstage sehr in die Augen springend. Ein Fehler, wie er durch die zeitliche Verschiebung der Arbeitsleistung und damit verbundene Umrechnung¹⁾ der Stickstoffwerthe eventuell herbeigeführt sein könnte, kann einen so grossen Unterschied in den Stickstoffzahlen unmöglich bedingen. Es erscheint mir auch nicht angängig, das zwei Tage später eintretende Missbefinden des Hundes für den erhöhten Eiweisszerfall schon an diesem Tage verantwortlich zu machen. Dagegen spricht die viel geringere Eiweisszersetzung vom 25.—26. Februar; für diesen Tag müsste doch wohl die Erkrankung des Thieres noch viel energischer zur Geltung kommen. Uebrigens bot der Hund weder am 24. noch am 25. Februar irgend welche Symptome von Unbehagen dar.

Ich bin vielmehr überzeugt, dass dieser vermehrte Stickstoffzerfall in der That durch die Muskelthätigkeit bedingt ist und wir hier also die Vermehrung des Eiweissumsatzes vor uns haben, welche von so vielen Autoren beschrieben worden ist. Auch dass diese Er-

1) Da ich, wie erwähnt, durch äussere Verhältnisse gezwungen war, den Arbeitsversuch schon um 1 Uhr zu beginnen, so habe ich zu dem Stickstoffgehalte des 23stündigen Urins den Mittelwerth für eine Stunde hinzuaddirt, ebenso von dem 25stündigen des nächsten Tages den Mittelwerth für eine Stunde abgezogen.

höhung des Eiweissumsatzes erst am zweiten Tage in Erscheinung tritt, harmonirt ja mit den Erfahrungen Argutinsky's, Krummacher's, Zuntz' u. A.

Ferner zeigte sich, dass die Stickstoffausscheidung im Harn durchweg in der einer Arbeitsleistung folgenden Ruhe grösser ist als während der Arbeit selbst. Dies ist leicht zu ersehen, wenn man die folgende Zusammenstellung betrachtet, in welcher ich die stündliche Stickstoffausscheidung im Harn bei Ruhe und Arbeit zusammengestellt habe.

Datum	N im Urin	
	Ruhe	Arbeit
22. Febr. 2 ^h Nachm. bis 23. Febr. 2 ^h Nachm. . .	0,99 g	—
23. Febr. 2 ^h Nachm. bis 6 ^h Nachm.	—	0,63 g
23. Febr. 6 ^h Nachm. bis 24. Febr. 2 ^h Nachm. . .	0,95 g	—
24. Febr. 2 ^h Nachm. bis 6 ^h Nachm.	—	1,02 g
24. Febr. 6 ^h Nachm. bis 25. Febr. 1 ^h Nachm. . .	1,05 g	—
25. Febr. 1 ^h Nachm. bis 5 ^h Nachm.	—	0,87 g
25. Febr. 5 ^h Nachm. bis 26. Febr. 2 ^h Nachm. . .	0,93 g	—
26. Febr. 2 ^h Nachm. bis 6 ^h Nachm.	1,00 g	—

Dieses Verhalten ist offenbar eine Folge davon, dass während der Arbeit reichlich Kohlehydrate circulirten, während die eiweissreiche Futterration erst nach der Arbeitsleistung gereicht wurde.

Um dem Hunde Zeit zu lassen, sich zu erholen, wurde eine Ruheperiode eingeschaltet. Da für die Erkrankung des Hundes die lang dauernde Gleichförmigkeit des Futters, verbunden mit dem hohen Fett- und Fleischmehlgehalt desselben, verantwortlich schien, wurde die tägliche Futterration geändert. Ferner wurde bereits in der Ruheperiode die Theilung des Futters in zwei Mahlzeiten vorgenommen.

Der Hund erhielt also am 1. März 1899 um 12 Uhr Vormittags:

100 g Reis	mit 1,18 g N u.	78 g Kohlehydrate,
40 g Zucker	40 g	„
Summa: 1,18 g N u. 118 g Kohlehydrate.		

