

Die Quelle der Muskelkraft.

Von

Prof. Max Gruber.

Vortrag, gehalten den 21. November 1900.

Die Skelettmusculatur — das, was wir im gewöhnlichen Leben „Fleisch“ nennen — ist in größerer Masse im menschlichen Körper vorhanden als irgend ein anderes Organ. Das Gewicht der willkürlichen Muskeln macht nämlich rund 42 Procente des Gesamtgewichtes des Körpers aus.

Der Muskel ist scheinbar sehr einfach gebaut, er besteht aus unter sich ganz gleichartigen, parallel gestellten Fasern und Fäserchen. Freilich, sobald man das Mikroskop zur Hand nimmt, ist es mit der Einfachheit des Bildes vorbei und erblickt man eine Structur, an deren Enträthselung nun schon mehrere Generationen arbeiten.

Die merkwürdigste Eigenschaft des Muskels ist, dass er infolge von Reizung seine Gestalt verändert. Er wird dabei in der Richtung des Faserverlaufes kürzer und zugleich dicker. Nach Aufhören des Reizes kehrt der Muskel in seine alte Form zurück, und diese seine vollkommene Elasticität ist nicht weniger merkwürdig als seine Fähigkeit, sich zu verkürzen. Die Reize, welche den Muskel zur Zusammenziehung bringen, gehen normalerweise vom Nervensystem aus. Sie bewirken entweder eine einzelne Zuckung oder eine mehr oder weniger lang

dauernde Contraction (Muskeltetanus). Die Verkürzung des Muskels erfolgt mit außerordentlich großer Kraft. So vermögen die Muskeln des Menschen bei ihrer Zusammenziehung pro 1 cm^2 ihres (physiologischen) Querschnittes etwa 10 kg zu heben.

Diese Eigenschaft der Muskeln, sich zusammenzuziehen, ermöglicht die Bewegung der einzelnen Theile des Körpers gegeneinander, sowie die Fortbewegung des Körpers als Ganzes. Nur mit Hilfe der Muskel vermögen wir die Außenwelt durch unseren Willen zu beeinflussen, ob wir nun mit dem Hammer oder dem Schwerte dreinschlagen, ob wir schreiben oder — wie ich jetzt — in der Luft Schallwellen erzeugen.

Die Musculatur leistet bei ihren Verkürzungen täglich eine sehr große Arbeit. Die Größe der Arbeit wird bekanntlich gemessen durch die Größe des überwundenen Widerstandes multipliciert mit der Länge der Wegstrecke, auf welcher der Widerstand überwunden wurde. So ergibt sich z. B. die Arbeit, die ich beim Heben einer Last leiste, aus der Größe ihres Gewichtes mal der Höhe des Hubes. Die Maßeinheit für diese Messungen ist bekanntlich das Kilogramm-meter, d. h. die Arbeit, die beim Heben eines Kilogrammes um einen Meter geleistet wird.

Die Arbeit des Herzens, um den Blutkreislauf im Gange zu erhalten, und die der Athemmuskeln, um die Lungen beständig zu lüften, beträgt für sich allein schon beim Menschen rund 30.000 Kilogramm-meter (*kgm*) täglich. Dazu kommt dann die äußere Arbeit. Ein Mann, der keine schweren Arbeiten verrichtet, leistet

allein schon beim Gehen und Stehen eine Arbeit von im Mittel etwa 35.000 *kgm* täglich, und die gute Tagesleistung eines gesunden Arbeiters bei 8stündiger Arbeitszeit kann auf circa 350.000 *kgm* veranschlagt werden.

Wir wissen, dass überall da, wo wir eine Bewegung auftreten sehen, entweder eine andere Bewegung von gleicher Arbeitsgröße („lebendige Kraft“ oder „kinetische Energie“) verschwindet (zum Stillstande kommt), oder ein vorhandener Arbeitsvorrath von gleichem Arbeitswerte („Spannkraft“ oder „potentielle Energie“) aufgebraucht wird. Ohne dieses Verschwinden einer Bewegung oder ohne diesen Verbrauch eines Arbeitsvorrathes sehen wir niemals eine neue Bewegung, eine neue Arbeit entstehen. Diese Erfahrung hat bekanntlich in dem berühmten Satze von der Erhaltung der Energie ihren kürzesten Ausdruck gefunden, welcher lautet: „Die Summe der potentiellen und der kinetischen Energie eines Massensystems ist eine unveränderliche Größe.“

Wir müssen uns also auch beim Muskel fragen: Woher stammt die lebendige Energie seiner Zuckung? Welcher Arbeitsvorrath wird dabei verbraucht?

