

**Arbeiter-Bildungsschule Berlin.**

**Bibliothek-Ordnung.**

1. Die Bibliothek kann von jedem Mitgliede, das sich durch sein Mitgliedsbuch legitimiert, zu den im Schul-Lokale bekannt gegebenen Zeiten benutzt werden.

2. Es wird an eine Person zeitweilig nur ein Band verliehen. Ausnahmen sind in besonderen Fällen gestattet.

3. Die Bücher werden auf die Dauer von zwei Wochen unentgeltlich ausgegeben. Für jede weitere Woche ist ein Strafgeld von 5 Pf. zu entrichten, wenn dem Mitgliede nicht Verlängerung der Leihfrist, die zweimal auf weitere zwei Wochen ausgedehnt werden kann, gewährt worden ist. Wenn ein Mitglied um die Verlängerung nicht nachgesucht hat und trotz ausdrücklicher mündlicher oder schriftlicher Aufforderung das Buch nicht zurückliefert, so wird dieses abgeholt, wofür von dem Entleiher ein Strafgeld von 50 Pf. zu entrichten ist. Die Straf gelder werden zur Vervollständigung der Bibliothek benutzt.

4. Der Entleiher ist für das von ihm entliehene Buch verantwortlich und hat für eine etwaige Beschädigung oder für den Verlust des Buches vollen Ersatz zu leisten. Jedes Buch ist daher beim Empfang von dem Entleiher auf seine Vollständigkeit hin zu prüfen.

5. Jedes einzelne Buch wird nur gegen einen in allen Teilen richtig ausgefüllten Bestellschein ausgeliehen. Bei der Rücklieferung des Buches wird der Bestellschein durch einen Stempelaufdruck „Erledigt“ entwerter. Der Bestellschein bleibt behufs statistischer Erhebungen im Besitz der Schule.

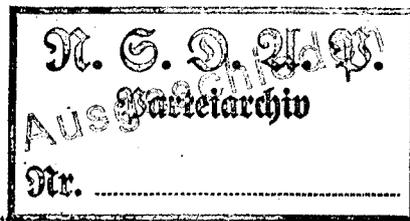
**Der Vorstand.**

**Was das Buch spricht!**  
Ich gehe als guter Freund des Menschen von Hand zu Hand; darum handle mich gut, schone mich, schlage mich sorgfältig ein und behalte mich nicht länger, als du mich brauchst.

# Die Arbeit der Muskeln

Von

Dr. Alexander Lipschütz



Stuttgart

Verlag von J. G. W. Dietz Nachf. G. m. b. H.

1912

2619

A40905

Alle Rechte vorbehalten.

k 3289 FES 22.07.75

**Bibliothek  
der Friedrich-Ebert-Stiftung**

Druck von F. G. W. Diez Nachf. G. m. b. H. in Stuttgart.

Meinem hochverehrten Lehrer  
**Professor Max Verworn**  
in innigster Dankbarkeit  
gewidmet

## Inhalt.

	Seite
Vorwort . . . . .	7
I. Die Muskeln unseres Körpers und ihr Bau . . . . .	9
II. Die Verkürzung der Muskeln . . . . .	20
III. Muskeln und Nervensystem . . . . .	32
IV. Der Stoffwechsel der Muskeln . . . . .	44
V. Die Muskelmaschine . . . . .	63
VI. Die Ermüdung der Muskeln . . . . .	72

---

## Vorwort.

Beim Turnen in der Schule zeigten mir meine Kameraden ihre „Muskeln“, wobei sie den Arm kräftig beugten, daß der Oberarm dick anschwell. Dann fühlte ich hin, um mich von der guten Qualität der „Muskeln“ zu überzeugen. Es war mir schwer, herauszufinden, wo denn die „Muskeln“ steckten. Ich fühlte etwas Hartes über dem Oberarm und fragte, ob das, was sich wie eine harte Nuß oder eine Birne anfühle, die „Muskeln“ wären. Ja, sagten mir dann triumphierend die Jungen, das seien die „Muskeln“, die bei ihnen so kräftig wären, und lachten mich aus, weil ich überhaupt „keine Muskeln“ hätte.

Erst viel, viel später erfuhr ich, daß „Muskeln“ Fleisch sind, daß ich zu Mittag Muskeln esse usw. Ich war schon längst aufs Beste über die verschiedenen Herrscherdynastien der Tataren, über die Geschichte der Kreuzzüge und über die Städtenamen in Südamerika orientiert, als ich zum erstenmal wirklich etwas von den Muskeln erfuhr.

Wie vielen mag es ebenso ergangen sein wie mir!...

Der Zweck dieses Bändchens ist, das Verständnis weiterer Kreise für die Vorgänge, die die Muskelarbeit ausmachen, zu vertiefen. Nicht darauf kam es mir an, alle Dinge, die auf die Muskelarbeit Bezug haben, mit peinlicher Genauigkeit zu beschreiben, Dinge, die der Leser mit absoluter Sicherheit bald vergessen hat. Es galt für mich, bloß diejenigen Momente über Bau und Tätigkeit der Muskeln herauszugreifen, deren Kenntnis die notwendige Grundlage für ein tieferes Verständnis der Arbeitsleistung der Muskeln abgibt.

Zur größten Genugtuung würde es mir gereichen, wenn das Büchlein sich Freunde auch in den Kreisen derjenigen erwerben würde, die den Turnsport üben. Nicht etwa, weil das Büchlein geeignet wäre, ihnen praktische Winke für den Turnsport zu geben. Das soll es gar nicht. Aber es scheint mir, daß es das Prinzip der populären Wissenschaft sein müßte, die Darstellung eines speziellen

Wissensgebiets, das einem bestimmten Kreis gerade besonders nahe liegt und für das ein spezielleres Interesse voranzusetzen ist, stets als willkommene Gelegenheit zur Vermittlung allgemeiner wissenschaftlicher Erkenntnis zu benutzen. So ist es in der vorliegenden Darstellung der Muskelarbeit mit Bezug auf die allgemeinen Grundlagen der Lehre vom Leben geschehen.

Das vorliegende Bändchen ist aus Artikeln hervorgegangen, die ich vor bald zwei Jahren in der „Arbeiter-Turnzeitung“ veröffentlicht habe. Die Artikel haben für die Buchausgabe eine durchgreifende Bearbeitung erfahren und sind mit Abbildungen versehen worden.

Für eine lebenswürdige Durchsicht des Bändchens und zahlreich erteilte Ratsschläge spreche ich auch an dieser Stelle Herrn Professor Bertworn meinen besten Dank aus.

Bonn, Februar 1912.

**A. Lipschütz.**

## I. Die Muskeln unseres Körpers und ihr Bau.

Jedermann weiß, daß die verschiedenartigen Leistungen unseres Körpers von verschiedenen Organen ausgeführt werden: es herrscht im Körper eine Arbeitsteilung, wie etwa in einem Verein, einer Fabrik, einem Staate. Da ist die Lunge mit ihrem eigenen Blutkreislauf, die unseren Körper mit Luft zu versorgen hat, der Magen und der Darm mit ihren vielen Drüsen, die die Speisen zu verdauen haben, die Nieren mit der Harnblase, um die Abfuhr der Schlacken aus dem Körper zu besorgen, das Herz, das das Blut durch den Körper pumpt, die Sinnesorgane, wie Auge, Ohr, Nase und Zunge, um zu sehen, hören, riechen und schmecken, das Gehirn, um zu denken. Es sind gefonderte Systeme von Organen, die ihrer eigenen Arbeit obliegen.

Ein für sich gefondertes System von Organen bilden auch die Muskeln. Ihre spezielle Aufgabe ist, mechanische Arbeit zu leisten, das heißt durch Zug oder Druck Massen zu verschieben. Denken wir zunächst an Arm und Hand, die von Muskeln regiert werden: mit Hilfe der Arme und Hände heben wir Lasten und verrichten wir die verschiedensten Arbeiten.

Wie wird nun der Zug, der die Arbeitsleistung der Muskeln ausmacht, erreicht? Durch Zusammenziehung, durch Verkürzung der Muskeln. Da gehen wir am besten von einem Beispiel aus. Auf unserer Figur 1 sind die Knochen des Armes dargestellt: Oberarm, Vorderarm und Hand. Von den Muskeln sind alle weggeschnitten, mit Ausnahme eines einzigen, der vom Oberarm zum Vorderarm geht. Nun denken wir uns, der Muskel habe sich verkürzt, wie etwa ein gedehntes Gummiband sich zusammenzieht, wenn wir es an den Enden loslassen. Dann wird der Vorderarm gehoben werden, er wird im Ellbogengelenk gebeugt werden. Der Vorderarm — und eventuell die auf der Hand ruhende Last — werden entgegen

ihrer Schwere gehoben: der Muskel hat mechanische Arbeit geleistet, indem er durch seine Verkürzung einen Zug auf einen beweglichen Körperteil ausgeübt und so diesen Körperteil und die auf ihm ruhende Last verschoben hat.

Nun wollen wir uns aber nicht an einem Beispiel genügen lassen und die wirklichen Muskeln sehen. Da müssen wir einem toten Tiere oder einer menschlichen Leiche zunächst die Haut abziehen. Dann liegen die Muskeln frei, nur mit dünnen „Binden“, feinen durchsichtigen Häutchen bedeckt. Bei fetten Personen liegt unter der Haut noch das stark entwickelte Fettgewebe. Wir sehen die Muskeln als maffige Körper um das Skelett herum lagern. Ein ganzes Gewirr von Muskeln, die einander kreuzen,

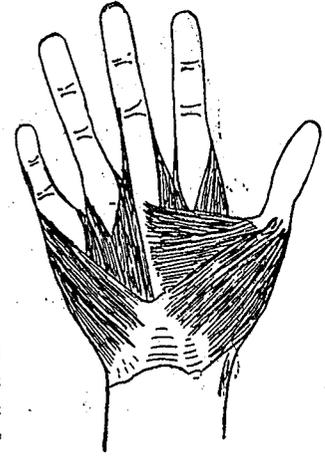


Figur 1. Schema von Oberarm, Vorderarm und Hand. Vom Oberarm zum Vorderarm verläuft ein Muskel, der bei seiner Verkürzung den Vorderarm, welcher im Ellbogen beweglich ist, hebt. O Oberarm, V Vorderarm, H Hand, E Ellbogen, M Muskelbauch, S<sub>1</sub> sehniger Ursprung des Muskels am Oberarm, S<sub>2</sub> sehniger Ansatz des Muskels am Vorderarm; L Last, die in der Hand gehalten wird. (Nach Munk, Physiologie des Menschen.)

bedecken, die in verschiedensten Richtungen verlaufen und die verschiedenartigsten Formen haben. Halten wir uns zunächst an die Muskeln des Armes. Da verlaufen ein großer Muskel vom Schultergürtel zum Oberarm, mehrere Muskeln vom Oberarm zum Vorderarm, von diesem wieder mehrere zur Hand. Die einzelnen Knochen der Finger sind wieder miteinander durch Muskeln verbunden. Stets verläuft der Muskel so, daß der „Bauch“ des Muskels an beiden Enden Sehnen hat, mit denen er an den Knochen befestigt ist (vgl. Figur 1 M).

Was wird nun dadurch erreicht, daß die Muskeln so

von Knochen zu Knochen hinübergreifen? Da müssen wir wieder an unser Beispiel in Figur 1 anknüpfen: die Knochen werden bei der Verkürzung der an ihnen angreifenden Muskeln gegeneinander verschoben. Da nun die Knochen in den Gelenken nach verschiedenen Richtungen bewegt werden können, so werden, je nachdem der angreifende Muskel in der einen oder anderen Richtung zieht, die Knochen und Knöchelchen des Skeletts die verschiedenartigsten Bewegungen machen. Man denke andietausend sich überstürzenden Griffe der Finger eines Geigenkünstlers. Von den zahlreichen kleineren Muskeln der Hand und der Finger, die in mehreren Schichten übereinanderliegen (Fig. 2), tun sich einige zusammen, um mehrere Finger gleichzeitig auf eine Saite der Geige drücken zu lassen. Nach einem Moment schon haben die Finger die Saite losgelassen, um hochgehalten zu werden, während nur noch ein einziger Finger auf der Saite liegt... Oder ein Statuato des Geigenkünstlers, wo in wilder überstürzender Hast die Finger im Wirbelkang über die Saiten fliegen...



Figur 2. Hand mit Muskeln. Man sieht die vielen sich überkreuzenden kleinen Muskeln, durch deren Verkürzung die vielgestaltigen Bewegungen der Finger bedingt werden. Die auf der Abbildung dargestellten Muskeln bilden mit einem kleinen Teil der Muskeln, die in Wirklichkeit in sehr großer Anzahl an den Fingern angreifen und in vielen Schichten von Muskeln und Sehnen auf Hand und Fingern gelagert sind. (Nach Gegenbaur, Anatomie des Menschen.)

Aber die Muskeln greifen nicht bloß an den Knochen an, um sie in ihren Gelenken gegeneinander zu bewegen. Sie greifen auch an der Haut an. Zum Beispiel die Muskeln des Gesichts (Figur 3). Da verlaufen verschiedene kleine Muskelchen von den Kopfknochen zur Haut, andere sind ganz unmittelbar unter der Haut gelegen. Wenn solche Muskeln sich verkürzen, dann werden

sie an der Haut zerran. Die Haut wird gereckt werden, sich in tiefe Falten legen, sich runzeln, je nach dem jeweiligen Spiel der Muskeln. Wenn ein Muskel ring-



Figur 3. Muskeln des Gesichts. Die Haut des Kopfes ist entfernt. Man sieht nur die oberflächlich gelegenen Muskeln. 1 Muskel zum Runzeln der Stirn; 2 ringförmiger Muskel zum Schließen des Augenpalms; 3 ringförmiger Muskel zum Schließen des Mundes; 4 oberer Ohrmuskel (er spielt beim Menschen eine nur geringe Rolle, dagegen eine große Rolle bei den Tieren, die ihre Ohren „spitzen“); 5 Muskel zum Beugen des Kopfes; 6 großer Halsmuskel tritt unter der Haut, beim Menschen sehr dünn und bedeutungslos, stärker bei den Tieren entwickelt, wo er zur Bewegung der Haut dient; 7 Lachmuskel, der bei seiner Verkürzung die Mundwinkel zum Lachen verzieht; 8 Kaumuskel, der den beweglichen Unterkiefer gegen den Oberkiefer bewegt, zum Beispiel beim Kauern, beim Zusammenpressen der Zähne; 9 Muskel zum Heben der Oberlippe; 10 Muskel zum Herabziehen der Unterlippe. Hinten am Hals die Halsmuskeln, die den Kopf bewegen helfen. (Nach Rauber, Anatomie des Menschen.)

förmig um einen Spalt gelagert ist, wie zum Beispiel der Muskel, der in den Augenlidern sich ausbreitet, oder der Muskel, der an der Haut um die Rippen herum an-

greift, so wird bei seiner Verkürzung die vorhandene Spaltöffnung verengert werden. Dem Muskel, der um unferne Rippen gelegen ist, gebührt insofern eine sehr große Achtung, als er beim Zustandekommen des Russes eine wichtige Rolle spielt.

Während die Muskeln, die an den Knochen angreifen, stets massige, dickbäuchige Muskeln sind, die, wie es sich ja für sie gehört, große Kraftleistungen aufweisen können, sind die Muskeln, die an der Haut angreifen, wie zum Beispiel die Gesichtsmuskeln, flach und dünn. In flacher Schicht kommen nur noch die großen Muskeln vor, die die Wand des Leibes bilden, und schließlich das Zwerchfell. Die Muskeln der Bauchwand sind wie dehnbare Tücher unter der Haut über der Bauchhöhle ausgespannt. Das Zwerchfell ist gleichsam ein kuppelförmig und sehr locker ausgespanntes Tuch, das Brusthöhle und Bauchhöhle der Quere nach voneinander trennt. Ringsherum wird das Zwerchfell unbeweglich festgehalten. Was geschieht nun, wenn die Muskelfasern des kuppelförmigen Zwerchfells sich zusammensziehen? Die Kuppe wird abgeflacht, und dadurch wird ein Druck auf die darunter liegenden Baucheingeweide ausgeübt. Dieser Druck trägt dazu bei, den Inhalt aus den Bauchorganen — den Kot aus dem Mastdarm, den Harn aus der Harnblase, die Frucht aus der Gebärmutter — auszutreiben.

Auch die Zunge ist ein massiges Muskelorgan. Beim Essen und beim Sprechen verändern wir durch Zusammenziehung der verschiedenen Muskeln, die die Zunge zusammensetzen, Stellung und Form der Zunge, um die Nahrung im Munde herumzuschieben oder die Lautbildung zu unterstützen. Auch die Muskeln des Kehlkopfes beteiligen sich an der Lautbildung.

Insgesamt machen die Muskeln zwei Fünftel unseres Körpergewichtes aus. Ein erwachsener Mann, der im Durchschnitt 70 Kilo wiegt, hat 28 Kilo Muskeln. So bilden die Muskeln das massigste Organsystem unseres Körpers.

Die Muskeln, die gewöhnlich in trauter Nachbarschaft zusammenliegen, sind voneinander durch ein lockeres Gewebe, das man als „Bindegewebe“ bezeichnet, getrennt.

In diesem lockeren Gewebe verlaufen die größeren Blutgefäße (Adern) und die größeren Nervenstämmе, die zu den Muskeln hinziehen.

Nun müssen wir aber auch wissen, wie ein Muskel aufgebaut ist.

Wir erwarten, daß der Muskel wie jedes andere Organ unseres Körpers aus Zellen zusammengesetzt ist. Wir bringen ein Stückchen vom Muskel unter das Mikroskop

(Figur 4). Zu unserem großen Erstaunen sehen wir hier keine Zellen. Bloß dünne Fäserchen, zwischen denen viele kleine längliche Kerne herumliegen. Die dünnen Fäserchen sind zu größeren Bündeln, die man Muskelfasern nennt, vereinigt. Die einzelnen Muskelfasern sind von einem dünnen, durchsichtigen Häutchen bedeckt, in dem die Faser gleichsam in einem Schlauche liegt. — Da haben wir also ein Organ entdeckt, das nicht aus Zellen zu bestehen scheint. Und darob unser Erstaunen, denn wir



Figur 4. Eine Muskelfaser. Mehrere hundertmal mit dem Mikroskop vergrößert. Wei \* ist die Muskelfaser in einzelne Fibrillen (Fäserchen) zerfallen, die man auch weiter nach unten in der Muskelfaser verfolgen kann. Die Faser zeigt eine Querstreckung. In der Faser zerstreut liegen die Muskelkerne. Von außen das durch eine buntere Linie angebeutete Muskelhäutchen. (Nach Stöhr, Histologie — verändert.)

wissen, daß alles Lebendige aus Zellen besteht. Aber die Forschung hilft uns aus unserem Staunen heraus. Denn die Entwicklungsgeschichte, welche die allmähliche Herausbildung der Muskelfasern zeigt, sind die Muskelfasern noch nicht da: studiert, hat gezeigt, daß die Muskelfasern richtige Zellen sind. Wenn der Keim noch ganz im Anfang seiner Entwicklung steht, sind die Muskelfasern noch nicht da: da sind sie noch Zellen wie alle anderen auch — ein kleiner Zellkörper mit einem Zellkern darin. Mit dem Fortschreiten der Entwicklung wachsen die Muskelzellen in die Länge, teilen sich aber nicht, wie es bei anderen Zellen geschieht. Nur ihre Zellkerne teilen sich. Und so werden die Muskelzellen zu langgestreckten Zellen, in

denen viele Kerne zu liegen kommen. Die Länge der Muskelzellen oder Muskelfasern kann schließlich mehr als 20 Zentimeter betragen, wie zum Beispiel die Muskelfasern der längeren Beinmuskeln. Aber auch sonst erfährt der Zellkörper der Muskelzellen eine große Veränderung: er zerfällt allmählich, wie man annehmen muß nach tiefgreifenden Veränderungen in seiner stofflichen Zusammensetzung, in dünne Fäserchen — jede langgestreckte Muskelzelle ist nun zu einem kleinen Bündel dünner Fäserchen (Fibrillen) geworden, zwischen denen hin und wieder die Kerne zu liegen kommen.

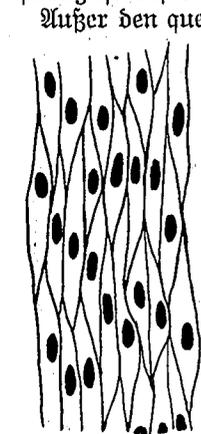
Aber damit nicht genug. Die Muskelfäserchen erfahren noch weitere Veränderungen. Die langgewachsenen Fasern sind der Quere nach in dünne Scheiben zerfallen. Betrachtet man eine Muskelfaser, wie man das Fäserchenbündel nennt, unter dem Mikroskop, so sieht man sie quergestreift, wie man eine Geldrolle quergestreift sieht (Figur 4).

Durch geeignete Hilfsmittel kann man die Muskelfaser in ihre Fibrillen und die Fibrillen in die sie zusammensetzenden Scheiben auflösen. Man entnimmt einem eben getöteten Tier ein ganz kleines Stückchen aus einem Muskel und bringt es unter das Mikroskop. Tropft man etwas Essigsäure hinzu, so zerfallen die einzelnen Muskelfasern in die sie zusammensetzenden Fibrillen. Zu einem anderen unter das Mikroskop gebrachten Muskelstückchen geben wir etwas Lauge hinzu: die Fibrillen der Muskelfasern zerfallen dann in die Querscheiben.

Viele Muskelfasern sind wieder zu größeren Bündeln vereinigt, zwischen denen Bindegewebe gelegen ist. In dem Bindegewebe verlaufen die Blutgefäße und Nerven. Sie treten von außen aus dem Bindegewebe, das die einzelnen Muskeln voneinander trennt (siehe oben), an den Muskel heran, verzweigen sich zunächst in dem Bindegewebe, das die größeren Muskelbündel umgibt, dann wieder zwischen den einzelnen Muskelfasern, und so entsteht ein ganzes Netz von feinsten Blutgefäßen. So bahnen sich die Blutgefäße und die Nerven ihren Weg zu den einzelnen Fasern (Figur 5).

Die rote Farbe der Muskeln rührt nur zum Teil von den eng verzweigten Blutgefäßen in ihnen her. Die Muskelfasern sind nämlich selber durch einen roten Farbstoff gefärbt.

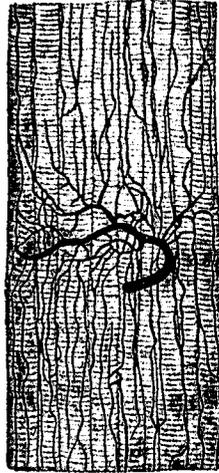
Wir haben bisher von Muskeln schlechtweg gesprochen. Das ist aber nicht ganz richtig, denn die Muskeln, die wir bisher betrachtet, bilden nur einen Teil der gesamten Muskelmasse des Körpers, allerdings den größeren, und denjenigen, der ein gesondertes Organsystem im Körper bildet. Wir haben bisher nur die Muskeln besprochen, deren Fasern, wie wir gesehen haben, quergestreift sind, und die man daher die quergestreiften Muskeln nennt.



Figur 6. Glatte Muskelzellen. Man sieht die spindelförmigen Zellen. In der Mitte jeder Zelle der längliche Kern. Die Zellen sind in großer Anzahl nebeneinander gelagert.

Außer den quergestreiften Muskeln gibt es aber noch eine andere Muskelgruppe, deren feinerer Aufbau ganz anders geartet ist. Diese Muskeln bestehen aus einfachen Zellen. Es sind mikroskopisch kleine, länglich gestreckte Zellen, die die Form einer Spindel haben (Figur 6). In der Mitte, wo die Spindel am breitesten ist, liegt der Zellkern. Da hier die Querstreifung der Muskelzellen fehlt, nennt man diese Gruppe von Muskeln die glatten Muskeln.

Die glatten Muskelzellen nehmen am Aufbau fast aller Organe unseres Körpers teil. Sie bilden in nicht allzu dicker Schicht, Zelle an Zelle in gewaltiger Anzahl aneinander gelagert, die äußere Schicht des Magens und des Darmes. Sie machen



Figur 5. Blutgefäße des Muskels. Mit dem Mikroskop vergrößert. Man sieht ein Blutgefäß in den Muskel eindringen und sich in ein ganzes Netz kleinster Blutgefäße auflösen, die zwischen den einzelnen Muskelfasern verlaufen. (Nach Nauber.)

das ganze Verdauungrohr zu einem Muskelschlauch. Sie bilden die äußere Schicht der Harnleiter, die als Röhren den Harn von den Nieren zur Harnblase leiten. In etwas mächtigerer Schicht bilden sie die äußeren Wandungen der Harnblase.

Auch der Samenleiter, der die Samenzellen aus den Hoden in die Harnröhre führt, ist von einer Schicht glatter Muskelzellen umringt. Ebenso der Eileiter, der die Eizellen aus den Eierstöcken in die Gebärmutter leitet.

Die Gebärmutter selber ist ein massiger, hohler Muskel, der durchweg aus glatten Muskelzellen besteht. Interessant ist es, daß in der Schwangerschaft, wo die Gebärmutter so gewaltig an Größe zunimmt und die unaufhörlich wachsende Frucht beherbergt, die Muskelzellen sich verlängern und größer werden, so daß sie ihre normale Größe um das Zehn- bis Zwölffache überragen. Nach Ausstoßung der Frucht bilden sie sich wieder zu kleinen Muskelzellen zurück.

Auch in den Wandungen sämtlicher Blutgefäße finden wir in großer Menge glatte Muskelzellen. Auch in der Haut, wo sie kleine Muskelbündel bilden, die an den Haarbälgen angreifen. Auch die Ausführungsgänge aller Drüsen haben in ihren Wandungen glatte Muskelzellen.

Einen Anteil nehmen die glatten Muskeln auch am Aufbau des Auges. Sie bilden hier den Muskel, der die Verengerung und Erweiterung der Pupille bewirkt.

