

Über Muskelzustände.¹

Von
Professor CONRAD RIEGER in Würzburg.

(Mit zwei Tafeln.)

Einleitung.

Obgleich dieser Gegenstand rein physiologischer Natur zu sein scheint in dem Sinne, daß er weder zu entsprechen scheint dem Titel dieser Zeitschrift: „für Psychologie“; noch dem: „für Physiologie der Sinnesorgane“; — so ist in Wirklichkeit

¹ Ich will hier gleich einige sprachliche Bemerkungen machen über den unglücklichen Namen: Muskel, der, wie ja leider so sehr viele Wörter und besonders solche, die aus der Medizin stammen, mehr verwirrt als aufklärt. Das Wort scheint jedenfalls vorzugsweise eine Bewegungsvorstellung zu enthalten. Soviel ich aus etymologischen Wörterbüchern habe mir klar machen können, scheint es unabweisbar, daß Muskel Mäuschen heißt; und fraglich ist nur: was als tertium comparationis angenommen werden soll zwischen dem Nagetier und dem Ding aus der Anatomie? Nach GRIMMS Wörterbuch war der deutsche Ausdruck für Muskel früher einfach Maus und Mäuslein; das Fremdwort: Muskel ist erst im achtzehnten Jahrhundert in die deutsche Sprache eingeführt worden. — BROCKES sagt: Wenn man das herrliche Gebäu des Körpers kennet, wie Nerv und Mäuslein so zart gewebet sind; und: Soviel wir vom Bewegungswerk bisher begreifen und verstehen, Geschieht sie durch der Mäuslein Hülfe, die man sonst Muskeln pflegt zu nennen.

Dafür nun, daß in der Bewegung, und nicht etwa in der anatomischen Gestalt, das tertium comparationis zwischen Maus und Muskel liegt, spricht auch folgende Stelle in GRIMMS Wörterbuch: „Mäuse für Skrupel, die man sich über etwas macht; das Bild lehnt wohl zunächst an an die im Kopf gleich Mäusen hin und herschießenden Gedanken“. —

Auch KRAUSS (kritisch-etymologisches medizinisches Lexikon. Dritte Auflage. Göttingen 1844) ist dieser Ansicht: „Diminutivum von Maus, weil mehrere Muskeln sich unter der Haut so bewegen, daß es das Ansehen hat, als liefe eine Maus darunter weg. Nachher glaubte man, die Griechen hätten als Anatomen die Muskeln mit Mäusen verglichen. Aber zu einer

so tot gelehrten Vergleichung, die wohl nach dem anatomischen Präparierbrett riecht aber der lebendigen Phantasie der Griechen wenig Ehre machen würde (weil nämlich präparierte Muskeln Mäusen wenig ähneln!), hatten die Alten, als sie das Mäuslein benannten, sicher sich nicht hinabgelassen oder erhoben.“ — Daß schon zu des PLINIUS Zeiten das Wort: *musculus* ein ganz geläufiges war, beweist die, in SCHELLERS Lexikon citierte, Stelle aus den Briefen des PLINIUS: *orationem ossa, musculi, nervi decent*, in welcher also diese anatomischen Begriffe etwa so nebeneinander gestellt und zu einem Gleichniß verwendet sind, wie wir auch im Deutschen sprechen können von einem „Nerv“ der Rede, des Gedankens; und wie wir, gleich den alten Römern, auch den anatomischen Begriff: *articulus*, Gelenk, tagtäglich anwenden auf das Wesentliche an unserer Sprache, nämlich auf ihren articulierten Charakter. Ebenso heißt es auch im Griechischen einfach *μύς*, also sogar ohne Diminutiv-Form; und griechische Wörter wie *μυώδης*, *μυών*, die eigentlich mausig und dergl. bedeuten sollten, sind völlig gleichbedeutend mit dem, was wir jetzt: „muskulös“ heißen. —

Trotz dieser Übereinstimmung der beiden klassischen Sprachen, in Bezug auf etwas Mäuseartiges an den Muskeln, könnte aber vielleicht doch an die Möglichkeit gedacht werden, daß auch hier, wie in so vielen anderen Fällen, nur eine, vulgär etymologische, Vermischung von ursprünglich Getrenntem stattgefunden hätte. Dazu, daß ich dieser Frage näher trete, reichen jedoch meine etymologischen Kenntnisse und Hilfsmittel nicht aus; und ich möchte diese Frage nur aufwerfen in der Hoffnung, daß sie vielleicht einmal von einem Fachmann in Angriff genommen würde, wobei ich noch daran erinnern will, daß das griechische Verbum „*μύω*“ zuschließen, welches in der medizinischen Terminologie durch das Wort: *Myosis* vertreten ist, vielleicht den Schlüssel abgeben könnte, zumal da auch das Wort: *Muschel*, bei welchem man wohl in erster Linie an das rasche Sich-Schließen zu denken hat, gleichfalls nichts anderes ist als das lateinische *musculus*. (S. KLUGE, etymologisches Wörterbuch der deutschen Sprache.) Dabei wird dann aber wohl erst recht die Vorstellung der raschen Bewegung, wobei vielleicht auch das lateinische *moveo* herangezogen werden könnte, als die gemeinsame und fundamentale sich ergeben.

Es ist hier auch daran zu erinnern, daß jedem Deutschen der Ausdruck bekannt sein dürfte: „das Mäuschen ist mir vorgefahren“ und was damit gemeint ist, nämlich die, exzentrisch projizierte, Sensation nach Stofs auf den Nervus ulnaris am Ellenbogen. Es ist mir nicht bekannt, ob auch andere Völker für diese Sensation einen bildlichen Ausdruck besitzen, welcher etwas von der „Maus“ enthält. Merkwürdig ist aber, daß die Franzosen, welche ihren Namen für Maus (*souris*) nicht von dem lateinischen *mus* sondern von dem lateinischen Wort für Spitzmaus (*sorex*) hergenommen haben, auch ihr *souris* in die „Myologie“ eingeführt haben, indem bei LITTRÉ als eine Bedeutung von *souris* aufgeführt ist: *Muscle charnu qui tient à l'os du manche d'un gigot près de la jointure*. In der wissenschaftlichen Anatomie der Franzosen bin ich diesem Ausdruck nie begegnet. Und es wird deshalb wohl angenommen werden dürfen, daß er mehr in die Metzger- und Küchen-Anatomie gehört, die ja auch im Deutschen

ihre eigene reichhaltige Nomenklatur hat. Aber gerade dieses ist merkwürdig: daß die Vorstellung der Maus hier auch unter dem Namen *souris*, der nichts mit *mus* zu tun hat, bei einem Muskel wieder auftritt. — Auch in der deutschen Küchen-Anatomie habe ich das Wort: Maus genau in dem Sinne gefunden, wie LITTRÉ *souris* definiert (vgl. KÜBLER, das Hauswesen. Vierzehnte Auflage. Stuttgart 1899. S. 258.) —