Im allgemeinen kann die Antwort nicht zweifelhaft sein. Die kinetische Energie der Muskelzuckung stammt jedenfalls daher, woher die kinetische Energie der Lebensvorgänge überhaupt stammt: von der potentiellen chemischen Energie der organischen Substanzen in unseren Organen oder in unserer Nahrung. Bei der Zersetzung und Verbrennung dieser organischen Substanzen die — wie Sie wissen — im Körper beständig, wenn auch

in sehr wechselndem Umfange vor sich geht, wird ihre potentielle Energie in kinetische Energie umgewandelt.

In letzter Linie stammt die kinetische Energie unserer unwillkürlichen und willkürlichen Bewegungen aus dem Arbeitsvorrathe, der von der grünen Vegetation mit Hilfe der lebendigen Energie der Sonnenstrahlen aufgestapelt wird.

Die kinetische Energie der Sonnenstrahlen wird verbraucht, um in der Kohlensäure den Kohlenstoff aus seiner Verbindung mit dem Sauerstoffe und ebenso im Wasser den Wasserstoff aus seiner Verbindung mit diesem Stoffe zu lösen. Der vom Sauerstoffe getrennte Kohlenstoff und Wasserstoff, der von der grünen Pflanze zum Aufbaue der organischen Substanzen, zunächst zur Bildung von Stärke (Amylum) verwendet wird, stellt geradeso einen Arbeitsvorrath dar wie das Gewicht, das mittels einer Schnur vom Boden emporgezogen wurde. Wie das Gewicht dem Boden zufällt, sobald die Schnur, die es trägt, gelöst oder zerschnitten wird, vereinigen sich Kohlenstoff und Wasserstoff der organischen Substanz wieder mit dem Sauerstoffe, sobald die äußeren Bedingungen dazu gegeben sind.

Die Thatsache, dass die kohlenstoff- und wasserstoffhaltige organische Substanz einen Arbeitsvorrath darstellt, kommt zum Vorschein, wenn die organische Substanz verbrannt wird. Die Größe dieses Arbeitsvorrathes kann an der Menge der bei der Verbrennung sich entwickelnden Wärme gemessen werden. Diese Messungen geschehen bekanntlich mit Hilfe der Calorimeter, und

als Maß dient uns die „große Calorie“ (Cal), d. h. die Wärmemenge, welche nothwendig ist, um 1 *kg* Wasser von 0° auf 1° C. zu erwärmen, oder die sogenannte „kleine Calorie“ (cal), welche den tausendsten Theil der großen darstellt, also die Wärmemenge bezeichnet, welche man 1 *g* Wasser von 0° zuführen muss, um es auf 1° C. zu erwärmen.

Ein größerer oder kleinerer Theil der potentiellen Energie kann gelegentlich der Verbrennung der organischen Substanzen im thierischen (menschlichen) Körper in mechanische Arbeit umgewandelt werden, ähnlich wie dies in der Dampfmaschine geschieht. Dann erscheint gleichzeitig eine entsprechend geringere Menge von Wärme. Sie alle wissen, dass man imstande ist, das Verhältnis, in welchem Wärme und mechanische Arbeit einander vertreten, beziehungsweise sich in einander umwandeln, zu messen, dass man gefunden hat, dass eine große Calorie 425 *kgm* Arbeit äquivalent ist, und dass man dieses Verhältnis das mechanische Äquivalent der Wärme nennt.

Die theoretische Voraussetzung, dass wir eine größere Menge organischer Substanzen zersetzen, mit Hilfe des eingeathmeten Sauerstoffes verbrennen müssen, wenn wir Muskelarbeit leisten, als wenn wir ruhen, wird durch die Beobachtung bestätigt.

Uralte Erfahrungen weisen schon auf den gesteigerten Stoffverbrauch bei Arbeit hin: so der größere Hunger, die vermehrte Nahrungsaufnahme bei Arbeit, das Magerbleiben oder Magerwerden des Arbeiters, das Fettwerden des Unthätigen.

