

wiederzugeben, obgleich noch hier die wesentliche Verschiedenheit besteht, dass die Wassersäule der Axe nicht in ihr selbst die grösste Rotationsgeschwindigkeit besitzt, sondern erst in der Entfernung der Flügel, von wo sie mittelbar der Säule mitgetheilt wird. Erst bei Verlangsamung der Flügelbewegung gestaltet sich die mittlere Wassersäule zu einem wahren Wirbel, der aber zu kurze Zeit dauert, um die Erscheinung in ihrer Vollkommenheit längere Zeit zu unterhalten.

Ich glaube aus diesen wenigen Versuchen schliessen zu dürfen, dass die Rotation einer siedenden Flüssigkeit zwei verschiedene Erscheinungen veranlassen kann, die meist sich mischen, bisweilen indess getrennt auftreten. Die erste, häufigere, ist eine einfach durch die Fliehkraft bewirkte Concentration der entstandenen Dampfblasen nach der Axe der Rotation, die andere, zweite, dagegen eine besondere Dampfentwicklung, herrührend von einer localen Druckverminderung und Siedepunktserniedrigung in der Axe des Wirbels.

---

## Ueber die Entstehung der Muskelkraft

von

A. Fick und J. Wislicenus.

Dass die Arbeit des Muskels nur durch chemische Prozesse ermöglicht wird, ist wohl heutzutage ein allgemein anerkannter Satz. Ebenso wenig dürfte man auf Widerspruch stossen, wenn man noch näher behauptet, dass es Oxydationsprocesse sind, durch die

der Muskel zur Arbeitsleistung befähigt wird. Aber darüber sind nicht Alle einig welche Stoffe es sind, deren Verbrennung den Vorrath von lebendigen Kräften liefert, der zum Theil in mechanische Arbeit verwandelt werden kann. Die meisten Physiologen und Chemiker scheinen der Meinung zu sein, dass ausschliesslich die Verbrennung von eiweissartigen Körpern Muskelkraft erzeugen könne. Noch neuerdings hat Playfair \*) eine besondere Abhandlung veröffentlicht, um diese Annahme zu beweisen. Auch J. Ranke\*\*) scheint seine schönen Untersuchungen über den Chemismus der Muskelaktion wesentlich im Sinne dieser Hypothese zu deuten. In vielen Lehrbüchern der Physiologie findet man die fragliche Annahme als etwas Selbstverständliches zu Grunde gelegt. Dass diese Annahme so viele Anhänger zählt, dürfte vor Allem darin seinen Grund haben, dass die meisten mehr oder weniger bewusst die Ueberlegung machen: Die Leistung des Muskels ist an die Zersetzung seiner Substanz geknüpft, diese ist aber zum überwiegend grössten Theile eiweissartiger Natur, also ist die Zersetzung resp. Verbrennung eiweissartiger Körper die wesentliche Bedingung der mechanischen Arbeit des Muskels. Das unberechtigte dieser Schlussweise wird sofort einleuchtend, wenn wir sie z. B. auf eine Lokomotive anwenden: „Diese Maschine besteht wesentlich aus Eisen, Stahl, Messing etc., sie enthält nur sehr wenig Kohle, also muss ihre Leitung geknüpft sein an die Verbrennung von Eisen

---

\*) On the food of man, in relation to his useful work. Vorlesung in der royal Society in Edinburg. 3. April 1865.

\*\*) Tetanus, eine physiologische Studie. Leipzig 1865.

und Stahl nicht an die Verbrennung von Kohle.“ Selbstverständlich ist es eben keineswegs, dass gerade nur die Verbrennung von eiweissartigen Verbindungen im Muskel die Kraft erzeugt. Es ist recht wohl möglich, dass die stickstofffreien Verbindungen im Muskel die Rolle des Brennmaterials spielen, obgleich von solchen Verbindungen in jedem Augenblicke nur wenig im Muskel zu finden ist. Es ist eben denkbar, dass diese Stoffe in raschem Strome gleichsam den Muskel passiren. Jedes Theilchen dieser Stoffe, das in den Muskel hineinkommt, wird rasch verbrannt und wieder dâraus entfernt. Prüfen wir die Sache näher, so hat schon von den allgemeinsten Gesichtspunkten aus gerade die Annahme viel Ansprechendes, dass stickstofffreie Verbindungen das Brennmaterial für den Muskel bilden. Als Heizmaterial hat schon Liebig's genialer Blick vor längeren Jahren die stickstofffreien organischen Verbindungen der Nahrungsmittel, namentlich die Kohlehydrate und Fette bezeichnet. Freilich hat damals Liebig schwerlich an krafterzeugendes Heizmaterial gedacht, wie denn überall damals unsere Frage den Physiologen und Chemikern noch fern lag. Für den heutigen Standpunkt der Wissenschaft aber liegt es nahe, wenn einmal eine gewisse Gruppe von Nahrungsstoffen als Heizmaterial bezeichnet wird, von der Verbrennung dieser Stoffe nicht bloss die Wärme, sondern auch die mechanischen Leistungen des Organismus herzuleiten, da eben für den heutigen Standpunkt der Wissenschaft Wärme und mechanische Arbeit nur zweierlei Erscheinungsformen desselben Wesens sind. In der That, es wäre höchst auffallend, wenn im thierischen Haushalte eine ganze besondere Gruppe von Nahrungsstoffen bloss

dazu verwendet werden sollte, freie Wärme zu erzeugen, um die Körper-Temperatur über der Temperatur der Umgebung zu erhalten. Allerdings ist die Temperatur für die Säugethiere und Vögel eine unerlässliche Existenzbedingung, allein nach den Principien der mechanischen Wärmetheorie liegt es nahe, daran zu denken, dass die Wärme ein unvermeidliches Nebenprodukt bei der Erzeugung von Muskelarbeit ist, und dass also zur Heizung des Organismus nicht noch besondere Processe stattfinden, dass dieselbe vielmehr mit der Erzeugung von mechanischer Kraft Hand in Hand geht. Wären die stickstofffreien Verbindungen ausschliesslich Heizmaterial im engern Sinne, dagegen die eiweissartigen Körper das kraftgebende Brennmaterial, dann hätte die Natur im Thierkörper so unökonomisch verfahren, wie ein Fabrikant, welcher neben eine Dampfmaschine auch noch einen Ofen stellte, obwohl von der Dampfmaschine selbst schon eine bedeutende Wärmemenge geliefert wird. Wenn nun auch gegenwärtig im Lichte der Darwins'chen Anschauungsweise teleologische Betrachtungen in gewissem Sinne wieder zu Ehren kommen könnten, so sind wir doch keineswegs der Meinung, dass man mit einer Betrachtung, wie die vorstehende ist, einen physiologisch-chemischen Satz beweisen könnte. Immerhin aber können solche Betrachtungen das Vertrauen in entgegenstehende Behauptungen, die ebensowenig bewiesen sind, erschüttern.

Die Lehre, dass ausschliesslich die Verbrennung eiweissartiger Verbindungen die Muskelkraft liefert, wird aber noch viel mehr erschüttert durch die schönen Untersuchungen von Edward Smith, welcher aufs Ueberzeugendste dargethan hat, dass die Kohlen-

säureausscheidung des menschlichen Körpers auf das 10fache gesteigert werden kann durch Muskelanstrengung, während dabei die Ausscheidung von Harnstoff ziemlich gleiches Schrittes weiter geht. Die letztere Thatsache ist auch von anderen Forschern, namentlich von Bischof und Voit öfters (zum Theil schon vor E. Smith) beobachtet worden. Die von Smith beigebrachten Zahlen sind aber noch immer kein ganz direkter Gegenbeweis gegen die fragliche Lehre. Wer sie eben mit aller Gewalt fest halten will, hat Smith gegenüber immer noch die Ausflucht, zu sagen: Die Muskelaktion regt vielleicht nothwendig sehr die Verbrennungsprozesse stickstofffreier Verbindungen an, aber diese Verbrennungen haben dennoch nichts mit der Erzeugung der Muskelkraft zu schaffen. Andererseits könnte Smith allenfalls der Einwand gemacht werden, dass vielleicht bei heftiger Muskelanstrengung dennoch der Umsatz stickstoffhaltiger Verbindungen erhöht ist, dass aber die Harnstoffausfuhr nicht erhöht erscheint, weil die Trümmer dieser Verbindungen in andern Formen den Körper verlassen.