Im Deutschen hat man ja bekanntlich auch noch Gelenkmäuse, die mit den Muskeln gar nichts zu tun haben. Ob auch andere Sprachen diese Mäuse haben, ist mir nicht bekannt. Da das Wesentliche der Gelenkmaus der frei bewegliche Körper ist, so liegt es auch hier nahe, das *tertium comparationis* in der freien Beweglichkeit zu suchen.

Indem nun diese Vorstellung der „freien Beweglichkeit“ jedenfalls am meisten die Betrachtung und Bezeichnung der Muskeln beeinflusst hat; so ist, schon durch das, so überaus einflußreiche, Mittel der Sprache, in unsere Auffassung der Muskeln ein Überwiegen der Bewegungsvorstellung eingedrungen, welches einer zu einseitigen Betrachtung Vorschub leisten mußte. Das berühmte Wort BACOS, das bei allen wissenschaftlichen Betrachtungen stets auf das Sorgfältigste zu beachten ist: *Verborum praestigia et incantationes plurimis modis seducunt et vim quandam intellectui faciunt et impetum suum more Tartarorum sagittationis retro, in intellectum, unde profecta sunt, retorquent* (De augmentis scientiarum, lib. V. cap. IV) findet auch hier seine Anwendung.

Hinter der Bewegungsvorstellung ist dasjenige zu sehr in den Hintergrund getreten, was im Grunde doch das Wichtigere an den Muskeln ist, nämlich ihre Bedeutung für die Haltung und, was damit auf das Engste zusammenhängt, für die Heizung des Körpers. Daß die beweglichen „Mäuslein“ nicht bloß, und nicht einmal in erster Linie, dazu da sind, die Knochenhebel, oder auch Weichteile, gegen einander zu verschieben, sondern daß in allen Muskeln (auch abgesehen von dem muskulösen Pumpwerk des Herzens und dem Blasebalg der Brust) selbst dann, wenn sie sich äußerlich gar nicht bewegen, der Lebensprozeß ganz vorwiegend von Statten geht; dies ist noch viel zu wenig in unser wissenschaftliches Bewußtsein eingedrungen. Für diese haltungsvollen Heizkörper paßt aber auch die „Mäuslein“-Vorstellung sehr schlecht. Und wenn auch der Name: „Muskel“ etwas abstrakter geworden ist, so daß man bei ihm eher absehen kann von der ausschließlichen Bewegungsvorstellung; so stört z. B. mich, bei meinem Nachdenken über die Zustände und die Bedeutung der Heizkörper, auch der abstrakter gewordene Name: Muskel immer noch bedeutend. Ändern läßt sich dies aber vorläufig nicht. Denn wir können keine neuen Namen improvisieren. Sondern wir müssen es der allmählichen Entwicklung der Wissenschaft überlassen, daß sie die alten Namen allmählich mit neuem Inhalt erfülle und so die Begriffe umpräge. In unser wissenschaftliches Bewußtsein müssen wir aber jetzt schon mit Bestimmtheit aufnehmen: daß vieles, was in den Muskeln geschieht, mit Bewegungs-Zwecken gar nichts sondern nur mit Haltungs- und Heizungs-Zwecken zu tun hat, wovon im Laufe meiner späteren Auseinandersetzungen noch vielfach die Rede sein wird.

doch alles, was die Muskelzustände berührt, sowohl von Wichtigkeit für die Psychologie (denn alles Psychische muß, wenn es beobachtet werden soll, in irgend welcher Weise irgend welche Muskeln passiert haben); als von Wichtigkeit für die Physiologie der Sinnesorgane. (Denn die Muskeln sind nicht nur von motorischer Bedeutung sondern zugleich auch die wichtigsten und unentbehrlichsten Organe des Sinnes, durch welchen wir Kunde erhalten von dem, was in der Physik abgehandelt wird unter Statik und Dynamik. Davon könnten wir kaum reden, falls wir nur angewiesen wären darauf, was man gewöhnlich „die fünf Sinne“ heisst, wenn man nämlich bei dem fünften Sinne nur dächte an das, was auf die Haut wirkt.) Der Gegenstand liegt darum nicht außerhalb der Interessensphäre dieser Zeitschrift, so wie es etwa der Fall wäre bei einer Abhandlung über die Physiologie der Verdauung und dergleichen. —

Ohne Berücksichtigung dessen, was ich im nachstehenden zu erörtern versuche, ist es auch ganz unmöglich Klarheit zu gewinnen über eine Frage, von der ich meine, daß sie für die

Die Erkenntnis dessen: daß die Muskeln das in erster Linie Lebende im Körper sind, findet sich am besten ausgedrückt in dem Sprachgebrauch der griechischen Philosophie, der in dem Neuen Testament eine so große Bedeutung erlangt hat, und demzufolge *σάρξ*, Fleisch, also dasjenige, was, anatomisch ausgedrückt, Muskel heisst, stets gleichbedeutend mit dem ganzen Leib gebraucht wird. Mit dieser Gleichsetzung ist auf das Treffendste ausgedrückt: daß das eigentlich Lebende die Muskeln sind. Knochen, Knorpel, Bänder sind verhältnismäßig tot; und die vielen Drüsen, die im Körper an der Unterhaltung des Lebensprozesses mitarbeiten, arbeiten hauptsächlich daran, die Stoffe zu kochen, welche in den Muskeln verbrennen.