Um 6 Uhr Nachmittags wurde der Hund katheterisirt und erhielt dann:

50 g Reis	mit 0,59 g N u.	39 g Kohlehydrate,
120 g Fleischmehl	„ 15,32 g „	— u. 13,49 g Fett,
240 g frisch. Fleisch	„ 8,02 g „	— „ 18,60 g „
53 g Schmalz	—	— „ 53,00 g „
Summa: 23,93 g N, 39 g Kohlehydrate, 85,09 g Fett,		
im Ganzen also: 25,11 g N, 175 g Kohlehydrate, 85,09 g Fett.		

Die Veränderung des Futters hatte denn auch den gewünschten Erfolg, indem der Hund seinen Appetit wieder erlangte.

Es wurde ferner darauf Werth gelegt, dass das Thier während der Ruheperiode nicht zu häufig katheterisirt werde, da auch eine geringe Blasenreizung eingetreten war. Der nächste Katheterismus fand also erst am 5. März um 2 Uhr Nachmittags statt.

Der Harn der $3\frac{5}{6}$ Tage enthielt 90,78 g N, entsprechend einer 24 stündigen Ausscheidung von 23,68 g N.

Das Körpergewicht, welches am 1. März nur noch 31,55 kg betragen hatte, war bereits wieder auf 32,75 kg angestiegen.

Am 7. März 2 Uhr Nachmittags wurde wiederum katheterisirt. Der Urin enthielt in 48 Stunden 44,00 g N, also in 24 Stunden 22,00 g N.

Das Körpergewicht wurde zu 32,7 kg festgestellt.

Mit dem Nachmittagsfutter erhielt der Hund Kieselsäure zur Abgrenzung.

Am 8. März um 2 Uhr wurde der Hund katheterisirt. Der Harn enthielt 21,98 g N in 24 Stunden.

Der Koth dieser Reihe wog trocken 231,4 g. Er enthielt 13,2 g N, also pro Tag 1,89 g N, ferner 15,32 g Fett (incl. Fettsäuren); also pro die 2,19 g.

Es ergibt sich aus diesen Angaben zunächst für Ausnutzung des Stickstoffes und Fettes der Nahrung:

gegeben pro Tag	25,11 g N	85,09 g Fett,
davon im Koth	1,89 g N	2,19 g Fett,
also resorbirt	23,22 g N = 92,47 %,	82,90 g Fett = 97,42 %.

Die Gesamtbilanz des Eiweissumsatzes stellt sich im Durchschnitt pro Tag folgendermaassen:

verdaut	23,22 g N,
im Urin	<u>22,84 g N,</u>
Bilanz	+ 0,38

und für die einzelnen Versuchsabschnitte:

1.—5. März	5.—7. März	7.—8. März
verdaut 23,22 g N,	verdaut 23,22 g N,	verdaut 23,22 g N,
im Urin <u>23,68 g N,</u>	im Urin <u>22,00 g N,</u>	im Urin <u>21,98 g N,</u>
Bilanz — 0,46 g N,	Bilanz + 1,22 g N,	Bilanz + 1,24 g N.

Aus diesen Zahlen ist ersichtlich, dass der Hund am Ende der Ruheperiode sich fast wieder in Stickstoffgleichgewicht gesetzt hatte, jedoch noch eine geringe Tendenz zum Eiweissansatz zeigte.

Die im Futter enthaltene Energiemenge wurde in ähnlicher Weise berechnet wie oben für die erste Versuchsreihe. Indem der Stickstoff des Reises dem des Fleischmehls hinzugezählt wurde, ergaben sich für die : diesen Substanzen enthaltenen 17,09 g N 594,7 Cal. Es wurden ferner gereicht 8,02 g N in Gestalt frischen Fleisches. Nach *Stohmann* und *Langbein*¹⁾ entsprechen 16,36 g N im fettfreien Muskelfleisch 564,09 Cal. Es wurden also im Fleischeiweiss weitere 276,5 Cal. verabfolgt, in Summa also 871,2 Cal. Von diesen sind abzuziehen für den Koth $1,89 \times 28,2 = 53,3$ Cal. Für den Harn habe ich die Annahme gemacht, dass ein der Einfuhr entsprechender Theil des Harnstickstoffes von der Zersetzung des Fleisches herrührt. Es fallen demnach von den 22,84 g N im Harn 7,29 g auf die Abbauproducte des Fleisches. Nach *Rubner*²⁾ ist 1 g N im Fleischharn des Hundes = 7,45 Cal., also 7,29 g N = 54,35 Cal. Für die übrigen 15,55 g Harnstickstoff ergibt sich das kalorische Aequivalent wie oben durch Multiplication mit 6,69 zu 104,03 Cal. Es sind demnach von den 871,2 Cal. aus dem Eiweiss des Futters abzuziehen 158,38 Cal. für den Harn und 53,3 Cal. für den Koth. Es bleiben demnach für den kalorischen Nutzwert des Eiweisses 659,5 Cal. Der Wärmewert für Fett und Kohlehydrate wurde genau wie in der ersten Versuchsperiode bestimmt. Es ergaben sich 781,2 Cal. aus Fett, 489,3 Cal. aus Stärke und 158,2 Cal. aus Zucker. Im Ganzen enthielt das Futter also 2088,2 Cal.; von diesen wurden in stickstofffreiem Nährstoff gegeben 1428,7 Cal. Die Vormittagsmahlzeit enthielt an Kohlehydraten 484,4 Cal.