Es gibt nun einen Weg, auf welchem die Frage: „Kann Muskelkraft nur durch Verbrennung eiweissartiger Verbindungen erzeugt werden?“ möglicherweise durch einen einzigen Versuch mit voller Sicherheit verneint wird. Es ist folgender höchst einfache Gedankengang: Angenommen, es hätte eine Person eine gewisse messbare äussere Arbeit geleistet, z. B. m Meterkilogramme, und es hätte diese Person während dessen in ihren Muskeln p Gramme Eiweiss verbrannt; angenommen endlich, wir kennten die Wärmemenge, welche frei wird, wenn ein Gramm Eiweiss bis zu den Zersetzungsprodukten verbrennt,

in welchen die Bestandtheile des Eiweisses den menschlichen Körper verlassen, — ist dann das thermische Aequivalent der äusseren Arbeit  $m$  grösser als die bei Verbrennung von  $p$  Gramm Eiweiss möglicherweise zu erzeugende Wärmemenge, so ist die obige Frage mit apodiktischer Gewissheit zu verneinen. Ist hingegen das thermische Aequivalent der  $m$  Meterkilogramme kleiner als die bei Verbrennung von  $p$  Gramm Eiweiss entstehende Wärme, dann ist damit die Frage noch lange nicht bejaht. Der Versuch hat nur im ersteren Falle ein entscheidendes Resultat.

Wir haben einen solchen Versuch gemeinschaftlich angestellt. Allerdings sind die Grössen, deren Bestimmung erforderlich ist, ausser der mechanischen Arbeit keiner sicheren numerischen Auswerthung für jetzt zugänglich, aber man kann ihre Werthe doch zwischen gewisse Grenzen einschliessen, so dass ein bindender Schluss schon gezogen werden kann. Als messbare äussere Arbeit wählten wir die Besteigung eines Berggipfels von bekannter Höhe. Wir zogen den Berg einem Tretrade vor, nicht sowohl weil seine Ersteigung eine unterhaltendere Arbeit ist, als vielmehr einfach aus dem Grunde, weil uns kein geeignetes Tretrad zu Gebote stand. Von den zahlreichen Gipfeln der Schweizer Alpen empfahl sich am meisten zu unserm Versuche das Faulhorn am Briener See im Berner Oberlande. Vor Allem nämlich musste der Berg, welcher zu unserem Versuch dienen sollte, möglichst hoch sein und dennoch gestatten, dass man unter nicht allzu abnormen Bedingungen auf seinem Gipfel eine Nacht verweilen konnte; denn wären wir gezwungen gewesen, sofort wieder herabzusteigen, so wäre auf die messbare äussere Arbeit sofort eine

gewaltige unmessbare Muskelarbeit gefolgt, bei der jedenfalls viel Stoffumsatz stattfand, dessen thermisches Aequivalent aber ganz als Wärme frei wird. Das Faulhorn genügt nun diesen Anforderungen durchaus, indem sich auf seinem Gipfel ein Gasthof befindet und dennoch die Höhe desselben über dem Spiegel des Briener Sees sehr bedeutend, nämlich nahezu 2000<sup>m</sup> ist. Es empfiehlt sich auch noch dadurch, dass man es auf einem sehr steilen Wege besteigen kann, was natürlich für unseren Versuch günstig ist, sofern dadurch die verlorene nicht messbare (wieder in Wärme zurückverwandelte) Muskelarbeit möglichst beschränkt wird. Wir wählten den steilsten unter den gangbaren Wegen. Er geht von einem kleinen Dorfe Iseltwald am Briener See aus, und man erreicht auf ihm den Gipfel bei mässigem Tempo in weniger als 6 Stunden.

Um die Luxusconsumtion von eiweissartigen Stoffen bei unserem Versuche möglichst zu beschränken, nahmen wir von Mittags um 12 Uhr am 29. August keine eiweisshaltige Nahrung mehr zu uns bis um 7 Uhr Abends am 30. August. Während dieser 31 Stunden genossen wir an festen Nahrungsmitteln nur Stärkemehl, Fett und Zucker. Die beiden ersten Stoffe nach dem Vorgange F. Ranke's in Form kleiner Küchelchen. Es wurde nämlich Stärkemehl in Wasser gerührt und der so gebildete dünne Brei in reichlichem Fett gebacken. Zucker wurde in Thee aufgelöst getrunken. Dazu kam noch der in Bier und Wein enthaltene Zucker, welche Getränke in den auf Fussreisen üblichen Mengen genommen wurden.

Der eigentliche Versuch begann am 29. VIII. Abends 6<sup>h</sup> 15' mit möglichst vollständiger Entleerung

des Harnes. Der von diesem Zeitpunkt an bis zum 30. VIII. Morgens 5<sup>h</sup> 10' abgesonderte Harn wurde in Gefäße aufgefangen und volumetrisch gemessen. Wir nennen ihn Nachtharn. Eine Probe davon wurde zur Untersuchung mitgenommen. Wiederum für sich gemessen wurde der in der Zeit von Morgens 5<sup>h</sup> 10' bis Nachmittags 1<sup>h</sup> 20' am 30. VIII. ausgeschiedene Harn. In diese Zeit fällt die Besteigung des Berges, er mag daher als Arbeitsharn bezeichnet werden. Dann wurde auch die von 1<sup>h</sup> 20' bis 7<sup>h</sup> Abends ausgeschiedene Harnmenge bestimmt, welche wir kurz Nacharbeitsharn nennen wollen. In dieser Zeit hielten wir uns meist ohne namhafte Muskelarbeit im Zimmer auf. Nach 7<sup>h</sup> Abends wurde eine reichliche Mahlzeit, meist aus Fleischspeisen bestehend, genommen und zuletzt noch der während der im Gasthofs auf dem Faulhorn zugebrachten Nacht, d. h. vom 30. VIII. Abends 7<sup>h</sup> bis 31. VIII. Morgens 5<sup>h</sup> 30', ausgeschiedene Harn gemessen und wieder als Nachtharn bezeichnet.

Im Gasthause auf der Faulhornspitze angelangt, wurden sofort die Bestimmungen des Harnstoffgehaltes in den mitgeführten Proben des „Nachtharnes“ vom 29. auf den 30. und des von früh 5 Uhr 30 Minuten bis kurz nach vollendeter Steigung 1 Uhr 20 Minuten entleerten „Arbeitsharnes“ vorgenommen. Die befolgte Methode war genau die von Neubauer für absolute Harnstoffbestimmungen angegebene.\*) Aus 40<sup>ccm</sup> Harn wurde zunächst Phosphorsäure und Schwefelsäure durch 20<sup>ccm</sup> Barytlösung, welches Quantum sich stets

\*) Neubauer und Vogel, Analyse des Harnes, 4. Aufl., pag. 143—146.



als genügend erwies, ausgefällt und 15<sup>ccm</sup> des Filtrates (10<sup>ccm</sup> Harn enthaltend) zur Chlorbestimmung nach Liebig durch eine Quecksilbernitratlösung, von der 1<sup>ccm</sup> einer Kochsalzmenge von 0,01 Grm. entsprach, verwendet. Je 30<sup>ccm</sup> des Filtrates wurden hierauf zur Ausfällung des Chlors mit der gerade nöthigen Menge einer der Quecksilberlösung äquivalenten Silberlösung versetzt und von der filtrirten Flüssigkeit zuvörderst ein Viertel des Gesamtvolums (= 5<sup>ccm</sup> Harn) zu einer ungefähren, die 10<sup>ccm</sup> Harn entsprechende Menge dann zu einer genauen Harnstofftitrirung mittelst der passenden Quecksilberlösung (1<sup>ccm</sup> = 0,01 Gr. Harnstoff) unter Beobachtung aller Cautelen benutzt.