Und auch aus dem Blut heraus hat sich „das Leben“, für die wissenschaftliche Auffassung, viel mehr in die Muskeln gezogen. Vor fünfzig Jahren hat man geglaubt: fast alle Verbrennungsprozesse geschehen im Blut; heutzutage widerspricht niemand mehr dem Satze, den der Physiologe FICK z. B. folgendermaßen formuliert hat: Das Muskelgewebe ist mit einem Worte der Hauptherd der Verbrennung im tierischen Körper. (S. FICK, Mechanische Arbeit und Wärme-Entwicklung bei der Muskel-Tätigkeit S. 233).

Diese, für den organischen Haushalt also auch als Heizkörper hochwichtigen, Muskeln darf man sich nun aber auch nicht mehr so einseitig, wie es noch vielfach geschieht, bloß als bewegliche „Mäuslein“ vorstellen. Dabei meint man dann immer: das Zusammenfahren, Zusammenziehen, Kontrahieren sei die Hauptsache. Und diese einseitige Denkweise erhält, aus dem mystischen Urgrund der Sprache, durch den „Mäuslein“-namen immer wieder eine, der vollen Erkenntnis schädliche, Unterstützung.

Psychologie von immer größerer Wichtigkeit werden muß; nämlich über diejenige, welche sich knüpft an das Problem: wie weit man vergleichende Messungen anstellen kann zwischen Muskelarbeit und „geistiger“ Arbeit? — Gerade über diese Frage konnten, meines Erachtens, bisher, schon aus dem Grunde, nur ganz schablonenhafte und von der Wirklichkeit entfernte Meinungen geäußert werden, weil das Einfachste: nämlich das, was in Wirklichkeit bei einer natürlichen Bewegung des lebenden Menschen geschieht, noch niemals systematisch und mit Ausdauer untersucht worden ist. Ich habe mich seit zwei Jahrzehnten mit dem Studium dieser letzteren Frage unablässig beschäftigt; und ich habe mich in diesem langen Zeitraum stets sorgfältig davor gehütet etwas vorzeitig zu veröffentlichen.¹ Ich glaube deshalb wohl behaupten zu dürfen, daß alles, was ich über den Gegenstand vorbringe, einerseits auf einer breiten empirischen Basis ruht; und daß es andererseits gereinigt ist von vorgefaßten Meinungen. Denn in den langen Jahren hat die Wirklichkeit meine falschen Meinungen, die ich, selbstverständlicherweise so gut wie jeder Mensch, anfangs auch an jede Untersuchung herangebracht habe, immer gründlich berichtigt. Nachdem ich mich so lange Jahre habe von der Wirklichkeit meistern lassen, und weil ich behaupten darf: daß alles, wovon ich berichte, der Niederschlag in meinem Bewußtsein ist von vielen Tausenden von Beobachtungen und Versuchen; so darf ich mir jetzt wohl erlauben, damit ich weder den Leser noch mich unnötig ermüde, meine Sätze in einer bestimmteren und mehr dogmatischen

¹ Vor zehn Jahren, im Jahr 1892, habe ich in den Verhandlungen der physikalisch-medizinischen Gesellschaft zu Würzburg (Band 26) eine Abhandlung veröffentlicht, betitelt: Haltung, Heizung und Bewegung der Muskeln, welche den Keim enthielt zu demjenigen, was ich im nachstehenden mitteile. In den verflossenen zehn Jahren habe ich aber nur untersucht und beobachtet und gar nichts veröffentlicht. Derjenige Leser, der sich für die Sache interessiert, braucht jene Abhandlung nicht zu beachten und zwar deshalb nicht, weil alles, was von ihrem Inhalt die Probe der Wirklichkeit in den letzten zehn Jahren bestanden hat, im Nachstehenden enthalten ist. Nur derjenige, der sich für die persönliche Frage interessieren sollte: wie ganz allmählich ich zu den einfachen Vorstellungen gelangt bin, welche ich im nachstehenden auseinandersetzen werde? — dieser Leser könnte aus jener Abhandlung ersehen, daß ich vor zehn Jahren noch mit großen Unklarheiten deshalb kämpfen mußte, weil ich noch zu sehr beeinflusst war von herrschenden Meinungen.

Fassung vorzutragen, als ich es dürfte, wenn ich ihre Reinigung durch die Kritik der langen Zeit nicht abgewartet hätte. Ich habe mich auch bemüht, das technische Beiwerk im Laufe der Jahre immer einfacher zu gestalten, damit auch jeder Leser, der sich, ernsthafterweise, für die Muskelprobleme interessiert, ohne zu große Mühe und Zeit, meine Behauptungen kontrollieren kann. Es war überhaupt, in methodologischer Hinsicht, mein Hauptbestreben in diesen langen Jahren, alles so einfach einzurichten, daß die „Technomanie“ dabei immer mehr beseitigt wurde. Die „technomanische“ Geistesrichtung ist deshalb so sehr verderblich, weil sie immer dazu führt, daß Nebensachen als Hauptsachen erscheinen. Ich muß auch von mir bekennen, daß bei mir immer alles mit „Technomanie“ anfängt. Zuerst mache ich immer törichte und unnötige Apparate; und es dauert bei mir leider in der Regel geraume Zeit, bis ich zu der Erkenntnis gelange, daß alles viel einfacher gemacht werden kann. Die, für Zwecke der Erkenntnis so überaus mangelhaft eingerichtete, menschliche Geistesbeschaffenheit bringt dies aber wohl, in unvermeidlicher Weise, mit sich. Der Spieltrieb wirkt jedenfalls auch stark mit. Wenn ein wissenschaftliches Spielzeug auch lediglich dazu geführt hat, die Wirklichkeit zu fälschen, so hat es einen, eine Zeitlang, doch gefreut, bis man es weggeworfen hat wie Kinder ihr Spielzeug. Und diese kindliche Freude führt immer zu Zeitverlust. Bei dem vielen, was ich so, im Lauf der Jahrzehnte, weggeworfen habe, war immer mein einziger Trost dieser: daß wenigstens die Spielzeugfabrikanten, die Mechaniker, Beschäftigung und Verdienst hatten.