Unter den quergestreiften Muskeln nehmen an Zahl die massigen Muskeln des Skeletts die erste Stelle ein. Der Muskel, die, wie z. B. der oben erwähnte Ringmuskel des Mundes, in flacher Schicht auftreten und an der Haut angreifen, um ihrer Verschiebung dienlich zu sein, gibt es unter den quergestreiften nur wenige. Dagegen bilden die glatten Muskelzellen in der Mehrzahl der Fälle flache Schichten, indem sie, wie wir gesehen haben, die äußere Umkleidung hohler, schlauchförmiger Organe zusammensetzen — der Speiseröhre, des Magens, des Darmes, der Harnleiter, der Ei- und Samenleiter, der Harnblase und der Blutgefäße. Nur in der Gebärmutter ist die Schicht der glatten Muskeln sehr mächtig, aber auch hier umschließen sie einen

Hohlraum, die Höhle der Gebärmutter. Als solide Massen spielen die glatten Muskeln eine nur geringe Rolle: als sehr dünne Muskelbündel, die an den Haarbälgen der Haut angreifen und die Haare aufrichten (Gänsehaut!).

Wenn wir uns vorhalten, daß die glatten Muskeln in anderer Weise angeordnet sind als die quergestreiften, daß sie vorzüglich die Wandschichten von Hohlorganen bilden und nicht an den Knochen angreifen, so werden wir verstehen, daß ihre Arbeitsleistung sich in anderer Weise abspielt als bei den quergestreiften Muskeln. Die letzteren bedingen die Verschiebung von Körperteilen oder von Lasten gewöhnlich durch Zug an den betreffenden beweglichen Knochen. Dagegen wird, wenn sich die Muskelzellen in den Wandungen von Hohlschläuchen verkürzen, wo sie durch die ganze Länge des Schlauches hindurch sozusagen fortlaufende Ringmuskeln bilden, eine Verengung der Richtung der Hohlräume zustande kommen. Dadurch wird der Inhalt dieser Hohlräume in Bewegung gesetzt, herausgetrieben. Man kann sich leicht eine Vorstellung von der Tätigkeit der glatten Muskeln in den Wandungen der Hohlorgane machen, wenn man einen mit Wasser gefüllten Gummischlauch an einem Ende festhält und dann seiner Länge nach allmählich zusammendrückt: das Wasser wird herausgetrieben. Das ist auch die Rolle, die der glatten Muskulatur im Getriebe der Leistungen unseres Körpers zukommt: die Zusammenziehungen der Wandmuskulatur der Speiseröhre, des Magens und des Darmes bewirken ein Vorwärtstreiben der aufgenommenen Nahrung; die Wandmuskulatur der Harnleiter preßt den aus der Niere fließenden Harn in die Blase; die Wandmuskulatur der Eileiter bringt die aus den Eierstöcken kommende Eizelle in die Gebärmutter, die Samenleiter befördern durch die Zusammenziehung ihrer Wände die Samenzellen in die Harnröhre. Durch die Zusammenziehung der Wandmuskeln der Harnblase wird der Harn nach außen gepreßt; durch die Tätigkeit der Wandmuskulatur der Gebärmutter wird die reife Frucht ausgestoßen.

In den wenigen Fällen, wo die glatten Muskeln Ringmuskeln bilden, verengern sie den durch sie gebildeten

Spalt, wie das in derselben Weise für die wenigen quergestreiften Ringmuskeln gilt. Als einen glatten Ringmuskel haben wir schon den genannt, der durch seine Zusammenziehung die Verengung der Pupille bewirkt. Weitere glatte Ringmuskeln sind gelegen am Eingang der Speiseröhre in den Magen, beim Übergang des Magens in den Darm, am Ende des Darmes (am After, wo nebenbei noch ein quergestreifter Ringmuskel mit tätig ist) und beim Übergang der Harnblase in die Harnröhre. Indem sie durch ihre Zusammenziehung eine Verengung eines Spaltes, einer Öffnung eines Hohl Schlauchs bedingen, wirken sie als Schließmuskel, sie schließen die Hohlräume voneinander oder nach außen ab.

Noch eines Muskels im Körper müssen wir gedenken, dessen Zellen in ihrer Form wie von den glatten, so auch von den quergestreiften Muskelzellen abweichen. Das ist der Herzmuskel, das Herz. Die Muskelzellen des Herzens sind quergestreift, bilden aber keine langen Fasern, sondern kleine zylindrische Zellen, die etwas kleiner sind als die glatten Muskelzellen. Jede Zelle hat, wie es auch bei den glatten Muskelzellen der Fall ist, nur einen Kern. Bei manchen niederen Wirbeltieren, zum Beispiel beim Frosch, haben die Herzmuskeln auch die spindelförmige Gestalt der glatten Muskelzellen, nur daß sie quergestreift sind. Aus alledem ist die enge Verwandtschaft der Herzmuskelzellen mit den glatten Muskelzellen ersichtlich.

## II. Die Verkürzung der Muskeln.

### A. Die Verkürzung der quergestreiften Muskeln. B. Die Verkürzung der glatten Muskeln.

Wir haben uns in dem vorhergegangenen Abschnitt in schnellen Zügen orientiert über den Bau der Muskeln, über ihre Verbreitung im Körper, darüber, wie durch die verschiedene Anordnung und Lagerung gleichartig gebauter Muskeln die groben Leistungen derselben verschiedenartig ausfallen, daß die Muskeln dadurch einmal zu Lastenhebern werden, wie etwa die Muskeln der Arme, das andere Mal als Schließmuskel dienen, wie zum Beispiel der quergestreifte Ringmuskel des Mundes, der glatte Ringmuskel des Magenein- und -ausganges, das dritte Mal Lasten verschieben oder herauserschleudern, wie der Muskelschlauch des Darmes oder die Wandmuskulatur der Harnblase und der Gebärmutter.

Über die Art und Weise, wie die Muskeln arbeiten, haben wir nur gesagt, daß ihre Leistungen bedingt werden durch Verkürzung der Muskeln. Wir wollen uns nun fragen, wie die Verkürzung der Muskeln zustande kommt und wie sie abläuft.

Bei der Erforschung der Muskelaktivität hat sich nun gezeigt, daß zwischen den quergestreiften und glatten Muskeln in der Art und Weise, wie die Verkürzung zustande kommt und abläuft, sehr wichtige Unterschiede bestehen. Wir müssen uns daher mit der Verkürzung der quergestreiften und glatten Muskeln gesondert befassen.

### A. Die Verkürzung der quergestreiften Muskeln.

Um die Verkürzung der quergestreiften Muskeln zu studieren, haben die Forscher Muskeln aus eben getöteten Tieren herausgeschnitten und an ihnen die Untersuchungen angestellt. Als gewöhnliches Versuchstier dient hier der Frosch, dessen Organe sehr widerstandsfähig sind, nicht so schnell verändert werden, wenn sie aus dem Körper des Tieres herausgeschnitten werden. Dagegen sterben die

Organe von Warmblütern, wie zum Beispiel des Kaninchens, sobald sie aus dem Körper herausgeschnitten sind, sehr bald ab und sind darum für Untersuchungen an ihnen nicht sehr geeignet. Man zieht im Laboratorium darum den Frosch vor, der heute das Haustier der Physiologen, die den Erscheinungen des Lebens nachspüren, geworden ist.

Normalerweise kommt zum Muskel ein Reiz oder ein Impuls vom Nervensystem, der ihn zur Zusammenziehung, zur Verkürzung veranlaßt. Wir „wollen“ den Arm strecken, bedeutet, daß in den Zellen unseres Gehirns gewisse Veränderungen vorgehen, die sich auf das Rückenmark und die zu den Armmuskeln führenden Nerven und auf den Muskel selbst fortpflanzen. Diesen normalen Impuls, der vom Gehirn auf dem Wege des Nerven zum Muskel geht, wollen wir nun im Versuch nachahmen. Wir wollen dann sehen, wie der Muskel die Impulse beantwortet.

Wir schneiden uns für den Versuch aus einem eben getöteten Frosch einen großen Beinmuskel heraus, an dem wir den Nerv hängen lassen. Wie sollen wir aber den normalen Impuls nachahmen? Da müssen wir uns zunächst darüber klar sein, was der normale Impuls ist. Wir haben gesagt, daß seien gewisse Veränderungen in den Nervenzellen, die sich auf den Nerv, der eine Fortsetzung der Nervenzellen ist, fortpflanzen. Also eine Beeinflussung der Nerven. Da suchen wir dann den Nerv durch allerlei äußere Mittel zu beeinflussen. Wir drücken den Nerv — und der Muskel verkürzt sich; wir erwärmen ihn — wieder eine Muskelverkürzung; wir träufeln etwas Säure oder Lauge auf den Nerv oder legen ein wenig Salz auf ihn — auch das ruft eine Verkürzung des Muskels hervor. Wir lassen durch den Nerv einen schwachen elektrischen Strom hindurchgehen — wieder eine Muskelverkürzung.

Von allen diesen Mitteln zur Nachahmung des natürlichen Impulses — man spricht vom normalen Impuls und von den äußeren Mitteln, die den normalen Impuls nachahmen, als von Reizen — hat sich der elektrische Strom für Versuchszwecke am geeignetsten erwiesen. Die

Methode der Anwendung des elektrischen Stromes als eines Reizmittels ist insofern sehr bequem, als durch den elektrischen Strom der Nerv nicht so stark geschädigt wird wie durch einfaches Drücken, durch Beträufeln mit Säuren oder anderen chemischen Mitteln. Außerdem läßt sich im Versuch der elektrische Strom je nach Belieben genau abstimmen, was für genaue Versuche sehr wichtig ist, während man bei Anwendung der anderen Reizmittel die Stärke des Reizes nicht gut abstimmen kann. Natürlich hat die Anwendung der schwachen elektrischen Ströme zur künstlichen Nerven- und Muskelreizung nichts gemein mit „elektrischen“ Kräften des lebenden Körpers, von denen Kurfürscher und ähnliche Heilkünstler reden.

Wir können den Muskel auch direkt reizen. Wir brauchen im Versuch den Nerv eigentlich nicht. Wir können ja den Impuls, der vom Nerven auf den Muskel übergeht, direkt am Muskel anbringen: wir legen die Drahtenden des elektrischen Apparates, wie er zu diesem Zwecke von den Forschern gebraucht wird, direkt an den Muskel an.

Nun reizen wir den herausgeschnittenen Muskel. Wir sehen, daß er sich sofort verkürzt. Er wird dicker, wie der gedehnte Gummifaden dicker wird, wenn wir ihn loslassen. Zerzupfen wir den Muskel in dünne Stücke und bringen ein Stückchen unter das Mikroskop: es zeigt sich, daß bei der Reizung jede einzelne Muskelfaser sich verkürzt und dicker wird. Und zwar beginnt diese Verkürzung momentan. Durch die Anwendung fein ausgedachter Apparate ließ sich berechnen, daß zwischen dem Moment, wo wir den Muskel reizen, und dem Beginn der Verkürzung nur der hundertste Teil einer Sekunde vergeht.

Von den „fein ausgedachten Apparaten“ müssen wir nun etwas mehr erfahren. Man kann bekanntlich die Schwankungen des Manometers eines Dampfessels oder die Schwankungen des Barometers sich selbst verzeichnen lassen, wenn man auf das Quecksilber des Manometer- oder Barometerrohres einen kleinen Korkschwimmer mit einer leichten Schreibspitze aufsetzt und eine sich langsam drehende Trommel, die mit Papier bezogen ist, an der Schreibspitze

vorbeigleiten läßt. Viele haben diese Einrichtung zur Verzeichnung der Barometerschwankungen wohl schon in den Straßentafeln gesehen, in denen Thermometer und Barometer aufgestellt sind. Dasselbe Prinzip läßt sich nun auch benutzen, um die Muskelverkürzung zu studieren. Man macht das so, daß man mittels eines Häkchens in der Sehne des Muskels eine Schreibspitze befestigt. Den Muskel hängt man am Knochen, von dem man beim Heraus-schneiden des Muskels aus dem getöteten Tiere ein Stück am Muskel beläßt, in

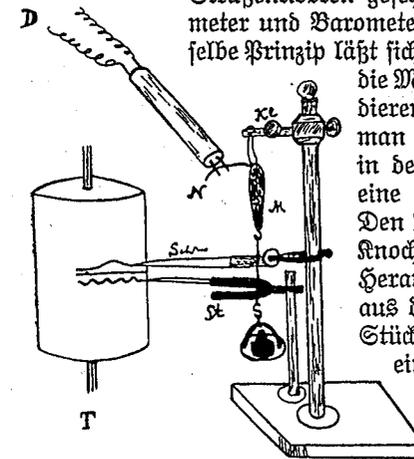


Fig. 7. Anordnung des Versuches zum Studium der Muskelverkürzung. Eine Metallfäule trägt eine Klemme (Kl), in der der Knochen mit dem Muskel (M) befestigt ist. In die untere Sehne des Muskels ist ein kleines Häkchen hineingestochen, an dem ein Faden hängt. Unten trägt der Faden eine Schale mit einem kleinen Gewicht, um den Muskel zu spannen. Der Faden greift an dem letzten Schreibhebel (Schr) an, der mit seiner Spitze über das berührte Papier der Trommel (T) gleitet. Eine zweite Metallfäule trägt eine Stimmgabel (St), an der ebenfalls eine Schreibspitze befestigt ist, die über die Trommel gleitet und die Schwingungen der Stimmgabel als kleine Wellen verzeichnet, von denen jede einen bestimmten Teil einer Sekunde entspricht. Zwischen der oberen Linie, die der Schreibhebel des Muskels verzeichnet, und der unteren von der Schreibspitze der Stimmgabel — die wagrechte Linie, die das Signal (siehe nächste Seite im Text) gezeichnet hat. Das Signal selbst ist auf der Abbildung nicht mitgezeichnet. Am Muskel hängt der Nerv (N), der über die Drahtenden (D) gelegt ist, die von der elektrischen Stromquelle herkommen.

einem geeigneten Stativ auf. Verkürzt sich der Muskel, so geht die Schreibspitze in die Höhe und verzeichnet eine aufsteigende Linie auf dem Papierbezug der vorbeigleitenden Trommel. Die Figur 7 erläutert uns die Anordnung des Versuches bei der Verzeichnung der Muskelverkürzung.

Um nun über die zeitlichen Verhältnisse genau orientiert zu sein, verwendet man eine Stimmgabel, an deren einer Zinke eine leichte

Schreibspitze befestigt ist (Figur 7). Beim Anschlagen beginnt die Stimmgabel Schwingungen auszuführen, die dann, wenn die Schreibspitze an eine sich drehende Trommel an-

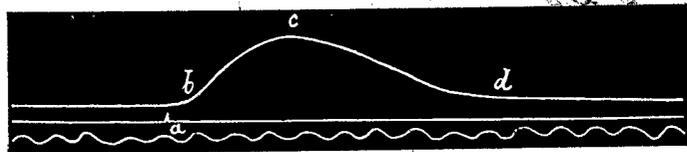
gelegt ist, als Wellen verzeichnet werden. Jede kleine Welle entspricht einer Schwingung. Je nach der Länge und der Dicke der Zinken beträgt die Zahl der Schwingungen der Stimmgabel 100 oder mehr oder weniger in der Sekunde. Ist uns die Zahl der Schwingungen der benutzten Stimmgabel bekannt, beträgt sie zum Beispiel 100 in der Sekunde, so entspricht jede verzeichnete Welle dem hundertsten Teil einer Sekunde.

Um den Moment, in dem wir den elektrischen Strom schließen, um den Muskel zu reizen, auch genau angeben zu können, schaltet man in den Stromkreis einen kleinen Signalapparat ein, der mit einer Schreibspitze den Moment des Stromschlusses als kleine Zacke verzeichnet.

Als Schreibspitze benutzt man am besten ein gut zugespitztes Stückchen Aluminiumblech, das an einem Stilk- oder Strohhalm befestigt ist. Als Schreibfläche wird um die Trommel weißes Glanzpapier gespannt und dann über eine stark ruhende Flamme gehalten. Die Schreibspitze schreibt auf diese Weise weiß auf schwarzem Grunde, indem sie bei ihrem Gleiten über das beruhte Papier den Ruß wegwischt.

Nun machen wir einen Reizversuch mit einem eben aus dem Tiere herausgeschnittenen Muskel. Wir hängen den Muskel auf, verbinden ihn mit dem Schreibhebel und legen an seinen Nerv die beiden Drahtenden des elektrischen Apparates an (Fig. 7). Das beruhte Papier spannen wir auf eine Trommel, die sich mit sehr großer Geschwindigkeit dreht. Nun reizen wir den Muskel, indem wir den Strom schließen. Der Moment des Stromschlusses, der Reizmoment, wird durch die Schreibspitze des Signalapparates auf dem beruhten Papier der vorbeisauenden Trommelstärke verzeichnet: die kleine Zacke a auf der mittleren Linie (Figur 8). Auf der unteren Linie können wir die Zeit ablesen: die Stimmgabel, die hier benutzt wurde, macht 100 Schwingungen in der Sekunde, so daß jede verzeichnete Welle einen Zeitraum von  $\frac{1}{100}$  Sekunde umfaßt. Die obere Linie ist von der Schreibspitze gezeichnet, die am Muskel selber befestigt ist. Wir sehen nun, daß die Schreibspitze des Muskels nicht in genau demselben Moment in die Höhe geht, wo der Reiz den Muskel getroffen

hat (a), sondern etwas später (in b). Die Zeit, die zwischen dem Reizmoment und dem Beginn der Muskelverkürzung verstrichen ist (von a bis b), entspricht ungefähr einer Welle der Stimmgabelkurve (untere Linie), was etwa  $\frac{1}{100}$  Sekunde ausmacht. Es vergeht also nur der hundertste Teil einer Sekunde zwischen Reizmoment und Beginn der Verkürzung. Ohne unsere Einrichtung zur genauen Messung dieser Zeit mittels der Verzeichnung der Stimmgabelschwingungen hätten wir diese kurze Spanne Zeit überhaupt übersehen: für das bloße Auge verkürzt sich der Muskel momentan.



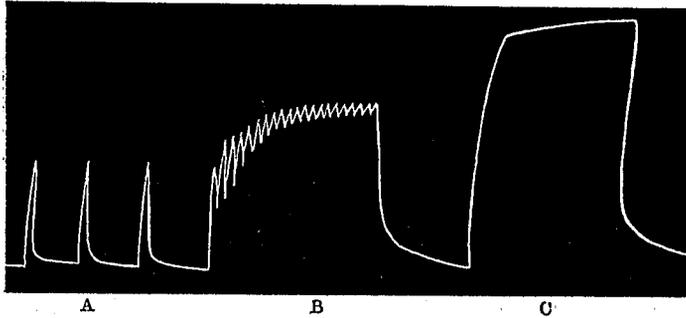
Figur 8. Muskelverkürzung. Obere Linie — vom Schreibhebel des Muskels gezeichnet. Untere Linie — von der Stimmgabel gezeichnet; jede Welle entspricht  $\frac{1}{100}$  Sekunde. Mittlere Linie — vom Signal gezeichnet, das den Moment der Reizung angibt. a Reizmoment; b Beginn der Verkürzung des gereizten Muskels; zwischen a und b ist ungefähr eine Welle der Stimmgabelinie gelegen. In c erreicht die Verkürzung des Muskels ihren Höhepunkt, in d hat sich der Muskel wieder gestreckt. Die Trommel, auf der die Kurve der Muskelverkürzung verzeichnet ist, hat sich mit sehr großer Geschwindigkeit um ihre Achse gedreht. (Aus Munt.)

Nun aber weiter. Während die Trommel sich zu drehen fortfährt, geht die Schreibspitze am Muskel immer höher, weil der Muskel sich immer mehr verkürzt. In  $\frac{5}{100}$  Sekunden erreicht die Verkürzung ihren Höhepunkt (c), der Muskel hat sich so weit verkürzt, als er bei einer bestimmten Reizstärke sich überhaupt verkürzen kann. Dann beginnt er sich wieder zu strecken, die Schreibspitze sinkt wieder tiefer, und nach wenigen weiteren hundertstel Sekunden hat sich der Muskel wieder ganz gestreckt, die Schreibspitze steht wieder genau so tief als vor der Reizung. Die ganze Dauer der Verkürzung vom Beginn der Reizung (a) des Muskels bis zu seiner Wiederausdehnung (d) beträgt somit  $\frac{1}{10}$  bis  $\frac{1}{6}$  Sekunde.

Wir sehen, daß der Muskel auf einen Impuls hin eine sehr schnelle Zuckung vollführt. Lassen wir die Trommelfläche

nicht so schnell vorbeisaußen, wie wir das eben getan, sondern viel langsamer, dann wird die Schreibspitze des Muskels nicht die Kurve wie in Figur 8 verzeichnen, sondern eine ganz steile Zacke, wie in der folgenden Abbildung (Figur 9A). Wir sehen hier mit aller Deutlichkeit, daß der Muskel, kaum daß er sich verkürzt hat, sich wieder streckt.

Das dünkt nun manchen gar seltsam: in dem zehnten Teil einer Sekunde ist die Verkürzung des Muskels wieder zu Ende! Ich will den Arm heben, schicke an meine



Figur 9. Muskelverkürzung bei langsamer Drehung der Trommel. Bei A wird der Muskel nach längeren Pausen gereizt. Die Schreibspitze verzeichnet steile Kurven. Bei B folgen die Reize so schnell aufeinander, daß der Muskel nur Zeit findet, mit der Streckung eben zu beginnen. Bei C folgen die Reize noch schneller aufeinander: der Muskel bleibt dauernd verkürzt. In Wirklichkeit handelt es sich aber auch hier um eine Reihe von Einzelverkürzungen, die sehr schnell — 20 bis 50 Verkürzungen in der Sekunde — aufeinanderfolgen (siehe weiter im Text). (Nach Verworn, Physiologisches Praktikum.)

Armmuskeln einen Reiz, einen Impuls vom Gehirn, die Muskeln verkürzen sich, ich hebe den Arm und ... nach einem Moment, der so kurz ist, daß ich ihn kaum in Gedanken fassen kann, fällt der Arm wieder schlaff herunter! Das entspricht nicht der Wirklichkeit, es kann nicht genau so sein wie im Versuch, den wir eben beschrieben haben. Und doch ist es so und zugleich nicht so. Das soll nun erklärt werden.

Schneiden wir uns wieder einen Beinmuskel aus einem Frosch heraus und reizen ihn durch einen schwachen elek-

trischen Strom. Nach  $\frac{1}{100}$  Sekunden hat er sich so weit verkürzt, als er es nur kann. Nun beginnt er sich zu strecken — aber in genau demselben Moment, wo der verkürzte Muskel sich eben zu strecken begonnen hat, reizen wir ihn aufs neue: er kann sich nun nicht weiter strecken und wird wieder verkürzt. Nach  $\frac{1}{100}$  Sekunden will er sich wieder strecken: flugs sind wir mit einem neuen Reiz zur Stelle, und der Muskel hat sich wieder verkürzt. So schreibt der Muskel statt einer Reihe von steilen Zacken nur kleine kurze Zacken, die stets nahe dem Gipfel der vorhergegangenen Zacke den Aufstieg beginnen: solange wir reizen, kommt dann der Muskel überhaupt nicht dazu, sich ganz zu strecken (Figur 9 B). Wenn wir nun die Reize noch schneller aufeinander folgen lassen, so schnell, daß der Muskel nach jedem einzelnen Reize nicht genug Zeit findet, mit der Streckung auch nur zu beginnen, so sehen wir ihn überhaupt keine Zacken schreiben: wenn wir einen Muskel zwanzigmal in einer Sekunde, alle  $\frac{1}{100}$  Sekunden einmal, im Laufe einiger Minuten reizen, so kommt der Muskel überhaupt nicht dazu, sich zu strecken — für die ganze Dauer des Versuchs bleibt er verkürzt (Figur 9 C), weil er zwanzig kleine Einzelverkürzungen in der Sekunde ausgeführt hat.

Genau so müßte es nun sein, wenn wir normalerweise unsere Muskeln in Tätigkeit bringen wollen. Wir müßten von unserem Gehirn wenigstens zwanzigmal in der Sekunde Impulse an unsere Muskeln schicken — dann würden sie, solange wir „wollen“, verkürzt bleiben, um sich wieder zu strecken, sobald unser Wille nachläßt und keine weiteren Impulse an den Muskel gehen.

Daß es tatsächlich so ist, weiß man schon seit langer Zeit. Namentlich schön hat das in jüngster Zeit ein Berliner Forscher, Professor Piper, gezeigt. Man kann nämlich unter gewissen Bedingungen von verschiedenen Formen der lebendigen Substanz, von Nerven, Drüsen und anderen, wie von jedem anderen chemischen System schwache elektrische Ströme ableiten. Auch der tätige Muskel erzeugt einen elektrischen Strom. Mit Hilfe sehr empfindlicher elektrischer Meßapparate kann man diese

Ströme messen. Piper hat nun an zwei Stellen der Haut über einem Armmuskel die Haldbräfte eines solchen Meßapparats angelegt und dann willkürlich den Arm gebeugt: es wurden dann in jeder Sekunde fünfzigmal kurzdauernde Ströme gemessen. Also fünfzigmal in der Sekunde hatte der Muskel sich verkürzt, fünfzig Impulse hatte er in jeder Sekunde vom Gehirn erhalten müssen, um dauernd verkürzt zu bleiben.