Am Morgen des 30. August führten wir dieselben Bestimmungen auch mit dem am vorhergehenden Tage zwischen 1 Uhr 20 Minuten Nachmittags und Abends 7 Uhr gesammelten „Nacharbeitsharn“ aus. Von jeder Harnsorte wurde überdies eine Probe in einem völlig damit gefüllten, gut verkorkten Arzneigläschen eingeseigelt, um nach der Rückkehr nach Zürich die noch wichtigeren absoluten Stickstoffermittlungen damit vorzunehmen. Dasselbe geschah auch mit dem vom 30. August Abends 7 Uhr bis zum 31. Morgens 6 Uhr gesammelten und gemessenen zweiten Nachtharn, wogegen der Harnstoffgehalt in diesem wegen Mangels an Zeit unermittelt blieb.

Die ausgeführten Chlor- und Harnstofftitrungen ergaben folgende Resultate.

I. Nachtharn vom 29. auf den 30. August. Bei Beiden hellgelb gefärbt, vollkommen klar, deutlich sauer reagierend.

a) Fick. Totalharnmenge 790<sup>ccm</sup>. In 10<sup>ccm</sup> wurden 0,0619 Gr. Kochsalz mit Berück-

sichtigung der nöthigen Correctionen\*)  
0,1580 Gr. Harnstoff gefunden. Die Gesamtmenge des letzteren betrug demnach 12,4820 Gr.

- b) Wislicenus. Harnmenge 916<sup>ccm</sup>. In 10<sup>ccm</sup> 0,03 Grm. Kochsalz und 0,1284 Grm. Harnstoff; im Ganzen von letzterem daher 11,7614 Grm.

II. Arbeitsharn vom 30. August früh 5 Uhr 30 Minuten bis 1 Uhr 20 Minuten.

- a) Fick. Harnmenge 396<sup>ccm</sup>. Weingelb, klar, sauer. In 10<sup>ccm</sup> 0,0395 Grm. Kochsalz und 0,1776 Grm. Harnstoff. Gesammtharnstoffmenge = 7,0330 Grm.

- b) Wislicenus. Harnmenge 261<sup>ccm</sup>. Weingelb, nach dem Erkalten trüb, sauer. In 10<sup>ccm</sup> 0,0460 Grm. Kochsalz und 0,2566 Gr. Harnstoff. Totalmenge des letzteren = 6,6973 Grm.

III. Nacharbeitsharn vom 30. August zwischen 1 Uhr 20 Minuten Nachmittags und 7 Uhr Abends. Beide Sorten dunkel weingelb, beim Erkalten sedimentirend, sauer.

- a) Fick. Harnmenge 198<sup>ccm</sup>. In 10<sup>ccm</sup> 0,007 Grm. Kochsalz und 0,2612 Grm. Harnstoff; von diesem im Ganzen also 5,1718 Grm.

- b) Wislicenus. Harnmenge 200<sup>ccm</sup>. In 10<sup>ccm</sup> 0,018 Grm. Kochsalz und 0,2551 Grm. Harnstoff. Totalmenge desselben = 5,1020 Grm.

Es liegt auf der Hand, dass die gefundenen Harnstoffmengen nicht das richtige Maass für die Quantität

---

\*) Neubauer und Vogel, pag. 144.

oxydirten Albuminats sein können, namentlich da ein immerhin in Betracht kommendes Stickstoffquantum in den Sedimenten, welche fast ausschliesslich aus saurem Natriumurat bestanden, vorhanden sein müsste. Es waren daher Ermittlungen des Gesamtstickstoffgehaltes durchaus geboten und die Harnstoffbestimmungen wurden überhaupt nur unternommen, um im Falle Verunglückens einer der Harnproben auf dem Wege nach Zürich doch wenigstens einen ungefähren Anhalt für die Berechnung zu retten.

Die absoluten Stickstoffbestimmungen wurden vom 4. bis 6. September im Universitätslaboratorium in Zürich mit dem durchaus frisch gebliebenen Harne ausgeführt. Je 5<sup>ccm</sup> desselben wurden in geeignetem Apparate mit einer mehr als hinreichenden Menge Natronkalk in vorgelegte reine Salzsäure abdestillirt, der Rückstand weiss gebrannt und Luft durch den Apparat und die vorgelegte Säure gezogen. Die Bestimmung des von der Säure absorbirten Ammons geschah auf die gewöhnliche Weise mit Platinchlorid, und zwar wurde das beim Glühen des Platinsalmiates zurückbleibende Platin gewogen und daraus der Stickstoffgehalt berechnet.

I. Nachtharn vom 29. auf den 30. August.

- a) Fick. Von 5<sup>ccm</sup> Harn = 0,3095 Grm. Platin, = 0,043768 Grm. Stickstoff. Totalmenge des letzteren 6,915344 Grm.
- b) Wislicenus. Aus 5<sup>ccm</sup> Harn wurden 0,2580 Grm. Platin erhalten = 0,036485 Grm. Stickstoff. Totalmenge = 6,684052 Grm.

II. Arbeitsharn.

- a) Fick. 5<sup>ccm</sup> Harn ergaben 0,2958 Grm. Platin = 0,0418303 Grm. Stickstoff. Totalmenge = 3,312960 Grm.

- b) Wislicenus. 5<sup>cem</sup> Harn lieferten 0,4245 Grm. Platin = 0,060030 Grm. Stickstoff. Totalmenge = 3,133566 Grm.

III. Nacharbeitsharn.

- a) Fick. Aus 5<sup>cem</sup> Harn wurden 0,4338 Grm. Platin = 0,06134545 Grm. Stickstoff erhalten. Totalmenge = 2,4293 Grm.  
 b) Wislicenus. 5<sup>cem</sup> Harn gaben 0,4272 Grm. Platin = 0,0604121 Grm. Totalmenge = 2,416484 Grm.

IV. Nachtharn vom 30. auf den 31. August.

- a) Fick. 5<sup>cem</sup> Harn ergaben 0,6601 Grm. Platin = 0,0933475 Grm. Stickstoff, dessen Totalmenge in den 258<sup>cem</sup> also 4,816731 Grm.  
 b) Wislicenus. 5<sup>cem</sup> Harn lieferten 0,7001 Grm. Platin = 0,099004 Grm. Stickstoff. Totalmenge in den 270<sup>cem</sup> Harn = 5,346216 Grm.