Ich kann, begreiflicherweise, nicht dafür garantieren, daß ich nicht auch noch manches Technische, was ich im nachstehenden beschreibe, als emeritiertes Spielzeug seinerzeit wegwerfen werde. Ich kann nur versichern, daß dasjenige, was ich jetzt noch von Technischem beschreiben muß, mir, bei dem jetzigen Stand meiner Einsicht, noch unentbehrlich ist. Je mehr aber davon in Zukunft noch des weiteren entbehrlich sein wird, desto lieber wird es mir sein. Denn mein Ideal der Erkenntnis ist das, möglichst unmittelbare, Erschauen der Wirklichkeit. —

Ich habe auch, einige Ausnahmen abgerechnet, davon absehen müssen, Bezug zu nehmen auf dasjenige, was andere haben drucken lassen über das von mir, im nachstehenden, Behandelte und Erörterte. Denn, wenn ich es getan hätte, so hätte dies

zu endlosen Auseinandersetzungen geführt. Nur solches habe ich angeführt von dem, was ich gelesen habe, was einesteils meinem Verständnis nützlich gewesen ist und was anderenteils auf einem Gebiete liegt, auf dem ich mir selbst keine Erfahrungen sammeln kann. In diesem Falle kann ich mich dann eben nur referierend verhalten und muß den Angaben anderer Glauben schenken. — Wenn ich aber über dasjenige berichte, was ich selbst untersucht habe, kann ich nicht fortwährend Bezug nehmen auf das, was schon von anderen gedruckt vorliegt. Denn dadurch würde zweifellos meine Absicht völlig vereitelt, die darauf gerichtet ist, in dem Leser eine zusammenhängende und einfache Vorstellung von dem zu erwecken, was ich selbst mir im Laufe der Jahrzehnte klar gemacht habe. Ich würde mich dabei auch in endlose Kontroversen verwickeln; und dazu fühle ich mich um so weniger verpflichtet, als ich mich durchaus frei weiß von dem Bestreben, in Dinge darein zureden, die mich nichts angehen. Ich habe mich immer ausschließlichsich leiten lassen von dem Bestreben, diejenige Wirklichkeit zu erkennen, die mich umgibt. Ich habe versucht zu ergründen: worauf es ankommt bei den mannigfachen Haltungen und Bewegungen der Menschen, die ich berufsmäßig zu untersuchen habe? Und weil das, was ich in Büchern und Zeitschriften gefunden habe, mir nicht genügte, habe ich müssen selbst insoweit die Zustände von Grund aus untersuchen, als es für mein Verständnis notwendig war. Ich glaube, vieles jetzt besser verstehen zu können als vorher; und wenn anderen es auch so geht, so werden sie ja vielleicht sich durch meine Auffassung beeinflussen lassen. Ich bin mir aber auch völlig klar darüber, daß, wenn ich das, was andere haben drucken lassen, so wenig beachte, ich auch vorläufig nicht erwarten darf, daß meine Sätze beachtet werden. Ich hoffe jedoch dieses: Wenn es mir gelingt, auf Grund der einfachen Vorstellungen, die ich mir gebildet habe, allmählich immer mehr Erscheinungen der Wirklichkeit zu begreifen; so werden allmählich meine einfachen Vorstellungen dadurch auch an Kredit gewinnen. Und auf diese Probe an der Wirklichkeit kommt es ja allein an. —

Das Vorstehende gilt hauptsächlich von meiner fundamentalen Vorstellung: daß die Vermehrung der elastischen Zugkraft des Muskels, soweit sie geschieht durch Wirkungen, die aus den Nerven kommen, lediglich Funktion ist von Erhöhung der

Muskeltemperatur. Ich bin zu dieser Auffassung, lediglich und ausschließlich, gelangt infolge meiner eigenen langjährigen Beschäftigung mit den Muskeln einerseits, mit Gummibändern andererseits; und ich darf wohl behaupten, daß, auf Grund dieser meiner breiten empirischen Basis, ich dazu gelangt bin, ohne daß irgend etwas mich beeinflusst hat, was ich in diesem Sinne gelesen habe. Und deshalb habe ich auch jede Bezugnahme auf die Angaben anderer unterlassen und speziell jede Berührung der Frage: ob und was dieser Punkt zu schaffen hat mit der mechanischen Wärmetheorie? Ich begnüge mich, daran zu erinnern, daß der Entdecker des mechanischen Äquivalents der Wärme, ROBERT MAYER, selbst am meisten gewarnt hat: man solle den Vorstellungen, die sich an das Kraftmaß der Wärme knüpfen, nicht eine Ausdehnung geben, welche nicht mehr sachgemäß wäre.¹ Im übrigen verweise ich, zum Beweis des völlig ungeklärten Zustandes dieser Frage, darauf: daß zwei so ausgezeichnete Physiologen wie ENGELMANN und FICK einen diametral entgegengesetzten Standpunkt noch in den letzten Jahren eingenommen haben.²

Angesichts dieser Sachlage habe ich es mir zum festen Grundsatz gemacht, mich vorläufig um gar keine fremde Theorie zu kümmern sondern die Vorstellungen, die in mir entstehen, lediglich aus meinen unmittelbaren Beobachtungen zu schöpfen. Und so ist alles entstanden, worüber ich im nachstehenden berichte. Eigene „Theorien“ habe ich mir freilich dabei auch bilden müssen. Sonst wäre ich überhaupt keinen Schritt weiter gekommen. Soweit sie falsch sind, werden sie schon von selbst zusammenfallen. Aber den Vorteil habe ich jedenfalls von ihnen gehabt, daß sie mir die Aufmerksamkeit geschärft haben für wirkliche Vorgänge, die ich, ohne sie, entweder gar nicht beachtet oder wenigstens völlig verständnislos angesehen hätte. Im übrigen kann ich von den Theorien das gleiche sagen, was ich vorhin von den Apparaten gesagt habe: Auf das unmittelbare Erschauen der Wirklichkeit kommt es an. Soweit die „*ῥεωγία*“ diesem Erschauen entspricht, wird sie bestehen bleiben. Im übrigen hat sie sich entweder überhaupt in einer falschen

¹ Vgl. ROBERT MAYER, Die Mechanik der Wärme in Gesammelten Schriften (3. Aufl., Stuttgart 1893) S. 440 ff.