Man kann noch auf eine andere sehr einfache Weise sich überzeugen, daß die dauernde Verkürzung der Muskeln sich aus einer großen Reihe von Einzelverkürzungen zusammensetzt, die sehr schnell aufeinander folgen. Wenn man nämlich die Zähne fest zusammenpreßt und eine kräftige und dauernde Verkürzung der Kaumuskeln veranlaßt, so kann man in einem geschlossenen Zimmer, solange man die Zähne zusammengepreßt hält, einen Ton, den „Muskelton“, hören. Ein Ton nun kommt nur zustande, wenn durch Bewegungen eines Gegenstandes Luft in Erschütterung versetzt wird. Folglich stellt die Dauerverkürzung der Muskeln einen Vorgang dar, bei dem der Muskel nicht in Ruhe, sondern sich dauernd in Bewegung befindet: er vollzieht eben sehr schnell aufeinanderfolgende Verkürzungen, die die Dauerverkürzung bedingen.

Es handelt sich bei den meisten Tätigkeiten um die Zusammenarbeit mehrerer Muskeln, die sich gegenseitig unterstützen, füreinander eintreten, einander ablösen, auch einander entgegenarbeiten müssen. So hat die Zentralverwaltung unseres Körpers, Majestät Gehirn, bei jeder Muskel-tätigkeit vollauf zu tun, Befehle zu senden, gemeinsame Aktionen zu organisieren, manch ungestimmtem Muskelgesellen Einhalt zu gebieten. Das will alles gelernt sein. Jeder Mensch lernt ganz allmählich — von der ersten Kindheit bis ins späteste Alter hinein — die einzelnen Muskeln in ihrer Tätigkeit zweckmäßig miteinander kombinieren, koordinieren: man vergleiche nur das ungestüme und ungelente Strampeln der Säuglinge mit dem hübsch artigen Gehen des zweijährigen Kindes und stelle dazwischen die Gehversuche, die zwischen beiden die Brücke schlagen.

## B. Die Verkürzung der glatten Muskeln.

Dem flinken quergestreiften Muskel, der auf einen Reiz hin sich in seiner ganzen Längenausdehnung fast momentan verkürzt und nach einem Zwanzigstel einer Sekunde sich wieder zu strecken beginnt, steht der langsame glatte Muskel gegenüber.

Schneiden wir aus dem Darm oder dem Magen eines eben getöteten Frosches ein Stückchen heraus. Wir reizen es, indem wir es mit einem geeigneten Gegenstand berühren oder einen schwachen elektrischen Strom durch das Muskelstückchen schicken. Es vergeht nun eine geraume Zeit, bis die Zusammenziehung, die Verkürzung des Muskels erfolgt. Während es beim quergestreiften Muskel nur  $\frac{1}{100}$  Sekunde ist, die zwischen Reiz und Beginn der Verkürzung vergeht, sind es beim glatten große Bruchteile einer Sekunde, bis  $\frac{1}{4}$  Sekunden bei manchen glatten Muskeln, so daß der Untersucher schon ohne jede Meßinstrumente diese Tatsache wahrnehmen kann.

Während nun weiter beim quergestreiften Muskel die Verkürzung, sobald sie begonnen hat, sich für das bloße Auge fast momentan von der gereizten Stelle (mit einer Geschwindigkeit von 10 Metern in der Sekunde) auf den ganzen Muskel ausbreitet, ist das ganz anders bei den glatten Muskeln: hier pflanzt sich die Verkürzung, an der gereizten Stelle beginnend, ganz allmählich weiter. Erst verkürzt sich die gereizte Stelle, dann eine ihr naheliegende Partie, dann eine nächste usw. Man kann diese allmähliche Fortpflanzung, dieses Wandern der Verkürzung mit dem bloßen Auge sehen. Man sieht auch, daß die verkürzte Muskelpartie sich nicht sofort wieder zu strecken beginnt, wie es der quergestreifte Muskel tut: sie bleibt auf einen Reiz hin eine geraume Zeit verkürzt.

Langsame und lässige Gesellen sind nicht beliebt, weil sie nichts taugen. Aber die langsame glatte Muskelgesellschaft hat im großen Betriebe des Körperhaushalts doch ihre wichtigsten Aufgaben zugewiesen bekommen und — vielleicht gerade wegen ihrer Lässigkeit. Sehen wir einmal zu.

Wir schneiden im Laboratorium einem vorher narkotisierten\* Kaninchen den Bauch auf und beobachten das Verhalten der Darmschlingen, die, wie wir schon wissen, einen Muskelschlauch darstellen. Wir sehen, daß an verschiedenen Stellen des Darmschlauchs Schnürringe auftreten, wie wenn ein weicher Schlauch etwa durch Umschlingen mit einem festen Faden einen Schnürring bekommt. Ganz allmählich wandert der Schnürring weiter, von oben nach unten einen Teil des Darmschlauchs entlang. Aber im Rücken folgt ihm schon ein zweiter, ein dritter und so fort. Der Schnürring ist nur der Ausdruck dafür, daß an der betreffenden Stelle sich die Muskeln des Darmschlauchs auf irgend einen Reiz hin verkürzt haben. Diesen Reiz macht der Inhalt des Darmschlauchs, die darin enthaltene von uns genossene Nahrung, die die Schleimhaut des Darmes beeinflusst und dann unter Mithilfe der Nerven die Muskeln zu ihrer Verkürzung veranlaßt. Da bei gefülltem Darne immer neue Reize die Schleimhaut treffen, so folgt eine Verkürzung der Muskeln der anderen, ein Schnürring auf den anderen. Da aber nun bei den glatten Muskeln sich die Verkürzung allmählich über den Muskel fortpflanzt, so sieht man ununterbrochen über dem ganzen Darm die Schnürringe laufen — eine wellenförmige Bewegung, die man Peristaltik des Darmes nennt.

Durch das Entstehen der Schnürringe wird der Darmschlauch berengt, zusammengepreßt und der Inhalt weitergeschoben. Da die Schnürringe beim Darne in der Richtung von oben nach unten verlaufen, so wird der Darminhalt in der Richtung zum After vorwärtsgetrieben. Dieses Vormwärtschieben des Darminhaltes können wir an unserem Versuchskaninchen direkt beobachten, wenn wir bei geeigneten Vorsichtsmaßregeln ein etwa 10 Zentimeter langes Darmstück herausschneiden: man sieht dann, wie die Schnürringe einsetzen, sich fortpflanzen und die durch die dünne Darmwand durchschimmernden grün-

lichen Kotballen vorwärtschieben, bis ein Kotballen nach dem anderen an der Schnittöffnung unseres Darmstücks erscheint und herausfällt. Man kann den Versuch fortsetzen und die ausgestoßenen Kotballen in das leer gewordene Darmstück wieder hineinbringen und zusehen, wie die Ausstoßung durch das Wandern der Schnürringe von neuem beginnt.

Dadurch, daß über den ganzen Darmschlauch während der Verdauung der Nahrung ständig Schnürringe laufen, wird es ermöglicht, daß an die Stelle eines nach vorn gerückten Kotballens der hinter ihm folgende an den verlassenen Platz rückt und so fort. Dieses allmähliche Gleiten wäre natürlich nicht möglich, wenn sich der Darmschlauch in seiner Gesamtheit auf einen Reiz hin momentan verengerte: der gesamte Darminhalt müßte dann in einem Zuge heraus. Aber das Darmrohr ist zugleich auch Verdauungsorgan und Resorptionsorgan (Resorption = Auffaugung der verdauten Nahrungsbestandteile), und die Nahrung muß darum längere Zeit im Darne verbleiben, und es muß sozusagen jedes Stück Nahrung von den verschiedenen Darmpartien vorgenommen werden. So ertweist sich hier die Räßigkeit, die Trägheit der glatten Muskeln als eine sehr zweckmäßige Einrichtung.

In ähnlicher Weise ist die glatte Muskulatur des Harn-, Ei- und Samenleiters, des Magens und der Gebärmutter tätig, stets mit gewissen Abweichungen, die sich aus einer verschiedenartigen Anordnung, Gruppierung der Muskelzellen in den Wandungen der betreffenden Organe ergeben.

\* Man narkotisiert das Tier, um ihm die Schmerzen zu ersparen.

### III. Muskeln und Nervensystem.

A. Das Nervensystem als Zentrale. B. Die „willkürlichen“ quergestreiften Muskeln. C. Die „unwillkürlichen“ glatten Muskeln. D. Die reflektorische Tätigkeit der quergestreiften Muskeln. E. Die Abhängigkeit der Arbeit der unwillkürlichen glatten Muskeln von den psychischen Vorgängen.

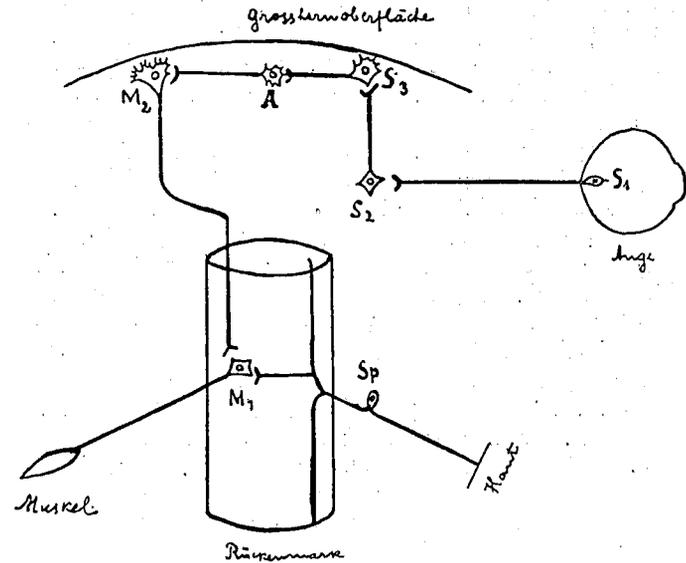
Wir haben schon in den vorigen Abschnitten mehrmals der Mitarbeit des Nervensystems bei der Muskelaktivität gedacht. Bei näherem Zusehen zeigt es sich, daß zwischen den Muskeln und dem Nervensystem die engsten Beziehungen herrschen.

#### A. Das Nervensystem als Zentrale.

Gehirn und Rückenmark sind Anhäufungen von Nervenzellen. Die Nervenzellen sind durch Zellausläufer oder Zellfortsätze untereinander verbunden. Von den Nervenzellen verlaufen auch Ausläufer an sämtliche Organe unseres Körpers. Indem die Ausläufer vieler benachbarter Nervenzellen des Gehirns und Rückenmarks vereint ein und denselben Weg laufen, bilden sie die Nerven.

Gehirn und Rückenmark haben auf diese Weise eine Verbindung mit allen Teilen des Körpers, gleich wie die Zentrale eines Telephonnetzes mit allen Abonnten. Ein Beispiel: Ich sehe einen Mann vor mir, den ich als meinen Feind kenne und den ich zu fürchten habe. Die Reize, welche die lichtempfindliche Netzhaut meines Auges getroffen haben, werden vom Nerven zum Gehirn geleitet und erregen die Nervenzellen des den Augen zugeleiteten Hirngebietes. Von hier gehen Reize auf dem Wege der Zellausläufer, die ja nichts anderes sind als kleine Nerven, zu den Nervenzellen anderer Hirngebiete, und durch das Zusammenarbeiten vieler Nervenzellen entsteht nun die Vorstellung „Feind“ in meinem Gehirn. Nun sendet das Gehirn seine Befehle an einzelne Muskelgruppen: z. B. an die Muskeln der Arme, die den Feind greifen sollen (Figur 10). Ein andermal höre ich die

Runde, mein Feind sei in der Nähe. Nun muß mein Gehirn wieder den Befehl an die Armmuskeln senden, daß



Figur 10. Schema des Nervensystems. Oben Großhirnoberfläche, unten ein Stück vom Rückenmark. Von der nervösen Sinneszelle in der Netzhaut des Auges (S<sub>1</sub>) wird der Reiz von Empfindungsnerv zu den Nervenzellen des Großhirns geleitet. Zunächst zur Station S<sub>2</sub> in den untersten Teilen des Großhirns, dann zur Station S<sub>3</sub> in der Sehphäre des Großhirns. Dabei entsteht eine Gesichtsempfindung. In der Station A laufen die Gesicht-, Gehör- usw. Empfindungen zusammen (auf dem Schema nicht eingezeichnet). So entstehen die Bilder der Außenwelt in uns. Durch die nervöse Station M<sub>2</sub> werden dann Bewegungen vermittelt: von M<sub>2</sub> geht ein Nervenweg zum Rückenmark und von hier durch den Bewegungsnerv zum Muskel. Der Nervenweg von M<sub>2</sub> und M<sub>1</sub> ist eine „gemeinsame Strecke“ für sämtliche Reize, welche vom Auge, vom Ohr usw. kommen. — Allein durch das Rückenmark werden die reflektorischen Bewegungen vermittelt: ein Reiz trifft zum Beispiel die Haut, wird zur Nervenzelle Sp, von hier zum Rückenmark und zum Muskel geleitet. Das Gehirn ist hier gar nicht im Spiele. In gleicher Weise kann ein reflektorischer Vorgang auch vom Auge (Ohr usw.) aus durch S<sub>2</sub> vermittelt werden, denn von S<sub>2</sub> gehen Verbindungen nicht nur zur Großhirnoberfläche, sondern auch direkt zum Rückenmark (auf dem Schema nicht gezeichnet). Andererseits gehen von der Haut (Sp) durch das Rückenmark auch nervöse Verbindungen zur Großhirnoberfläche. (Nach B. Wernern, Mechanik des Geisteslebens.)

sie meinen Körper eiligst ergreifen. Hier treten die Vorteile der Zentralisierung deutlich zutage: ich brauche das Stip schüh, Die Arbeit der Muskeln.

eine Mal einen Weg vom Auge zu den Armmuskeln, das andere Mal vom Ohre zu den Armmuskeln. Die Sache wird nun durch die Einschaltung einer Centrale abgekürzt: statt daß zwei Wege in den Armmuskeln mündeten, der eine vom Auge, der andere vom Ohre, ist es nun nur ein Weg vom Gehirn und Rückenmark zu den Armmuskeln.

Das ist nur ein einfaches Beispiel. In Wirklichkeit sind es vielleicht viele hundert Wege, die durch einen Nervenweg vom Rückenmark und Gehirn zu einer bestimmten Muskelgruppe erlegt werden: denn jedes kleinste Fleckchen meiner Körperhaut braucht ja schon eine Verbindung mit sämtlichen Muskelgruppen! Ich muß unter bestimmten Umständen, wenn etwa ein Floh meine Ruhe stört und dabei lustig und flink von Stelle zu Stelle springt, die aller verschiedensten Körperbewegungen ausführen, die verschiedensten Muskelgruppen zur Arbeit veranlassen, und dabei von Sekunde zu Sekunde diese Bewegungen von einer anderen Hautstelle aus veranlassen. Von jeder kleinsten Hautstelle ein Nervenweg zu allen Muskeln! Es wäre ein Wirrwarr von Nerven, gleich einem Wirrwarr von Drähten, wenn die einzelnen Abonnenten des Telefons unter sich direkt vereinigt sein wollten. Durch die Benutzung einer Centrale wird die Sache aber außerordentlich vereinfacht: alle Verbindung untereinander geht über die Centrale, die je nach Bedarf von Abonnent zu Abonnent schaltet: Obgleich zu Müllern (gleich Beinmuskeln) von der Centrale (Gehirn und Rückenmark) nur ein einziger Draht führt, können mit ihm Lehmann, Schulze, Becker, Schneider usw. (Auge, Ohr, Körperhaut usw.) je nach Bedarf in Verbindung treten.

### B. Die „willkürlichen“ quergestreiften Muskeln.

Wenn ich meinen gefährlichen Feind sehe, so will ich ergreifen und tue es: die Muskeln, die an meinem Skelett angreifen und die Körperbewegung vermitteln, sind unserem Willen unterworfen. Das sind sämtliche quergestreiften Muskeln. Wir können nach Gutdünken die verschiedensten Bewegungen der Arme und Beine und unseres

ganzen Körpers ausführen, wir können nach Gutdünken unser Gesicht verzerren, traurige und heitere Grimassen schneiden, den quergestreiften Schließmuskel unseres Afters nach Bedarf erschlaffen lassen und zusammenziehen, wir können unsere Atmung willkürlich regulieren. Wir können nach Gutdünken einen Ruf erwidern.

Wir können all das aber nur so lange, als eine Verbindung zwischen Hirn (respektive Rückenmark) und Muskeln besteht: ist diese Verbindung — der Nerv — unterbrochen, so können die in Betracht kommenden Muskeln nicht mehr willkürlich bewegt werden (Figur 10). Wenn wir zum Beispiel einem Frosche den Nerv durchschneiden, der vom Rückenmark zum rechten Hinterbein führt, so kann der Frosch das rechte Bein nicht mehr bewegen. Beim Gehen schleppt er es nur nach: das Bein ist „gelähmt“. Wenn zum Beispiel aus Anlaß irgendeiner notwendigen Operation im Gesicht eines Patienten manche ziemlich oberflächlich gelegenen Nervenzweige der Gesichtsnerven, die zu bestimmten Gesichtsmuskeln führen, durchschnitten werden müssen — oder der Gesichtsnerv erkrankt ist —, so können auf der betreffenden Gesichtshälfte die Muskeln nicht mehr zum Lachen, zum Stirnrunzeln, zum Pfeifen bezogen werden.

Die meisten Nerven liegen in unserem Körper derart geschützt, daß eine direkte Verletzung von Nerven nur sehr selten vorkommt. Aber es kommt vor, daß bei verschiedenen Krankheiten einzelne Nerven vorübergehend geschädigt werden. Das ist häufig bei der Diphtherie der Fall, wo ein großer Zweig des Beinerven, wohl durch irgendwelche von den Diphtheriebazillen produzierten Gifte, leidet. Das gibt sich dann durch die Stellung des Fußes kund, der nach einwärts gestellt ist, weil nun die Tätigkeit gewisser Muskeln ausfällt: der vom Rückenmark kommende Nervenzweig ist krank. Auch die Muskeln, die am Schluckakt beteiligt sind, können nach Ausheilung der Diphtherie infolge einer Schädigung des in Betracht kommenden Nerven für kürzere Zeit gelähmt sein.

Auf eine Schädigung der in Betracht kommenden Nerven durch Gifte sind auch die Muskellähmungen an den

Händen zurückzuführen, die Personen befallen, welche mit bleibhaltigem Material zu tun haben, wie Schrifftzeiger, Anstreicher, Lackierer (Bleifarben), Töpfer (Bleiglasuren) usw. Das gleiche trifft für die Lähmungen zu, die man bei Alkoholikern beobachtet.

Aus der Abhängigkeit vom Nervensystem läßt sich auch die große Zahl der Muskellähmungen erklären, die bei Schädigungen der Zentrale selber — des Gehirns und Rückenmarkes — auftreten. Werden durch Blutungen, durch Quetschungen, durch entzündliche Veränderungen (Tuberkulose, Kinderlähmung) die Nervenzellen vom Gehirn und Rückenmark zerstört, die für das Zustandekommen bestimmter Bewegungen nötig sind, so ist die Folge davon eine Lähmung der betreffenden Muskeln. Die gleichen Folgen hat eine Durchtrennung oder Quetschung des Rückenmarkes an irgendeiner Stelle, was bei Unfällen und bei tuberkulösen Erkrankungen der Wirbelsäule vorkommen kann: wenn das Rückenmark an irgendeiner Stelle zerstört ist, so können natürlich die Impulse vom Gehirn zu den Muskeln nicht hindurchgehen, denn ihr Weg führt sie stets über das Rückenmark (Figur 10). Der Muskel ist nun gelähmt, wie etwa im Kriege ein Trupp nicht mitkann, weil der Befehl vom Hauptkommando an ihn nicht gelangen konnte — eine Brücke war vom Gegner zerstört.

Wir haben schon hervorgehoben, daß eine jede zweckmäßige Bewegung durch die Arbeit nicht eines einzelnen Muskels geleistet wird: stets ist sie durch die Zusammenarbeit vieler Muskeln bedingt. Hier hat die Zentrale — Gehirn und Rückenmark — vollauf zu tun. Es gilt, die einzelnen in Betracht kommenden Muskeln im geeigneten Moment zur Unterstützung anderer eingreifen zu lassen, die Stärke ihrer Verkürzungen abzustufen. Dazu gehört eine vollkommene Orientierung des Gehirnes über die jeweilige Lage aller Teile des Bewegungsapparats: der Muskeln, der Sehnen, der Gelenke und Knochen. Empfindungsnerben gehen von diesen zu Gehirn und Rückenmark, um sie zu unterrichten — gewissermaßen wie von inneren Sinnesorganen, die für das Zusammenarbeiten der inneren Organe des Körpers nicht minder wichtig

sind, wie die äußeren Sinnesorgane für das Zusammenarbeiten unseres Organismus mit der Außenwelt. Nun denken wir daran, daß auch die Nervenzellen und -verbindungen, die hier in Betracht kommen, durch Krankheit gelitten haben. Welch ein kunterbuntes Durcheinander in der Tätigkeit der Muskeln wird entstehen! Die Bewegungen werden ungerichtet, unzweckmäßig, schleudern. So, wie wenn bei schlechter Orientierung eines Vereinsvorstandes über den Stand der Vereinsangelegenheiten die ganze Organisation in ihren Fugen kracht, niemand von den Mitgliedern (Muskeln) an geeigneter Stelle und zu geeigneter Zeit seinen Tätigkeiten gemäß verwendet wird, geeignete Situationen für die Entfaltung der Tätigkeit nicht ausgenutzt werden. . . . Das ist bei einigen Krankheiten des Rückenmarkes, von denen manche sehr verbreitet sind, der Fall.

Lähmungen durch direkte Schädigungen der Muskeln, wenn wir von den häufig vorkommenden Fällen von Sehnenzerrung bei Unfällen absehen, kommen nur äußerst selten vor. Es handelt sich gewöhnlich um die sehr selten vorkommende Krankheit, die man als angeborenen „Muskelschwund“ bezeichnet, und die gekennzeichnet ist durch eigenartige Veränderungen in den Muskelfasern, die zu ihrem allmählichen Schwund führen.

### C. Die „unwillkürlichen“ glatten Muskeln.

Die quergestreiften Muskeln, die unserem Willen unterworfen sind, bezeichnet man als willkürliche Muskeln. Ihnen stehen die unwillkürlichen glatten Muskeln gegenüber.

Wir können nicht die glatten Muskeln zur Arbeit nach Gutdünken veranlassen. Ihre Arbeit verläuft unabhängig von unserem Willen. Wir können nicht auf Wunsch den Muskelschlauch unseres Darmes energischer arbeiten lassen, wenn das uns auch so manches Mal (Verstopfung!) recht gelegen käme. Wir können nicht eine Gänsehaut haben, wenn wir es wollen. Die kleinen Blutgefäße unserer Haut erweitern und verengen sich — was durch die Tätigkeit verschieden angeordneter glatter Muskelzellen in den

Wandungen der Blutgefäße bedingt ist — nicht nach unserem Belieben: wir werden rot oder blaß auch dann, wenn es uns nicht paßt.

Auch die Tätigkeit des Herzmuskels ist unserem Willen nicht unterworfen. Der Herzschlag kann nicht willkürlich von uns beeinflusst werden. Wir haben schon oben auf die Verwandtschaft zwischen den Herzmuskelzellen und den glatten Muskelzellen hingewiesen.

Diese Unabhängigkeit der glatten Muskeln von unserem Willen bedeutet aber keineswegs eine Unabhängigkeit der Muskeln vom Nervensystem! Vielmehr wird die gesamte Arbeit der glatten Muskeln vom Nervensystem reguliert. Wir haben schon früher darauf hingewiesen daß beim Zustandekommen der peristaltischen Bewegungen des Darmes die Reize eine Rolle spielen, die der Darminhalt — die Nahrung — auf die Darmschleimhaut ausübt. Nervenendigungen in der Darmschleimhaut nehmen den Reiz auf, leiten ihn zu Nervenzellen, und diese schicken einen Impuls zu den Muskelzellen des Darmschlauches, um sie in zweckentsprechender Weise zur Arbeit zu veranlassen. In gleicher Weise wird die Arbeit der glatten Wandmuskeln der Harnblase und der Gebärmutter reguliert. Es ist in diesen Fällen eine Mitarbeit des Nervensystems vorhanden, ohne aber daß unser bewußter Wille dabei mit im Spiele wäre: Die Tätigkeit der glatten Muskeln wird auf reflektorischem (vergleiche Figur 10 und Erklärung hierzu) Wege reguliert. Die Nervenzellen, welche die zweckentsprechende Tätigkeit der glatten Muskeln vermitteln, sind zum größten Teil in besonderen Nervenknoten gelegen, die zwischen den Eingeweiden in der Bauchhöhle verstreut sind oder zu beiden Seiten der Wirbelsäule einen dünnen Nervenstrang bilden. Auch findet man Nervenzellen in den einzelnen Muskelorganen selber gelagert, wie zum Beispiel in der Wand des Darmschlauches.

Auch die Herztätigkeit, die unserem Willen nicht unterworfen ist, wird durch Nervenzellen reguliert. Es ist im Herzen ein ganzes System von Zellanhäufungen vorhanden, die zwischen den Muskelzellen an bestimmten Stellen des Herzens gelagert sind.