Es ergibt sich darnach folgende tabellarische Zusammenstellung, für welche auch der Stickstoffgehalt der Totalharnstoffmengen berechnet ist:

Fick.			
	Harnstoff.	Stickstoff in Harnstoff.	Stickstoff. Total.
Nachtharn, 29. auf			
30. August.	12,4820	5,8249	6,9153
Arbeitsharn	7,0330	3,2681	3,3130
Nacharbeitsharn	5,1718	2,4151	2,4293
Nachtharn, 30. auf			
31. August.	—	—	4,8167
Wislicenus.			
	Harnstoff.	Stickstoff in Harnstoff.	Stickstoff. Total.
Nachtharn, 29. auf			
30. August.	11,7614	5,4887	6,6841

} 5,7423

	Harnstoff.	Stickstoff in Harnstoff.	Stickstoff. Total.	
Arbeitsharn	6,6973	3,1254	3,1336	} 5,5501
Nacharbeitsharn	5,1020	2,3809	2,4165	
Nachtharn, 30. auf 31. August.	—	—	5,3462	

Es liegt auf der Hand, dass sich die Berechnung der in Frage kommenden Proteinsubstanzmengen auf die für den Totalstickstoffgehalt ermittelten Zahlen zu stützen hat, und dass dabei, um dem Resultate die möglichste Ueberzeugungskraft zu geben, der ungünstigste Fall, d. h. derjenige, welcher zu den grössten Quantitäten von Proteinkörpern führt, zu wählen sein wird. Alle wirklich gewebsbildenden Proteinkörper, mit Ausnahme der Chondrin liefernden permanenten Knorpel, enthalten mehr als 15 Proc. Stickstoff. Wir werden berechtigt sein, dieses Verhältniss der Berechnung zu Grunde zu legen und erhalten danach an verbrauchten Proteinstoffen bei

	Fick	Wislicenus
für Nachtharn, 29.		
auf 30. August	46,1020 Grm.	44,5607 Grm.
für Arbeitsharn	22,0867	38,2820
für Nacharbeitsharn	16,1953	20,8907
für Nachtharn, 30.		
auf 31. August	32,1113 Grm.	35,6413 Grm.

Verwerthen wir die gewonnenen Zahlen zuvörderst, um einen Einblick in den Gang der Stickstoffausscheidung durch den Harn während der Versuchszeit zu gewinnen! Wir dividiren zu dem Ende die in den beiden ersten Tabellen verzeichneten Stickstoffmengen durch die Anzahl der Stunden, während welcher sie ausgeschieden wurden, und erhalten dann, indem wir auf 2 geltende Stellen abrunden:

Durchschnittlich in einer Stunde ausge-  
schiedene Stickstoffmenge

	von F.	von W.
Während der Nacht, 29.—30.	0,63 Grm.	0,61 Grm.
Während der Arbeitszeit	0,41 Grm.	0,39 Grm.
In der Ruhe nach der Arbeit	0,40 Grm.	0,40 Grm.
Während der Nacht, 30.—31.	0,45 Grm.	0,51 Grm.

Ein Blick auf diese Tabelle zeigt uns darin einen neuen Beleg für den schon öfter experimentell bewiesenen Satz, dass Muskelarbeit die Stickstoffausfuhr durch den Harn nicht merklich steigert. Sie sank in unserem Versuche vom 29. VIII. bis zum Abend des 30. ziemlich stetig herunter, \*) offenbar in Folge der Enthaltung von stickstoffhaltiger Nahrung. In der Nacht vom 30.—31. August hat die Stickstoffausfuhr trotz der eiweissreichen Mahlzeit am Abend des 30. noch nicht die Höhe der vorigen Nacht erreicht. Dies rührt vielleicht daher, dass während der Enthaltung die nie ganz eingestellte Stickstoffausfuhr auf Kosten von Geweben unterhalten wurde und nun diese Gewebe zunächst wieder ergänzt werden mussten. Wir wollen derartigen Betrachtungen nicht weiter nachgehen und unsere Zahlen zu andern Folgerungen verwenden.

Vor Allem müssen wir uns freilich auf den Boden einer Hypothese stellen, der aber nach zahlreichen neueren Forschungen hinlänglich fest sein dürfte. Wir nehmen nämlich an, dass der Stickstoffgehalt des ver-

---

\*) Die kleine scheinbare Abweichung der unter W. verzeichneten Zahlen dürfte kaum in Betracht kommen, da sie leicht herühren kann von Zurückhaltung einiges Harnes in der Blase oder von andern derartigen Störungen.

brannten Eiweisses lediglich auf dem Wege des Harnes den Körper verlässt. In der That ist erst jüngst wieder einerseits von Ranke,\*) anderseits von Thiry dargethan, dass weder durch den Schweiss noch durch den Athem merkliche Stickstoffmengen ausgeschieden werden. Glücklicherweise sind wir übrigens noch obendrein in dem Falle, bemerken zu können, dass wir beide während der Bergbesteigung keine irgend erhebliche Schweissmenge ausgeschieden haben. Wir befanden uns nämlich während der ganzen Besteigung in einem kalten Nebel, der uns vor grosser Erhitzung schützte. Sollten merkliche Mengen von Stickstoff durch den Koth ausgeschieden werden, so wären wir in der vorliegenden Untersuchung doch berechtigt, davon zu abstrahiren, denn die im Kothe möglicherweise enthaltenen stickstoffhaltigen Umsetzungsprodukte der Eiweisskörper sind jedesfalls nicht hoch oxydirte Verbindungen, bei deren Entstehung keine irgend in Betracht kommende Wärmemenge frei wird.

Wir haben jetzt auf Grund der vorstehenden Annahmen zu erwägen, wie viel Eiweiss während der Bergbesteigung höchstens in unserm Körper verbrannt sein kann. Wir glauben eigentlich berechtigt zu sein, die während der Arbeitszeit verbrannte Eiweissmenge nicht höher anzuschlagen, als oben aus der während der Arbeitszeit im Harn ausgeschiedenen Stickstoffmenge berechnet wurde (22,09 für F. und 20,89 für W.). In der That sahen wir ja die Stickstoffausscheidung ihren wie es scheint lediglich durch die Nahrungszufuhr bedingten Gang so unabhängig von der Muskelarbeit gehen, dass wir füglich dasselbe

---

\*) A. a. O.

von der Zersetzung der Proteinstoffe annehmen können. Wollte dann also Jemand behaupten, dass am Ende der Arbeitszeit noch eine namhafte Menge von stickstoffhaltigen Zersetzungsprodukten im Körper zurück geblieben wäre, so würden wir ihm entgegenhalten können, dass mindestens dieselbe Menge solcher Produkte beim Beginne der Arbeitszeit im Körper hätte sein müssen.

Wir wollen auf diesem Rechte wiederum nicht bestehen, vielmehr den Gegnern des Satzes, auf dessen Beweis es abgesehen ist, das Zugeständniss machen, es werde seltsamerweise gerade von den bei Muskularbeit gebildeten stickstoffhaltigen Zersetzungsprodukten ausnahmsweise viel im Körper zurückgehalten. Wir wollen auch nicht weiter der Betrachtung nachgehen, dass diese seltsame Erscheinung, wofern sie statt hätte, nur daher rühren könnte, dass jene bei der Muskularbeit entstehenden Zersetzungsprodukte nicht so hohe Oxydationsstufen wären als gewöhnlich, und dass daher bei ihrer Entstehung nicht viel Wärme frei würde. Wir wollen also, wie gesagt, auch diese Betrachtungen bei Seite lassen, aber das werden wir ohne Gefahr, irgend welcher Einsprache zu begegnen, annehmen dürfen, dass in sechs auf die Arbeitszeit folgenden Stunden eine Menge stickstoffhaltiger Zersetzungsprodukte ausgespült wird, welche mindestens so gross ist als der Ueberschuss der am Ende der Arbeitszeit im Körper enthaltenen Menge über diejenige, die am Anfange der Arbeitszeit darin enthalten war. Es fehlte übrigens nicht gänzlich an thatsächlichen Anhaltspunkten für deren Annahme: Unter den Zersetzungsprodukten von Proteinstoffen kann man überall wohl nur an Kreatin