Am 8. März nach dem Katheterismus wurde nun wieder mit der Arbeit begonnen.

In Futter und der Art der Darreichung trat zunächst nicht die geringste Aenderung ein. Trotzdem verschob sich der physiologische Nutzwert desselben ein wenig, da die Ausnutzung des Eiweisses während der Arbeitsperiode nicht unwesentlich besser war als während der Ruhezeit, die Fettresorption dagegen herabgedrückt war, wofür die zahlenmässigen Belege weiter unten gegeben werden. Die Energiemenge, welche das Thier in dieser Periode mit der Nahrung aufnahm, belief sich auf 2098,7 Cal., von denen 1427,2 von stickstofffreien Substanzen bestritten wurden.

1) A. a. O. S. 364.

2) A. a. O. S. 316.

Der Marsch auf der Treibahn dauerte am 8. März zwei Stunden und 23 Minuten. In dieser Zeit wurden zurückgelegt 2902 Touren, bei einem Steigungswinkel von $9^{\circ} 1'$.

Das Körpergewicht des Thieres belief sich auf 33 kg vor und 32,35 kg nach der Arbeit. Das mittlere Gewicht war also während der Arbeit 32,675 kg. Demnach betrug die Steigarbeit 39 278 mkg. Diese Arbeitsleistung erfordert 301,2 Cal., die Fortbewegung von 32,675 kg über 7670 m Weg weitere 295,5 Cal.; im Ganzen also entspricht die geleistete Arbeit einem Energieverbrauche von 596,7 Cal. Die eiweissfreien Bestandtheile des Vormittagsfutters enthielten aber nur 484,4 Cal., so dass sie nicht im Stande sind, die verrichtete Muskelarbeit zu bestreiten.

Leider liess das Thier während des Laufens auf der Treibahn Urin, so dass gerade der so wichtige erste Arbeitsharn in Verlust gekommen ist. Der Hund wurde daher um 6 Uhr katheterisirt und der dabei gewonnene Urin entfernt.

Am 9. März um 2 Uhr wurde der Harn mittelst Katheters entnommen. Er enthielt in 20 Stunden 20,6 g N. Nach den Erfahrungen der ersten Arbeitsreihe wird mit grosser Gewissheit der Werth kein zu niedriger sein, wenn man die 20stündige Zahl auf 24 Stunden umrechnet und so die fehlenden vier Arbeitsstunden ergänzt. Es würde sich so für 24 Stunden eine Stickstoffausscheidung im Harn von 24,7 g ergeben.

Um das Vormittagsfutter mit der Arbeitsleistung besser in Einklang zu bringen, wurde am 9. März eine geringere Arbeit ausgeführt. Dieselbe währte nur 1 Stunde 53 Minuten, und wurden von dem Thiere in dieser Zeit 2303 Touren zurückgelegt, entsprechend einem Wege von 6086,9 m bei 953,9 m Steigung.

Das Körpergewicht war vor der Arbeit 32,5 kg, nach derselben 32,0 kg, also im Mittel 32,25 kg.

Hieraus berechnet sich eine Steigarbeit von 30 764 mkg, entsprechend einem Verbrauche von 235,9 Cal. Hierzu kommen für Fortbewegung von 32,25 kg über einen Weg von 6086,9 m 231,4 Cal. Im Ganzen erforderte die Arbeitsleistung also 467,3 Cal. Da 484,4 Cal. an Kohlehydratfutter gereicht waren, so war die Menge der gegebenen Kohlehydrate für die Arbeitsleistung gerade genügend, wenn man annehmen dürfte, dass dieselben bereits während der Arbeitsleistung resorbirt worden wären.