² Vgl. ENGELMANN. Über den Ursprung der Muskelkraft. 2. Aufl. Leipzig 1893.

Richtung bewegt, und dann hat sie allerdings nur geschadet; oder aber hat sie wenigstens genützt in einer vorübergehenden Weise, so wie ein Gerüstwerk für einen Bau. —

Ich mußte dies vorausschicken, weil ich im nachstehenden meine Beobachtungen vielfach an theoretischen Gerüsten aneinander gereiht habe, jedoch, wie ich nochmals ausdrücklich betonen will, nicht nach vorgefaßten Theorien, die mir aus anderen Quellen gekommen wären, sondern lediglich nach solchen, die in mir selbst, unmittelbar und Schritt für Schritt, aus meinen Beobachtungen herausgewachsen sind.¹

Auf Grund meiner langjährigen Beschäftigung einerseits mit den Muskelzuständen von Menschen, andererseits mit Gummi-

¹ Folgenden Satz des Physikers RIECKE in Göttingen halte ich mich für verpflichtet hier noch anzuführen: „Zur Lösung der Frage nach den Bewegungs- und Wärmeerscheinungen des Muskels bei gegebenen Kräften würden die Prinzipien der Mechanik und Thermodynamik hinreichen, wenn die chemische Natur der Muskelsubstanz eine unveränderliche wäre. Da dies nicht der Fall ist, so bleibt eine physikalische Theorie der Muskelkontraktion von vornherein unvollständig, (s. EDUARD RIECKE: Thermodynamik des Turmalins und mechanische Theorie der Muskelkontraktion. Nachrichten von der Königl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen vom Jahr 1893 Nr. 1, S. 2). — Ich glaube: wenn dies ein physikalischer Fachmann ausspricht, so werde ich um so mehr Berechtigung dazu haben, meine Betrachtungen nicht zu komplizieren durch Bezugnahme auf Gedanken, die vermutlich nur sehr wenig Aufklärung geben könnten über die einfachen Thatsachen, die man an der elastischen Zugkraft der Muskeln und der Gummibänder beobachten kann. — Ich verweise schliesslich noch auf folgende Abhandlung vom Jahre 1893: Über die Summation der Wirkung von Entlastung und Reiz im Muskel, nebst einigen Bemerkungen zur Kontraktionstheorie von F. SCHENK. (*Archiv für die gesamte Physiologie* 53, S. 394 ff.), in welcher, in Bezug auf meine Abhandlung vom Jahr 1892, die ich oben (S. 5 Anm.) angeführt habe, gesagt ist: ich gebe das Gesetz der Erhaltung der Energie preis, „ohne daß ich mir dieses Preisgebens recht bewußt werde.“ — Hiegegen habe ich nur zu sagen: ich denke, mit vollem Bewußtsein, seit langen Jahren so, daß, weil es sich in der Physiologie immer und überall um Kraftbetätigungen an Stoffen handelt, die dabei sich zersetzen und nicht, wie der Wasserdampf, einen Kreisprozeß durchmachen, an dessen Ende wieder das gleiche Wasser vorhanden ist wie zu Anfang; — daß aus diesem Grunde die Physiologie keinen Nutzen davon hat, wenn sie sich von der mechanischen Wärmetheorie besonders stark beeinflussen läßt. Sie zwingt dann nur die Tatsachen in eine fremde Schablone; und wenn man es so macht, wird man das Wesentliche und Charakteristische nicht sehen. Denn dieses ist in der Physiologie immer dasjenige, was über die bisherige Physik hinausgeht.

bändern, betrachte ich die Muskeln lediglich als elastische Bänder, deren Zugkraft ausschließlich bestimmt ist:

Erstens durch ihre Länge.

Zweitens durch ihre Temperatur.

Die Bedingungen, welche durch die Länge gegeben sind, kann man auch am lebenden Menschen direkt herstellen. Man kann messen: welche elastische Zugkraft ein Muskel hat, je nachdem er kürzer oder länger ist? — Die durch die Temperatur gegebenen Bedingungen kann man dagegen in direkter Weise nur studieren an Gummibändern, und auf Grund der Erfahrungen, die man an diesen gewonnen hat, kann man dann weiter versuchen in das Verständnis dessen einzudringen, was man an den Muskeln des Menschen beobachtet, wenn nicht ihre Länge geändert wird sondern das, was aus den Nerven in sie fließt. —

Erstes Kapitel.

Die elastische Zugkraft der Muskeln betrachtet als Funktion ihrer Länge.

In Bezug auf den Einfluß, welchen die Länge eines Muskels auf seine elastische Zugkraft hat, muß jedem Beobachter, der seine Aufmerksamkeit richtet auf das, was ein Muskel halten kann, sofort auffallen: daß er, *ceteris paribus*, eine viel größere Kraft besitzt, wenn er lang, als wenn er kurz ist. Um dies z. B. für den Unterschenkel genauer zu bestimmen, legt man einen Menschen auf eine horizontale Unterlage bis zum Kniegelenk, in der Weise, daß der Unterschenkel, ohne Unterlage, sich frei in der Luft befindet. Wenn man den Unterschenkel zum Oberschenkel in den gestreckten Winkel von 180° bringt, so sind die Muskeln, welche diese Haltung bewirken, möglichst kurz. Mittels des Apparats, von dessen Einzelheiten nachher die Rede sein wird, kann ich mit genügender Genauigkeit angeben (das eigene Gewicht des Gliedes, das, selbstverständlicherweise, unbestimmbar ist, wird dabei durch Äquilibration aufgehoben und scheidet somit aus der Berechnung aus): welche elastische Zugkraft, relativ zu den verschiedenen Längen, in einer Muskelgruppe vorhanden ist? Es gibt zwei Methoden, mittels deren man sich eine numerische Bestimmung verschaffen kann über

diese elastische Zugkraft. Voraussetzung für beide ist diese: daß die Versuchsperson in zuverlässiger Weise tut, was man ihr sagt. Bei der einen Methode sagt man ihr: sie solle sich maximal anstrengen, um den Unterschenkel möglichst lange in der Lage zu halten, in die man ihn gebracht hat. Bei der anderen Methode sagt man dagegen der Versuchsperson: sie solle gar nichts von sich aus dazu tun sondern sich rein passiv verhalten. —