## D. Die reflektorische Tätigkeit der quergestreiften Muskeln.

Wir haben im Abschnitt B die Tatsache besprochen, daß die quergestreiften Muskeln unserem Willen unterworfen sind. Das ist einem jeden auch ohne weiteres klar. Aber mit dieser Feststellung ist der Ablauf der Tätigkeit der quergestreiften Muskeln noch keineswegs genügend gekennzeichnet. Denn eine große Reihe von Tätigkeiten, die quergestreifte Muskeln ausüben, verlaufen unabhängig von unserem Willen. Und wir brauchen nicht lange zu suchen: da ist vor allem die Atmung. Ob wir daran denken oder nicht, daß wir doch halt Luft schnappen müssen: wir atmen dauernd fort. Die quergestreiften Muskeln, die bei der Einatmung von Luft den Brustkorb zu erweitern haben, tun ihre Arbeit, auch ohne daß wir an das Atmen denken. Wir atmen auch im Schlafe, wo unser Bewußtsein geschwunden ist. Wir atmen auch, wenn wir von Krankheiten befallen werden, die von ganzlichem Bewußtseinsverlust begleitet sind. Ja, wenn wir absichtlich unsere Atmung einstellen wollen, so geht das nicht: nach einer kürzesten Spanne Zeit bricht die Tätigkeit der Atmungsmuskulatur wieder und um so heftiger durch. Nehmen wir ein anderes Beispiel: wir sind mit dem Lesen eines interessanten Buches beschäftigt und in unsere Lektüre vertieft. Nun kommt jemand und sticht uns in die Haut der Hand. Unwillkürlich ziehen wir die Hand prompt zurück — auch dann, wenn wir durch den Stich von unserem Lesen gar nicht aufgeschreckt werden. Sogar am Schlafenden läßt sich das beachten: er räuspert sich, macht abwehrende Bewegungen, wenn wir ihn berühren, und schläft dabei fort. Ja, wir führen ganz komplizierte und anscheinend „wohlgedachte“ Bewegungen ganz unwillkürlich aus: wenn wir Tag für Tag ein und denselben Weg etwa zur Fabrik oder ins Geschäft machen, so biegen wir unwillkürlich, wo wir vielleicht mit ganz anderen weitabliegenden Gedanken beschäftigt sind, an den Straßenecken um, winden uns vielleicht durch ein Gewirr von

Menschen und Wagen in den Straßen hindurch, gehen durch Tor und Hof und über Stiegen, um schließlich an unser Ziel zu gelangen. Was uns in den ersten Tagen Gedankenarbeit gekostet, uns zum Nachfragen veranlaßt hat, unser Auge in Spannung gehalten hat, um die uns neuen Wege zu erkennen — wir tun es schließlich unwillkürlich.

Viele dieser unwillkürlichen Tätigkeiten der quergestreiften Muskulatur sind uns angeboren. Zum Beispiel das Saugen, das das Neugeborene gleich kann, sobald es an die Brust gelegt wird; oder das Atmen, das sofort beginnt, sobald das Kind aus dem Mutterleib ausgestoßen ist — der Schrei des Neugeborenen ist die erste Leistung seiner Atmungsmuskeln.

Diese unwillkürlichen Tätigkeiten der quergestreiften Muskeln sind Reflexvorgänge, genau so wie es die unwillkürlichen Leistungen der glatten Muskeln sind. Jrgend ein Reiz trifft ein Sinnesorgan — die Haut, das Auge, das Ohr —, der Reiz geht zu Nervenzellen des Rückenmarkes, denen die Muskeln untergeordnet sind. Von hier ein Impuls zu den Muskeln, den der stets dienstfertige Nerv überbringt — und eine Muskelbewegung ist ausgelöst.

Die meisten unwillkürlichen Leistungen der quergestreiften Muskeln können wir auch willkürlich ausführen. Viele dieser unwillkürlichen Leistungen sind sogar erst nachträglich zu solchen geworden, nachdem sie zuerst willkürliche gewesen. So zum Beispiel eine ganze Reihe von Handfertigkeiten, die in unserem Beruf unentbehrlich sind, und die wir zuerst vielleicht mit großer Mühe erlernt haben. Oder im oben beschriebenen Falle, wo wir ohne Zutun eines regierenden Willens einen langen Weg machen und tausend Dinge dabei tun.

Viele der sogenannten Instinkthandlungen von Mensch und Tier sind nichts anderes als Reflexvorgänge, vermittelt durch die Nervenzellen des Rückenmarkes und vielfach auch die Nervenzellen des Gehirnes, namentlich der näher dem Rückenmark gelegenen Partien des Gehirnes (zum Beispiel Station S<sub>2</sub> in Figur 10).

## E. Die Abhängigkeit der Arbeit der unwillkürlichen glatten Muskeln von den psychischen Vorgängen.

Wir haben gesehen, daß die Leistungen der glatten Muskulatur im Gegensatz zu den der quergestreiften dem bewußten Willen nicht unterworfen sind. Leistungen der glatten Muskeln sind Reflexvorgänge.

Aber es wäre irrig, anzunehmen, daß zwischen der Tätigkeit der glatten Muskeln und unserer Bewußtseinstätigkeit jegliche Beziehungen ausgeschlossen sind. Das wäre in mehrfacher Hinsicht falsch.

Vor allem arbeiten häufig quergestreifte und glatte Muskeln Hand in Hand. Das ist zum Beispiel bei der Entleerung des Mastdarmes und der Harnblase der Fall. Beim Neugeborenen werden Blase und Darm unwillkürlich durch eine reflektorische Tätigkeit der Wandmuskulatur der betreffenden Hohlorgane entleert. Durch eine mühsame Erziehung lernt das Kind ganz allmählich diese beiden Reflexe beherrschen, sie von seinem Willen abhängig zu machen. Schließlich hat es unser Wille ganz in der Hand, die Entleerung von Darm oder Blase zu erlauben oder zu verhindern — natürlich nur innerhalb gewisser Grenzen. Das erreichen wir dadurch, daß wir die quergestreiften Ringmuskeln, die neben den glatten die betreffenden Hohlorgane an ihrer Ausgangsöffnung abschließen, willkürlich sich verkürzen (und die Öffnung schließen) oder erschlaffen (und die Öffnung offen halten) lassen. Die Harn- und Kotentleerung wird weiterhin durch die Tätigkeit des Zwerchfells und der Bauchmuskulatur unterstützt. Das Zwerchfell zieht sich zusammen, steigt abwärts und drückt auf die Kotmassen im Mastdarm; dasselbe tun die sich zusammenziehenden Muskeln der Bauchwand. Man sagt, die „Bauchpresse“ ist hier tätig. Auch die Entleerung der Blase wird durch die quergestreiften Muskeln der Bauchpresse unterstützt.

In anderer Weise sind Beziehungen zwischen der Tätigkeit der glatten Muskeln und unserem Bewußtsein gegeben bei den Wandmuskeln der Blutgefäße und bei dem unserem Willen nicht unterworfenen Herzmuskel. Ein

jeder weiß, daß alle Veränderungen in unserem seelischen Zustand begleitet sind von gewissen Veränderungen in der Arbeit unseres Herzens: Aufregung läßt unser Herz schneller und heftiger schlagen, so daß wir das Anprallen des Herzens an die Brustwand fühlen können. Wir bekommen „Herzklopfen“. Die Tätigkeit des Herzmuskels wird normalerweise, wie schon kurz erwähnt wurde, reguliert durch Nervenzellen, die in kleinen Häufchen zwischen die Muskelzellen eingesprengt sind. Außerdem aber steht der Herzmuskel durch einen Nervenstrang mit dem Gehirn in Verbindung, und so kommt es, daß alles seelische Geschehen seinen Einfluß hat auf die Tätigkeit des Herzens. Es ist darum für Leute mit einem kranken Herzen von größter Wichtigkeit, daß sie keinen Aufregungen — und seien diese auch freudiger Natur — ausgesetzt werden: ein krankes Herz verträgt nicht so leicht, was einem gesunden nichts schadet.

Auch daß die Tätigkeit der Wandmuskulatur der kleinen Blutgefäße in der Haut von den seelischen Zuständen beeinflusst wird, weiß ein jeder. Oder nicht? Nun, ein jeder ist doch wohl einmal oder gar schon mehrmals im Leben „rot“ oder „bläß“ geworden, wenn eine Situation, ein Ereignis oder auch nur ein Gedanke ihn überrascht hatte. Das Erröten oder Erbleichen beruht darauf, daß, wie schon kurz bemerkt, die in der Haut verlaufenden kleinen Blutgefäße sich erweitern oder verengern. Das eine Mal wird dann die Haut röter, das andere Mal heller, weil dann mehr oder weniger Blut in die kleinsten Blutgefäße, in die Kapillaren, hinein kann. Die Erweiterung oder Verengung der kleinen Blutgefäße geschieht durch die Arbeit der glatten Muskeln in den Wänden der Blutgefäße. Die Wärme, die man im Gesicht beim Erröten fühlt, ist durch den stärkeren Zufluß von warmem Blute zur Haut bedingt.

Der Einfluß, den die seelischen Zustände auf die Arbeit der Wandmuskulatur der Blutgefäße haben, wird ermöglicht durch Nervenverbindungen zwischen den in der Nähe des Rückenmarkes gelegenen Nervennoten der Blutgefäße einerseits und dem Rückenmark andererseits. Das

Rückenmark wieder ist ja nur eine Fortsetzung des Gehirnes, in dem sich die seelischen Vorgänge abspielen.

Daß auch die Tätigkeit der glatten Magen- und Darmmuskulatur durch seelische Zustände beeinflusst werden kann, ist allgemein bekannt. Wie groß ist die Zahl der Bewegungsstörungen von Magen und Darm bei nervösen Leuten! Ganz abgesehen von den bei nervösen Störungen auftretenden Beeinträchtigungen der Arbeit der Verdauungsdrüsen. Auch hier ist durch Verbindungen mit dem Rückenmark der Weg zum Gehirn gegeben.

Auch das Schwitzen bei Aufregung kommt durch eine nervöse Beeinflussung der Blutgefäße der Schweißdrüsen zustande, die dank vermehrtem Blutzufluß mehr Material verarbeiten und abgeben können.

So sehen wir, daß die Einflüsse des Bewußtseinslebens auf die Tätigkeit der glatten Muskeln ganz außerordentlich mannigfaltig sind. Mögen die glatten Muskeln auch in ihrer tagtäglichen gewohnten Arbeit selbständig und unabhängig vom Hauptamt ihre Wege gehen, sie sind doch nur ein Teil vom Ganzen, und ihre Abhängigkeit von der Zentrale tritt häufig genug zutage.

## IV. Der Stoffwechsel der Muskeln.

A. Die chemische Zusammensetzung des Muskels. B. Das Eiweiß und die Lebensvorgänge. C. Die Bedeutung des Sauerstoffs für die Lebensvorgänge. D. Die Quelle der Muskelkraft. 1. Ist das Eiweiß die Quelle der Muskelkraft? 2. Das Glykogen und seine Bedeutung für die Muskelarbeit. 3. Weitere Versuche und Schlussbetrachtung über die Quelle der Muskelkraft.

Früher, als noch die Menschen weniger gescheit waren als heute, haben auch die Gelehrten gedacht, es stecke so was wie ein göttlicher Odem, eine „Lebenskraft“ in unserem lebendigen Körper, die ihn zu allen Leistungen befähige, welche ihn von den leblosen Körpern unterscheiden. Und wenn man früher die Erscheinungen des Lebens studierte, so glaubte man, daß man dabei nur die Pläne und Laten des weisen Schöpfers erkunde, der vor allem den Menschen in sein väterliches Herz geschlossen und ihm einen Teil von seinem göttlichen Ich am siebenten Tage der Schöpfung bekanntlich durch die beiden Nasenlöcher eingepustet hatte.

Nun, heute wissen wir, daß mit dem Worte „Leben“ nur eine lange Kette stofflicher Umsetzungen — chemischer Vorgänge — zusammengefaßt wird, die sich in der tierischen oder pflanzlichen Zelle abspielen. Und will man das Leben studieren, so muß man an seinen eigentlichen Quell hinabsteigen, an das Spiel der chemischen Vorgänge in der Zelle. Wollen wir die Lebensäußerungen der Muskeln, ihre Kraftleistungen erforschen, so müssen wir die chemischen Vorgänge in der Muskelfaser studieren.

### A. Die chemische Zusammensetzung des Muskels.

Der Muskel enthält die allgemeinen Stoffe aller lebendiger Substanz. Die Hauptmasse dieser Stoffe bilden die Eiweißstoffe, das Eiweiß.

Das Eiweiß ist ein sehr kompliziert zusammengesetzter Stoff. Mehrere Jahrzehnte lang hat er allen Versuchen der Chemiker getrotzt, in seinen chemischen Aufbau einzudringen. Das letzte Jahrzehnt aber hat viel Aufklärung über das Eiweiß gebracht.

Das Eiweiß besteht aus denselben chemischen Elementen\* wie die Stoffe der leblosen Natur: aus Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff.\*\* Noch eine Reihe anderer chemischer Stoffe nehmen am Aufbau der Eiweißstoffe teil, zum Beispiel Schwefel, Phosphor, Eisen. Alle diese Elemente treten uns tagtäglich auch in der leblosen Natur entgegen: der Kohlenstoff, an Sauerstoff gebunden, als Kohlenäure in der Luft und in kohlen-sauren Salzen (zum Beispiel Soda); der Sauerstoff bildet den fünften Teil der Luft; der Wasserstoff, an Sauerstoff gebunden, bildet das Wasser; der Stickstoff macht vier Fünftel der Luft aus. Schwefel, Phosphor und Eisen kommen in den verschiedensten Salzen vor.

So besteht in der elementaren Zusammensetzung der Eiweißstoffe kein Unterschied gegenüber den Stoffen der leblosen Natur. Aber das Eiweiß stellt eine Verbindung chemischer Elemente dar, wie sie nur in der belebten Natur vorkommt. Das Eiweiß ist eine außerordentlich komplizierte chemische Verbindung. Während zum Beispiel ein Molekül Wasser aus drei Atomen (zwei Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom) besteht, ein Molekül Schwefel-

\* Unter „Elementen“ versteht man solche chemische Stoffe, die sich durch unsere heutigen wissenschaftlichen Methoden nicht in andere, einfachere Stoffe mehr haben zerlegen lassen — im Gegensatz zu den chemischen „Verbindungen“, die aus diesen Elementen (deren es mehr als siebenzig gibt) bestehen, aus ihnen aufgebaut sind. Die Elemente vereinigen sich zu Verbindungen in ganz bestimmten Gewichtsverhältnissen. Ein denkbar kleinstes Teilchen eines Elementes nennt man Atom (griechisch: „unteilbar“); ein denkbar kleinstes Teilchen einer Verbindung Molekül (griechisch: „Teilchen“).

\*\* In der Fachsprache werden die genannten vier Stoffe mit den Anfangsbuchstaben ihrer lateinischen Namen bezeichnet: C (Kohlenstoff), O (Sauerstoff), H (Wasserstoff), N (Stickstoff).

säure aus sieben Atomen (zwei Wasserstoffatomen, einem Schwefelstoffatom und vier Sauerstoffatomen), sind in einem Eiweißmolekül nach einer ungefähren Schätzung eines Gelehrten vielleicht mehr als zweitausend Atome enthalten.

Für ein Verständnis der großen Kompliziertheit im Aufbau des Eiweißmoleküls ist noch folgendes wichtig: Man kann die Atome des Wasserstoffs und des Sauerstoffs, die zum Beispiel das Wassermolekül aufbauen, als die Bausteine des Wassermoleküls ansprechen. Natürlich nicht im groben Sinne eines Ziegelsteins, sondern nur zu Zwecken eines Vergleichs, zu Zwecken der Veranschaulichung. Nun können wir aus mehreren Bausteinen (Atomen) eine Säule, eine Wand eines komplizierten Gebäudes aufbauen und diese gleichsam als Bausteine höherer Ordnung (Moleküle) gegenüber dem ganzen Gebäude betrachten. Wir hätten dann Bausteine erster Ordnung (Ziegelsteine, Atome) und Bausteine zweiter oder höherer Ordnung (Säulen, Wände, Fensterrahmen, Treppen, Moleküle). Das Eiweißmolekül kann nun in chemischem Sinne als ein gewaltiger Bau betrachtet werden, für den eine große Anzahl von Bausteinen höherer Ordnung Verwendung gefunden haben.

Wie es verschiedene Säuren gibt, Schwefelsäure, Salpetersäure usw., so gibt es auch verschiedene Eiweißstoffe. So sind zum Beispiel die Eiweißstoffe verschiedener Tierarten voneinander verschieden. Auch die Eiweißstoffe einzelner Organe desselben Organismus sind einander chemisch nicht gleich.

Bei höherer Temperatur, wie zum Beispiel beim Kochen eines Hühnerreis, gerinnt das Eiweiß, es wird fest. Auf einem Gerinnungsprozeß beruht die Totenstarre des Muskels. Warum das Muskeleiweiß beim Absterben gerinnt, weiß man nicht. Es ist möglich, daß hier Säuren beteiligt sind, denn man kann das Muskeleiweiß auch durch verdünnte Säuren zur Gerinnung bringen, eine „Säurestarre“ erzeugen.

Das Eiweiß kommt in der leblosen Natur nicht vor; man stellt das Eiweiß als organische Verbindung, als

einen dem Reiche der Organismen zugehörigen Stoff den anorganischen Stoffen gegenüber.

Neben dem Eiweiß kommen in der lebendigen Substanz noch zwei weitere Gruppen von organischen Stoffen vor: Kohlehydrate und Fette. Von den Kohlehydraten kennt ein jeder die Stärke und den Zucker. Als typischen Vertreter der Kohlehydrate kann man den Zucker betrachten, denn das Stärkemolekül ist eine Verkoppelung vieler Zuckermoleküle. Kocht man Stärke mit schwachen Säuren, so wird sie in Zucker aufgespalten. Die Stärke ist im Pflanzenreich sehr verbreitet und dient hier als Reservestoff, aus dem die pflanzliche Zelle bei eintretendem Bedarf sich den nötigen Zucker durch geeignete chemische Maßnahmen herauszuholen vermag. Der Stärke verwandt ist das Glykogen, das auch aus einer Verkoppelung vieler Zuckermoleküle entsteht. Es findet sich in größerer Menge in der Leber der Tiere und auch in den Muskeln. Es lagert hier, wie die Stärke in der Pflanze, als Reservestoff.

Kohlehydrate und Fette bestehen aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff. Sie werden als „stickstofffreie“ organische Verbindungen den „stickstoffhaltigen“ Eiweißstoffen gegenübergestellt.

Von organischen Stoffen finden sich noch im Muskel stickstoffhaltige Zerfallsprodukte des Eiweiß, wie Kreatin, Harnstoff und Harnsäure, und ein stickstofffreies Zerfallsprodukt — die Milchsäure.

Von anorganischen Stoffen sind im Muskel enthalten besonders phosphorsaure Salze und Kochsalz.

Drei Viertel des Gewichtes der Muskeln macht das Wasser aus. Das Wasser bildet einen notwendigen Bestandteil jeglicher lebendigen Substanz. Wo kein Wasser ist, da ist kein Leben. In der lebendigen Zelle wie im Laboratorium des Chemikers darf es nie an Wasser mangeln, denn eine ganze Reihe chemischer Vorgänge ist nur möglich, wenn die in Betracht kommenden Stoffe in Wasser gelöst sind. Der Organismus ist stets bestrebt, seinen Wassergehalt dauernd unverändert zu erhalten. Wird viel Wasser mit der Nahrung aufgenommen, so werden alle

Ausscheidungen des Körpers wasserreicher; werden viel Salze aufgenommen und damit nach physikalischen Gesetzen Wasser den Geweben, zum Beispiel den Muskeln, entzogen, so stellt sich bald Harndrang ein, und mit dem Harne werden die überschüssigen Salze aus dem Körper wieder herausgeschafft. Es stellt sich dann auch das Verlangen nach Wasseraufnahme ein.

## B. Das Eiweiß und die Lebensvorgänge.

Auf Grund der wissenschaftlichen Erkenntnis über die Eigenschaften der Eiweißstoffe und der Vorgänge in der lebendigen Substanz in ihren verschiedenen Formen hat der Physiologe Pflüger und später Verworn ein ungefähres Bild der chemischen Grundlagen der Lebensvorgänge ausgemalt, dem wir hier folgen.

Die Eiweißstoffe stehen im Mittelpunkt aller chemischen Vorgänge in der lebendigen Substanz.

Von ganz besonderer Bedeutung ist die Eigenschaft der Eiweißstoffe in der lebendigen Zelle, bei Anwesenheit von Sauerstoff fortwährend von selbst sich in bestimmter Weise zu zersetzen, das heißt dauernd chemische Veränderungen einzugehen, die zu einem teilweisen Zerfall des so kompliziert aufgebauten Eiweißmoleküls führen. Diese Eigenschaft, sich von selbst zu zersetzen, kommt nicht etwa allein den Eiweißstoffen zu. Wir kennen vielmehr aus der Chemie der leblosen Körper Beispiele, wo genau dasselbe geschieht. So zersetzt sich die Blausäure, die als starkes Gift bekannt ist, sehr rasch, wenn sie nicht ganz trocken aufbewahrt wird. Es entstehen aus der sehr einfach aufgebauten Blausäure (bloß aus je einem Atom Wasserstoff, Kohlenstoff und Stickstoff) unter Zuhilfenahme des Sauerstoffs der Luft eine ganze Reihe verschiedener chemischer Verbindungen. Ähnliches geschieht mit den Eiweißstoffen: sie, die so kompliziert aufgebaut sind, zerfallen in eine Reihe anderer, aber weniger kompliziert aufgebauter.

Dieser Zerfall des Eiweiß bedeutet eine Reihe von chemischen Vorgängen. Chemische Vorgänge können die Quelle von Kraft, von Energie sein — sei es Wärme,

Elektrizität, Licht\* oder mechanische Arbeit. Die Summe der Energie, welche durch diese chemischen Vorgänge frei wird, macht das Leben aus.

Ein viel stärkerer Zerfall der Eiweißmoleküle wird verursacht durch Reize, welche die lebendige Substanz treffen: seien es Licht- oder Wärmereize, mechanische, chemische oder elektrische Reize oder schließlich ein Impuls, den das Nervensystem an einen Muskel sendet, um ihn zur Zusammenziehung zu veranlassen (der Impuls, der vom Gehirn zum Muskel geht, stellt übrigens nur eine Summe chemischer Vorgänge in den Zellen von Gehirn und Rückenmark und im Nerven dar). Ein Reiz ist für die lebendige Substanz genau dasselbe, was der Schlag für das Nitroglycerin der zu Boden geschleuderten Bombe oder was die Wärme für das Dynamit, zu dem die Zündschnur führt: die geringe äußere Beeinflussung bedingt einen explosiven Zerfall des Eiweiß, des Nitroglycerins oder des Dynamits.

Die Eigenschaft, sich von selbst zu zersetzen, wie das bei den Eiweißstoffen und der Blausäure der Fall ist, beruht auf dem — im chemischen Sinne — sehr lockeren Bau der betreffenden Moleküle, auf dem losen Zusammenhang der einzelnen Atome, die das Eiweißmolekül oder das Blausäuremolekül zusammensetzen. Dieser „lockere Bau“ der Moleküle der betreffenden chemischen Verbindungen ist dadurch bedingt, daß in ihnen Atome zusammengelockert sind, die wenig Bestreben haben, Verbindungen miteinander einzugehen. Sehr augenfällig ist das bei der Blausäure: um sie zu gewinnen, muß man, um das Kohlenstoffatom mit dem Stickstoffatom, die zueinander wenig Neigung haben, zusammenzutoppeln, eine außerordentlich große Energiemenge aufwenden, man muß die chemische Operation in der Glühhitze (Wärmeenergie) vornehmen. Der Stickstoff hat ja überhaupt nur geringe Verwandtschaft zu anderen chemischen Elementen. Darum findet sich der Stickstoff in der Natur hauptsächlich in freiem, ungebundenem Zustand, wie zum Beispiel in der

\* Man denke an die zahlreichen leuchtenden Organismen: Staphylokokken, die Arbeit der Muskelein.

Atmosphäre, von welcher er, wie schon erwähnt, vier Fünftel ausmacht. Sobald nun bestimmte äußere Bedingungen gegeben sind — wie zum Beispiel bei der Blausäure das Hinzutreten von ein wenig Wasser — zerfällt das so schwer zustandegekommene Molekül wieder, die es aufbauenden Atome gehen Verbindungen ein mit anderen Atomen, zu denen sie mehr Neigung haben, oder in anderen, ihnen mehr entsprechenden Gewichtsverhältnissen. Dabei wird viel Wärmeenergie frei.

Auf derselben Grundlage des lockeren chemischen Aufbaus beruht auch die Eigenschaft des explosiven Zerfalls, die den Eiweißstoffen, dem Dynamit und dem Nitroglycerin zukommt. Es genügt ein kleiner Anstoß, eine geringe Energiezufuhr (die verschiedenen Reizformen bei der lebendigen Substanz, der Schlag auf das Nitroglycerin), um den lockeren Zusammenhalt der Atome im großen Molekül zu sprengen. Die frei werdenden Atome gehen nun ihnen passendere Verbindungen ein, es entstehen sehr dauerhafte Verbindungen, wie zum Beispiel Wasserdampf und Kohlenäure. Die nun produzierte große Energiemenge entspricht nicht derjenigen, die zum Zustandbringen der Explosion nötig war. Natürlich ist die „überschüssige“ Energiemenge nicht aus dem „Nichts“ entstanden: es ist die Energiemenge, welche in dem Eiweißmolekül oder im Nitroglycerinmolekül, ganz so wie im Blausäuremolekül, bei ihrem Aufbau aufgespeichert wurde.\*

\* Beim Aufbau von Eiweiß werden — wie bei dem der Blausäure — große Energiemengen verwandt: die lebendige Pflanze, die sich ihre Eiweißstoffe selber aufbaut, benützt hierzu die Lichtstrahlen der Sonne. Die Tiere hingegen nehmen das Eiweiß — und damit die in diesem aufgespeicherte Energie — bis zu einem gewissen Grade schon fertig auf. Die erste Entstehung des Eiweiß und damit des Lebens überhaupt wurde von dem bekanntesten Physiologen Eduard Pflüger in jene Periode der Erdentwählung verlegt, wo unser Planet sich noch in feurigem oder erhitztem Zustand befand und dementsprechend in Form der Wärme gewaltige Energiemengen zur Verfügung standen, deren es zur Verkoppelung des Kohlenstoffs mit dem Stickstoff im Eiweiß bedurfte. Genau dasselbe tun wir ja heute bei der künstlichen Darstellung der Blausäure, wenn wir in der

Wäre nun diese Fähigkeit, zu zerfallen, die einzige charakteristische Eigenart des lebendigen Eiweiß, so gäbe es kein dauerndes Leben: denn ein Lebewesen müßte ja gewissermaßen mit dem ersten Lebenshauch, gleichsam mit einer kraftvollen Leistung der Muskeln, seine Lebensfähigkeit erschöpfen. Das Eiweiß hat aber auch die Fähigkeit, nach dem teilweisen Zerfall sich wieder aufzubauen, zu regenerieren: der übrig gebliebene Rest des Eiweißmoleküls vereinigt sich mit den Nährstoffen des Blutes wieder zu einem ganzen Eiweißmolekül, die zerfallenen Moleküle bauen sich wieder zu ihrer früheren Form auf. Abbau und Aufbau der Eiweißmoleküle fassen wir als Stoffwechsel der lebendigen Substanz zusammen. Der Stoffwechsel des Eiweiß — die Dissimilation (Abbau) und Assimilation (Aufbau) der Eiweißmoleküle — ist Leben.