Der Harn vom 9. März 2 Uhr Nachmittags bis 10. März 2 Uhr Nachmittags enthielt 23,32 g N.

Am 10. März wurde nun dem Thiere wiederum eine erheblichere Arbeit zugemuthet. U₁ aber die Möglichkeit zu geben, dass ohne Erhöhung der Gesamtzufuhr die Energiemenge der eiweissfreien Nahrung der Vormittagsmahlzeit genüge, um die Muskelthätigkeit zu bestreiten, wurden zu der Futterportion um 12 Uhr Mittags 20 g Fett zugelegt, welche von der Nachmittagsportion abgezogen wurden. Da das Fett in dieser Arbeitsperiode zu 97,21 % verdaut wurde, so lieferten 20 g Fett $19,44 \times 9,423 = 183,2$ Cal., so dass die Vormittagsportion des Futters nunmehr 667,6 Cal. enthielt.

Das Thier legte an diesem Tage in 2 Stunden 54 Minuten 2903 Touren auf der Treibbahn zurück, entsprechend einem Weg von 7672,7 m und 1202,5 m Steigung.

Es wurden hierdurch bei einem mittleren Gewichte des Thieres von 32,65 kg 39 261 mkg Steigarbeit geleistet, für welche 301,2 Cal. erforderlich waren.

Ferner wurden für die Fortbewegung des Körpergewichtes über die angegebene Weglänge 295,4 Cal. verbraucht. Die Gesamtleistung entspricht also 596,6 Cal.

Da 667,6 Cal. im stickstofffreien Vormittagsfutter vorhanden waren, so reichte dasselbe aus, um die Arbeitsleistung zu bestreiten, vorausgesetzt, dass es innerhalb fünf Stunden resorbirt wurde.

Der Harn vom 10. März 2 Uhr bis 11. März 1 Uhr Nachmittags enthielt in 23 Stunden 22,26 g N. Auf 24 Stunden berechnet also 23,23 g N.

Am 11. März erhielt der Hund sein Vormittagsfutter schon um 11 Uhr und begann die Arbeit dementsprechend bereits kurz nach 1 Uhr. Es wurden zurückgelegt in 2 Stunden 32 Minuten 2904 Touren. Das Körpergewicht des Hundes betrug vor der Arbeit 32,9 kg, nach derselben 32,3 kg, im Mittel 32,6 kg. Der Weg also 7675,4 m, Steigung 1203 m, Steigarbeit 39 215 mkg, wofür 300,7 Cal. erforderlich; für Fortbewegung von 32,6 kg 7675 m weit sind 295,0 Cal. erforderlich. In Summa also für die Arbeitsleistung verbraucht 595,7 Cal.

Im Urin vom 11. März 1 Uhr bis 12. März 2 Uhr, also in 25 Stunden, 22,74 g N, das wäre für 24 Stunden 21,83 g N.

Am 12. März konnte ich den Hund nicht arbeiten lassen, da

mir kein Dampf zum Treiben der Tretbahn zur Verfügung stand. Der Hund wog um 2 Uhr Nachmittags 32,9 kg.

Im Harn vom 12. März bis 13. März 2 Uhr, also in 24 Stunden ohne Arbeit 22,06 g N.

Am 13. März legte der Hund auf der Tretbahn in 2 Stunden 29 Minuten 2902 Touren zurück, entsprechend einem Wege von 7670 m und 1202 m Steigung. Da das Körpergewicht im Mittel 32,6 kg betrug (32,9 vor, 32,3 kg nach der Arbeit), wurden 3987,5 mkg Steigarbeit geleistet, entsprechend einem Verbrauch von 300,5 Cal. Die Fortbewegung betrug 250 047 m Weg \times kg Gewicht, entsprechend 294,8 Cal. Der Verbrauch für die Gesamtarbeit belief sich also auf 595,3 Cal., während 667,6 Cal. in den Fetten und Kohlehydraten des Vormittagsfutters dem Organismus zur Verfügung gestellt worden waren.

Der Harn vom 13. März 2 Uhr bis 14. März 2 Uhr enthielt 20,82 g N.