Die gesteigerte Verbrennung bei Muskelarbeit bewies zuerst Lavoisier aus der Zunahme der Ausscheidung von Kohlensäure, des Endproductes der Oxydation des Kohlenstoffes der organischen Stoffe. Später war man dann auch imstande, die Steigerung des Sauerstoffverbrauches bei der Arbeit genau zu messen. Z. B. wird nach Zuntz beim Bergsteigen für jeden Kilogrammometer Steigarbeit 1.6 cm^3 (0^0 und 760 mm B.) Sauerstoff verbraucht. Im Vergleiche mit der Ruhe hat man den Sauerstoffverbrauch bei Arbeit schon bis auf das 2.4fache steigen gesehen.

Auch eine andere Erscheinung, die wir bei gesteigerter Verbrennung im Körper erwarten müssen, lässt sich bei Muskelarbeit nachweisen: die gesteigerte Wärmeerzeugung und daher auch gesteigerte Wärmeabgabe vom Körper.

Dass diese Zunahme der Verbrennung und der Wärmeerzeugung wirklich mit der Leistung der Muskelarbeit auf das engste verknüpft ist, lehrt uns dann die Beobachtung der Vorgänge im arbeitenden Muskel selbst. Wenn wir z. B. das Blut untersuchen, das aus dem Muskel abfließt, so finden wir, dass es wärmer, sauerstoffreicher und kohlen säurereicher ist, wenn der Muskel arbeitet, als wenn er ruht.

Durch das Studium an Muskeln, die vom Sauerstoffe abgeschlossen gehalten werden, lässt sich nachweisen, dass bei der Arbeit zunächst hochcomplicirte, organische Verbindungen unter Abspaltung von etwas Kohlensäure und Bildung von reducirenden, d. h. Sauerstoff bindenden Stoffen zerfallen. Kommt dann Sauerstoff dazu, so ver-

binden sich diese reducirenden Stoffe mit ihm; sie oxydieren sich, wie man sagt; sie verbrennen.

Die bei der Muskelthätigkeit zutage tretende kinetische Energie entstammt also der potentiellen, chemischen Energie der dabei zersetzten, oxydierten organischen Stoffe. Die Zersetzung und Verbrennung dieser Stoffe, die Steigerung des Stoffwechsels im Muskel ist eine unerlässliche Bedingung der Muskelarbeit.

Was für organische Verbindungen sind es nun, die bei der Muskelarbeit zersetzt und verbrannt werden? Wie Sie sich sicherlich erinnern werden, gibt es drei Hauptgruppen von organischen Substanzen, die sowohl in unserem Körper als in unserer Nahrung — die ja selbst wieder zum größten Theile von Pflanzen und Thieren herkommt — schon ihrer Masse wegen eine besondere Wichtigkeit haben: die Eiweißkörper, die Fette und die Kohlenhydrate. Welche von diesen Stoffen werden bei der Muskelarbeit zersetzt, alle drei oder nur der eine oder der andere?

Zunächst möchte ich Sie darauf aufmerksam machen, dass die Muskelarbeit mit Hilfe von Stoffen geleistet werden kann, die dem Körper selbst angehören. Nahrungsaufnahme ist dazu nicht unmittelbar nothwendig. So vermochte der „Hungerkünstler“ Cetti nach wochenlangem Hunger seine Muskeln unbehindert zu gebrauchen, zu gehen, zu reiten, zu fechten u. s. w.

Eine gewisse Menge der zur Arbeit erforderlichen Stoffe muss im Muskel selbst vorhanden sein, denn ein lebender Muskel, der vollständig aus jeder Verbindung mit dem

Körper losgelöst worden ist, vermag noch — wenigstens eine kurze Zeit lang — kräftig zu arbeiten, obwohl ihm kein Blut und überhaupt keinerlei Nahrung zugeführt wird.