Der Stoffwechsel des Eiweiß hat nun keine Analogien auch in der leblosen Natur; an ihm ist nichts, was nicht einer natürlichen Erklärung zugänglich wäre. Genau dasselbe, was den Stoffwechsel der Eiweißstoffe ausmacht, geschieht bei der Fabrikation der „englischen Schwefelsäure“. Bringt man Salpetersäure mit schwefliger Säure zusammen, so entzieht die schweflige Säure der Salpetersäure eine gewisse Menge ihres Sauerstoffs und wird dadurch zu Schwefelsäure, die sich von der schwefligen Säure durch einen größeren Sauerstoffgehalt unterscheidet. Aus der Salpetersäure aber sind durch den Sauerstoffverlust sauerstoffärmere Stoffe entstanden, die die Neigung haben, sich mit dem Sauerstoff der Luft zu vereinigen und wieder Salpetersäure zu bilden. Dann entzieht neu zugeführte schweflige Säure der neu gebildeten Salpetersäure abermals den Sauerstoff, und das Spiel beginnt von neuem. So zerfällt — bei genügender Menge von schwefliger

Blühliche Kohlenstoff und Stickstoff zur Vereinigung bringen. „Man sieht, wie ganz außerordentlich und merkwürdig uns alle Tatsachen der Chemie auf das Feuer hinweisen, als die Kraft, welche die Konstituenten des Eiweiß durch Synthese erzeugt hat. Das Leben entstammt also dem Feuer und ist in seinen Grundbedingungen angelegt zu einer Zeit, wo die Erde noch ein glühender Feuerball war“ (Pflüger).

Säure und Sauerstoff — die Salpetersäure dauernd und baut sich stets nach dem Zerfall prompt wieder auf. Wir haben hier einen automatischen Stoffwechsel in der leblosen Natur. Dieses Beispiel steht natürlich nicht vereinzelt in der leblosen Natur da.

### C. Die Bedeutung des Sauerstoffs für die Lebensvorgänge.

Wir wissen, daß zum Leben Sauerstoff nötig ist. Welche Rolle spielt nun der Sauerstoff im Leben, welche Funktion kommt ihm im Stoffwechsel des Eiweiß zu?

Lassen wir die Tatsachen sprechen. Bei der Tätigkeit der lebendigen Substanz wird Sauerstoff verbraucht. Man kann durch geeignete Versuchsanordnungen direkt bestimmen, wieviel Sauerstoff bei der Tätigkeit zum Beispiel des Muskels verbraucht wird. Schließen wir dem Muskel jede Sauerstoffzufuhr ab, so ersticht er, das heißt er verliert die Fähigkeit, sich zu verkürzen, zu leben. Lassen wir einen Muskel angestrengt arbeiten, indem wir ihn lange zeigen, so steigt der Sauerstoffverbrauch an.

Aus diesen Tatsachen sind zwei verschiedene Theorien über die Rolle des Sauerstoffs abgeleitet worden.

Nach der einen, älteren Theorie, die namentlich von Pflüger und Bormann vertreten worden ist, wird der Sauerstoff in das Eiweißmolekül eingefügt. Durch die Einfügung des Sauerstoffs in das Eiweißmolekül wird nun sein Zerfall, die Dissimilation, eingeleitet, der dann die Assimilation, der Wiederaufbau aus dem Rest und den zur Verfügung stehenden Nährstoffen, folgt. Die Vereinigung des Eiweißmoleküls mit dem Sauerstoff könnte vielleicht durch die Kohlehydratgruppe vermittelt werden, die, wie die Eiweißchemie uns lehrt, am Aufbau des Eiweißmoleküls beteiligt ist: gewisse Kohlehydrate, so viele Zucker, haben unter gewissen Bedingungen eine sehr ausgesprochene Neigung, sich mit Sauerstoff zu vereinigen. Bei der vollständigen Verbrennung des Zuckers mit Sauerstoff bilden sich Kohlen- säure und Wasser — Verbrennungsprodukte von kohlenstoff- und wasserstoffhaltigen Verbindungen, wie es der

Zucker ist.\* Verbrennung ist ja nichts anderes als Vereinigung eines Stoffes mit Sauerstoff, wobei neue Stoffe — Verbrennungsprodukte — entstehen. Der Dissimilation des Eiweißmoleküls folgt die Assimilation, der Wiederaufbau aus dem Rest und den zur Verfügung stehenden Nährstoffen, zu denen auch der Sauerstoff gehört. So stellt sich uns das Leben nach dieser Theorie dar als ein dauernder Verbrennungsprozeß, für den das Brennmaterial immer neu von außen zugeführt wird.

Nach einer zweiten Theorie, die von den Physiologen Buntz und Winterstein vertreten wird, spielt der Sauerstoff eine andere Rolle. Seine Aufgabe sei eine sekundäre, nämlich die beim Zerfall des Eiweiß, das heißt im Stoffwechsel entstehenden Zerfallsprodukte noch nachträglich zu oxydieren, zu Wasser und Kohlen- säure zu verbrennen. Die bei Sauerstoffmangel eintretende Erstickung der lebendigen Substanz, zum Beispiel des Muskels, wird nach dieser Theorie so erklärt, daß die bei der Tätigkeit sich anhäufenden Zerfallsprodukte (zum Beispiel Milchsäure), die bei Sauerstoffmangel natürlich nicht verbrennen können, einen weiteren Zerfall der noch verfügbaren Eiweißmoleküle verhindern und die lebendige Sub-

\* Alle Stoffe, die Kohlenstoff und Wasserstoff enthalten, verbrennen zu Kohlen- säure und Wasser, indem der Kohlenstoff und der Wasserstoff Verbindungen mit dem Sauerstoff der Luft eingehen. Man überzeugt sich davon durch einfache Versuche. Man bringt in eine Flasche mit einem weiten Halse eine brennende Stearin- kerze (Stearin ist eine Verbindung von Kohlenstoff, Wasserstoff und sehr wenig Sauerstoff). Nachdem sie einige Zeit darin gebrannt, holt man sie heraus und gießt in die Flasche Kaltwasser. Beim Schütteln trübt sich das Kaltwasser, weil der Kalt sich mit der beim Brennen der Kerze entstandenen Kohlen- säure zu kohlen- saurem Kalt vereinigt, der im Wasser unlöslich ist. Hält man über eine brennende Kerze ein kaltes Glas, so bilden sich an der Seitenfläche des Glases Wassertröpfchen: der beim Brennen der Kerze entstehende Wasserdampf verdichtet sich in der Kälte zu Wasser und schlägt sich an den Wänden des Glases in Tropfen nieder. — Statt Verbrennung sagt man auch Oxydation, das heißt Vereinigung mit Sauerstoff.

stanz lähmen. Es kann vielerlei zur Stütze dieser Theorie herangezogen werden. So gibt es eine große Anzahl von Lebewesen, zum Beispiel viele Bakterien und manche einzellige, die ohne Sauerstoff leben, ja für die Sauerstoff ein Gift ist. Auch die Tätigkeit von Organen, für die es normalerweise des Sauerstoffs bedarf, kann kürzere oder längere Zeit auch ohne Sauerstoff vorstatten gehen: der Muskel, das Rückenmark, der Nerv, die alle zu guter Letzt ersticken, wenn ihnen die Sauerstoffzufuhr abgeschlossen wird, arbeiten noch ziemlich lange, bevor sie erstickt sind. Nach dieser Theorie wäre die Verbrennung nur ein letztes Glied in der Stoffwechselkette der lebendigen Substanz.

Es ist schwer zu sagen, welcher von den beiden Theorien man den Vorzug geben muß. Das wahrscheinlichste ist, daß die Rolle des Sauerstoffs im Stoffwechsel der lebendigen Substanz eine vielgestaltige ist, und daß beide der aufgeführten Theorien zu Recht bestehen.

#### D. Die „Quelle der Muskelkraft“.

In den zwei vorausgegangenen Abschnitten haben wir uns mit den allgemeinen Grundlagen der Lehre vom Leben befaßt. Wir haben gesehen, daß der Quell des Lebens gegeben ist im Stoffwechsel der locker aufgebauten Eiweißstoffe, in ihrem Zerfall und Wiederaufbau. Bei ihrem Zerfall, ihrer Verbrennung durch Hinzutreten von Sauerstoff wird Energie produziert, die das Leben ausmacht.

Das, was wir Leben nennen und dessen Ursprung der naive Mensch von einem überirdischen Wesen ableiten wollte, erweist sich als ein chemischer Vorgang, der in gleicher Weise erforscht sein will, wie alle anderen Erscheinungen der Natur, wie Wind und Wetter, wie das Werden der Gestirne, wie das wogende Feuermeer des Vulkans. . . .

Der Stoffwechsel der Eiweißstoffe bildet den Quell des Lebens in allen seinen Formen. Wir müssen nun das Besondere herausgreifen, das einer der vielgestaltigen Formen des Lebens eigen ist, die chemischen Vorgänge im Muskel näher ins Auge fassen und damit an die eigentliche Aufgabe herangehen, die wir uns in der Einleitung zu diesem Kapitel gestellt.

Die Frage nach den chemischen Grundlagen der Muskelarbeit ist in der Physiologie schon seit mehreren Jahrzehnten eine strittige. Die Frage nach der „Quelle der Muskelkraft“, wie das Schlagwort hieß, hat das Denken einer großen Anzahl bedeutender Forscher in Anspruch genommen.

Schon um die Mitte des vorigen Jahrhunderts hatte der bekannte Chemiker Liebig, nachdem die Aufmerksamkeit der Forscher auf die Rolle der Eiweißstoffe im Getriebe des Lebens gerichtet worden war, die Meinung vertreten, daß die Verbrennung der Eiweißstoffe die Quelle der Muskelkraft sei. Aber dieser Anschauung war es beschieden, von seiten der kommenden Forschergeneration einen gewaltigen Ansturm zu erfahren.

Es war die Zeit, wo man gelernt hatte, durch den sogenannten Stoffwechselversuch sich einen Einblick in die Lebensvorgänge höherer Tiere und des Menschen zu verschaffen. Man bestimmte den Gehalt der Nahrung an den einzelnen Nährstoffen (Eiweiß, Fett und Kohlehydrate), die Einnahmen des Körpers in der Versuchszeit und die stoffliche Zusammensetzung der Ausscheidungen (Harn und Kot) des Versuchstiers, die Ausgaben des Körpers.

Das größte Interesse der Forscher richtete sich auf den Stickstoff im Harn. Denn durch die Bestimmung des Stickstoffs in den Ausscheidungen konnte man Aufschluß gewinnen über die ungefähre Menge des im Körper innerhalb eines gewissen Zeitraums zeretzten Eiweiß: der Stickstoff kann ja nur aus den Eiweißstoffen des Körpers oder der Nahrung stammen, da die anderen organischen Nährstoffe, wie Fett und Kohlehydrate, keinen Stickstoff enthalten. Der Stickstoff erscheint im Harn namentlich als Harnstoff, der im Körper (vor allem in der Leber) aus dem Ammoniak aufgebaut wird, das als eines der Zerfallsprodukte des Eiweiß entsteht.

#### 1. Ist das Eiweiß die Quelle der Muskelkraft?

In den sechziger Jahren hatten sich zwei Züricher Forscher, Fick und Wislicenus, die Frage gestellt, ob die bei angestrengter Muskelarbeit verwandte Energie durch

die Verbrennung von Eiweißstoffen bestritten wird. Sie richteten ihren Versuch auf folgende Weise ein. Sie bestiegen einen hohen Berg, das Faulhorn in der Schweiz, und berechneten diejenige Arbeit, die ihre Muskeln leisten mußten, um den Körper auf die Spitze des Berges zu tragen. Der eine von ihnen wog zirka 75 Kilogramm, die Höhe des Berges betrug zirka 2000 Meter. Es betrug also die Arbeit, die er bei Besteigung des Berges geleistet hatte, zirka 150 000 Kilogramm, eine Arbeit, die gleich ist derjenigen, die geleistet wird, wenn man 150 000 Kilogramm einen Meter hoch hebt. Den während der Besteigung des Berges und einige Stunden später gelassenen Harn sammelten die Forscher und bestimmten seinen Gehalt an Stickstoff. Da einige Stunden vor, während und nach der Besteigung die Forscher absichtlich keine Eiweißnahrung zu sich genommen hatten, so mußte die gesamte Stickstoffmenge des Harnes aus der Zersetzung von Eiweißstoffen aus dem Körper selbst stammen. Es fragt sich nun, ob die durch den Stickstoffgehalt des ausgeschiedenen Harnes angezeigte Eiweißmenge genügend war, um bei ihrer Verbrennung 150 000 Kilogramm Arbeit leisten zu können. Dem Stickstoffgehalt des Harnes entsprechend, wurden zirka 38 Gramm Eiweiß verbrannt. Bei ihrer Verbrennung im Körper liefern 38 Gramm Eiweiß zirka 160 Wärmeeinheiten („große Kalorien“; eine „große Kalorie“ ist gleich der Wärmemenge, die nötig ist, um einen Liter Wasser um einen Grad zu erwärmen). Diese Wärmemenge ist imstande, eine Arbeit zu leisten, die zirka 68 000 Kilogramm gleich ist (eine große Kalorie gleich 427 Kilogramm). Wir sehen, daß die geleistete Muskelarbeit (150 000 Kilogramm) bedeutend größer war als die aus der Verbrennung von Eiweiß erzielte (68 000 Kilogramm). Nun kommt aber einerseits noch hinzu, daß ja auch die Atemmuskeln und der Herzmuskel Arbeit leisten müssen, und diese Arbeit beträgt nach verschiedenen Berechnungen wiederum 30 000 Kilogramm. Und andererseits wird nicht alle Verbrennungswärme in mechanische Arbeit übergeführt, wie das ja zum Beispiel auch für die Dampfmaschine gilt. Raum 20 Pro-

zent der von den Muskeln produzierten Leistung erscheinen als mechanische Arbeit. Die Bilanz in dem Versuch würde schließlich so stehen, daß wenigstens 180 000 Kilogramm Muskelarbeit geleistet worden sind und nur 14 000 Kilogramm aus der Verbrennung von Eiweißstoffen herkommen können. Das Resultat, das aus diesem Versuch, der in der Wissenschaft eine historische Bedeutung erlangt hat, gezogen wurde, war, daß die Eiweißstoffe nicht die alleinige Quelle der Muskelkraft sein können.

Einen Versuch mit ähnlichem Resultat führte bald darauf der Physiologe Karl Voit aus, dem die Lehre vom Stoffwechsel viel zu verdanken hat. Er bestimmte den Stickstoffgehalt des an einem Tage ausgeschiedenen Harnes bei einem Versuchshund, der im Laufe des Tages ruhig im Käfig darsaß. Dann ließ er den Hund im Tretrade viele Stunden lang laufen, also beträchtliche Muskelarbeit leisten, und bestimmte wiederum den Stickstoffgehalt des von dem Hunde ausgeschiedenen Harnes. Es zeigte sich, daß der Hund am Arbeitstag nicht mehr Stickstoff ausgeschieden hatte als am Ruhetag, er hatte also bei angestrenzter Muskelarbeit nicht mehr Eiweiß zersetzt als in Ruhe. Das Eiweiß konnte auch in diesem Versuch nicht die Quelle der Muskelarbeit sein.

Nun wandte sich die ganze Aufmerksamkeit der Forscher einer anderen Gruppe organischer Stoffe zu, die, wenn auch in bedeutend geringerer Menge, in den Muskeln vorkommen — den Kohlehydraten.

## 2. Das Glykogen und seine Bedeutung für die Muskelarbeit.

Wir haben schon kurz erwähnt, daß von den Kohlehydraten im Tierkörper namentlich das Glykogen zu nennen ist, das sich hauptsächlich in der Leber und in den Muskeln findet. 40 Prozent des im Tierkörper enthaltenen Glykogens finden sich in der Leber; 44 in den Muskeln. Da aber die Masse der Muskeln gegenüber der der Leber sehr groß ist, so bildet das Glykogen nur etwa  $\frac{7}{10}$  Prozent der Muskelmasse und mehr als 7 Prozent der Lebermasse. So muß die Leber als die eigentliche Lagerstätte des Glykogens im Tierkörper betrachtet werden.

Wenn wir Stärke aufnehmen, so wird sie durch die Verdauungssäfte des Mundes, namentlich aber im Darne durch die Säfte der Bauchspeicheldrüse zu Zucker, und zwar Traubenzucker abgebaut. Wir haben ja schon erwähnt, daß die Stärke eine Verkoppelung vieler Zuckermoleküle darstellt, und daß man diese Verbindung auch sprengen kann, wenn man Stärke mit verdünnten Säuren kocht.

Der so entstandene Zucker wird von der Schleimhaut des Magens und des Darmes aufgesogen und an das Blut abgegeben. Aber im Blute bleibt der Zucker nicht: er wird zum Teil von den Leberzellen abgefangen. Die Leberzellen haben die Gelegenheit dazu, denn vom Magen und Darm gehen alle Blutgefäße vorerst zur Leber. Die Leberzellen gehen nun gleich an die Arbeit, indem sie die Zuckermoleküle wieder zusammenkoppeln; aber nun nicht mehr zu Stärke, die den Reservestoff der Pflanzen bildet, sondern zu Glykogen. Daß die Leber das tatsächlich kann, hat ein Forscher gezeigt. Er band den Versuchstieren eine Glasfaniüle in das zur Leber führende Blutgefäß und stellte eine Schlauchverbindung her mit einem Behälter, aus dem zuckerhaltige Flüssigkeit durch die Leber strömen konnte. Vorher schnitt er unter den nötigen Vorsichtsmaßregeln den betreffenden Versuchstieren die eine Leberhälfte heraus und bestimmte in ihr den Glykogengehalt. Bestimmte er nun das Glykogen in der etwa zwei Stunden von zuckerhaltiger Flüssigkeit durchströmten anderen Leberhälfte, so zeigte es sich, daß ihr Glykogengehalt viel größer war als in der nicht durchströmten. Die Leberzellen hatten also Zucker abgefangen und ihn zu Glykogen zusammengekoppelt.

So wird eine große Menge der aufgenommenen Kohlehydrate als Glykogen in der Leber aufgestapelt. Was fängt nun der Organismus mit diesen Vorräten an, die bis 150 Grammm betragen können? Nun, es sei gleich gesagt: er verwendet seine Glykogenvorräte zur Bestreitung von Muskelarbeit. Das haben vielerlei Versuche gezeigt. Man hat bei Versuchstieren den Nerv, der zu den Muskeln des einen Beines führt, durchschnitten und so diese Muskeln

zu dauernder Ruhe veranlaßt. Untersuchte man nach einiger Zeit den Glykogengehalt der Muskeln des anderen Beines, die wie immer gearbeitet hatten, und den Glykogengehalt der Muskeln, deren Nerv durchschnitten war, so zeigte es sich, daß die letzteren mehr Glykogen enthielten als die ersteren; ihr Glykogengehalt war manchmal beinahe um das Doppelte höher als in denjenigen Muskeln, die gearbeitet hatten. Andere Forscher sind so verfahren, daß sie Frösche das eine Bein wegschnitten, das andere aber stark reizten und so die Muskeln schwer arbeiten ließen. Dann wurde der Glykogengehalt der gereizten und nichtgereizten Beinmuskeln miteinander verglichen. Stets zeigte sich eine bedeutende Abnahme des Glykogengehaltes der gereizten Muskeln. Die Versuche wurden von den Forschern in verschiedenster Weise variiert (man ließ Hunde stundenlang einen schweren Wagen ziehen, um dann den Glykogengehalt ihrer Muskeln mit dem Glykogengehalt der Muskeln eines Hundes zu vergleichen, der nicht gearbeitet hatte usw.) — immer mit dem gleichen Resultat, daß bei Muskelarbeit Glykogen verbraucht wird.

Um für die Muskelarbeit Verwendung zu finden, muß das Glykogen erst wieder zu Zucker abgebaut werden. Zweifellos besitzen die Muskelzellen die nötigen chemischen Einrichtungen hierzu. Daß das Glykogen bei der Muskelarbeit in Form von Zucker zur Verfügung steht, ist auch durch Versuche gezeigt worden: in gereizten Muskeln ist der Zuckergehalt größer als in ungereizten. Die Leberzellen besitzen nun auch die Fähigkeit, ihr Glykogen wieder in Zucker aufzuspalten, um bei eintretendem Bedarf, durch Vermittlung des Blutes, den Muskeln das nötige Material für ihre Arbeitsleistung zur Verfügung stellen zu können. Die Muskeln saugen dann ihrerseits den Zucker aus dem Blute heraus, um ihn sofort zu verbrauchen, oder sie machen aus ihm wieder Glykogen, von dem sie bei der Arbeit sich dann ihren Zucker holen können. Bei angestrenzter Muskelarbeit und im Hunger, wo aller Bedarf aus den Vorräten des Körpers bestritten werden muß, sinkt darum der Glykogengehalt nicht nur der Muskeln, sondern auch der Leber.

Was geschieht nun mit dem Zucker in den Muskeln, wenn sie arbeiten? Der Zucker wird verbrannt. Es läßt sich in Versuchen der Nachweis führen, daß bei angestrenzter Muskelarbeit der Sauerstoffverbrauch und die Kohlenstoffabgabe des Körpers größer werden.

### 3. Weitere Versuche und Schlussbetrachtung über die Quelle der Muskelkraft.

Während, wie wir gesehen haben, der äußerlich kontrollierbare Eiweißverbrauch bei Muskelarbeit nicht gesteigert wird, unterlag es nun keinem Zweifel mehr, daß bei der Muskelarbeit ein Aufbrauch von Kohlehydraten stattfindet. Und in den Kohlehydraten wollte man nun die alleinige Quelle der Muskelkraft sehen. Das schien nun dem zu widersprechen, was wir über die Rolle der Eiweißstoffe im Stoffwechsel, im Prozeß des Lebens ausgeführt haben. Hier, bei den Muskeln, sollten die Eiweißstoffe ganz ausgeschaltet sein!

Man griff die Frage nach der Quelle der Muskelarbeit wieder auf. Vor allem wurde gezeigt, daß die Muskeln auch allein mit Eiweiß ihren Stoffbedarf bei angestrenzter Arbeit bestreiten können! Der Physiologe Pflüger fütterte einen Hund lange Monate hindurch nur mit Fleisch, das — „Fleisch“ sind ja die Muskeln von Tieren — beinahe nur aus Eiweiß besteht.\* Einmal in der Woche ließ er den Hund angestrengt arbeiten. Obgleich also das Tier nur ganz geringe Mengen von Kohlehydraten aufnahm, blieb es trotzdem bei guter Gesundheit und konnte beträchtliche Muskelarbeit leisten.

Schließlich fand man, daß auch Fett und andere organische Stoffe als Kraftquelle für die Muskelarbeit dienen können. Der arbeitende Muskel kann alle organischen Stoffe der Nahrung in seinem Stoffhaushalt verwerten.

\* Wir haben schon darauf hingewiesen, daß das Glykogen in den Muskeln nur  $\frac{7}{10}$  Prozent des Gewichtes der Muskeln ausmacht. Nur aus der großen Masse der Muskeln erklärt es sich, daß circa 40 Prozent alles Glykogens des Körpers sich in den Muskeln befinden (Schöndorff).

Die Frage nach der „Quelle der Muskelkraft“ hatte ein ganz anderes Gesicht bekommen.

Pflüger machte nun einen weiteren wichtigen Versuch. Er bestimmte bei seinem allein mit Eiweiß gefütterten Hunde den „Eiweißverbrauch“ (Stickstoffgehalt des Harnes) bei Ruhe und den „Eiweißverbrauch“ bei schwerer Muskelarbeit. Obgleich nun das Tier beinahe allein Eiweiß als Quelle für seine Muskelarbeit benutzen konnte, stieg sein „Eiweißverbrauch“ bei Muskelarbeit nur ganz unbedeutend oder gar nicht an. Und Voit hatte schon früher gezeigt, daß auch im Hungerzustand, wo das Tier für alle seine Leistungen das Material aus seinem Körperbestand hernehmen und das Körpereiwweiß angreifen muß, der „Eiweißverbrauch“ bei schwerer Muskelarbeit doch nicht ansteigt.