Am 14. März wurden 2900 Touren in 2 Stunden 33 Minuten auf der Tretbahn zurückgelegt. Das Gewicht des Thieres war vor der Arbeit 32,5 kg, nach derselben 32,2 kg, im Mittel also 32,35 kg, Weg 7665 m, Steigung 1201 m, Steigarbeit 38 860 mkg, entsprechend 298,0 Cal. Die zweite Componente der Arbeitsleistung 32,5 kg Gewicht \times 7665 m Weg, entsprechend 292,3 Cal. Die Gesamtarbeit erforderte also 590,3 Cal.

Der Harn vom 14. März 2 Uhr bis 15. März 2 Uhr enthielt 19,64 g N.

Am 15. März wurden 2902 Touren in 2 Stunden 42 Minuten zurückgelegt. Das Körpergewicht betrug vor der Arbeit 32,7, nach derselben 32,2 kg, im Mittel also 32,45 kg; demnach Weg 7670 m, Steigung 1202 m, Steigarbeit 39 007 mkg, entsprechend 299,1 Cal. 7670 m Weg \times 32,45 kg Gewicht = 293,4 Cal. Im Ganzen erforderte also die Arbeitsleistung 592,5 Cal.

Im Harn vom 15. März 2 Uhr bis 16. März 2 Uhr 20,39 g N.

Am 16. März legte der Hund in 2 Stunden 34 Minuten 2902 Touren auf der Tretbahn zurück.

Das Körpergewicht betrug vor der Arbeit 32,45 kg, nach derselben 32,0 kg, also im Mittel 32,225 kg. Also Weg 7670 m, Steigung 1202 m, Steigarbeit 38 737 mkg, entsprechend 297,0 Cal. Die Fortbewegung von 32,225 kg Gewicht über 7670 m Weg be-

nöthigte 291,4 Cal. Im Ganzen erforderte die Arbeitsleistung also 588,4 Cal.

Der Harn vom 16. März 2 Uhr bis 17. März 2 Uhr enthielt 19,87 g N.

Am 17. März wurden in 2 Stunden 18 Minuten 2902 Touren der Treibbahn zurückgelegt. Das Körpergewicht betrug vor der Arbeit 32,25 kg, nach derselben 31,9 kg, im Mittel also 32,075 kg. Demnach waren: der Weg 7670 m, die Steigung 1202 m, die Steigarbeit 38 557 mkg, entsprechend 295,7 Cal. 7670 m Weg \times 32,075 kg Gewicht entsprechen 290,1 Cal. Der Gesamtverbrauch für die Arbeit war also 585,8 Cal.

Um 6 Uhr erhielt der Hund nur einen Theil des Nachmittagsfutters; den Rest bekam er Abends gegen 10 Uhr mit Kieselsäure zur Abgrenzung.

Am 18. erhielt er um 12 Uhr das übliche Futter und wurde um 2 Uhr katheterisirt. Der Urin vom 17. März 2 Uhr bis 18. März 2 Uhr enthielt 19,79 g N.

Das Körpergewicht des Hundes am 18. um 2 Uhr betrug 32,3 kg.

Der Koth dieser Arbeitsperiode wog trocken 261,5 g und enthielt pro die 1,78 g N, sowie 2,37 g Fett (incl. Fettsäuren). Das Eiweiss und Fett des Futters wurde also in folgender Weise ausgenutzt:

gegeben pro Tag	25,11 g N	85,09 g Fett
davon im Koth	1,78 g N	2,37 g „
also resorbirt	<u>23,33 g N</u> 92,91 %	<u>82,72 g Fett</u> 97,21 %.

Die Bilanz des Eiweissumsatzes stellt sich für die ganze Versuchreihe folgendermassen:

verdauter N.	23,33 g
im Harn im Mittel aller Tage	<u>21,57 g</u>

Bilanz + 1,76 g N pro Tag,

entsprechend einem täglichen Ansatz von ca. 53 g Muskelfleisch.