Was sich bei der ersten Methode zeigt, hat schon vor langen Jahren meine Aufmerksamkeit erregt. Es ist dasjenige gewesen, was mich, schon in den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts, am Stärksten darauf hingewiesen hat: in wie hohem Grade die elastische Zugkraft einer Muskelgruppe abhängig ist von ihrer Länge. Wenn die Muskelgruppe kurz ist, so kann die Versuchsperson mit ihr nur unter größter Anstrengung und nur kurze Zeit hindurch das gleiche Gewicht halten, welches sie ohne Schwierigkeit und lange Zeit hindurch halten kann, wenn die Muskelgruppe länger ist. Wenn man eine Vorrichtung anbringt, mittels deren die Haltung des Glieds auf einen berußten Zylinder fortdauernd graphisch aufgezeichnet wird, so zeigt sich immer folgendes: Der Unterschenkel wird z. B. durch ein Gegengewicht von 4000 g in horizontaler Lage äquilibriert, während die Versuchsperson aus eigener Kraft gar nichts zu seiner Haltung beiträgt. Nimmt man nun diese äquilibrierenden 4000 g auf der anderen Seite des Apparats weg, so kann die Versuchsperson, indem sie immer noch den Unterschenkel horizontal hält, die weggenommenen 4000 g aus eigener Kraft ersetzen. Bei dieser geraden Ausstreckung des Unterschenkels der liegenden Person ist dann die Muskelgruppe, durch deren elastische Zugkraft das Glied gehalten wird, so kurz, als sie überhaupt sein kann. Und dementsprechend hält sich die Linie der Haltung auf dem berußten Zylinder nur ganz kurze Zeit auf der anfänglichen Höhe, auch wenn sich die Versuchsperson noch so sehr anstrengt, den Unterschenkel nicht sinken zu lassen. — Wenn die Linie dann aber etwas gesunken, die Muskelgruppe also etwas länger geworden ist; dann bleibt die Linie, auch bei mäßiger Anstrengung der Versuchsperson, längere Zeit hindurch horizontal.

Ehe ich dieses weiter betrachte, muß ich zuvor einen Punkt erledigen, der zusammenhängt mit der äußeren Versuchsanordnung, und der berücksichtigt werden muß. Wenn der Unterschenkel zu Anfang des Versuchs

horizontal ausgestreckt ist, so greift die Schwerkraft, die ihn nach abwärts zu drehen strebt, zuerst rechtwinklig an. Wenn das Gewicht, das den Unterschenkel vorher äquilibriert hatte und welches dann auf der anderen Seite weggenommen wurde, 4000 g betrug; so kann dieses also zuerst mit seinem vollen Betrag als Drehungsmoment in Rechnung gestellt werden. Sobald aber der Unterschenkel einen Winkel mit dem Horizont bildet, so ergibt die Multiplikation jenes Gewichts mit dem Kosinus dieses Winkels das nunmehrige Drehungsmoment, welches alsdann kleiner wird, weil der Multiplikator ein echter Bruch ist.

Damit ich über dieses Verhältnis immer sofort Klarheit besitze, habe ich, ein für allemal, mir für das Gewicht: 4000 g die Produkte: $P \cos \alpha$ herausgeschrieben. Und ebenso habe ich, indem ich den graphischen Apparat immer genau in die gleichen räumlichen Beziehungen zum Unterschenkel setze, ein für allemal genau auf einer Skala aufgezeichnet, welcher Neigung des Unterschenkels zum Horizont jeder Punkt des berufenen Zylinders entspricht. Ich lese jetzt immer sofort auf dem Diagramm ab: erstens den Winkel, in welchem sich der Unterschenkel zum Horizont befindet; zweitens das jeweilige Drehungsmoment der Last, indem die Last, ein für allemal, 4000 g beträgt. Hiebei zeigt sich folgendes: Wenn die Last von 4000 g in ihrem vollen Betrag als Drehungsmoment wirkt, also bei horizontaler Haltung des Unterschenkels; so kann die Versuchsperson diese Haltung nur kurze Zeit beibehalten, auch wenn sie sich noch so sehr anstrengt. Wenn dann der Unterschenkel z. B. nur um 15° gesunken ist, so bleibt die Linie längere Zeit hindurch horizontal, auch ohne sonderliche Anstrengung. Der Unterschied in dem Drehungsmoment der Last ist aber dabei ein ganz geringer: wenn es zuerst 4000 g betragen hatte, so beträgt es jetzt 3860; also nur ein Unterschied von 4% in Bezug auf den Widerstand, den die Muskelgruppe überwinden muß; während die Leistungsfähigkeit der Muskelgruppe eine erheblich größere ist, wenn sie in dieser Weise etwas gedehnt, als wenn sie kurz ist. Wenn man dann den Unterschenkel so halten läßt, daß er in einem Winkel von 30° zum Horizont steht, so beträgt das Drehungsmoment der Last immer noch 3460 g; es hat also auch dabei erst abgenommen um 14%. In dieser Lage ist es aber für die Versuchsperson schon ganz bedeutend leichter den Unterschenkel zu halten; und was bei kurzen Muskeln große Anstrengung gemacht hatte, das kann, wenn die Muskelgruppe soweit verlängert ist, mit sehr geringer Anstrengung geleistet werden. Dieser Unterschied rührt deshalb sicher nicht bloß her von dem verringerten Drehungsmoment. Sondern die Hauptsache ist die stärkere elastische Zugkraft, welche die Muskelgruppe entfalten kann, wenn sie länger ist, und welche deshalb Anstrengung (durch Vermittlung der Nerven) erspart.