denken, wenn es sich um ein Zurückbleiben merklicher Mengen in den Muskeln handelt. Nun liegen allerdings Beobachtungen vor, dass ein Muskel, der stark gearbeitet hat, mehr Kreatin enthält, als ein Muskel, der in Ruhe war. So ist namentlich der Kreatingehalt des Herzens vom Ochsen einmal = 0,0014 (Gregory) und der Kreatingehalt anderes Ochsenfleisches = 0,0006 (Städeler) gefunden worden. Nehmen wir nun an, in unserem Falle hätten die Streckmuskeln des Schenkels (diese leisten wesentlich die Arbeit einer Bergbesteigung) vor der Arbeit den Kreatingehalt des gewöhnlichen Ochsenfleisches 0,0006, nachher aber den Kreatingehalt des Ochsenherzens besessen, dann wäre die Differenz jener Ueberschuss von Zersetzungsprodukten, welcher zu den während der Arbeit im Harn ausgeschiedenen zu addiren wäre. Die Muskeln, welche das Bein beim Gehen strecken, sind nun bei einem erwachsenen kräftigen Manne angeschlagen zu 2913 Grm. (siehe Weber, Mechanik der Gehwerkzeuge, S. 218), an beiden Beinen zusammen also zu 5,8 Kilogramm. Den nach der Arbeit ausnahmsweise zurückgehaltenen Kreatinüberschuss könnten wir demgemäss anschlagen zu

$$5,8 \text{ Kilogr. } (0,0014 - 0,0006) = 4,64 \text{ Grm.}$$

Das entspricht einer Eiweissmenge von 8,4 Grm. Aus den während der 6 auf die Arbeitszeit folgenden Stunden ausgeschiedenen Zersetzungsprodukten hatten wir über 16 Grm. Eiweiss berechnet, also dürfen wir wohl die Annahme machen, dass während 6 Stunden mindestens so viel Zersetzungsprodukte von Proteinstoffen im Harn erscheinen, als jener Ueberschuss, der nach der Arbeit allenfalls zurückgeblieben sein könnte, über den normalen Gehalt der Gewebe an

Zersetzungsprodukten hinaus beträgt. Diess zugegeben, so haben wir die Grundlage der weiteren Rechnungen in der Summe der Stickstoffmengen, welche im Arbeitsharn und im Nacharbeitsharn zusammen enthalten waren. Diese Summe giebt (siehe S. 329) für F. 38,28 Grm. und für W. 37,00 Grm. zersetztes Eiweiss. An der ersten dieser beiden Zahlen können wir noch eine kleine Korrektur anbringen. Durch ungünstige Ortsbedingungen waren wir gezwungen, die Messung des Nachtharns um 5 Uhr 10 Minuten im Nachtquartier zu Interlaken vorzunehmen. Die Arbeit begann aber erst 2 Stunden später nach einer einstündigen Dampfschiffahrt und Einnahme eines Frühstückes zu Iseltwald. Der Harn also, welcher während dieser 2 Stunden abgesondert wurde, hätte eigentlich nicht zum Arbeitsharn gerechnet werden dürfen. Beim einen von uns (F.) kann dieser Fehler wenigstens einigermaßen verbessert werden. Derselbe hatte nämlich eine Quantität Harn unmittelbar vor der Besteigung in das zur Sammlung des Arbeitsharnes bestimmte Gefäss entleert. Diese Quantität konnte nun eben freilich, da die graduirten Apparate schon in Interlaken wieder verpackt waren, nicht mehr gemessen werden, allein die Schätzung nach dem Augenmasse ergab, dass die fragliche Menge mindestens 20<sup>cem</sup> betrug. Nehmen wir nun an, dass diese Harnmenge denselben Stickstoffgehalt hatte wie der gemischte Arbeitsharn, so entspräche ihr eine Eiweissmenge von 1,11 Grm., die wir also dreist von der Zahl 38,28 in Abzug bringen dürfen. Dadurch erhalten wir für die im Körper von F. während der Besteigung allerhöchstens verbrannte Eiweissmenge 37,17 Grm.

Wir haben nun zu fragen: welche Wärmemenge kann entstehen, wenn 37,17 resp. 37,00 Grm. Eiweiss bis zu den Produkten verbrennen, in welchen ihre Bestandtheile den menschlichen Körper durch Lunge und Niere verlassen? Leider liegt zur genauen Beantwortung dieser wichtigen Frage gegenwärtig noch kein experimentelles Material vor, denn es ist weder die Verbrennungswärme des Eiweisses noch die der stickstoffhaltigen Reste des Eiweisses bekannt. Aber wir können für die in Rede stehende Wärmemenge eine Grenze angeben, die ihr Werth keinesfalls überschreitet. In der That es ist ganz sicher, dass die Wärmemenge, welche ein Gramm Eiweiss bei vollständiger Verbrennung liefert, kleiner ist, als die Wärmemenge, welche man erhalten würde, wenn die in einem Gramm Eiweiss enthaltenen brennbaren Elemente für sich verbrennten. Dies heisst ja mit andern Worten: die Verbrennungswärme des Eiweisses ist kleiner, als die Verbrennungswärme eines im selben Verhältnisse zusammengesetzten blossen Gemenges der Elemente, die alle mit dem Sauerstoff noch in gar keiner chemischen Verbindung stünden. Die letztere Zahl kann nun aber leicht berechnet werden; man braucht nur die Wärmemenge zu bestimmen, welche bei der Verbrennung des Kohlenstoff- und des Wasserstoffgehaltes von einem Gramm Eiweiss frei werden würde. Vom Stickstoffgehalt kann man absehen, da dieser bekanntlich bei der Verbrennung von Eiweiss frei ausscheidet. Sehr wahrscheinlich kommt auch dem Stickstoff überall keine positive Verbrennungswärme zu, d. h. bei der Verbrennung eines Stickstoffatoms mit einem Sauerstoffatome wird nicht so viel Wärme frei, als bei Scheidung des Sauer-

stoffmoleküles in seine beiden Atome gebunden wird. Es sind nun in einem Gramm Albumin 0,535 Grm. Kohlenstoff, die bei Verbrennung unter der höchsten Annahme (8080) für die Verbrennungswärme des Kohlenstoffes 4,32 Wärmeeinheiten geben. Daher erhalten wir noch für Verbrennung der in 1 Grm. Eiweiss enthaltenen 0,07 Grm. Wasserstoff, wenn die Verbrennungswärme dieses Elementes = 34462 gesetzt wird, 2,41 Wärmeeinheiten. Im Ganzen für 1 Grm. Eiweiss 6,73 Wärmeeinheiten. Die wahre Verbrennungswärme eines Grammes Eiweiss ist also jedesfalls bedeutend kleiner als diese Zahl, und noch viel kleiner ist unzweifelhaft die Wärmemenge, welche bei der unvollständigen Oxydation eines Grammes Eiweiss im menschlichen Körper frei wird. Machen wir aber für jetzt die den Gegnern des Satzes, der bewiesen werden soll, unsinnig günstige Annahme, es könnten bei Zersetzung von 1 Grm. Eiweiss im menschlichen Körper 6,73 Wärmeeinheiten gebildet werden, dann hatte vermöge des Eiweisskonsums unter den übrigen ebenfalls den Gegnern möglichst günstigen Annahmen  $F 37,17 \times 6,73 = 250$  und  $W 37,00 \times 6,73 = 249$  Wärmeeinheiten zur Leistung der Muskelarbeit bei der Bergbesteigung disponibel. In Arbeitseinheiten ausgedrückt, gibt dies für  $F$  106250, für  $W$  105825 Meterkilogramm.