Der Muskel besteht — wenn wir von seinem Wassergehalte absehen, der hier nicht in Betracht kommt — der Hauptmasse nach aus Eiweiß. Der frische Muskel besteht daraus zu etwa 21 Procent seines Gewichtes. Die nächstliegende Annahme war daher, dass der Muskel seine Arbeit auf Kosten, vermittels Verbrennung von Eiweiß und zwar seines eigenen Eiweißes leiste. So lehrte es denn auch Liebig, und noch in neuester Zeit hat man als scheinbar unumstößlichen Beweis für diese Ansicht die Thatsache angeführt, dass man einen schwer arbeitenden Hund durch Fütterung mit Eiweiß allein bei Anschluss anderer Nährstoffe dauernd gesund und bei Kräften erhalten kann. Trotzdem ist diese Lehre nicht richtig. Es lässt sich leicht zeigen, dass jedenfalls noch andere Stoffe als das Eiweiß die für die Muskelarbeit erforderliche Energie zu liefern imstande sein müssen, ja dass bei Muskelarbeit überhaupt nicht nothwendig mehr Eiweiß zersetzt wird als bei Ruhe.

Es lässt sich dies dadurch erkennen, dass man die Ausscheidung des gebundenen Stickstoff aus dem Körper bei Ruhe und Arbeit beobachtet. Die Eiweißkörper enthalten nämlich, wie Sie wissen, gebundenen Stickstoff. Bei ihrem Zerfalle geht dieser Stickstoff vollständig in Verbindungen über, welche in den festen und flüssigen Ausscheidungen (Harn und Fäces) den Organismus verlassen. Je mehr Eiweiß zersetzt wird, umsomehr Stick-

stoff wird aus dem Körper ausgeschieden und umgekehrt. Die Stickstoffausscheidung ist also ein untrügliches Maß für die Größe der Eiweißzersetzung.

C. v. Voit war es, der auf diesem Wege zuerst zeigte, dass die Muskelarbeit nicht auf Kosten von Eiweiß geleistet wird. Ein hungernder Hund scheidet genau gleichviel Stickstoff aus bei Ruhe wie bei täglich 8stündiger Arbeit im Tretrade.

Große Berühmtheit hat das Experiment von Fick und Wislicenus erlangt, die gemeinsam das Faulhorn erstiegen und dabei einerseits ihre Arbeit und andererseits ihre Eiweißzersetzung maßen. Sie hatten bei der Ersteigung des Faulhorns ihr Körpergewicht 1956 *m* hoch zu heben. Wislicenus wog 76 *kg*; er hatte daher beim Aufstieg rund 149.000 *kgm* äußere Arbeit zu leisten. Nach Maßgabe der Stickstoffausscheidung zersetzte er dabei 37 *g* Eiweiß. Da jedes Gramm Eiweiß bei der Verbrennung im Körper 4·1 Calorien Wärme liefert, so lieferten die verbrannten 37 *g* 151·7 Calorien, was nur 64.472 *kgm* Arbeit äquivalent ist. Ganz analog fiel der Versuch an Fick aus. Es ergibt sich also schon bei dieser, wie wir gleich sehen werden, oberflächlichen Berechnungsweise, dass die Eiweißzersetzung nicht zur Hälfte hinreichte, um die Arbeit leisten zu können, deren Wärmeäquivalent circa 348 Calorien ausmacht. Dabei ist aber nicht berücksichtigt worden, dass auch beim Abstiege bedeutende Arbeit geleistet werden musste. Es ist ferner nicht berücksichtigt worden, dass es nicht gelingt, die ganze chemische Energie einer Verbindung

bei ihrer Verbrennung in äußere mechanische Arbeit umzusetzen. Stets wird dabei auch reichlich Wärme gebildet. Bei der Dampfmaschine z. B. beträgt der Nutzeffect nur etwa 10% des theoretisch Berechneten. Die menschliche und thierische Muskelmaschine arbeitet damit verglichen viel ökonomischer, aber auch sie vermag nur etwa $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{3}$ der potentiellen Energie in mechanische Arbeit umzusetzen. Die äußere Arbeit von 148.000 *kgm* erforderte daher sicherlich einen Spannkraftverbrauch von mindestens 1045 Calorien, und die beobachtete Eiweißzersetzung vermochte daher nicht viel mehr als ein Siebentel des Bedarfes an potentieller Energie für den Aufstieg allein zu decken.