Man kann diese elastische Zugkraft der Muskelgruppe, welche auf den Unterschenkel wirkt, häufig auch ohne weiteres an sich und anderen beobachten, wenn der Unterschenkel frei herabhängt. Er stellt sich dann in der Regel nicht senkrecht sondern etwas nach vorn gestreckt, weil bei dieser starken Ver-

längerung die elastische Zugkraft der Muskelgruppe größer geworden ist als der Rest des Drehungsmomentes, den die Last des Unterschenkels in dieser Lage besitzt. Es bedarf in der Regel einer eigenen Anstrengung mittels der Muskeln an der hinteren Seite des Oberschenkels, um den Unterschenkel in völlig senkrechte Lage zu bringen. — An Rückenmarks- und Hirnkranken, bei welchen die elastische Zugkraft der Muskelgruppe an der vorderen Seite des Oberschenkels oft ganz gewaltig vermehrt ist, kann man die Erscheinung häufig in der stärksten Weise beobachten: daß der Unterschenkel gar nicht vertikal nach unten hängen kann, sondern daß er immer nach kurzer Zeit stark nach vorn geht, wenn man ihn jedes mal wieder in die senkrechte Lage zu bringen versucht hatte. Hier stellt sich also die elastische Kraft auch schon des wenig gedehnten Muskels in das Gleichgewicht mit einem erheblich stärkeren Drehungsmomente der Last des Unterschenkels, als es unter normalen Verhältnissen der Fall ist. Und so leistet bei diesen Kranken, obgleich sie in vieler Hinsicht als gelähmt bezeichnet werden können, doch ihre Muskel-Elastizität mehr, als sonst bei größter Willensanstrengung geleistet werden kann. Sehr bemerkenswert ist bei diesen Menschen auch dieses: Die Haltung, welche sie lange Zeit hindurch beibehalten können ohne jedes willkürliche Dazutun, ist dann auch eine ganz ruhige: sie schreibt eine gerade Linie auf den beruften Zylinder; es ist einfach Gleichgewicht vorhanden zwischen der elastischen Zugkraft der Muskelgruppe und dem Drehungsmoment der Last des Unterschenkels. Wenn dagegen eine Muskelgruppe mit gewöhnlicher elastischer Zugkraft durch Einflüsse, die aus den Nerven kommen, einen solchen Zuwachs an Kraft erhält, daß sie mittels dieses Zuwachses das Drehungsmoment der Last zu äquilibrieren strebt; so ist dies, in völlig ruhiger Weise, nur dann möglich, wenn dieses Drehungsmoment sehr gering ist. Sobald dagegen ein etwas größeres Drehungsmoment wirkt, so kann es von einer normalen Muskelgruppe nur so äquilibriert werden, daß fortwährend stoßweise Vermehrungen der elastischen Zugkraft stattfinden. Es wird deshalb in diesem Fall keine gerade Linie auf den beruften Zylinder gezeichnet sondern eine Wellenlinie. —

Ich hoffe, daß es mir gelungen ist, schon durch das Vorstehende in dem Leser eine deutlichere Vorstellung zu erwecken,

als er sie bisher hatte, von dem, was diejenige elastische Zugkraft im Muskel wirkt, welche, wie die eines Gummibandes bei gleicher Temperatur, in ihrer Stärke nur durch die Länge des Muskels bestimmt ist. So selbstverständlich diese Vorstellungen erscheinen müssen, sobald man sie klar erfaßt hat; so muß ich doch sagen, daß ich früher nirgends etwas Klares darüber gelesen habe. Deshalb ist mir auch alles erst dann verständlich geworden, als ich durch fortwährende Parallelbeobachtungen an Gummibändern mir alle diese Verhältnisse immer wieder anschaulich klar machte. An diesen kann man die Wirkungen der verschiedenen Belastungen rein beobachten, welche beim lebenden Menschen nur durch eine abstrahierende und trennende Denkopoperation heraus erkannt werden können. Denn wenn ich dem Menschen befehle: er solle seinen Unterschenkel bei verschiedenen Längen der beteiligten Muskeln halten, so ist natürlich dasjenige, was aus den Nerven in die Muskeln kommt, nicht gerade notwendigerweise konstant. Der Mensch kann auch einmal zu der elastischen Zugkraft des kürzeren Muskels mehr hinzutun als zu der des längeren und so den Einfluß, den die Länge des Muskels an und für sich hat, verwischen. Jedoch, wenn man nur recht häufig beobachtet, dann stellt sich trotzdem, durch alle Trübungen des Sachverhalts hindurch, immer wieder das Grundgesetz heraus, welches, wenn man die elastischen Kräfte der Gummibänder genau in sein Bewußtsein aufgenommen hat, geradezu a priori klar ist: daß nämlich der gedehnte Muskel, an und für sich und ganz abgesehen von dem, was aus den Nerven kommt, eine bedeutend größere elastische Zugkraft haben muß als der kurze. — Daß dem so ist, dies ist aber auch ferner klar aus einer Menge von Beobachtungen, die sich einem überall am Körper aufdrängen. Wenn man z. B. abwechselnd die dorsalflektierte und die volarflexierte Hand zur Faust ballt, so kann man im letzteren Falle bekanntlich nur sehr wenig Kraft entwickeln. Denn dabei sind die Muskeln, die man zum Faustmachen braucht, von Anfang an viel zu sehr verkürzt, als daß sie noch eine erhebliche elastische Zugkraft entwickeln könnten. Es macht deshalb auch niemand eine Faust mit gebeugter Hand. —

Für alle Gelenkmechanismen im Körper ist es das wesentliche mechanische Prinzip ihrer Einrichtung: daß eine solche Verkürzung des Muskels vermieden wird, bei welcher er nur

noch mit größter Anstrengung elastische Zugkraft entwickeln könnte. Als eines der deutlichsten Beispiele hiefür ist mir immer die Bewegung des Oberarms erschienen, welche zu stand kommt durch die kombinierte Wirkung des *Musculus deltoides*, der den Arm dreht, und des *Musculus serratus anticus major*, der das Schulterblatt dreht. Wenn das Schulterblatt nicht mitgedreht würde, so würde, bei der bloßen Bewegung des Armes, das distale Ende des *Musculus deltoides* bald dem proximalen, welches alsdann stillstünde, sich so sehr nähern, daß der kurze Muskel viel zu viel an elastischer Zugkraft verlöre. Weil aber das Schulterblatt, gleichzeitig und von Anfang der Bewegung an, mitgedreht wird; so wird dadurch auch das proximale Ende des *Musculus deltoides* in gleichem Sinne bewegt wie das distale; infolgedessen wird der Muskel nicht so kurz und verliert deshalb nicht so viel an elastischer Zugkraft, als er im anderen Falle verlöre.¹