Fragen wir nun, wie viel Arbeit von unsern Muskeln wirklich geleistet wurde, so ist ein Posten sofort liquid, nämlich die Höhe des Faulhorngipfels über dem Spiegel des Briener Sees, multiplicirt mit den Gewichten der Körper, erstere Grösse in Meters, letztere in Kilogrammes gemessen. Nun betrug das Gewicht des Körpers mit Ausrüstung. (Hut, Kleider, Stock) für

$F$  66, für  $W$  76 Kilogramm. Die Höhe des Faulhorngipfels über dem Briener See beträgt nach den trigonometrischen Messungen genau 1956 Meter. Also hat an genau bestimmbarer äusserer Arbeit  $F$  129096 und  $W$  148656 Meter-Kilogramm. geleistet.

Die Eingangs formulirte Frage ist schon hiermit definitiv beantwortet: Die Verbrennung von Proteinstoffen kann nicht die ausschliessliche Kraftquelle des Muskels sein, denn es liegen zwei Beobachtungen vor, in welchen von Menschen mehr messbare äussere Arbeit geleistet wurde, als das Aequivalent der Wärmemenge, welche sich unter geradezu lächerlich hoch gegriffenen Annahmen aus der Eiweissverbrennung berechnen lässt. Unser Beweis wird aber noch um Vieles stärker, wenn wir erwägen, dass die krafterzeugenden chemischen Prozesse eine sehr viel grössere Wärmemenge hergeben müssen, als der messbar geleisteten äusseren Arbeit aequivalent ist. Vor Allem nämlich können wir zu dem vorhin gefundenen Posten von 129096 beziehungsweise 148656 Meterkilogramm noch einen gleichfalls in Arbeitseinheiten ausdrückbaren Posten hinzufügen, der zwar nicht ebenso genau messbar, aber doch wenigstens sehr annähernd schätzbar ist. Dieser Posten besteht in der Herz- und Respirationsarbeit. Die Herzarbeit schätzt man bekanntlich bei einem gesunden erwachsenen Menschen zu etwa 0,64 Meterkilogramm\*) für jede Systole. Nun hatte  $F$  während der Besteigung durchschnittlich 120 Pulsschläge in der Minute. Es kommt also auf

\*) Hierbei ist für den linken 0,43, für den rechten Ventrikel 0,21 gerechnet.

die 5,5 Stunden der Besteigung eine Arbeit von 25344 Meterkilogramm, die für die Erhaltung des Blutkreislaufes aufgewandt wurde. Die Arbeit der Respiration hat man bisher noch nie zu schätzen versucht. Der eine von uns hat aber in der zweiten Auflage seiner medicinischen Physik (S. 206) nachgewiesen, dass zu einer solchen Schätzung die bekannten Ermittlungen Donders's über die Druckverhältnisse im Thoraxraum hinlänglichen Anhalt geben. Er hat daselbst gezeigt, dass man die bei einem Athemzuge von  $600^{\text{ccm}}$  geleistete Arbeit zu etwa 0,63 Meterkilogramm veranschlagen kann. *F* machte nun durchschnittlich ungefähr 25 Athemzüge bei der Besteigung, das gibt unter den soeben gemachten Voraussetzungen für die ganze Besteigungszeit eine Respirationsarbeit von 5197 Meterkilogramm, addiren wir diese und die für die Herzarbeit gefundene Zahl zu der von *F* geleisteten äusseren Arbeit, so erhalten wir eine Gesamtarbeit von 159637 Meterkilogramm, welche die aus der Verbrennungswärme des Eiweisses zu berechnende schon um die Hälfte übersteigt. Noch auffälliger gestaltet sich das Verhältniss bei *W*. Nehmen wir an, seine Respiration- und Herzarbeit verhielte sich zu der von *F* etwa wie die respektiven Körpergewichte = 7 : 6, dann erhalten wir für die Gesamtarbeit von *W*, soweit sie der Messung und Schätzung zugänglich ist, die Zahl von 184287 Meterkilogramm, welche die aus der Verbrennung von Proteinstoffen berechnete um mehr als  $\frac{3}{4}$  übersteigt.

Ausser den geschätzten und gewiss nicht überschätzten Posten kommen nun aber zu unserer Summe noch mehrere andere hinzu, die freilich nicht einmal

in entfernter Annäherung zu schätzen sind, die aber wahrscheinlich zusammen den Betrag der bis jetzt aufgelaufenen Summe selbst noch übersteigen. Suchen wir uns wenigstens einigermaßen davon Rechenschaft zu geben. Es muss erstlich daran gedacht werden, dass der steilste Pfad auf einen Berg doch immerhin streckenweise eben oder gar wieder bergab geht. Bei der Begehung solcher Strecken arbeiten die Beinmuskeln analog wie beim Steigen, nur wird die ganze geleistete Arbeit wieder in Wärme verwandelt, aber es müssen doch immerhin dieselben krafterzeugenden Prozesse im Muskel vorgehen, wie wenn Arbeit geleistet wird, die als solche erhalten bleibt. Um diesen Punkt noch einleuchtender zu machen, können wir in Erwägung ziehen, dass die ganze Besteigungsarbeit auch nur eine temporär als solche bestehende war. Am andern Tage wurde ja auch hier der Erfolg rückgängig gemacht, unser Körper näherte sich dem Erdmittelpunkt wieder eben so viel, als er am vorhergehenden Tage davon entfernt worden war, und mithin wurde am folgenden Tage das Aequivalent der am vorhergehenden geleisteten Arbeit wieder als Wärme frei. Die zwei Akte des Vorganges, die sich hier auf zwei Tage vertheilen, geschehen beim Gehen auf ebenem Boden im Verlaufe einer Schrittdauer.

Beachten wir ferner, dass wir beim Bergsteigen nicht immer ausschliesslich die zur Arbeit des Steigens beitragenden Beinmuskeln anstrengen, wir bewegen auch hin und wieder Arme, Kopf oder Rumpf. Zu allen diesen Bewegungen sind krafterzeugende Prozesse nöthig, deren Ergebniss aber auch nicht in unserer Summe von Arbeit figuriren kann, sondern

ganz als Wärme zum Vorschein kommen muss, da alle mechanischen Effekte dieser Bewegungen wieder rückgängig gemacht werden. Haben wir den Arm gehoben, so lassen wir ihn wieder sinken u. s. w.

Es gelte dann weiterhin beim Bergsteigen in einem grossen Theile unserer Muskulatur noch etwas vor, was zwar keine Arbeitsleistung — auch keine temporäre, wieder rückgängig gemachte Arbeitsleistung — ist, was aber doch nicht geschehen kann ohne dieselben krafterzeugenden Prozesse, welche die Arbeit ermöglichen. So lange wir nämlich den Körper in aufrechter Stellung halten wollen, müssen sich einzelne Muskelgruppen (Rückenstrecker, Nackenmuskeln, Träger des Schulterblattes) in dauerndem Tetanus befinden, um den Körper am Zusammensinken zu hindern. Wir wollen diesen Punkt mit einigen Worten noch principiell erörtern, weil über ihn, wie es scheint, vielfach Missverständnisse verbreitet sind. Das geht schon daraus hervor, dass in mehreren Abhandlungen der in Rede stehende Vorgang als „statische Arbeit“ bezeichnet wird, obgleich es doch eben keine Arbeit ist, wenn ein tetanisirter Muskel eine Last im Gleichgewicht hält. Arbeit ist nur der Anfang dieses Zustandes, wo die Last gehoben wird. Wir möchten daher, um dem Missverständniss zu begegnen und doch die Sache kurz zu bezeichnen, den Ausdruck „statische Thätigkeit“ dafür vorschlagen. Eine Thätigkeit des Muskels ist es allerdings, wenn er tetanisirt einer Last Gleichgewicht hält. Es müssen, so lange dies geschieht, die krafterzeugenden Prozesse in ihm thätig sein, aber es wird die ganze dabei erzeugte lebendige Kraft nothwendig als Wärme frei, da eben