Ähnliche Ergebnisse sind noch von manchen anderen Forschern erhalten worden. Häufig fehlt jede Spur einer Steigerung der Eiweißzersetzung bei Arbeit verglichen mit Ruhe, ja Dr. Igo Kaup konnte bei Versuchen im hiesigen hygienischen Institute sogar wiederholt Eiweißansatz während der Muskelarbeit nachweisen. Dr. Kaup hat auch nachgeforscht, wie sich die stündliche Stickstoffausscheidung bei Arbeit (Bergbesteigung) verhält, und konnte so zeigen, dass jene auch nicht einmal vorübergehend durch die Arbeit gesteigert zu werden pflegt. Diese Versuche beweisen in entscheidender Weise, dass der Muskel nicht auf Kosten seines Eiweißes arbeitet. Wenn bei einigen Versuchen eine geringe Steigerung des Eiweißzerfalles bei Muskelarbeit nachgewiesen worden ist, so wissen wir, dass dies auf Begleitumstände, wie z. B. Athemnoth zurückzuführen ist.

Wenn also nicht das Muskeleiweiß zersetzt wird, was wird dann bei der Muskelarbeit verbrannt? Von einem Stoffe wissen wir es ganz sicher, und das ist der Traubenzucker.

Im ausgeruhten Muskel findet sich stets ein eigenthümliches, in Wasser unlösliches Kohlenhydrat, die sogenannte „thierische Stärke“ oder das Glycogen. Bei der Arbeit des Muskels verschwindet es. Da es zwischen den feinsten contractilen Muskelfäserchen, den Muskelfibrillen liegt und nicht in ihnen, und da es in Wasser unlöslich ist, muss es zuerst in wasserlöslichen Zucker umgewandelt werden, um in die zuckungsfähige Muskelsubstanz hineingebracht zu werden, wo es dann zersetzt und verbrannt wird. Wir sehen also gleichzeitig mit der Muskelarbeit den Verbrauch des Muskelglycogens eintreten, und wir haben wohl volles Recht, beide Erscheinungen in ursächlichen Zusammenhang zu bringen.

Allerdings reicht das Muskelglycogen nicht hin, um auch nur die gewöhnliche Tagesarbeit eines Handwerkers zu decken. Die Menge Glycogen, welche in der ganzen menschlichen Musculatur im Maximum angehäuft ange-
troffen werden kann, dürfte kaum jemals 150 g übersteigen, womit die Muskelmaschine nur etwa rund 90.000 *kgm* äußere Arbeit zu leisten vermöchte.

Aber es gibt auch noch eine andere Ablagerungsstelle von Glycogen im Körper, nämlich die Leber, und wieder sehen wir, dass bei Körperruhe Glycogen in der Leber angehäuft wird und bei Muskelarbeit aus der Leber schwindet. Auch hier geht das Glycogen zunächst in

Zucker über, um dann durch das Blut dem Muskel zugeführt zu werden. Das Blut führt stets kleine Zuckermengen (circa 0.1%), und aus diesen Zuckermengen wird umgekehrt auch wieder im Muskel und in der Leber Glycogen gebildet, wenn mehr Zucker zugeführt als verbraucht wird. Der Blutzucker selbst ergänzt sich immer wieder; zunächst aus den Kohlenhydraten der Nahrung, in welcher bei gemischter Kost stets reichlich Zucker, beziehungsweise Stärke und andere Kohlenhydrate, die bei der Verdauung in Zucker übergehen, enthalten sind.

Dafür, dass der Zucker, beziehungsweise die Zucker bildenden Kohlenhydrate eine der wichtigsten Energiequellen für die Muskelarbeit darstellen, spricht auch der Umstand, dass schwerarbeitende Volksklassen häufig bei einer Kost leben und gedeihen, die neben großen Mengen von Kohlenhydrat nur sehr kleine Mengen von Eiweiß und Fett enthalten. So leben die wegen ihrer enormen Leistungen berühmten japanischen Laufer fast nur von Reis, die italienischen Erdarbeiter fast nur von Mais (Polenta).

Eines der ausgezeichneten Mittel, die Leistungsfähigkeit ermüdeten Muskel rasch zu steigern, ist die Aufnahme von Zucker, wie alle erfahrenen Touristen und Sportleute wissen. Diese Tatsache ist in neuerer Zeit in exacter Weise von Schumburg durch Versuche am Ergostaten und am Ergographen festgestellt worden. Eine einmalige Gabe von 30 g Zucker in Wasser gelöst, bewirkt binnen kurzer Zeit Erholung, und ich möchte nicht unterlassen, darauf hinzuweisen, dass das Trinken von Zuckerlösung

für sich oder einer mit Citronensäure oder einer geringen Menge einer anderen organischen Säure angesäuerten Zuckerlösung viel mehr erfrischt und viel besser die Leistungsfähigkeit erhöht als der leider so beliebte Genuss von Alcoholicis, welche die Erholung nur vortäuschen, indem sie das Ermüdungsgefühl betäuben.