Alle diese Versuche waren geeignet, darauf hinzuweisen, daß der Schluß, die Kohlehydrate seien die alleinige Quelle der Muskelkraft, doch übereilt war. Es war nunmehr nicht nur der Nachweis geführt, daß Muskelarbeit allein mit Eiweiß bestritten werden kann, sondern auch, daß in dem Falle, wo das Tier auf einen Eiweißverbrauch für seine Muskelarbeit angewiesen war, der „Eiweißverbrauch“ (Stickstoffgehalt des Harnes) doch nicht ansteigt. Das war ein Widerspruch, der nur in einem Sinne gelöst werden konnte: daß der Eiweißverbrauch bei der Muskelarbeit sich äußerlich, durch die Menge der im Harn erscheinenden Abbauprodukte des Eiweiß nicht kontrollieren läßt. Es muß irgendwie die Sache so eingerichtet sein, daß der Eiweißverbrauch bei vermehrter Muskelarbeit nicht äußerlich zum Vorschein kommt. Wie das möglich ist, darauf hat Verworn im Anschluß an seine allgemeinen Betrachtungen über die Rolle des Eiweiß im Stoffwechsel hingewiesen. Der Stoffwechsel des Muskels vollzieht sich wie in jeder lebendigen Substanz: die Eiweißmoleküle der lebendigen Substanz des Muskels zerfallen unter Aufnahme von Sauerstoff und Abgabe von Kohlenstoff und anderen Zerfallsprodukten an die Lymphe und an das Blut. Der stickstoffhaltige Baustein des zerfallenen Eiweißmoleküls baut sich

wieder zu einem Ganzen auf, indem er sich hierzu die nötigen Stoffe aus dem Blute herausholt: und alle organischen Stoffe der Nahrung — Eiweiß, Fett und Kohlehydrate — kann er hierzu benutzen. Nun treffen den Muskel Reize, die ihn zu vermehrter Tätigkeit veranlassen. Es zerfallen mehr Eiweißmoleküle. Mehr Sauerstoff wird verbraucht, mehr Kohlensäure gebildet. Aber der Rest eines jeden der zerfallenen Eiweißmoleküle, die stickstoffhaltigen „Bausteine“ des Eiweißmoleküls werden nach Möglichkeit stets wieder zum Aufbau der lebendigen Substanz benutzt. Auch nachdem sie ihre Arbeit getan, gehen sie dem Organismus nicht verloren. Das kostbare stickstoffhaltige Baumaterial bleibt dem Organismus erhalten. Die Menge der aus dem Zerfall des Eiweiß stammenden stickstoffhaltigen Stoffe, die den Körper verlassen, bleibt stets dieselbe, gleichgültig wie groß die Anzahl der Eiweißmoleküle der lebendigen Substanz des Muskels gewesen ist, die bei der Muskelarbeit verbrannt worden sind.

\* \* \*

Alle unsere bisherigen Betrachtungen über die Quelle der Muskelkraft haben sich auf die quergestreiften Muskeln bezogen. Diese sind ja die eigentlichen Organe für die mechanische Arbeitsleistung des Körpers.

Was über den Stoffwechsel der quergestreiften Muskeln ausgeführt worden ist, darf man wohl auch für die glatten Muskeln gelten lassen. Allerdings fehlt es heute noch an Untersuchungen über den Stoffwechsel der glatten Muskeln. Es ist vorauszusetzen, daß ihr Stoffwechsel entsprechend ihrer trägeren Tätigkeit viel weniger intensiv ist als der der quergestreiften Muskeln. Auch die glatten Muskeln enthalten Glykogen.

## V. Die Muskelmaschine.

A. Muskelarbeit und Verbrennung. Muskelmaschine und Dampfmaschine. B. Wie arbeitet die Muskelmaschine?

### A. Muskelarbeit und Verbrennung. Muskelmaschine und Dampfmaschine.

Im vorigen Kapitel haben wir versucht, ein Bild von den chemischen Vorgängen im Muskel zu entwerfen. Die Betrachtung aller über die chemischen Vorgänge im Muskel zutage geförderten Tatsachen hat uns dazu geführt, jener wissenschaftlichen Vorstellung den Vorzug zu geben, welche die Quelle der Muskelkraft in dem Zerfall, in der Verbrennung der Eiweißmoleküle der lebendigen Substanz der Muskelfasern sieht. So stellt sich für uns die Muskelarbeit — und alles Leben überhaupt — dar als ein dauernder Verbrennungsprozeß, für den das Brennmaterial in Form der organischen Stoffe der Nahrung immer neu zugeführt wird. Bei angestrenzter Muskelarbeit steigt die Menge der verbrannten lebendigen Substanz (und damit der Sauerstoffverbrauch und die Kohlensäurebildung) gegenüber der in derselben Zeit im ruhenden Muskel verbrannten lebendigen Substanz. Man darf darum die Veranschaulichung der Muskelarbeit als eines Verbrennungsprozesses noch weiter ausdehnen und sagen: der ruhende Muskel „glimmt“, der schwer arbeitende Muskel „brennt in hellen Flammen“.

Die Verbrennung der lebendigen Substanz im Muskel bedingt seine Arbeitsleistung. Man hat darum schon seit langer Zeit die Muskelarbeit mit der Arbeit einer Dampfmaschine verglichen, bei der ja auch der Arbeitsleistung ein Verbrennungsprozeß zugrunde liegt. „Die Muskelfaser ist eine Arbeitsmaschine, aufgebaut aus eiweißhaltigem Material, ähnlich wie eine Dampfmaschine aufgebaut ist aus Stahl, Eisen, Messing usw. Wie nun in der Dampfmaschine zur Kräftezeugung Kohle verbrannt wird, so wird in der Muskelmaschine das organische Ma-

terial der Nahrung verbrannt. Wie aber ferner in der Dampfmaschine fortwährend auch das Baumaterial (Eisen usw.) abgenutzt wird, so wird auch im Muskel das Baumaterial abgenutzt, und diese Abnutzung liefert stickstoffhaltige Harnbestandteile\* (Zick und Wislicenus). Hören wir mit der Zufuhr von Kohle zur Dampfmaschine auf, so steht die Maschine schließlich still; hören wir mit der Nahrungszufuhr auf, bekommen die Muskeln kein Brennmaterial zugeführt, so vermindert sich allmählich ihre Fähigkeit, Arbeit zu leisten.

Dieser Vergleich darf nun natürlich in keinem Falle wörtlich genommen werden, aber er ist wertvoll, weil er uns dazu verhilft, eine anschauliche Vorstellung von der Muskelarbeit zu gewinnen.

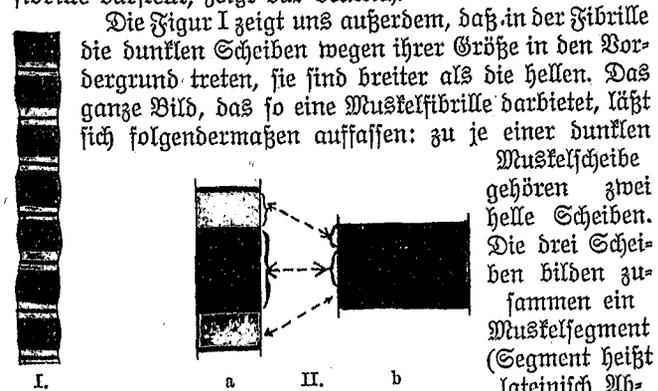
## B. Wie arbeitet die Muskelmaschine?

Nachdem wir festgestellt, daß der mechanischen Arbeitsleistung der Muskeln chemische Vorgänge zugrunde liegen, entsteht eine neue Frage: Auf welchen Wegen wird die chemische Energie der lebendigen Substanz des Muskels in mechanische Energie umgewandelt? Es ist dieselbe Frage, die einer stellt, wenn er zum erstenmal eine Dampfmaschine sieht: Welche Vorkehrungen und Einrichtungen hat James Watt getroffen, als er seine Dampfmaschine konstruierte, um die chemische Energie der Brennstoffe in mechanische Arbeit umwandeln zu können? Dieser Vergleich mit der Dampfmaschine sagt uns gleich wieder, was unsere Aufgabe bei der Beantwortung der in bezug auf die Muskelarbeit gestellten Frage sein muß: wir müssen mit Hilfe aller uns zu Gebote stehenden Untersuchungsmittel den feineren Bau der Muskelfasern studieren und die bei der Zusammenziehung (Verkürzung) in ihnen sich abspielenden Vorgänge genau ins Auge zu fassen suchen.

Bringen wir ein Muskelstückchen unter das Mikroskop und betrachten wir es genau (Figur 11). Wir wissen schon aus unseren früheren Betrachtungen, daß die quergestreifte Muskelfaser ein Bündel vieler Fäserchen oder Fi-

\* Was uns sagt, daß Eiweiß im Körper zerstört worden ist.

brillen ist, und wir wollen nun eine noch stärkere Vergrößerung anwenden, um so ein einzelnes Fäserchen ganz genau anschauen zu können. Wir sehen bei starker Vergrößerung, daß der früher von uns gebrauchte Vergleich der quergestreiften Muskelfaser mit einer Geldrolle ungenügend ist: die Sache ist viel komplizierter. Die runden Scheiben sind nämlich zweierlei Art: dunklere und hellere. Unsere Abbildung I, die ein Stückchen einer Muskelfibrille darstellt, zeigt das deutlich.



Figur 11. I. Eine Muskelfibrille bei sehr starker Vergrößerung. Man sieht die breiten dunklen und die schmäleren hellen Scheiben. Die Segmente sind durch sehr dunkle Zwischenscheiben von einander getrennt. II. Ein einzelnes Segment: a unverkürzt, b verkürzt. Bei der Verkürzung ist die dunkle Scheibe heller, die helle dagegen dunkler geworden. (Aus Verworn, Allgemeine Physiologie.)

brillen getrennt. Engelmann nimmt an, daß zwischen den dunklen und den hellen Scheiben wichtige Unterschiede bestehen: die dunklen sind fester als die hellen, sie sind wasserärmer als diese, die weich und wasserreich sind. Charakteristisch für die dunkle Scheibe ist es noch, daß durch sie hindurchgehende Lichtstrahlen „doppelt gebrochen“, das heißt in zwei Strahlen zerlegt werden.

Beobachten wir nun die Vorgänge, die sich bei der Verkürzung des Muskels in einem Segment abspielen. Bei der Zusammenziehung wird der Muskel kürzer und dicker.

Da nun die Muskelfibrille aus aneinandergereihten Muskelsegmenten besteht, so ist klar, daß bei der Zusammenziehung jedes einzelne Segment kürzer und breiter werden muß, wie Figur II a und b uns zeigt. Aber es hat nicht bloß eine Formveränderung des Muskelsegmentes stattgefunden. Die Muskelscheiben haben nun auch sonst ein ganz verändertes Aussehen. Die dunkle Scheibe ist heller geworden, die helle Scheibe dunkler. Es ist nach Engelmann die dunkle Scheibe nun weicher, die helle Scheibe fester geworden. Jedenfalls ist klar, daß bei der Zusammenziehung des Muskels Wasser aus der hellen Scheibe in die dunkle übertritt; dadurch werden die Veränderungen in beiden Arten von Scheiben genügend erklärt: das Hellwerden der dunklen Scheibe und das Dunklerwerden der hellen Scheibe. Wir können mit anderen Worten sagen, daß bei der Zusammenziehung des Muskels eine Quellung (gleich Wasseraufnahme) der dunklen Scheiben stattfindet.

Engelmann, der es sich zur Aufgabe gemacht hatte, die Erscheinungen der Bewegung der lebendigen Substanz zu erforschen, und dem die Wissenschaft die eben beschriebenen Beobachtungen über den Bau der Muskelfibrillen und über die Vorgänge in den Muskelsegmenten bei der Verkürzung verdankt, hat diese Beobachtung an den Muskelsegmenten zum Ausgangspunkt aller weiteren Erklärung der Muskelarbeit gemacht. Er hat die verschiedensten Formen der lebendigen Substanz, die die Fähigkeit der Verkürzung und damit der Bewegung besitzen, auf ihren Gehalt an Stoffen untersucht, die von denselben Eigenschaften wären wie die dunkle Scheibe des Muskelsegmentes. Nach seiner Annahme sind solche Stoffe enthalten in den dünnen Protoplasmastrahlen, welche von Einzelligen ausgeschiedt werden, im Protoplasma der Einzelligen, die sich auf einen Reiz hin zusammenziehen, in den Wimperhäutchen der Infusorien, in den Fimbriliahaaren der Zellen unserer Schleimhäute, in dem Schwanz des beweglichen Samenfadens und in den glatten Muskelfasern. Engelmann hat sich nun gesagt, daß eben diesen Stoffen — der doppelt lichtbrechenden Substanz — diese

Zellgebilde ihre Fähigkeit der Verkürzung zu verdanken haben. In den Fibrillen der quergestreiften Muskeln, als der höchstentwickelten Form eines Organs der Verkürzung und der Bewegung, haben sich diese Stoffe als dunkle Scheiben herausgefondert.

Auf Grund aller seiner vielfachen Beobachtungen hat Engelmann die Theorie aufgestellt, daß die Fähigkeit der Muskelverkürzung oder der Arbeitsleistung des Muskels auf der Quellung der dunklen Scheiben der Muskelsegmente beruht.

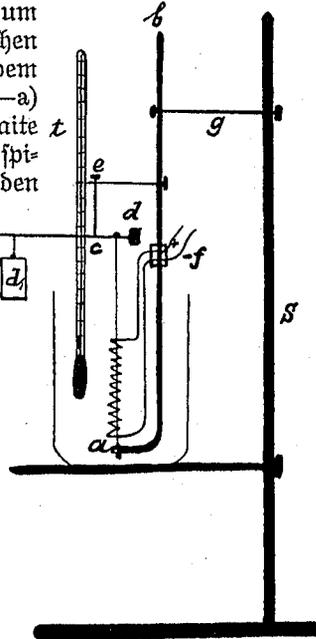
Im Eingang dieses Abschnitts haben wir uns die Frage gestellt, „auf welchen Wegen die chemische Energie der lebendigen Substanz des Muskels in mechanische Energie umgewandelt wird“. Wir sehen nun, daß dieser Weg gegeben ist durch die Aufquellung eines Teiles der Muskelfasern, der dunklen Scheiben. Es fragt sich daher, wie durch die chemischen Vorgänge im gereizten, das heißt im arbeitenden Muskel eine Quellung und damit eine Verkürzung zustande kommen kann.

Engelmann stellte sich diese Frage und experimentierte an quellungsfähigen Stoffen. Er benutzte Violinsaiten, die bekanntlich aus dem bindegewebigen Überzug des Darmschlauches hergestellt werden. Bindegewebe besitzt die Fähigkeit zu quellen. Es galt also herauszubekommen, unter welchen Umständen eine vermehrte Quellung eintritt. Es erwies sich, daß bei Erwärmung der Violinsaiten ihre Fähigkeit, durch Wasseraufnahme zu quellen, zunahm. Beim Quellen verkürzt sich die Violinsaiten, die man zum Versuch in ein mit Wasser gefülltes Glas hineinhängt. Erwärmt man das Wasser durch eine untergehaltene Flamme, so wird die Quellung der Violinsaiten sofort stärker und damit wird auch die Verkürzung der Saite stärker. Kühlt man das Wasser ab, so wird die Quellung der Violinsaiten wieder geringer: die Saite streckt sich wieder. Es genügt schon eine sehr geringe Erwärmung, um eine vermehrte Wasseraufnahme und damit eine Verkürzung der Violinsaiten hervorgerufen. Engelmann beschreibt einen sehr einfachen Versuch, den er angestellt hat, um zu zeigen, wie das vorgeht (vergl. Figur 12). An einem

Glasstab  $a-b$ , der an einem eisernen Gestell  $S$  und  $g$  angebracht ist, ist an einem Gatter ein leichter Hebel ( $H$ ) aus Aluminium befestigt, der sich um seine Achse  $c$  drehen kann. Zwischen dem beweglichen Hebel und dem Glasstab ist eine Violinsaiten ( $d-a$ ) ausgespannt. Um die Violinsaiten herum wird ein dünner Draht spiralförmig herumgeführt, dessen Enden ( $+f$ ) mit den beiden Polen einer

schwachen elektrischen Batterie verbunden sind. Am linken Arm des Hebels wird ein Gewicht ( $d_1$ ) aufgehängt, mit dem man die Saite in Spannung erhält. Glasstab mit Saite und Drahtspirale werden in ein mit Wasser gefülltes Glas versenkt, das auf einer am Gestell  $S$  angebrachten Platte steht. Wenn wir nun einen elektrischen Strom durch die Spirale schicken, so erwärmt sich der Draht und gibt Wärme an die Umgebung ab; die erwärmte Saite quillt stärker auf, verkürzt sich und hebt das am Hebel hängende Gewicht. Dann unterbrechen wir wieder den Strom: die Spirale und die Saite kühlen sich wieder ab, die Saite gibt allmählich das überschüssige Wasser ab, dehnt sich und das Gewicht am linken Hebelarm sinkt herunter. Das Thermometer zeigt eine kaum merkbare Temperatursteigerung an. Indem wir den Strom immer wieder schließen und öffnen, können wir die Violinsaiten, gleichsam einen Muskel, zu beträchtlicher Arbeitsleistung veranlassen.

Wir haben hier ein Muskelmodell vor uns, wo die entwickelte mechanische Energie auf dem Wege der Quellung aus Wärme entsteht. Es fragt sich nun, ob im arbeitenden Muskel eine Wärmequelle vorhanden ist. Natürlich! Denn



Figur 12. Muskelmodell.  
Erklärung im Text.

die bei Reizung des Muskels in ihm angeregten chemischen Vorgänge sind ja eine vermehrte Verbrennung der lebendigen Substanz! Ja, es ist von einigen Forschern sogar die Wärmemenge bestimmt worden, die in einem Muskel bei verschiedener starker Reizung und Arbeitsleistung entsteht. So ist es möglich, daß das beschriebene Muskelmodell uns die Wege anzeigt, auf denen die chemische Energie der lebendigen Substanz des Muskels in mechanische übergeführt wird. Wir hätten uns dann die Vorgänge im Muskel bei Arbeitsleistung folgendermaßen vorzustellen: Im ruhenden Muskel spielen sich wie in aller lebendigen Substanz Stoffwechselvorgänge ab. Nun trifft ein Reiz den Muskel, sei es ein künstlicher Reiz im Versuch oder ein vom Gehirn kommender Impuls: der Zerfall der Eiweißmoleküle wird gesteigert, die Menge der verbrannten organischen Stoffe wird größer, mehr Wärme entsteht. Dadurch wird der Muskel stärker erwärmt als in der Ruhe. Die quellungsfähigen dunklen Scheiben der Muskelfibrillen quellen durch Wasseraufnahme aus den hellen Scheiben, die Muskelfasern verkürzen sich, und die mechanische Arbeitsleistung ist da.

Wir sehen, daß der Vergleich der Muskelarbeit mit den Leistungen einer Dampfmaschine nicht nur in dem Sinne berechtigt ist, daß beiden gleichartige chemische Vorgänge — Verbrennung kohlenstoffhaltigen Materials — zugrunde liegen. Die Ähnlichkeit geht noch weiter: in der Muskelmaschine wie in der Dampfmaschine wird die chemische Energie zuerst in Wärme umgewandelt, die, einmal die vermehrte Quellung der Muskelscheiben, das andere Mal die Verdampfung des Wassers im Kessel der Dampfmaschine bedingend, sich dann weiter in mechanische Energie umwandelt.

Die Muskelmaschine ist in bezug auf die Ausnutzung der Wärme besser eingerichtet als die Dampfmaschine. Gute Dampfmaschinen nützen höchstens 15 Prozent der Wärmeenergie aus, die bei der Verbrennung der Kohle frei wird: nur höchstens 15 Prozent der freiwerdenden Wärme werden in mechanische Arbeit umgewandelt. Die Muskelmaschine dagegen kann 30 Prozent der freiwerdenden

den Wärme in mechanische Energie umwandeln. Die Natur, meint der geistvolle Forscher Engelmann, hat es „in Klonen während Züchtung“ in der Anwendung des Prinzips der Umwandlung einer Energieform in eine andere schließlich weiter gebracht, „als der menschliche Geist in der kurzen Spanne Zeit, die seit James Watts Erfindung verflossen ist“.

\* \* \*

Wir haben schon gelegentlich darauf hingewiesen, daß nach Engelmann alle lebendige Substanz, der die Fähigkeit der Verkürzung zukommt, quellungsfähige Stoffe besitzt. Zum Beispiel auch die glatten Muskelzellen. Nur daß, wie Engelmanns Annahme lautet — im Gegensatz zu den quergestreiften Muskelfasern —, hier die quellungsfähigen Stoffe nicht in Form von einzelnen Scheiben innerhalb der Zelle herausgesondert sind. So gelten die Miteinandersetzungen über die Arbeit der quergestreiften Muskelmaschine auch für die glatten Muskelzellen: chemische Energie wird in Wärme umgewandelt, diese bedingt vermehrte Quellung in den Zellen, die sich nun verkürzen und mechanische Arbeit leisten.

Die Betrachtungen, die Engelmann an seine Beobachtungen über die Arbeit der Muskeln geknüpft hat, haben von seiten anderer Gelehrten manchen Widerspruch erfahren. So meinen manche Forscher, wie zum Beispiel Bertworn, daß der Übergang von Stoffen aus der hellen in die dunkle Muskelscheibe nicht erst durch Wärme bedingt wird, sondern unmittelbar durch die bei Muskelreizung hervorgerufenen chemischen Vorgänge. Es würde dann die Arbeit der Muskelmaschine nicht ganz so ähnlich der der Dampfmaschine verlaufen.

In allen Einzelfragen über die Arbeit der Muskelmaschine wird die Forschung noch manchmal einzugreifen haben. Die Muskelarbeit ist eines der bedeutendsten Probleme der Physiologie, und mancher Forscher wird hier noch seine Kräfte versuchen müssen. Bei der ausführlichen Darstellung der von Engelmann vertretenen Theorie über die Arbeit der Muskelmaschine galt es uns nicht, das

Problem der Muskelarbeit nun als vollkommen erledigt und abgeschlossen hinzustellen. Vielmehr war der Zweck der Darstellung, am Beispiel einer folgerichtig durchgeführten Theorie zu zeigen, daß die Wissenschaft imstande ist, die kompliziertesten Erscheinungen des Lebens, wie sie die Muskelarbeit darbietet, mit denselben Mitteln der Forschung anzugreifen, wie die Erscheinungen der leblosen Natur.

## VI. Die Ermüdung der Muskeln.

A. Ermüdung und Ermüdungsstoffe. B. Die Geseze der Ermüdung. 1. Der Ergograph. 2. Die Ermüdungskurve. 3. Muskelarbeit ohne Ermüdung. 4. Ermüdung der Muskeln und der Nervenzellen. 5. Die Abhängigkeit der einzelnen Muskelgruppen voneinander. 6. Muskelarbeit und Schlaf. 7. Unter welchen Arbeitsbedingungen wird die größtmögliche Menge von Arbeit geleistet?

### A. Ermüdung und Ermüdungsstoffe.

In den vorhergegangenen Kapiteln wurde gezeigt, daß man sich die Muskelmaschine in ähnlicher Weise aufgebaut vorstellen kann wie die Dampfmaschine: chemische Energie wird in Wärme umgewandelt, von der ein Teil wieder in mechanische umgewandelt wird.

Ein jeder weiß, wieviel Sorgfalt auf die Bedienung einer Dampfmaschine verwandt werden muß, die Tag für Tag in Arbeit ist. Ein geschulter Mann muß beizeiten neue Feuerung in den Ofen bringen, damit es nie an Brennmaterial mangelt und die Maschine in gewohnter Weise arbeiten kann. Die Asche, die Schlacken, welche bei der Verbrennung entstehen, müssen fortgeschafft werden. Das gibt viel zu schaffen, und die Leute, die bei der Dampfmaschine sind, können die Hände nicht in den Schoß legen.

Genau so ist es auch bei der lebendigen Dampfmaschine, bei der Muskelmaschine. Hier ist das Blut der sorgende Diener. Das Blut bringt dem Muskel das Brennmaterial und holt die Schlacken heraus. Eine größere „Pulsader“ (Arterie) tritt in den Muskel ein und löst sich allmählich in ein System von engsten Röhrchen auf — das sind die Kapillaren, die „Haargefäße“ (Figur 5). Die Kapillaren gehen bis an die Muskelfasern heran, und durch die sehr dünnen Wände der Kapillaren hindurch können Nährstoffe in die Muskelfasern eintreten. Gleichzeitig werden Schlacken des Muskels an die Kapillaren abgegeben und mit dem Blute fortgeführt. Die winzigen Kapillaren sam-

eln sich in der „Blutader“ (Vene), die wieder ein großer Strom ist. Das in den Muskel fließende Blut sieht anders aus als das Blut, das aus dem Muskel in die Blutader zurückfließt: beim Durchfließen des Muskels verliert es seine hellrote Farbe und wird dunkler. Das kommt daher, daß beim Durchgang durch den Muskel das Blut seinen Sauerstoff an die Muskelzellen abgibt und sich mit Kohlenäure beladet. Unterjucht man das in den Muskel fließende Arterienblut und das aus dem Muskel zurückfließende Venenblut auf seinen Gehalt an Sauerstoff und Kohlenäure, so überzeugt man sich, daß das erstere an Sauerstoff reicher und an Kohlenäure ärmer ist als das zweite. Es hat im Muskel eine Verbrennung stattgefunden, wobei Sauerstoff und andere Nährstoffe verbraucht und Kohlenäure gebildet worden ist. Und je stärker der Muskel arbeitet, desto mehr Sauerstoff und andere Nährstoffe holt er sich aus dem Blute der Kapillaren heraus und desto mehr Kohlenäure gibt er ab. Das ist alles durch entsprechende Versuche verschiedener Forscher festgelegt worden. Auch andere Zerfallsprodukte der lebendigen Substanz, wie Milchsäure und die stickstoffhaltigen Zerfallsprodukte werden vom Muskel an das Blut abgegeben. Das Blut führt die Zerfallsprodukte an die Organe, die die Ausscheidung dieser Stoffe aus dem Körper besorgen: die Kohlenäure zur Lunge, die stickstoffhaltigen Schlacken zur Niere. Manche von den Zerfallsprodukten werden noch weiter im Körper verarbeitet, entgiftet (zum Beispiel in der Leber).