keine Arbeit geleistet wird. Auf die Art, wie man sich dies zu denken hat, kann es einiges Licht werfen, wenn wir uns einen vollkommen analogen einfacheren Fall vorstellen. Denken wir uns einen senkrecht stehenden unten geschlossenen Cylinder. Er sei mit irgend einem Gas gefüllt, und Alles sei im Gleichgewicht der Temperatur mit der Umgebung. Im Cylinder sei ein Kolben mit luftdichtem Verschluss aber ohne Reibung beweglich. Der Kolben habe ein gewisses Gewicht, das wir im Anfange mit der Spannung des darunter befindlichen Gases im Gleichgewicht denken wollen. Nun führen wir dem Gase im Cylinder eine gewisse Wärmemenge zu, so dass seine Temperatur steigt. Dann wird bei dem alten Volum kein Gleichgewicht mehr bestehen zwischen der Spannung des Gases und der Last des Kolbens. Dieser wird sich vielmehr heben. Hier ist eine mechanische Arbeit gethan, der entsprechend ein bestimmter Theil der zugeführten Wärme verschwindet. Ueberliessen wir nun Alles sich selbst, so würde der Rest der zugeführten Wärme allmählich an die Umgebung abgegeben, und der Kolben sänke wieder an seine alte Stelle. Bei diesem Akte würde übrigens, beiläufig gesagt, auch die in Arbeit verwandelt gewesene Wärmemenge wieder frei. Wir können uns aber nun auch die Aufgabe stellen, den Kolben in der Höhe zu halten. Dann muss eben die erhöhte Temperatur des Gases erhalten werden. Dies kann aber nur geschehen durch fortwährende Zufuhr von Wärme zu demselben, da es unter gemachten Voraussetzungen über die Temperaturverhältnisse fortwährend Wärme nach Aussen verliert. Offenbar ist aber genau nur Ersatz der Verluste nöthig, um den

Zustand in infinitum zu erhalten. Es wird keine Spur von Wärme mehr in Arbeit verwandelt, weil eben keine Arbeit mehr geschieht. Brächten wir beispielsweise die zur Erhaltung des Zustandes erforderliche Wärme durch Verbrennung von Kohle hervor, so würde jetzt die gesammte Verbrennungswärme derselben auch als solche frei und an die Umgebung des Cylinders abgegeben. So wie die erwärmte Luft in dem Cylinder haben wir uns wohl den tetanisirten Muskel zu denken, der auch eine Last auf einer Höhe hält, von der sie herabsinken würde, so wie die Zufuhr von lebendigen Kräften aufhörte. Er ist thätig, aber er leistet keine Arbeit, und es wird daher alle erzeugte Kraft als Wärme frei.

Kehren wir nach dieser kleinen Abschweifung zu unserm Gegenstande zurück, so haben wir schliesslich noch einen letzten Posten zu der Summe von lebendigen Kräften aufzuzählen, die von den kraft-erzeugenden Processen im Muskel geliefert werden müssen. Es ist nämlich nach den Principien der mechanischen Wärmetheorie kaum denkbar, dass diese Prozesse auch im Falle der wirklichen Muskelarbeit eben gerade nur so viel lebendige Kräfte erzeugten, als zu der mechanischen Arbeit erforderlich ist. Es ist vielmehr von vorn herein ziemlich sicher zu erwarten, dass stets nur ein Theil der durch die krafterzeugenden Prozesse entwickelten lebendigen Kräfte in mechanische Arbeit umgesetzt werden kann. Diese mit der grössten Wahrscheinlichkeit aus den allgemeinsten physikalischen Betrachtungen gezogene Folgerung lässt sich aber auch schon jetzt für experimentell bestätigt ansehen. Aus den schönen

Untersuchungen von Heidenhain \*) über Wärmeentwicklung bei der Muskelthätigkeit lässt sich nämlich der Werth der gesammten, im einzelnen Versuche entwickelten lebendigen Kraft annäherungsweise schätzen; wenigstens lässt sich dafür eine untere Grenze mit Sicherheit feststellen. Diese untere Grenze liegt nun schon fast allemal bedeutend höher, als das Aequivalent der im Versuche temporär in mechanische Arbeit verwandelt gewesenen lebendige Kraft. Es mag beiläufig bemerkt werden, dass in fast allen Versuchen Heidenhains die mechanische Arbeit in Wärme zurück verwandelt wurde, indem die gehobene Last den Muskel wieder dehnte, so dass eben schliesslich keine mechanische Arbeit geleistet war und mithin die ganze erzeugte lebendige Kraft als Wärme zum Vorschein kommen musste. Es scheint nun nach Heidenhains Versuchen, als ob das Verhältniss der in Arbeit verwandelbaren lebendigen Kraft zu der gesammten bei der Muskelzusammenziehung erzeugten sehr variabel sei je nach der Spannung, mit welcher der Muskel arbeitet; aber wir werden schwerlich zu hoch greifen, wenn wir annehmen, dass dies Verhältniss unter normalen Bedingungen nie grösser sein kann, als  $\frac{1}{2} : 1$ . Wir könnten demnach die oben gefundenen Zahlen für die bleibend oder temporär geleistete Gesamtarbeit dreist verdoppeln, um eine Zahl zu erhalten, welche uns eine annähernde Vorstellung gibt von dem in Arbeitseinheiten ausgedrückten Betrage der lebendigen Kraft, welche die krafterzeugenden Prozesse im Muskel bei der Leistung jener Arbeit liefern mussten. Was zu

---

\*) Mechanische Leistung und Wärmeentwicklung im Muskel. Leipzig 1864.

diesen Zahlen noch hinzugefügt werden müsste, um der rein vergeudeteten Arbeit und der statischen Thätigkeit der Muskulatur Rechnung zu tragen, ist ganz sicher nicht unbeträchtlich, mag aber unberücksichtigt bleiben, da wir wie gesagt zu einer Schätzung dieser Grösse gar keinen Anhalt haben. Wir blieben demnach stehen bei den 319274 Meterkilogramm für *F* und 368574 für *W*.

Es könnte scheinen, als hätten wir uns die Herleitung eines unteren Grenzwertes für die durch Muskelkraft bildenden Prozesse bei unserer Besteigung gelieferte gesammte lebendige Kraft bedeutend erleichtern können durch eine bekannte Betrachtung von Helmholtz. Dieser hat nämlich auf eben so einfache als scharfsinnige Weise durch Kombination der Ergebnisse von Smith's Respirationsversuchen mit Dulong's Messungen der thierischen Wärme und der durchaus zulässigen Annahmen über Arbeitsfähigkeit gefolgert, dass im menschlichen Körper allerhöchstens  $\frac{1}{5}$  von der Verbrennungswärme der zersetzten Stoffe in äussere Arbeit verwandelt werde. Hiernach könnte es scheinen, als erhielten wir einfach die untere Grenze für den Werth der Grösse, welche wir zu bestimmen trachten, wenn wir die gemessene äussere Arbeit mit 5 multiplicirten. Dies ist aber in der That nicht der Fall, denn Helmholtz scheidet in seiner Betrachtung nicht die muskelkrafterzeugenden von etwaigen anderen wärmeerzeugenden Processen. Er sieht den Körper im Ganzen als einen mechanisch arbeitenden Apparat an und kommt zu dem Resultate, dieser Apparat könne von der gesammten in ihm erzeugten Verbrennungswärme höchstens  $\frac{1}{5}$  nutzbar verwerthen. Durch Multiplikation unserer äusseren Arbeit mit 5 erhielten wir also einen unteren Grenz-

werth für die gesammte während der Besteigung durch alle Verbrennungsprocesse erzeugte lebendige Kraft, darunter könnten nun freilich auch solche sein, die mit der Erzeugung der Muskelkraft gar nichts zu schaffen haben, z. B. Verbrennung von Blutbestandtheilen, die aber eben gar nicht stille stehen.