Die Verbrennung von Zucker bei der Muskelarbeit wird auch noch durch eine andere Thatsache erhärtet, nämlich durch die Erhöhung des sogenannten respiratorischen Quotienten während der Arbeit. Unter dem respiratorischen Quotienten versteht man das Volumenverhältnis zwischen der ausgeathmeten Kohlensäure und dem eingeathmeten Sauerstoff oder, was auf dasselbe hinauskommt, das Verhältnis zwischen der Zahl der ausgeathmeten Kohlensäuremoleküle (CO_2) zu jener der eingeathmeten Sauerstoffmoleküle (O_2). Wie ein Blick auf die Formeln beweist, ist in einem Molekül CO_2 ebenso viel Sauerstoff wie in einem Molekül dieses Elementes O_2 . Wird der eingeathmete Sauerstoff ausschließlich zur Oxydation von Kohlenstoff verwendet, so werden ebensoviele Moleküle CO_2 ausgeathmet, als Moleküle O_2 eingeathmet worden sind. Dies ist der Fall bei der Verbrennung der Kohlenhydrate, die bekanntlich ihren Namen deshalb tragen, weil sie Wasserstoff und Sauerstoff in demselben Verhältnisse wie das Wasser enthalten, nämlich immer auf zwei Atome Wasserstoff ein Atom Sauerstoff, so dass nur so viel Sauerstoff zutreten muss, als zur Überführung des Kohlenstoffes zu Kohlensäure erforderlich ist, um ihre vollständige Verbrennung zu Kohlensäure und Wasser

zu erreichen. Z. B. Zucker $C_6 H_{12} O_6 + 6 O_2 = 6 CO_2 + 6 H_2 O$. Wenn also im Körper ausschließlich Kohlenhydrate verbrennen, wird der respiratorische Quotient gleich 1 werden (Zähler und Nenner gleich groß), während bei der Verbrennung von Eiweiß oder Fett ein Theil des eingeathmeten Sauerstoffes zur Oxydation von Wasserstoff verwendet wird, daher weniger Kohlensäuremolecüle ausgeathmet werden als den eingeathmeten Sauerstoffmolecülen entspricht, und der respiratorische Quotient kleiner als 1 wird. Messen wir nun die eingeathmete Sauerstoff- und die ausgeathmete Kohlensäuremenge bei Ruhe und bei Arbeit und berechnen wir den respiratorischen Quotienten, so finden wir, dass er bei Arbeit zunimmt und sich der Einheit nähert, was somit die Steigerung der Kohlenhydratverbrennung beweist.

Diese Erhöhung des respiratorischen Quotienten durch die Arbeit tritt auch in einem Thiere ein, das ausschließlich mit Eiweiß gefüttert wird. Auch in diesem Falle wird bei Arbeit mehr Zucker verbrannt. Woher stammt der Zucker in diesem Falle?

Aus dem Eiweiß. Wir wissen heute, dass das verfütterte Eiweiß bald nach seiner Aufnahme in die Körpersäfte gespalten wird: in einen stickstoffhaltigen Antheil, aus dem dann weiterhin der Harnstoff und die anderen stickstoffhaltigen Bestandtheile des Harns hervorgehen, und in eine stickstofffreie Verbindung. Von dieser stickstofffreien Verbindung hat man durch lange Zeit wenig bemerkt, weil sie sofort weiter umgewandelt oder verbrannt wird. v. Mering und Minkowski haben aber die merkwürdige

Entdeckung gemacht, dass dieser Stoff vom Thiere nicht mehr umgewandelt und verwertet werden kann, wenn man ihm die Bauchspeicheldrüse (das Pankreas) weggenommen hat. Der unverwertbare Stoff wird dann im Harne ausgeschieden, und nun kann man ihn sammeln und constatieren, dass er Zucker ist. Das pankreaslose Thier scheidet bei Eiweißfütterung davon so große Mengen aus, dass man berechnen kann, dass die Zuckermenge, die bei der Spaltung des Eiweißes gebildet wird, etwa 48⁰/₀ seines Gewichtes ausmacht. Jetzt verstehen wir auch, wieso es möglich ist, dass ein Thier bei ausschließlicher Ernährung mit Eiweiß (Fleisch) dauernd schwere Arbeit zu leisten imstande ist: Der Muskel verbrennt auch in diesem Falle bei seiner Arbeit Zucker; jenen Zucker, der unabhängig von der Arbeitsleistung des Muskels aus dem Nahrungseiweiß abgespalten wird.