Nun stellen wir uns vor, daß es einmal in der Zufuhr von Nährstoffen und der Abfuhr der Zerfallsprodukte eine Störung gibt. Es ist leicht verständlich, daß das einmal eintreten kann. Nehmen wir zum Beispiel den Fall an, daß die Muskeln einmal angestrengt arbeiten müssen. Sie brauchen dann sehr viel Nährstoffe, vor allem Sauerstoff, und bilden viel Zerfallsprodukte, viel mehr als sonst. Da ist es nun möglich, daß das Blut den erhöhten Anforderungen nicht genügen kann: es kann nicht schnell genug so viel Sauerstoff zu den Muskeln bringen und kann nicht schnell genug die großen Mengen entstehender

Stoffwechselprodukte aus den Muskeln herausschaffen. Genau wie das einmal auch mit der Dampfmaschine geschehen kann. Wenn diese eines Tages mehr als sonst arbeiten muß, so wird die Bedienung nicht allem nachkommen können — nicht genug frischer Kohlen kommen zur rechten Zeit in den Ofen, und die Schlacken werden nicht schnell genug herausgeschafft. Dann geht die Sache in die Brüche. Die Dampfmaschine arbeitet nun nicht mehr wie früher. In gleicher Weise beginnen die Muskeln an Leistungsfähigkeit einzubüßen. Einerseits ist ein Teil der Eiweißmoleküle bei der Arbeit zerfallen und andererseits stören die angehäuften Stoffwechselprodukte den Betrieb. Die Menge der mechanischen Arbeit, die der Muskel zu leisten vermag, nimmt allmählich ab: ein Teil der Eiweißmoleküle ist nunmehr aus dem Betrieb ganz ausgeschaltet, weil es an Sauerstoff für ihn mangelt — dem gesteigerten Bedarf an Sauerstoff hat das Blut mit seiner Zufuhr nicht ganz genügen können —, die Masse der zerfallensfähigen Eiweißmoleküle ist nun geringer, und es kann nur ein geringeres Maß chemischer Energie im Muskel frei werden, um in mechanische Arbeit umgewandelt zu werden, und schließlich stören die Zerfallsprodukte den Betrieb. Der Muskel ist müde.

Daß ein Mangel an Nährstoffen, zum Beispiel an Sauerstoff, den Muskel müde machen und schließlich lähmen kann, haben wir schon früher einmal erwähnt. Bringt man aber einen herausgeschnittenen Froschmuskel, den man durch Sauerstoffmangel in einer stickstoffhaltigen Umgebung gelähmt hatte, wieder in eine sauerstoffhaltige Umgebung zurück, so erholt er sich und gewinnt seine Leistungsfähigkeit wieder.

Auch um die Wirkung der bei der Muskelarbeit entstehenden Zerfallsprodukte auf den Muskel zu ergründen, sind von einigen Forschern sehr interessante Versuche angestellt worden. Der Physiologe Ranke ließ Muskeln vom Frosch schwer arbeiten, bis sie ermüdeten. Dann wurde ein Wasserzug, wie sie der Chemiker aus pflanzlichem und tierischem Material häufig macht, aus den Muskeln hergestellt und einem nicht ermüdeten Frosch in

die Blutgefäße eingespritzt. Das Tier zeigte dann bald die Erscheinungen der Ermüdung, ohne daß es selbst gearbeitet hatte! Es ist klar, daß der ermüdete Muskel Stoffe enthält, deren Vorhandensein im Blute oder im Muskel die Arbeit des Muskels behindert und ihm seine Leistungsfähigkeit nimmt. Man nennt diese Stoffe, deren chemische Natur wir noch nicht kennen, Ermüdungsstoffe.

Die Wirkung der Ermüdungsstoffe ist auch am Hunde studiert worden. Der italienische Gelehrte Mosso ließ Hunde 12 bis 18 Stunden in einem Tretrad laufen, bis die Kräfte der Tiere fast erschöpft waren. Wenn er nun das Blut solcher Tiere anderen, nicht ermüdeten Hunden in die Blutgefäße einspritzte, so wurden die Hunde müde und niedergeschlagen; Mosso berichtet: „sie legen sich nieder, und man muß sie sehr reizen, damit sie sich bewegen; wenn sie gehen oder wenn sie ein Hindernis übersteigen, so erscheint in ihren Bewegungen eine gewisse Steife und Schwerfälligkeit. Auf jeden machen sie den Eindruck einer tiefen Ermüdung. Brachte Mosso nichtermüdeten Hunden Blut von anderen nichtermüdeten Hunden in die Blutgefäße, so schadete das den Tieren nicht. Die Hunde verhielten sich nach der Operation ganz wie normale Tiere. Es ist klar, daß die schädliche Wirkung der Blutzufuhr von ermüdeten Hunden nur auf der Wirkung von Stoffen beruhen kann, die bei der Arbeit der Muskeln entstehen. Um Ermüdungserscheinungen hervorzurufen, genügte es schon, wenn die Muskeln des Tieres, dem das Blut entnommen wurde, auch nur wenige Minuten heftig gearbeitet hatten: das Tier, dem das Blut eingespritzt wurde, begann schneller zu atmen und bekam Herz-klopfen — wie das jeder an sich beobachtet, wenn er angestrengt mit den Muskeln gearbeitet hat.

Die beschleunigte Atmung und die vermehrte Herztätigkeit bei Muskelermüdung wird durch das Nervensystem vermittelt, das Atmung und Herzarbeit reguliert. Die aus den Muskeln austretenden Ermüdungsstoffe kommen mit dem Blute zu den Nervenzellen und regen sie zu vermehrter Tätigkeit an. Man kann ja bekanntlich durch die verschiedensten chemischen Stoffe, die man als „Gifte“

bezeichnet, die Tätigkeit der lebendigen Zelle beeinflussen. Dank der beschleunigten Atmung und Herztätigkeit werden die Schäden der Ermüdung bis zu einem gewissen Grade ausgeglichen: es stehen nun dem Muskel mehr Nährmaterial und Sauerstoff zur Verfügung und mehr Zerfallsprodukte (Ermüdungstoffe) werden durch den beschleunigten Blutstrom herausgeschwemmt.

Aber die bei der Muskelarbeit entstehenden und ins Blut übertretenden Ermüdungstoffe üben auf das Nervensystem schließlich auch eine schädigende Wirkung aus. Wenn wir eine angestrengte Muskelarbeit verrichtet haben, so fühlen wir uns darauf unfähig, auch geistig zu arbeiten. Das weiß ein jeder aus eigener Erfahrung, wenn er nach anstrengendem Marsche versucht hat, seine Aufmerksamkeit auf allerlei Dinge zu richten: man ist auch geistig müde, man ist nun nicht imstande, seine Gedanken regelrecht zusammenzuhalten.

Als eine ernstere Folge der Überschwemmung und Vergiftung des Körpers mit Ermüdungstoffen müssen wir das sogenannte „Turnfieber“ betrachten, das nach angestrebter Muskeltätigkeit auftritt und sich in denselben Erscheinungen äußert wie das Fieber zu Beginn der Infektionskrankheiten. Nach vielem Turnen, nach ermüdendem Marsche stellen sich häufig die Symptome ein, die für das Fieber so charakteristisch sind: Temperatursteigerung, Schüttelfrost, Schweiß, Schlaflosigkeit, Appetitlosigkeit. Dieselben Erscheinungen, mit welchen die Infektionskrankheiten beginnen: und das darf nicht wundernehmen, denn, wie wir heute wissen, liegt ja auch den Infektionskrankheiten eine Überschwemmung des Körpers mit Giften zugrunde — mit den Giften, die die Bakterien bilden.

## B. Die Gesetze der Ermüdung.

Es wurde schon früher darauf hingewiesen, daß der Stoffwechsel der glatten Muskelzellen ein sehr träger ist. Da nun, wie wir eben gesehen haben, der Ermüdung eine sehr rege Bildung und Anhäufung von Stoffwechselprodukten im Muskel und im Blute und ein Sauerstoff-

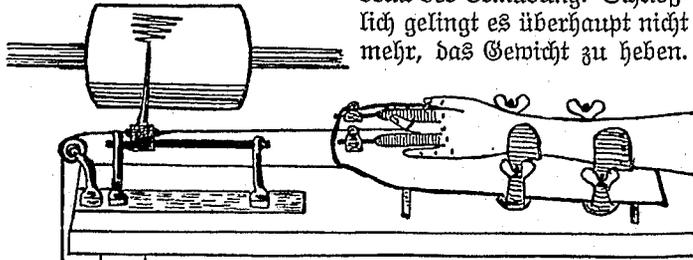
mangel zugrunde liegt, so ist leicht ersichtlich, daß die glatten Muskelzellen unter normalen Verhältnissen kaum Ermüdungserscheinungen aufweisen werden: der Blutstrom bringt ihnen die nötigen Nährstoffe und führt prompt die Stoffwechselprodukte ab, ohne daß jemals wegen Mehrbelastung des Blutes eine Störung eintreten könnte. Bisher sind bei den glatten Muskeln Ermüdungserscheinungen noch nicht beobachtet worden.

Dagegen weiß ein jeder, daß die quergestreiften Muskeln unseres Skeletts sehr leicht ermüden können. Und die Erscheinungen der Ermüdung sind vielfach studiert worden. Eine bedeutende Erweiterung hat unsere Kenntnis über die Gesetze der Ermüdung durch die Arbeiten des italienischen Physiologen Mosso erfahren, dessen Untersuchungen wir zum Teil schon im Abschnitt A. gedacht haben.

### 1. Der Ergograph.

Mosso konstruierte für seine Untersuchungen einen sehr einfachen und handlichen Apparat, der bald von vielen anderen Forschern zu weiteren Untersuchungen benutzt wurde. Die Abbildung zeigt uns den Apparat, den Mosso Ergograph (das heißt Kraftschreiber) genannt hat. Der Apparat (Figur 13) besteht aus einem Armhalter und einer Schreibvorrichtung. Letztere stellt einen Schlitten dar, der auf einer Metallbahn fährt. An dem Schlitten ist ein leichter Schreibhebel angebracht, der die Bewegungen des Schlittens mitmacht und auf einer zylindrischen Trommel gleitet, die sich um ihre Achse dreht. Die Trommel wird vorher mit Papier überzogen und über eine stark ruhende breite Flamme gehalten. Die Spitze des Schreibhebels verzeichnet dann (weiß auf schwarz) auf dem beruhten Papier die Bewegungen des Schlittens. Die Versuchsperson legt den Arm in den Halter, und zwar so, daß er darin unbeweglich festgehalten wird. Am den Mittelfinger wird eine Lederöse gelegt, an der eine Schnur zum beweglichen Schlitten angreift. Am Schlitten hängt an einer Schnur, die über eine Rolle führt, ein Gewicht, das wir beliebig wählen können.

Nun legen wir unseren Arm in den Apparat und beugen, so weit es geht, unseren Finger zum Beispiel alle zwei Sekunden. Es zeigt sich, daß die Höhe, auf welche wir das Gewicht heben, allmählich abnimmt. Da die geleistete mechanische Arbeit gleich ist dem Produkt aus dem gehobenen Gewicht und der Subhöhe, das Gewicht hier aber stets gleich bleibt, so ist die verminderte Subhöhe ein Ausdruck der verminderten Arbeitsleistung, ein Ausdruck der Ermüdung. Schließlich gelingt es überhaupt nicht mehr, das Gewicht zu heben.



Figur 13. Ergograph. Erklärung im Text.

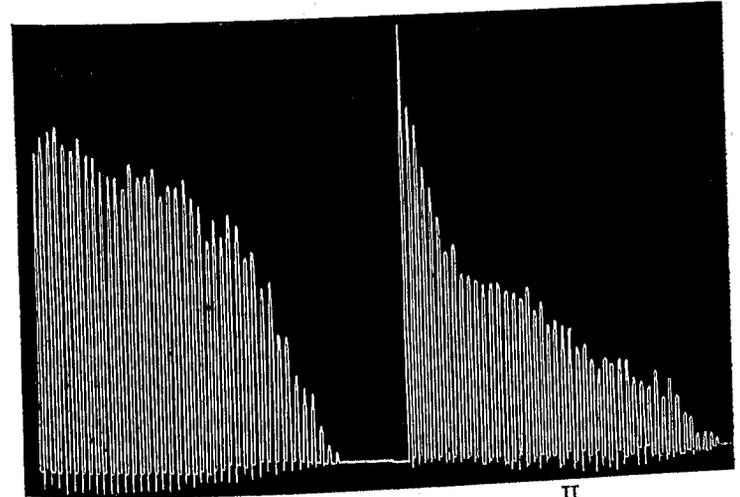
So erhält man auf der beruhten Trommel eine „Ermüdungskurve“, die uns die Arbeitsleistung der Muskeln beurteilen läßt. Der Beugemuskel des Vorderarmes dient hier als Beispiel für die anderen quergestreiften Skelettmuskeln.

Das selbe Prinzip, das Mosso für seinen Apparat verwendet hat, wird, wie vielleicht mancher Leser schon erkannt hat, häufig geübt, wenn man seine Kräfte messen will: man nimmt ein Gewicht in die Hand und zählt, wie oft und wie hoch man es heben kann. Es ist das genau dasselbe wie im Versuch mit dem Ergographen, nur daß dieser die Bewegungen aufschreibt.

## 2. Die Ermüdungskurve.

Als Mosso von verschiedenen Leuten Ermüdungskurven mit seinem Ergographen verzeichnete, so erwies es sich, daß die Kurven bei ein und derselben Person unter den

gleichen Voraussetzungen (gleiches Gewicht, gleiche Pausen zwischen den einzelnen Hebungen) stets dasselbe Aussehen haben, ein Aussehen, das für jede Person ganz charakteristisch ist und sich von dem Aussehen der Ermüdungskurve einer anderen sehr unterscheidet. Die Abbildungen I und II (Figur 14) geben uns zwei Ermüdungskurven wieder, die von zwei Universitätslehrern geschrieben wurden, die dieselbe Lebensweise führten, beinahe von gleichem Alter waren und alle 2 Sekunden ein Gewicht von 3 Kilo-



I  
II  
Figur 14. Ermüdungskurven. Verkleinert.

gramm hoben. Bei einem (II) nimmt die Subhöhe rapid ab, das neunte Mal wird das Gewicht nur noch halb so hoch gehoben wie das erste Mal; von hier an nimmt die Subhöhe allmählich ab. Beim zweiten (I) ist die Abnahme der Subhöhen zu Anfang ganz allmählich, nur bei den letzten zehn Hebungen ist die Abnahme rapid. Es genügt übrigens auch schon nur ein flüchtiger Blick auf die beiden Kurven, um sich zu überzeugen, wie verschiedenartig der Verlauf der Ermüdungskurven dieser beiden ist. Als Mosso nun die Ermüdungskurven dieser beiden

Leute nach vier Jahren wieder aufschrieb, zeigte es sich, daß sie noch genau denselben Verlauf hatten! Nur waren alle Subhöhen niedriger geworden, so daß die neue Kurve ein verkleinertes Bild der alten darstellte; es hatte mit dem Alter die mechanische Arbeitsleistung des Muskels, in Kilogrammetern ausgedrückt, abgenommen.

Interessant ist es, auf Grund der Kurven I und II die mechanische Arbeitsleistung, die zwei Leute bis zur Erschöpfung vollbringen können, zu vergleichen. Eine Berechnung zeigt, daß die Kurve II insgesamt eine Subhöhe von 79 Zentimeter vorstellt, die Kurve I eine Subhöhe von 124 Zentimeter. Es hatte also die Person II durch Hebung des Gewichtes von 3 Kilogramm eine Arbeit von 2,37 Kilogrammeter geleistet, die Person I eine Arbeit von 3,72 Kilogrammeter, bis sie sich erschöpften. Wie vorsichtig muß man also sein, wenn man verschiedenen Leuten ein und dieselbe Arbeit zumuten will! Was unter den gegebenen Versuchsbedingungen für Person II so schwierig ist, daß es sie bald erlahmen läßt (eine Arbeit von 2,37 Kilogrammeter), ist für Person I eine Arbeit, die sie leisten kann, ohne daß mehr als 75 Prozent oder drei Viertel ihrer momentanen Kräfte beansprucht werden.

### 3. Muskelarbeit ohne Ermüdung.

Nach dem, was wir früher (Abschnitt A) über das Zustandekommen der Ermüdung erfahren haben, ist es uns klar, was eine mit dem Ergographen geschriebene Ermüdungskurve bedeutet. Bei der ersten Hebung des Gewichtes, zum Beispiel von 3 Kilogramm, verausgibt der Muskel eine gewisse Kraftmenge, die geliefert wird durch den Zerfall einer bestimmten Menge von Eiweißmolekülen, genau so wie die Kraft einer Patrone durch den Zerfall des Sprengstoffes bei der Explosion. Nach der ersten Hebung ist der Muskel nicht mehr der gleiche wie vor derselben, die Menge des verfügbaren Sauerstoffes ist geringer geworden. Nun bringt aber das Blut den zur Wiederherstellung der Zerfallsfähigkeit nötigen Sauerstoff herbei. Es fragt sich aber, ob die Zeit, die zwischen zwei Hebungen (Verkürzungen des Muskels) liegt, ge-

nügt, damit das Blut einmal genug Sauerstoff herbeischaffen und gleichzeitig alle bei der Hebung entstandenen Zerfallsprodukte herauschwemmen kann. Genügt diese Pause nicht, um sämtliche zerfallenen Eiweißmoleküle wieder aufzubauen und sämtliche Stoffwechselprodukte herauszuschwemmen, so geht der Muskel an die zweite Hebung mit einem geringeren Vorrat an Kraft; es zerfallen bei der zweiten Verkürzung weniger Eiweißmoleküle als das erstemal, die Arbeitsleistung muß nun geringer werden — die Subhöhe des Gewichtes ist kleiner geworden. Nach der zweiten Hebung bleibt bei zu kurzer Pause abermals ein Rückstand an unaufgebauten Eiweißmolekülen und auch an Stoffwechselprodukten zurück, die von sich aus den ganzen Betrieb stören. Wiederum wird die Arbeitsleistung geringer sein. Die Menge der unvollständigen Eiweißmoleküle wird mit jeder Hebung größer, bis schließlich die vorhandene Menge zerfallsfähiger Moleküle nicht mehr genügt, das betreffende Gewicht überhaupt nur zu heben. Der müde gewordene Muskel hat sich für dieses Gewicht erschöpft.

Natürlich aber hat sich der Muskel nicht in dem Sinne „erschöpft“, daß nun sämtliche ihn aufbauenden Eiweißmoleküle zerfallen sind! Nein, nur ihre Menge genügt nicht, um eine für die Hebung eines bestimmten Gewichtes nötige Kraftmenge liefern zu können. Denn hängen wir nach „Erschöpfung“ des Muskels durch das Heben eines Gewichtes von 3 Kilogramm nun ein Gewicht von nur zum Beispiel  $\frac{1}{2}$  Kilogramm an den Ergographen, so kann der Muskel wieder Arbeit leisten.

Es fragt sich nun, ob es möglich ist, daß ein arbeitender Muskel überhaupt nicht ermüdet. Das muß möglich sein, wenn nach jeder Verkürzung die Pause lang genug ist und das Blut Zeit genug hat, sämtliche Scharren von der ersten Hebung am Muskel auszuweken, für sämtliche zerfallenen Eiweißmoleküle die nötigen Bausteine herbeizuschaffen und sämtliche Stoffwechselprodukte herauszuschwemmen. Man kann das direkt im Versuch zeigen. Hebe ich zum Beispiel mit dem Mittelfinger jede Sekunde ein Gewicht von 6 Kilogramm, so wird jede nächste Hebung niedriger

als die vorhergegangene, und nach höchstens 14 Verkürzungen ist der Muskel erschöpft, er kann dieses Gewicht überhaupt nicht mehr heben. Schließe ich aber an jede Hebung eine Pause von 10 Sekunden an, so bleiben alle nächstfolgenden Subhöhen gleichgroß, der Muskel ermüdet nicht und kann, ohne sich zu erschöpfen, unbegrenzt lange mechanische Arbeit leisten, das Gewicht heben. Je geringer übrigens das zu hebende Gewicht und damit die Arbeitsleistung und der Stoffverbrauch des Muskels ist, desto kürzer dürfen die Ruhepausen sein, deren es zur Arbeit ohne Ermüdung bedarf.

Durch die Einschaltung genügender Ruhepausen wird es möglich, daß die Atemmuskeln und der Herzmuskel nie in ihrer Arbeit stillstehen. Für die von ihnen geleistete Arbeit genügt die jeweilige Ruhepause, die bei den Atemmuskeln 3 bis 4, bei dem Herzmuskel 1 Sekunde oder weniger beträgt. Dank der genügenden Ruhepausen wird der bloß faustgroße Herzmuskel befähigt, in jeder Minute 18,5 Kilogrammeter, im Laufe von 24 Stunden die gewaltige Arbeit von mehr als 26 000 Kilogrammetern zu leisten, die darauf verwendet wird, das Blut aus dem Herzen in die Arterien zu schleudern. So Tag für Tag bis zum letzten Lebenshauch des Menschen.

#### 4. Ermüdung der Muskeln und der Nervenzellen.

Wir wissen aus früheren Kapiteln, daß alle Muskelarbeit das Resultat des Zusammenarbeitens ist der Muskeln selber und des Nervensystems. Mosso hatte sich nun gefragt: Von welcher Ermüdung spricht uns die Ermüdungskurve — von der Ermüdung der Muskeln oder der Ermüdung der Nervenzellen des Gehirns, welche bei der willkürlichen Muskelarbeit die Muskeln regieren?

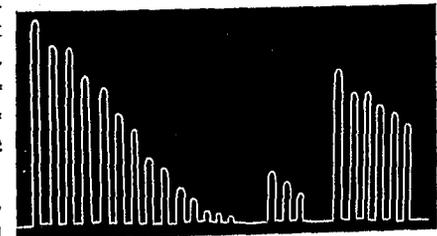
Mosso reizte mit einem elektrischen Strome durch die Haut den Beugemuskel des Vorderarmes und ließ eine Ermüdungskurve schreiben. Bei dieser Versuchsanordnung war der Muskel allein in Tätigkeit, der Wille, die Nervenzellen ruhten. Die Impulse der Nervenzellen waren im Versuch durch den elektrischen Reiz ersetzt. Es erwies sich nun, daß der Muskel eine ähnliche Ermüdungskurve

schrieb, wie wenn er vom Willen regiert würde, das heißt der Muskel ermüdet in gleicher Weise, gleich, ob er durch Willensimpulse oder durch künstliche Reize zur Tätigkeit angeregt wird.

Aber auch der Wille ermüdet, wenn er dem Muskel seine Impulse sendet. Mosso stellte hier folgenden schönen Versuch an. Er ließ die Versuchsperson das Gewicht heben und eine Kurve schreiben. Als die Ermüdung deutlich zu werden begann, wie das in der Kurve durch das Abnehmen der Subhöhen zum Ausdruck kommt (Figur 15a), ließ er die willkürliche Muskelarbeit aussetzen, reizte aber nun künstlich den Muskel durch einen elektrischen Strom. Der Muskel arbeitet dann weiter (Figur 15a), aber die

Nervenzellen im Gehirn, unser Wille, haben dann Zeit sich zu erholen. Dann wird die Subhöhe bei willkürlicher Arbeit (Figur 15c) wieder größer, obgleich der Muskel dauernd weitergearbeitet hatte. Und indem man dem Willen immer wieder kurze Erholungspausen gönnt, kann man vom Muskel eine viel bedeutendere Arbeitsleistung erzielen.

In wie bedeutendem Maße die Muskelarbeit durch den Zustand unseres Nervensystems beeinflusst wird, zeigte ein anderer Versuch desselben Gelehrten. Er ließ einen Dozenten Ermüdungskurven an einem Tage schreiben, wo dieser viele Studenten im Examen zu prüfen hatte. Vor dem Examen hob er das Gewicht 55mal; nach dem Examen, das 3½ Stunden dauerte und in dem 11 Studenten geprüft wurden, konnte der Dozent nur 9mal dasselbe Gewicht heben, und die Kraft der Muskeln war erschöpft! Im Laufe desselben Tages wurden noch zwei



Willkürliche Muskelarbeit      Künstliche Reizung des Muskels      Willkürliche Muskelarbeit

In b haben die Muskelzellen Zeit sich zu erholen. Figur 15.

weitere Kurven geschrieben, und wieder trat nur eine ganz geringe Kraftleistung zutage. Erst am nächsten Morgen hatten die Muskeln ihre gewöhnliche Kraft wieder erlangt. So gewaltig ist der Einfluß des ermüdeten Gehirns auf die Leistungsfähigkeit der Muskeln!

Es ist interessant, daß nach angestrenzter Geistesarbeit die Muskeln auch die Zeichen der starken Ermüdung zeigen, wenn man sie im Versuch direkt durch den künstlichen Reiz zur Arbeit anregt. Das sagt uns, daß die nach angestrenzter Geistesarbeit zutage tretende starke Ermüdung der Muskeln nicht allein bedingt sein kann dadurch, daß an die Muskeln von den müden Nervenzellen der Hirnrinde nur schwache Willensimpulse gesandt werden können. Es muß noch ein anderer Einfluß des müden Gehirns auf die Muskeln vorhanden sein. Wie ist das nun möglich?