Begnügen wir uns also mit den oben gefundenen Zahlen, welche an sich schon genügende Beweiskraft haben. Wir hätten damit das Resultat gewonnen: Während unserer Besteigung müssen krafterzeugende Processe in unseren Muskeln stattgefunden haben, genügend, um bei  $F$  751 Wärmeeinheiten, bei  $W$  820 Wärmeeinheiten zu liefern. Die faktisch dabei verbrannte Eiweissmenge konnte aber, wie wir sahen, noch nicht den dritten Theil dieser Wärmemenge liefern. Wir wiederholen also mit noch weit besserem Grunde unsern obigen Schluss, dass die Verbrennung eiweissartiger Körper nicht die ausschliessliche Kraftquelle des Muskels sein kann. Wir können aber jetzt mehr sagen: die Verbrennung eiweissartiger Körper liefert höchstens einen kleinen Beitrag zur Muskelkraft. Sind wir aber einmal so weit, dann ist nur noch ein Schritt, den man kaum unterlassen kann, zu der Lehre, die schon öfters \*) mehr oder weniger deutlich, namentlich neuerdings sehr entschieden von Traube ausgesprochen ist: Das eigentlich krafterzeugende Brennmaterial für den Muskel sind überhaupt gar nicht die eiweissartigen Stoffe dieses Gewebes, sondern stickstofffreie Verbindungen, seien es Fette, seien es Kohlehydrate.

---

\*) Der eine von uns hat selbst diese Lehre schon seit drei Jahren in seinen Vorlesungen als Hypothese vorgetragen, wollte aber damit nicht eher vor das Publikum treten, als bis er sie durch Thatsachen unwiderleglich beweisen konnte.

Wir möchten diese Lehre noch in folgenden bildlichen Ausdruck bringen: Die Muskelfaser ist eine Arbeitsmaschine, aufgebaut aus eiweissartigem Material, ähnlich wie eine Dampfmaschine aufgebaut ist aus Stahl, Eisen, Messing etc. Wie nun in der Dampfmaschine zur Krafterzeugung Kohle verbrannt wird, so wird in der Muskelmaschine Fett oder Kohlehydrat verbrannt. Wie aber ferner in der Dampfmaschine fortwährend auch das Baumaterial (Eisen etc.) abgenutzt und oxydirt wird, so wird auch im Muskel das Baumaterial abgenutzt, und diese Abnutzung liefert stickstoffhaltige Harnbestandtheile. So wird auch die Erscheinung verständlich, dass die Ausscheidung von stickstoffhaltigen Harnbestandtheilen durch Muskelarbeit wenig oder gar nicht, die Kohlensäureausscheidung aber enorm gesteigert wird; denn bei einer Dampfmaschine, welche fortwährend zum Gebrauche bereit mässig geheizt dastünde, würde wohl auch die Oxydation von Eisen etc. immer ziemlich in gleichem Schritt weiter gehen und nicht bedeutend gesteigert werden durch stärkere Heizung bei der Arbeit, wohl aber wird in Zeiten der Arbeit viel mehr Kohle verbrannt, als in Zeiten der Ruhe.

Zu der Konsequenz, der Eiweissverbrennung die Bedeutung des krafterzeugenden Processes ganz abzusprechen, nachdem einmal gezeigt ist, dass sie nicht der einzige sein kann — zu dieser Konsequenz sieht man sich gedrängt durch die Ueberlegung, dass in einem so subtilen Apparate, wie das Muskelgewebe ist, nicht wohl verschiedenartige chemische Prozesse dieselbe Rolle spielen können. Ist ja doch schon eine Dampfmaschine wählerisch im Brennmaterial; wenn eine solche für Holz eingerichtet ist, lassen

sich nicht wohl Kohlen darauf verbrennen. Wie sollte es nun denkbar sein, dass die Muskelmaschine eigentlich für Eiweiss eingerichtet wäre, und dass sie, wenn nicht genügend Eiweiss vorhanden ist, auch mit stickstofflosem Brennmaterial fürlieb nimmt? Dass sie aber dies in der That thut, haben wir durch unserm Versuch zur Evidenz erwiesen. Wir schliessen also vielmehr so: da wir sehen, dass die Muskelmaschine unzweifelhaft durch stickstofffreies Brennmaterial geheizt werden kann, so wird dies überall das angemessene Brennmaterial für dieselbe sein.

Zum Schlusse sei es uns gestattet, noch einmal auf die im Eingange schon berührten allgemeineren Betrachtungen zurückzukommen. Im Lichte unseres Satzes erscheinen die grossen Veranstaltungen begreiflich, die in der Thierwelt getroffen sind, um Kohlehydrate zu verdauen. Sehen wir doch bei den Widerkäuern beispielsweise die verwickeltsten Apparate eingerichtet, um selbst von der schwerlöslichen Cellulose wenigstens etwas zu sacharificiren und für den thierischen Haushalt zu gewinnen. Dies wird begreiflich, wenn man annimmt, das die Kohlehydrate der wichtigsten Funktion des Thieres der Muskelbewegung dienen. Die Bedeutung des Heizmaterials im gewöhnlichen Sinne des Wortes verlieren diese Stoffe darum doch nicht; einmal, weil schon bei der Muskelarbeit ein grosser Theil der Verbrennungswärme als solche frei wird und weil dann die gethane Muskelarbeit doch immer schliesslich im Körper des Thieres in Wärme zurückverwandelt wird; es sei denn, dass ausnahmsweise das Thier vom Menschen zur Leistung äusserer mechanischer Arbeit methodisch verwandt würde.

Eine andere Betrachtung knüpft sich an das soeben Gesagte noch an, der ebenfalls geeignet ist, unsern Satz als einen schon von vorn herein höchst wahrscheinlichen erscheinen zu lassen. Gerade unter den Thieren, die mit ihren Muskeln Enormes leisten, sind solche, denen Eiweisskörper nur sehr spärlich in der Nahrung zufließen, Kohlehydrate dagegen in reichlicher Masse geboten werden. Man denke an die flüchtigen Widerkäufer, an kletternde Ziegen, Gamsen, Gazellen oder an manche fliegenden Insekten. Sollte es denkbar sein, dass die grossen Kraftanstrengungen dieser Thiere lediglich auf Kosten von Eiweissverbrennung gemacht werden? Eine bemerkenswerthe hieher gehörige Thatsache wollen wir noch anführen, die uns neuerlichst bei Besprechung des hier behandelten Gegenstandes von Herrn Dr. Piccard, Docenten am eidgenössischen Polytechnikum, mitgetheilt wurde. Die Gamsjäger in der Westschweiz pflegen auf mehrtägige überaus anstrengende Exkursionen zur Nahrung nichts mitzunehmen als Speck und Zucker, da, wie sie sich ausdrücken, diese Stoffe nahrhafter seien als Fleisch. Wir könnten diese Ausdrucksweise dahin abändern, dass diese Leute durch Erfahrung belehrt sind, sie führen in Form von Fett und Zucker am bequemsten einen reichhaltigen Vorrath von krafterzeugendem Brennmaterial bei sich. In Betreff dieses Punktes müssen wir über unsern Versuch noch anführen, dass wir beide trotz der grossen Arbeit bei 31stündiger Enthaltung von eiweissartiger Nahrung uns nicht im Mindesten erschöpft fühlten. Dies wäre doch kaum zu erklären, wenn nicht die Muskelkraft auf Kosten der von uns genossenen stickstofffreien Nahrung entstanden wäre.

---