Der Zucker scheint im Muskel nicht sofort als solcher verbrannt zu werden. Wenigstens kann man nachweisen, dass im frischen Muskel ein Stoff, ein sogenanntes Enzym (ungeformtes Ferment) vorhanden ist, welches den Zucker unter Bildung von Säure spaltet, und damit stimmt auch, dass der arbeitende Muskel saure Reaction annimmt.

Wir haben also gesehen, dass sowohl bei der Fütterung mit Kohlenhydraten als bei der mit Eiweiß der Muskel bei seiner Arbeit Zucker verbrennt. Es entsteht nun die Frage, ob der Zucker der einzige Brennstoff ist, den der arbeitende Muskel zu verwerten vermag? Einige Forscher, Seegen, Chauveau u. a., haben diese

Annahme gemacht. Aber wie steht es mit den Fetten? Hungernde Hunde werden sehr bald glycogenfrei, indem die kleinen Vorräthe an Glycogen in ihrer Leber und ihren Muskeln bald aufgezehrt sind. Sind die hungernden Thiere fett, so zersetzen sie nur winzig kleine Mengen von ihrem eigenen Körpereiweiß; solche Thiere leben dann fast ausschließlich von dem Fette, das sie in guten Zeiten in ihrem Fettgewebe unter der Haut, im Gekröse u. s. w. aufgespeichert haben. Dabei vermögen die Thiere sehr gut schwere Arbeit zu leisten.

Ganz ähnlich steht es jedenfalls auch beim Menschen, da wir von ihnen bei sehr eiweißarmer, kohlenhydratfreier, fettreicher Kost starke Muskelarbeiten verrichten sehen. Ich habe z. B. einen Jäger gekannt, der tagelang im Hochgebirge herumstrich und dabei ausschließlich Speck verzehrte.

Darüber kann also gar kein Zweifel bestehen, dass auch das Fett für die Muskelarbeit verwertet wird. Es fragt sich nur, ob es direct im Muskel verbrannt wird, oder ob aus ihm wie aus dem Eiweiß zuerst Zucker gebildet und nur dieser zur Muskelarbeit verwertet wird? Dies behauptet Chauveau.

Man muss zugeben, dass die Bildung von Zucker aus Fett im Thierkörper an sich nicht unmöglich ist; durch Oxydation könnte Zucker aus Fett entstehen. Allein wir haben keinen Beweis dafür. Würde dieser Vorgang stattfinden, dann müssten doch die an Zuckerharnruhr (Diabetes) Leidenden und die Thiere, denen man das Pankreas genommen hat, auch bei Fettnahrung Zucker ausscheiden.

Dies ist aber nicht der Fall. Die Frage, ob das Fett im Muskel direct verbrannt wird, oder ob daraus zuerst Zucker gebildet und nur dieser bei der Muskelarbeit verwertet wird, lässt sich übrigens experimentell prüfen.

Man lässt ein Thier eine gemessene Menge äußerer Arbeit verrichten. Berechnet man deren calorischen Wert und multipliciert man diesen mit 3, so erhält man das Minimum der potentiellen Energie, die bei der Arbeit durch Mehrzersetzung, durch Steigerung der Verbrennung im Muskel aufgewendet werden musste.