Wie sich die Stickstoffbilanz an den einzelnen Tagen während des Versuches gestaltete, geht aus der folgenden Tabelle hervor, in der ich auch die anderen wichtigsten Daten des zweiten Ruhe- und Arbeitsversuchs noch ein Mal in übersichtlicher Form dargestellt habe:

Datum März	Brenn- werth des Ge- sammt- futters Cal.	N- Gehalt des Futters g	Brenn- werth der N-freien Bestand- theile des Vormittags futters Cal.	Energiever- brauch durch Arbeit Cal.	N-Aus- scheidung im Urin in 24 St. g	N- Bilanz g	Mitt- leres Körper- gewicht kg
1.— 5.	2088	25,11	484,4	keine Arbeit	23,68	— 0,46	32,75
5.— 7.	2088	25,11	484,4	"	22,00	+ 1,22	32,70
7.— 8.	2088	25,11	484,4	"	21,98	+ 1,24	33,00
8.— 9.	2099	25,11	484,4	597	24,72	— 1,39	32,675
9.—10.	2099	25,11	484,4	467	23,32	+ 0,01	32,25
10.—11.	2099	25,11	667,6	597	23,23	+ 0,10	32,65
11.—12.	2099	25,11	667,6	596	21,83	+ 1,50	32,60
12.—13.	2099	25,11	667,6	keine Arbeit	22,06	+ 1,27	32,90
13.—14.	2099	25,11	667,6	595	20,82	+ 2,51	32,60
14.—15.	2099	25,11	667,6	590	19,64	+ 3,69	32,35
15.—16.	2099	25,11	667,6	593	20,39	+ 2,94	32,45
16.—17.	2099	25,11	667,6	588	19,87	+ 3,46	32,225
17.—18.	2099	25,11	667,6	586	19,79	+ 3,54	32,075

Bei der Betrachtung des Stickstoffumsatzes sehen wir auch hier wieder ein geringes Ansteigen der Ausscheidungen im Harn zu Beginn der Arbeitsperiode. Der Werth für den ersten Tag ist allerdings aus den oben angegebenen Gründen zweifelhaft und vielleicht zu hoch, wenn wir annehmen, dass auch in diesem Falle der Eiweissumsatz während der Arbeit geringer war als in der der Muskelthätigkeit folgenden Ruhe; auch reichte der stickstofffreie Antheil des Vormittagsfutters nicht hin, die Arbeitsleistung zu bestreiten.

Jedoch schon am nächsten Tage setzt sich der Organismus des Hundes in Stickstoffgleichgewicht, nachdem Muskelarbeit und das eiweissfreie Material des Nachmittagsfutters besser in Einklang gebracht worden waren.

Im weiteren Verlaufe des Versuches macht sich mehr und mehr die Tendenz bemerkbar, Stickstoff zurückzubehalten, und zwar steigert sich die Eiweissbilanz fortgesetzt und mit überraschender Regelmässigkeit, so dass die Gesetzmässigkeit des Vorganges kaum zu bezweifeln ist.

Wir haben also hier die interessante Thatsache vor uns, dass, während bei quantitativ nicht geändertem Futter eine ziemlich erhebliche Muskelarbeit täglich geleistet wurde, continuirlich Stickstoff im Körper zurückbehalten wurde. Dies ist um so bemerkenswerther, als das Körpergewicht sich durchaus in umgekehrter Richtung bewegt und in ähnlicher Weise abfällt, wie die Menge des zurückbehaltenen Stickstoffes steigt.

Der Vorgang ist meiner Meinung nach folgender:

Die Arbeit leistet der Hund, nachdem erst eine gewisse Gewöhnung an die veränderten Lebensbedingungen eingetreten ist, zum grossen Theile auf Kosten der in dem Futter mitgegebenen stickstofffreien Nährkörper. Es wird aber allein durch die äussere Arbeit mehr als ein Viertel der gesammten im täglichen Futter vorhandenen Energie verbraucht. Der Organismus verwendet nun für den Bedarf während der Ruhezeit etwas von seinem reichlich vorhandenen Körperfette, spart dagegen von seinem Nahrungsweiss.