Die Sache liegt so. Wenn die Nervenzellen unserer Hirnrinde arbeiten, wenn wir denken, entstehen Stoffwechselprodukte genau so wie bei der Muskelarbeit. „Denken“ ist ja nur ein Wort, mit dem wir die Erregung von Stoffwechselvorgängen bezeichnen, die sich in den Nervenzellen der Hirnrinde abspielen. Daß Stoffwechselprodukte bei der Tätigkeit der Nervenzellen entstehen, hat Verworn, dessen allgemeiner Betrachtungen über den Stoffwechsel wir schon in einem früheren Kapitel gedacht haben, direkt nachgewiesen. Er ließ das Rückenmark eines Frosches sehr angestrengt arbeiten, indem er dem Tiere ein Gift einspritzte, das allgemeine Krämpfe hervorruft. Die Krämpfe entstehen, weil die Erregbarkeit der Nervenzellen durch dieses Gift (Strychnin) außerordentlich gesteigert wird; und ein leiser Reiz, wie etwa die Berührung der Haut, der sonst nur eine kleine Gruppe von Nervenzellen im Rückenmark arbeiten läßt, etwa diejenigen, die die Beinmuskeln regieren, schlägt nun im ganzen Rückenmark Alarm, veranlaßt das ganze Rückenmark immer wieder zu langdauernder Arbeit; alle Muskeln des Körpers treten dann krampfhaft in Aktion. Die angestrenzte Arbeit macht das Rückenmark sehr schnell müde, noch ehe die Muskeln selbst ihre Arbeitsfähigkeit verloren haben. Nach

mehreren Krampfanfällen liegt das Tier gelähmt da. In diesem Moment brachte Verworn ein kleines Glasröhrchen in die große Körperader (Vorta) des Frosches, verband das Röhrchen mit einem kleinen Pumpwerk und spülte mit „physiologischer“ Kochsalzlösung\* das Blut aus dem Tiere heraus. Der Frosch erholte sich dann wieder und konnte aufs neue auf Hautreize reagieren. Die Nervenzellen waren also wieder für einige Zeit arbeitsfähig. Das sagt uns, daß in den müden Nervenzellen und im Blute Stoffe vorhanden waren, die bei angestrenzter Tätigkeit der Nervenzellen entstehen und ihre Arbeit behindern. Und es ist auch nachgewiesen, daß der Stoffwechsel der Nervenzellen viel größer, viel intensiver ist als zum Beispiel der Stoffwechsel der Muskeln. So verbraucht ein Gramm Hirnsubstanz dreimal so viel Sauerstoff als ein Gramm anderer Körperzellen. Mit diesem regen Stoffverbrauch geht natürlich die Bildung von reichlichen Mengen von Stoffwechselprodukten oder Zerfallsprodukten einher. Um diesem regen Stoffwechsel der Nervenzellen zu genügen, um dauernd die nötigen Nährstoffe den Nervenzellen zuführen und die entstehenden Stoffwechselprodukte herausspülen zu können, ist die Blutmenge, die zu einem Gramm Hirnsubstanz fließt, beinahe zwölfmal größer als die Blutmenge, die zu einem Gramm Muskelsubstanz fließt.

Nun kehren wir zu dem Versuch von Mosso zurück. Bei angestrenzter Geistesarbeit sind, wie wir nun aus dem Versuch von Verworn wissen, Stoffwechselprodukte — „Ermüdungsstoffe“ — in reichlicher Menge entstanden. Sie gelangen ins Blut, und ehe sie, wegen ihrer großen Menge, von den in Betracht kommenden Organen unschädlich gemacht oder aus dem Körper ausgeschieden werden können — das nimmt eine geraume Zeit in Anspruch — üben sie schon ihre schädigende Wirkung auf die Muskeln

\* Eine Lösung von 6 bis 8 Gramm Kochsalz in einem Liter destillierten Wassers hat die Eigenschaft, daß Organe von Tieren in ihr sich einige Zeit (bis zu vielen Stunden) unverändert lebensfähig erhalten. Sie wird beim Experimentieren in der Physiologie sehr viel benutzt.

aus, zu denen sie mit dem Blute hingetragen werden. So ist die Wirkung der anstrengenden Geistesarbeit auf die Muskeln eine zweifache: einmal sind die an die Muskeln gehenden Willensimpulse schwächer geworden, und dann wirken durch Vermittlung des Blutes die bei der Arbeit der Nervenzellen entstehenden Ermüdungsstoffe direkt auf den Muskel.

Mit der letzten Wirkung ist es genau dasselbe, wie wenn bei angestrenzter Muskelarbeit das Gehirn ermüdet, worauf wir schon in einem früheren Abschnitt hingewiesen haben. Die von den Muskeln ins Blut gelangenden Ermüdungsstoffe stören den Stoffwechsel der Nervenzellen. Das im Körper kreisende Blut setzt eben alle Organe in Verbindung miteinander, und alle Veränderungen und Vorgänge in einem Organ ziehen Folgen auch für alle anderen Organe nach sich.

##### 5. Die Abhängigkeit der einzelnen Muskelgruppen voneinander.

Ebenso wie das Gehirn und die Muskeln sich gegenseitig beeinflussen können, indem sie Ermüdungsstoffe an das Blut abgeben, so kann eine jede einzelne Muskelgruppe in Abhängigkeit von einer anderen geraten. Hier sind Versuche von großem Interesse, die Maggiora, ein Schüler von Mosso, ausgeführt hat. Er bestimmte mit dem Ergographen die Arbeitsleistung des Beugemuskels des Mittelfingers und machte darauf einen Spaziergang nach einem acht Kilometer entfernten Orte und dann den Weg zurück. Nun bestimmte er wieder die Arbeitsleistung des Beugemuskels des Mittelfingers. Obgleich er während des Marsches nur mit den Beugemuskeln gearbeitet hatte und die Hände zur Vorsicht fast immer in den Taschen hielt, damit sie nicht etwa beim Pendeln ermüdeten, zeigte es sich, daß der Beugemuskel des Mittelfingers nach der Rückkehr vom Marsche sich viel eher erschöpfte als früher. Während er vor dem Aufbruch eine Arbeit von 2,92 Kilogrammeter leisten konnte, waren es nun bloß 0,5 Kilogrammeter, die bis Eintritt der Erschöpfung geleistet wurden! Natürlich ist das bei den ein-

zelnen Leuten verschieden. Während der Gelehrte, der eine sitzende Lebensweise führt, schon nach einem kleinen Marsche ermüdete, ermüdeten Soldaten, die an große Marsche gewöhnt sind, erst nach einem Marsche von 64 Kilometern.

Die Ermüdung des Beugemuskels des Armes nach Anstrengung der Beugemuskeln hat nach dem oben Gesagten nichts Befremdendes mehr für uns: die in großer Menge entstandenen Stoffwechselprodukte der Beugemuskeln taten — durch Vermittlung des Blutes — auch ihre Wirkung auf alle anderen Muskeln des Körpers.

Man kann nun dasselbe Resultat auch erreichen, wenn man künstlich eine Anhäufung von Ermüdungsstoffen in den Armmuskeln hervorruft. Der Forscher ließ sich durch einen Assistenten die Armarterie fest zusammendrücken, so daß der Puls aussetzte, und schrieb nun mit dem Ergographen die Ermüdungskurve: statt einer Arbeitsleistung von 2,84 Kilogrammeter waren es nunmehr nur 0,65 Kilogrammeter, die bis zum Eintritt der Erschöpfung geleistet werden konnten. Es floß kein Blut durch den Muskel, sämtliche entstehenden Stoffwechselprodukte häuften sich an, und die Kraft des Muskels war eher erschöpft.

Andererseits kann man durch Verfahren, die den Blutzufluß zu den Muskeln beschleunigen und die damit eine vermehrte Zufuhr von Nährstoffen und eine promptere Abfuhr der Zerfallsprodukte bedingen, erhöhte Arbeitsleistungen von seiten der Muskeln erzielen. Das ist zum Beispiel, wie man annimmt, bei der Massage der Fall. Es wurden eine Stunde lang alle 15 Minuten Ermüdungskurven geschrieben und dabei insgesamt eine Arbeitsleistung von etwa 7 Kilogrammeter erzielt. Würde aber während der Pausen von 15 Minuten der Arm kräftig massiert, so konnte eine Arbeitsleistung von beinahe 13 Kilogrammeter erzielt werden, also fast das Doppelte.

##### 6. Muskelarbeit und Schlaf.

Im Laufe des Tages häufen sich allmählich Ermüdungsstoffe in den Muskeln und im Blute an, auch die Menge der verfügbaren nicht zerfallenen Eiweißmoleküle wird geringer. Wir müssen dafür Sorge tragen, daß die Muskel-

Maschine nun von den Schlacken gereinigt wird und neues Heizmaterial vom Blute zugeführt bekommt. Alle Schäden des vorhergegangenen Tages müssen ausgeglichen werden. Dazu legen wir uns schlafen. Im Schlafe, wo die Muskeln ruhen, hat das Blut Zeit, gemächlich seine Arbeit zu tun, gleich wie wenn nach Schluß der Arbeit in der Fabrik, wo die Dampfmaschine still steht, die Bedienung daran geht, die Maschine ungestört zu reinigen und frische Kohlen nachzulegen. Das macht das Blut genau so. Fleißig werden aus allen Muskeln rüdfständige Ermüdungsstoffe herausgeschwemmt und an die sie verarbeitenden Organe abgegeben; wo ein abgebautes Eiweißmolekül dasteht, da werden die nötigen Bausteine vom Blute herbeigeschafft, daß es sich wieder aufbauen kann. Der Schlaf hat erst dann seinen Zweck erreicht, wenn sämtliche Schäden des vorhergegangenen Tages ausgeglichen sind. Und, was wichtig, es gilt nicht nur am Muskelssystem zu reparieren, sondern auch am Nervensystem. Auch hier bleibt so mancher Eiweißmolekülrest im Laufe des Tages unaufgebaut stehen, weil das Blut nicht allen Anforderungen des Tages genügen konnte; und Ermüdungsstoffe lähmen auch hier die Tätigkeit der Zellen. Das bemerkt ein jeder an sich selbst. Des Abends geht es schwer mit dem Denken, man ist nicht mehr so leistungsfähig wie am Morgen. Und das ist nicht nur bei denjenigen so, die bloß geistig in ihrem Beruf zu arbeiten haben. Auch bei allen Handarbeitern ermüdet das Gehirn. Jede Muskelarbeit ist ja zugleich Arbeit von Nervenzellen des Gehirns und Rückenmarks; und dann strengt ja auch der Handarbeiter dauernd seine Aufmerksamkeit an, nicht wahllos macht er seine Muskelarbeit. Ja, es unterliegt gar keinem Zweifel, daß wohl bei allen Leuten im Laufe des Tages namentlich das Nervensystem ermüdet, denn dieses ist ja dauernd tätig: die Reize der Außenwelt bringen dauernd auf uns ein. Dagegen wird es bei den Muskeln wohl nur dann viel zu reparieren geben, wenn am Tage besonders viel gearbeitet wurde.

Am Morgen fühlen wir, daß der Schlaf uns unsere Kräfte wiedergegeben. Namentlich mit dem Denken geht

es besser, das weiß ein jeder. Ganz anders nach einer schlaflosen Nacht! Für die Muskeln hat hier Maggiora einen interessanten Versuch ausgeführt. Er schrieb am Tage von 8 Uhr morgens bis 6 Uhr abends alle zwei Stunden Ermüdungskurven und erzielte jedesmal die gleiche mechanische Arbeit von 2,4 Kilogrammeter. Die Nacht legte er sich nicht schlafen und wachte bis zum Morgen. Am Morgen begann er um 8 Uhr wieder Ermüdungskurven zu schreiben. Schon die erste zeigte eine mechanische Arbeit von bloß 0,93 Kilogrammeter an. Nach zwei Stunden waren es nur 0,67 Kilogrammeter. Und um 6 Uhr abends gar nur 0,27 Kilogrammeter. Wir sehen, daß nach einer schlaflosen Nacht die Muskeln weniger leistungsfähig sind. Während an einem normalen Tage zwei Stunden Pause genügen, um die Muskelkraft dauernd gleich zu erhalten, sinkt am Tage nach der schlaflosen Nacht die Leistungsfähigkeit der Muskeln allmählich ganz bedeutend.

#### 7. Unter welchen Arbeitsbedingungen wird die größtmögliche Menge von Arbeit geleistet?

Die landläufige Meinung geht dahin, daß die größtmögliche Menge von Arbeit geleistet wird, wenn man so viel „auf einmal“, das heißt so lange und mit so wenig Pausen schafft, daß man darauf ganz erschöpft ist. Ja, der Grundsatz: lange und mit wenig Ruhepausen arbeiten, ist einer der Grundpfeiler des heutigen Wirtschaftssystems. Jedesmal, wenn die Arbeiter eine Verkürzung der Arbeitszeit verlangen, heißt es von seiten der Unternehmer, daß bei kürzerer Arbeitsdauer das Geschäft nicht auf die Kosten käme, weil dann viel zu wenig Arbeit geleistet würde. Wir wollen untersuchen, ob das richtig ist.

Zuerst die Frage, ob es immer lohnend ist, möglichst viel auf einmal zu arbeiten. Machen wir folgenden Versuch: Zuerst schreiben wir eine Ermüdungskurve mit dem Ergographen, indem wir alle zwei Sekunden ein Gewicht von 2 Kilogramm heben. Wir schreiben so lange, bis wir erschöpft sind. Nachdem wir vollkommen erholt sind,

schreiben wir eine Ermüdungskurve, indem wir 4 Kilogramm heben; dann — nachdem wir uns abermals erholt — eine Kurve mit 8 Kilogramm; dann noch einmal mit 8, mit 4 und mit 2 Kilogramm. Die Menge mechanischer Arbeit, die jedesmal geleistet wird, können wir bekanntlich berechnen, indem wir die gesamte Subhöhe mit dem Gewicht multiplizieren. Die gesamte Subhöhe ist gleich der Summe der Subhöhen bei den einzelnen Hebungen des Gewichtes. In der folgenden Zusammenstellung sind die Arbeitsmengen, die in den Versuchen mit verschiedenen Gewichten bei der Arbeit bis zur Erschöpfung geleistet worden sind, miteinander verglichen:

Es wird alle 2 Sekunden gehoben ein Gewicht von ... Kilogramm	Das Gewicht wird gehoben insgesamt auf eine Höhe von ... Centimetern	Es wird dabei geleistet eine Arbeit von ... Kilogrammetern
2	130	2,6
4	47	1,9
8	16	1,3
8	16	1,3
4	48	1,9
2	128	2,6

Wir sehen, daß die Arbeitsleistung um so kleiner ist, je größer das Gewicht, das gehoben wird. Das kommt daher, daß bei einem größeren Gewicht der Muskel schneller ermüdet und sich für dieses \* Gewicht schneller erschöpft und bald das Gewicht überhaupt nicht mehr heben kann. So wird die Subhöhe bei einem größeren Gewicht viel geringer als bei einem kleineren. Daher die verminderte Arbeitsleistung bei großen Gewichten. Es ist also vollständig falsch, wenn man behauptet, daß man möglichst viel auf einmal leisten muß, ohne darauf zu achten, ob man dabei schnell erschöpft wird oder nicht.

Es läßt sich nun für jede einzelne Person ein bestimmtes Gewicht finden, das ihren Muskelkräften angemessen

\* Der Muskel ist natürlich nur für dieses schwere Gewicht erschöpft! Kleinere Gewichte könnten auch jetzt noch gehoben werden. Siehe hierzu auch die Ausführungen in Abschnitt 3.

ist und bei dessen Hebung der Muskel nicht ermüdet und sich darum überhaupt nicht erschöpft. Für die Versuchsperson der obigen Zusammenstellung betrug, wie ein Versuch erwies, dieses Gewicht bloß zirka 500 Gramm. Das Gewicht kann dann sehr lange alle zwei Sekunden gehoben werden, ohne daß der Muskel ermüdet. Da dann die Subhöhe sehr groß werden kann, so ist damit die Möglichkeit vorhanden, mit dem Gewicht von 500 Gramm eine Arbeit zu leisten, die ganz bedeutend höher ist als diejenige bei einem Gewicht von 2 und mehr Kilogramm. Das Gewicht, durch dessen Heben der Muskel nicht ermüdet, ist natürlich für jede Person verschieden, für den einen ist es 1 Kilogramm, für den anderen 1,5 oder 2 usw.

In die Praxis des Lebens übersetzt heißt der Schluß aus diesen Ausführungen: Jede einzelne Person leistet die für sie größtmögliche Menge von Arbeit in dem Falle, wenn ihr eine Arbeit zugemutet wird, die sie nicht ermüdet.

Und nun zur Frage, ob es immer lohnend ist, möglichst kurze Ruhepausen in die Arbeit einzuschalten. Der Versuch muß hier so eingerichtet sein, daß man ein und dasselbe Gewicht bei verschiedenen langen Ruhepausen bis zur Erschöpfung heben läßt. Ein Blick auf die folgende Zusammenstellung lehrt uns, daß bei länger dauernden Ruhepausen die Arbeitsleistung größer wird, weil die gesamte Subhöhe größer geworden ist:

Ein Gewicht von 6 Kilogramm wird gehoben mit Ruhepausen von ... Sekunden	Das Gewicht wird insgesamt gehoben auf eine Höhe von ... Centimetern	Es wird dabei geleistet eine Arbeit von ... Kilogrammetern
1	15	0,90
2	18	1,08
4	31	1,86

Und nehmen wir bei demselben Gewicht eine derart lange Ruhepause, daß der Muskel überhaupt nicht ermüdet, zum Beispiel eine Ruhepause von 10 Sekunden, so kann das Heben des Gewichtes sehr lange fortgesetzt und dabei bedeutende Arbeit geleistet werden. Der For-

fer hat berechnet; daß beim Heben eines Gewichtes von 6 Kilogramm mit Ruhepausen von 10 Sekunden in einer Stunde 34,6 Kilogramm geleistet werden können, beim Heben desselben Gewichtes mit Ruhepausen von 4 Sekunden bloß zirka 1,1 Kilogramm in der Stunde. Es wird also die größtmögliche mechanische Arbeit geleistet, wenn die Ruhepausen so lang sind, daß man bei der Arbeit nicht müde wird.

Wie wir das schon in früheren Abschnitten hervorgehoben haben, ist die Muskelermüdung der Ausdruck der Ermüdung der zusammenarbeitenden Muskeln und Nervenzellen. Es gilt darum das Gesagte in gleicher Weise auch für das Nervensystem, für das geistige Arbeiten.

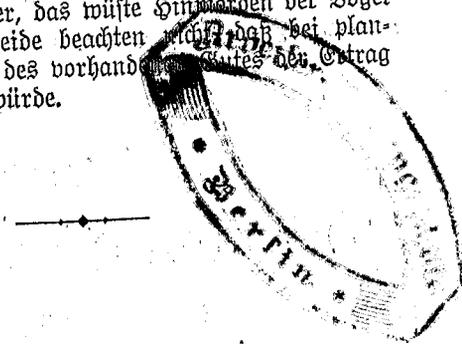
Natürlich wird es in der Praxis des Arbeitsbetriebs nicht möglich sein, stets eine so leichte Arbeit zu wählen und derart lange Ruhepausen zwischen den einzelnen Leistungen einzuschieben, daß überhaupt keine Ermüdung stattfindet. Denn die Bedienung einer Maschine, die Ausföhrung einer Muskel- oder Geistesarbeit muß häufig in einem Zuge vollzogen werden, ohne daß wir innehalten. Stets muß aber, im Interesse eines möglichst hohen Ertrags der Arbeit, danach gestrebt werden, die Arbeit so zu organisieren, daß eine Ermüdung des Arbeitenden nach Möglichkeit vermieden wird.

Wie wichtig die Einschaltung genügend langer Ruhepausen ist, wenn man im Laufe des Tages stets die gleiche Arbeitsfähigkeit erhalten will, wie das in den Betrieben — sei es Fabrik, Bau oder Eisenbahn — doch so nötig ist, zeigt uns noch ein Versuch, der sich in seiner Ausföhrung sehr an die Praxis des Lebens anlehnt. Wir heben ein Gewicht von 3 Kilo bis zur Erschöpfung. Es wird dabei eine Arbeit von 2,0 Kilogramm geleistet. Nach einer Pause von zwei Stunden tun wir dasselbe — und wieder eine Arbeitsleistung von 2,0 Kilogramm. Wir können das so bis zum Abend alle 2 Stunden fortsetzen und bekommen stets eine Arbeitsleistung von 2,0 Kilogramm. Wenn wir aber alle anderthalb Stunden die Ermüdungskurve bis zur Erschöpfung schreiben, so ändert sich sofort die Sache: die geleistete Arbeit wird im

Laufe des Tages geringer — sie ist zum Beispiel um 8 Uhr morgens 2,0 Kilogramm, um 2 Uhr nachmittags 1,4 Kilogramm und um 7 Uhr abends nur noch 0,9 Kilogramm. Nicht nur, daß bei anderthalbstündigen Ruhepausen die gesamte Arbeitsmenge geringer wird, man verliert auch die Fähigkeit, den ganzen Tag „auf dem Posten“ zu sein und „seine Arbeit“ zu tun.

Durch eine vollkommene Mißachtung der Gesetze der Ermüdung werden auch unzählige Unfälle in Betrieben, in Bergwerken und im Verkehr bedingt, weil bei zu langer Arbeitsdauer die Arbeiter nicht mehr bei normaler Leistungsfähigkeit, weil sie müde sind.

Wenn die Produktion wirklich nach den Regeln der wissenschaftlichen Erkenntnis über die Leistungsfähigkeit des menschlichen Körpers in einheitlicher Weise geleitet würde und nicht nach dem Gutdünken einzelner Unternehmer, so gäbe es kein Arbeiten mit ungenügender Erholung, weil diese Art des Arbeitens unzweckmäßig ist, wie wir das in allen unseren Beispielen gesehen haben. Die rücksichtslose Ausnutzung der menschlichen Arbeit ist ein ebenso unzweckmäßiges Raubsystem, wie die planlose Abholzung der Wälder, das wüste Sinnenreden der Vögel und des Wildes. Beide beachten nicht, daß bei planmäßiger Ausnutzung des vorhandenen Ertrages der Ertrag viel größer werden würde.



Wer sich über die Ziele und das Wesen der sozialdemokratischen Partei zuverlässig unterrichten will, dem sind die beiden grundlegenden Bücher von

**Karl Kautsky**

die soeben in neuen, durchgesehenen Auflagen erschienen sind, unentbehrlich. Wir empfehlen daher

## Das Erfurter Programm.

In seinem grundsätzlichen  
Teil erläutert von  
Karl Kautsky.

Erste, durchgesehene Auflage.

VIII und 264 Seiten. Preis broschiert M. 1.50, gebunden M. 2.—

o o o

## Karl Marx' Oekonomische Lehren.

Gemeinverständlich  
dargestellt und erläutert  
von Karl Kautsky.

Vierzehnte, durchgesehene Auflage.

XX und 261 Seiten. Preis broschiert M. 1.50, gebunden M. 2.—

In unserem Verlag sind folgende Schriften von August Bebel erschienen:

## Aus meinem Leben.

Erster Teil.

Zweite, durchgesehene Auflage.

VIII und 236 Seiten. Preis brosch. M. 1.50, geb. M. 2.—

o o

## Aus meinem Leben.

Zweiter Teil.

VIII und 420 Seiten. Preis brosch. M. 2.50, geb. M. 3.—

o o

## Die Frau und der Sozialismus.

Einundfünfzigste Auflage.

Nach der Jubiläums-Ausgabe unverändert.

XXXII und 519 Seiten. Preis brosch. M. 2.50, geb. M. 3.—

o o

## Charles Fourier.

Sein Leben und seine Theorien.

Mit einem Porträt Fouriers und einer Abbildung  
der Phalanstères.

Dritte Auflage.

Preis broschiert M. 2.—, gebunden M. 2.50.

o o

## Zur Lage der Arbeiter in den Bäckereien.

IV und 184 Seiten. Preis M. 1.—

## ☪ Kleine Bibliothek. ☪

- Nr. 1. Braun, Ad., Die Tarifverträge und die deutschen Arbeiter.  
Nr. 2. Escherwanin, A., Das Proletariat und die russische Revolution.  
Nr. 3. Kautsky, Karl, Die Klassegegensätze in der französischen Revolution.  
Nr. 4. Gorter, H., Der historische Materialismus. Aus dem Holländischen übersetzt von Anna Pannetoeet.  
Nr. 5. Duncker, Räte, Die Kinderarbeit und ihre Bekämpfung. Zweite, durchgesehene Auflage.  
Nr. 6. Volkswirtschaftliche Grundbegriffe mit besonderer Berücksichtigung der ökonomischen Grundlehren von Karl Marx. Als Leitfaden für Unterrichtskurse von Dr. Hermann Duncker. Zweite, vermehrte Auflage.  
Nr. 7. Plechanow, G., Die Grundprobleme des Marxismus. Autorisierte Uebersetzung von Dr. W. Nachimson.  
Nr. 8. Ludwig Feuerbach und der Ausgang der klassischen deutschen Philosophie. Von Friedrich Engels. Mit Anhang: Karl Marx über Feuerbach. Vom Jahre 1845. Fünfte Auflage.  
Nr. 9. Linke, Felix, Ist die Welt bewohnt? Eine Darstellung der Frage nach der Bewohnbarkeit anderer Weltkörper auf Grund unseres jetzigen Wissens von der Natur derselben und vom Leben.  
Nr. 10. Reich, Dr. Adolf, Die Bakterien. Eine Einführung in das Reich der Mikroorganismen.  
Nr. 11. Woldt, Richard, Der industrielle Großbetrieb. Eine Einführung in die Organisation moderner Fabrikbetriebe.  
Nr. 12. Kautsky, Karl, Parlamentarismus und Demokratie.  
Nr. 13. Frant, Dr. Ludwig, Die bürgerlichen Parteien des deutschen Reichstags. Historische Skizzen.  
Nr. 14. Linke, Felix, Kann die Erde untergehen? Betrachtungen über die kosmische Stabilität unseres Erdenlebens.  
Nr. 15. Bommelt, R., Die Geschichte der Erde. Erster Teil: Wie Berg und Tal entstehen. Kurzer Abriss der dynamischen Geologie.  
Nr. 16. Deutsch, Julius, Aus alten Tagen. Soziale Bilder aus der deutschen Vergangenheit.  
Nr. 17. Woldt, Richard, Das großindustrielle Beamtentum. Eine gewerkschaftliche Studie.  
Nr. 18. Hannah Levin-Dorsch, Die Technik in der Urzeit. Das Feuer. Der Wohnungsbau.  
Nr. 19. Reich, Dr. Adolf, Die Chemie im Alltag.  
Nr. 20. Lipschütz, Dr. A., Die Arbeit der Muskeln.