Von fetten hungernden Thieren oder von reichlich mit Fett gefütterten Thieren wird die Arbeit geleistet, ohne dass dabei die Zersetzung des Eiweißes gesteigert wird. Das ganze für die Arbeit erforderliche Plus von potentieller Energie muss also durch Verbrennung von Fett aufgebracht werden. Bei vollständiger Verbrennung zu Kohlensäure und Wasser liefert 1 g Fett 9·3 große Calorien. Wenn der Muskel auf Kosten des Fettes selbst arbeiten kann, liefert also jedes Gramm Fett dem Muskel ebensoviel potentielle Energie. Muss dagegen aus dem Fette zuerst Zucker abgespalten und kann nur dieser Zucker als Spannkraftquelle vom Muskel verwendet werden, so lässt sich leicht berechnen, dass jedes Gramm Fett, das im Körper zersetzt wird, dem Muskel höchstens 6·6 Calorien zu liefern vermöchte. Nehmen Sie nun an, das Thier müsse 100.000 *kgm* äußere Arbeit leisten. Dazu ist ein Spannkraftaufwand von circa 705 großen Calorien erforderlich. Vermag der ganze Energiegehalt des Fettes für die Muskelarbeit verwertet zu werden, so müssen also

705 : 9·3 = 76 g Fett mehr verbrannt werden als bei Ruhe; liefert aber jedes Gramm Fett dem Muskel nur 6·6 Calorien, dann müssen um $705 : 6·6 = 107$ g Fett mehr verbrannt werden. Jedes Gramm Fett braucht zu seiner Verbrennung rund 2 l Sauerstoff. Werden also nur 76 g Fett mehr verbrannt, so wird die Sauerstoffzehrung um 152 l steigen; steigt die Fettverbrennung um 107 g, so muss sich die Sauerstoffzehrung um 214 l vergrößern. Sie sehen, das ist ein bedeutender Unterschied: 62 l Sauerstoff, und es muss daher möglich sein, die Frage zu entscheiden, wenn man feststellt, um welche Größe der Verbrauch des eingeathmeten Sauerstoffes; verglichen mit der Ruhe, steigt, wenn man das Thier eine größere Menge Arbeit leisten lässt.

Der Versuch entscheidet gegen Chauveau. Der Sauerstoffverbrauch steigt nur um so viel, als der vollen Ausnützung des Energievorrathes des Fettes für die Muskelarbeit entspricht. Der Muskel vermag also bei seiner Arbeit ebenso gut Fett als Zucker zu verbrennen.

Diese Thatsache ist allerdings auffällig genug, wenn man bedenkt, wie verschiedenartig die chemischen Reactionen sind, die einerseits behufs Spaltung und Verbrennung des Zuckers und andererseits behufs der des Fettes eingeleitet werden müssen.

Da gibt es noch viel aufzuklären. Insoferne ist aber bei dieser Fettzehrung des arbeitenden Muskels nichts räthselhaft, als wir wissen, dass im Muskel, und zwar in seiner Faser selbst, Fett vorhanden ist und als wir wissen, dass im Körper beständig Fett durch das Blut trans-

portiert wird, so dass also für Nachschaffung von Fett als Ersatz für das Verbrauchte gesorgt ist. Nach neuesten Versuchen von E. Bogdanow scheint es auch, als ob man imstande wäre, den Fettverbrauch bei der Arbeit unmittelbar durch Analyse des ruhenden und des arbeitenden Muskels nachzuweisen.

Überblicken wir nun die Ergebnisse unserer Erörterungen, so finden wir: Der Muskel verbraucht bei der Arbeit nicht seine eigene organische Eiweißsubstanz. Er verbrennt bei seiner Arbeit stickstoffreies Materiale. Es gilt also der von Fick formulierte Satz: „Der Muskel ist eine aus Eiweiß gebaute Maschine, die durch stickstoffreies Brennmaterial geheizt wird.“ Welches Brennmaterial verbrannt wird, ist bis zu einem gewissen Grade gleichgiltig und hängt von äußeren Umständen ab, geradeso wie man einen Ofen mit Holz oder mit Kohle oder mit Coaks heizen kann. Werden genug Kohlenhydrate oder Eiweißkörper gefüttert, so arbeitet der Muskel auf Kosten von Zucker. Dieser Zucker kann entweder als solcher verzehrt oder durch die Verdauungssäfte aus anderen Kohlenhydraten gebildet oder aus dem Eiweiß abgespalten worden sein. Wird Fett gefüttert oder muss der Organismus von seinem eigenen Fette leben, so arbeitet der Muskel mit Fett.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1901

Band/Volume: [41](#)

Autor(en)/Author(s): Gruber Max von

Artikel/Article: [Die Quelle der Muskelkraft. 385-405](#)