Wie kann man sich nun dieses Verhalten erklären? Wenn man auf dem von Pflüger¹⁾ vertretenen Standpunkt steht, dass bei gleicher Energiezufuhr die Höhe des Eiweissumsatzes abhängig ist von der Masse der lebenden Zellsubstanz, so würde ein Abnehmen des gesammten Eiweissmaterials des Körpers nothwendig sein, eine Herabsetzung des Eiweissverbrauches zu begründen. Nun zeigt sich allerdings ein geringer Mehrzerfall von stickstoffhaltigem Material in den ersten Tagen einer Muskelarbeit, die einer Ruheperiode folgt. Dieser Mehrzerfall ist aber viel zu klein, um eine so erhebliche Herabsetzung des Eiweissstoffwechsels zu bedingen, wie wir sie im vorliegenden Versuche gefunden haben. Vollends ein Ansatz von Eiweiss ist auf diesem Wege gar nicht zu deuten. Doch glaube ich, dass Pflüger selbst uns die Erklärung der gefundenen Thatsache an die Hand gibt. Er weist darauf hin, in wie zweckmässiger Weise die Gesetze des Stoffwechsels beim hungernden Thiere modificirt sind, indem die Bedürfnisse des Thieres immer mehr durch Fett und immer weniger durch Eiweiss befriedigt werden. Eine ähnliche Modification des Stoffwechsels kann unter gewissen Bedingungen, wie sie z. B. durch die Versuchsanordnung in unserem Falle gegeben waren, auch bei der Körperarbeit eintreten.

Eine Erklärung für diese Thatsache liegt wohl in der allgemeinen Tendenz eines arbeitenden Organes, zu wachsen, d. h. Eiweiss anzuziehen resp. zurückzubehalten, und in der hierdurch bedingten Fähigkeit des Körpers, diejenigen Substanzen vornehmlich für seine Lebensthätigkeit zu verwenden, welche unter den im Augenblicke obwaltenden äusseren Umständen für den Organismus weniger werth-

1) Pflüger, Ueber den Einfluss, welche Menge und Art der Nahrung auf Grösse des Stoffwechsels und der Leistungsfähigkeit ausüben, Pflüger's Arch. Bd. 77 S. 425. 1899.

voll sind. Auch die Stoffwechseländerungen beim Hunger beruhen zum Theil sicher auf ähnlichen Vorgängen. Wenn ein Thier hungert, so hängt die ganze Existenzmöglichkeit desselben davon ab, dass der Herzmuskel in unaufhörl. Thätigkeit bleibt, und dementsprechend finden wir, dass die Trockensubstanz des Herzens bei einem Hungersgestorbenen Thiere beträchtlich weniger abgenommen hat als die der übrigen Muskulatur¹⁾. Umgekehrt wachsen beim hungernden Lachs in der Laichzeit die Geschlechtsorgane auf Kosten der Rumpfmuskeln.

Es haben also diese thätigen Organe sich auf Kosten anderer an Zellsubstanz bereichert resp. einen Theil des Eiweissbestandes des Körpers vor der Zersetzung bewahrt, in dem einen Falle, um das Leben des einzelnen Organismus möglichst zu schützen, in dem anderen um das Fortbestehen der Art zu sichern. Die Anziehungskraft thätiger bezw. wachsender Organsubstanz für Eiweiss schafft also jedenfalls eine Regulationsmöglichkeit, welche von äusserster Zweckmässigkeit und hervorragender Wichtigkeit für Organismus und Gattung sein muss.

Auch der Eiweissansatz bei Muskelthätigkeit gehört offenbar zu diesen Anpassungsvorgängen, welche im Stande sind, unter veränderten Lebensbedingungen das Fortbestehen des Individuums zu ermöglichen, indem sie ihm die zweckentsprechendste Ausnutzung seiner Kraftvorräthe gestattet.

Von diesem Standpunkte aus erscheint mir der Vorgang theoretisch mit unseren allgemeinen naturwissenschaftlichen Anschauungen wohl im Einklange zu sein. Andererseits harmonirt das Resultat dieser Untersuchung auf das Vorzüglichste mit praktischen Erfahrungen. Wir wissen, dass durch gesteigerte Muskelarbeit allmählig eine erhebliche Kräftigung der Körpermuskulatur sich bemerkbar macht. Diese Zunahme der Körpermuskeln, die Activitätshypertrophie, geht sehr häufig einher mit einem Verluste an Körpergewicht, welcher auf Verbrauch von übermässigem Körperfett zurückgeführt werden muss, wie dies auch durch die deutliche Abmagerung solcher Personen häufig sichtbar gemacht wird. Man denke nur an den Körperbau trainirter Jockeys oder Ruderer.

Erstaunlich bleibt nur das Eine, nämlich: dass in der grossen Literatur dieses Gebietes der Nachweis für den Eiweissansatz bei

1) Sedlmayr, Zeitschr. f. Biologie Bd. 37. S. 25 u. A.
E. Pflüger, Archiv für Physiologie. Bd. 88.

Muskelarbeit bisher so überaus selten erbracht werden konnte. Dies ist um so merkwürdiger, als der Nachweis eines Vorganges, bei welchem der Körper Fett verliert und Eiweiss ansetzt oder wenigstens nicht abgibt, für die Therapie der Fettsucht eventuell von Bedeutung wäre und sich nicht wenige Autoren darum bemüht haben, den menschlichen Körper unter möglichster Schonung des Eiweissbestandes von seiner überflüssigen Fettmasse zu befreien.

Die Gründe für die negativen Resultate dieser Autoren sind recht mannigfaltig. Bei den Einen erstrecken sich die Versuche über eine zu kurze Zeit, als dass eine Gewöhnung an die Muskelthätigkeit bereits hätte eintreten können. Bei Anderen wiederum ist die Art der Ernährung eine solche, dass ein Eiweissverlust nicht zu vermeiden war, da sie bei starker Herabsetzung der gesammten Nahrungszufuhr keine Fürsorge trafen, das Eiweiss vor dem Verbrauche durch die äussere Arbeit zu schützen; oder aber die Muskelthätigkeit spielt überhaupt nur eine ganz nebensächliche Rolle, und die betreffenden Autoren suchen ihr Ziel im Wesentlichen durch Herabsetzung der einen oder anderen Nährstoffgruppe zu erreichen, wobei die Schwierigkeiten, einen Eiweissverlust zu vermeiden, praktisch kaum zu überwinden sind. Doch ist es Dapper¹⁾ in der That gelungen, einen nicht unerheblichen Stickstoffansatz herbeizuführen, indem er bei herabgesetzter Fett- und Kohlehydratzufuhr reichliche Mengen von Eiweiss gab.

Auch sonst finden sich aus neuester Zeit einige Angaben, welche meine Resultate nicht als absolut allein stehende erscheinen lassen. So hat Bornstein in einer ebenfalls in diesem Hefte gegebenen Arbeit nachzuweisen vermocht, dass der durch Zulage einer grösseren Quantität Eiweiss zu ausreichender Kost hervorgerufene Eiweissansatz durch Muskelarbeit noch erhöht werden kann.

Schliesslich ist vor kurzer Zeit, nachdem meine Versuche bereits abgeschlossen waren, ein Bericht über Stoffwechselversuche erschienen, welche Atwater und Benedict²⁾ in allergrösstem Maassstabe am Menschen ausgeführt haben. Unter diesen befindet sich auch ein viertägiger Arbeitsversuch, welcher sich an eine vier-

1) Dapper, Stoffwechsel bei Entfettungscuren. Zeitschr. f. klin. Med. Bd. 23 S. 113. 1893.

2) Atwater und Benedict, Experiments on the metabolism of matter and energy in the human body. Washington 1899.

tägige Periode anschliesst, in welcher bereits dieselbe Arbeit bei genau derselben Ernährung ohne Untersuchung des Stoffwechsels ausgeführt worden war. Während der Arbeitsperiode wurde dieselbe Menge Stickstoff, aber erheblich grössere Mengen Kohlehydrate eingeführt als in einer vorhergehenden Ruhezeit. Während nun in der Ruhe ein geringer Stickstoff- und Fettverlust ($-0,7$ g N $-7,8$ g Fett im Durchschnitt täglich) statthatte, war in der Arbeitsperiode ein geringer täglicher Eiweissansatz, dagegen ein erheblicher Fettverlust zu verzeichnen ($+1,1$ g N $-48,4$ g Fett im Durchschnitt täglich).

Zum Schlusse möchte ich noch bemerken, dass ich mit der Fortsetzung dieser Versuche beschäftigt und vor Allem bemüht bin, durch gleichzeitige Beobachtung des respiratorischen Stoffwechsels auch den Umsatz der stickstofffreien Stoffe eingehender zu untersuchen. Ich hoffe, dass es mir gelingen wird, die Resultate durch weitere Erfahrungen zu stützen und so endgültig den Nachweis zu führen, dass körperliche Thätigkeit den Organismus befähigt, seinen Bestand an dem wichtigsten Componenten des lebenden Gewebes zu heben.