Ich halte dieses mechanische Prinzip für eines der wichtigsten bei der Betrachtung des ganzen organischen Bewegungsapparats. Ich finde es überall im Körper realisiert. Es ist mir aber nicht gelungen, in dem vielen, was schon über Muskelzustände ge-

¹ Ich habe die Länge des *Musculus deltoides* häufig an verschiedenen Personen mit dem Bandmaß gemessen, einerseits bei herabhängendem, andererseits bei horizontal ausgestrecktem Arm. Nach dem anatomischen Atlas von TOLDT, an dessen Muskelbildern man auch Größenverhältnisse ablesen kann, weil das Verhältnis zu der natürlichen Größe angegeben ist, beträgt die lineare Entfernung des proximalen und distalen Endes des dort abgebildeten *Musculus deltoides*, bei herabhängendem Arm, 15 cm. Ich finde in der Regel, wenn ich an kräftigen Männern von normaler Größe im Bogen mit dem Bandmaß messe, zirka 18 cm, was den 15 linearen Zentimetern beiläufig entsprechen dürfte. Diese Entfernung von 18 cm bei herabhängendem Arm, welche man als die größte Länge des Muskels betrachten darf, wird dann nur reduziert auf 15 cm (also nur um zirka 16%), wenn der Arm horizontal ausgestreckt ist. — Da der *Musculus deltoides* im wesentlichen in seiner ganzen Länge aus elastischen Muskelfasern und nicht, wie viele andere Muskeln, größtenteils aus bloßen festen sehnigen Transmissionen besteht, so müssen diese 16% Verkürzung um so unbedeutender erscheinen. Wenn das proximale Ende des Muskels stillstünde, so müßte er offenbar kürzer werden. Daß er, bei seiner tatsächlichen geringen Verkürzung, noch wenig an elastischer Zugkraft verliert, leuchtet unmittelbar ein; und so hat der Muskel gerade für die horizontale Haltung des Arms, in welcher das Drehungsmoment am Stärksten ist, doch noch genügende Kraft.

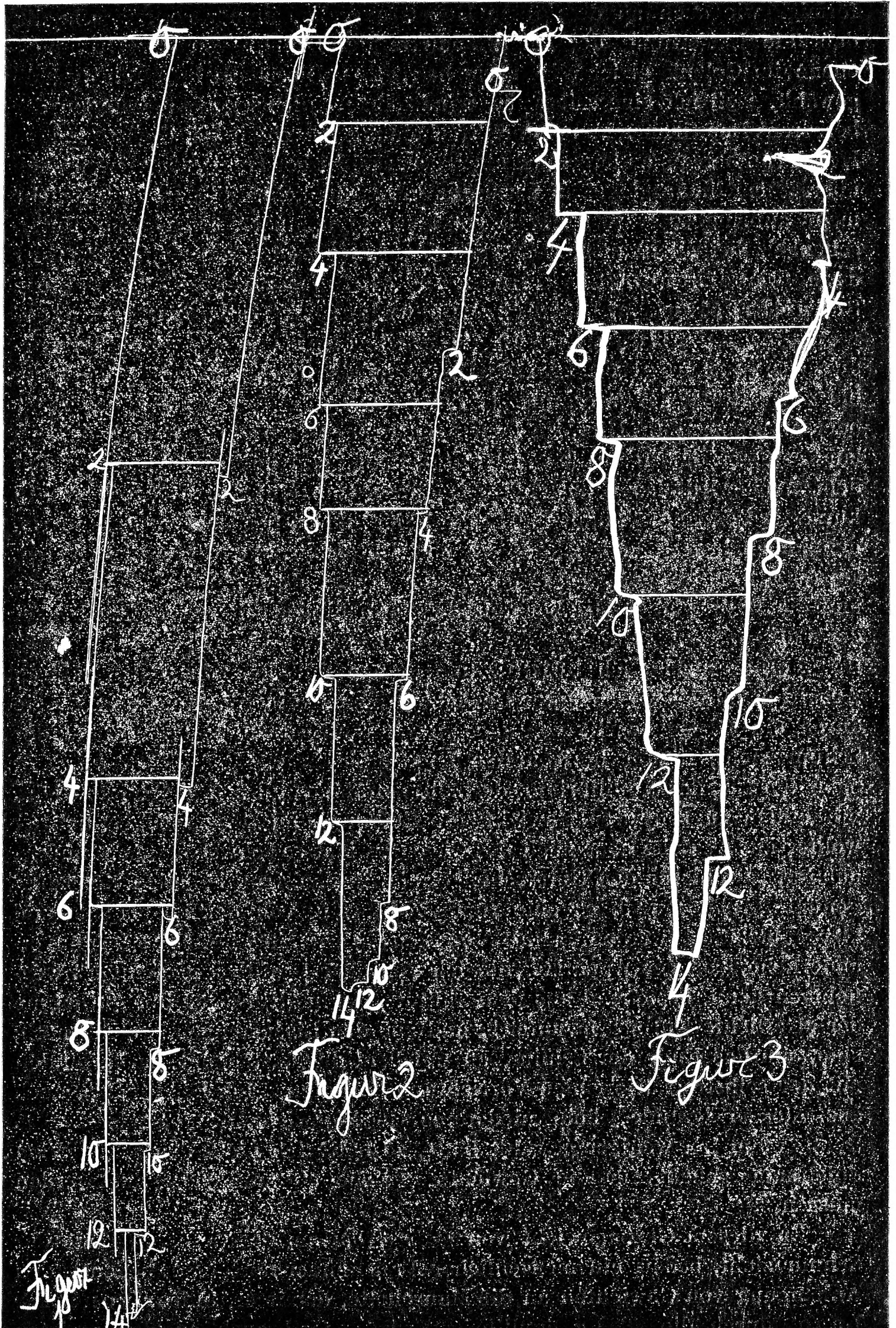
druckt worden ist, etwas zu finden, worin dieses wichtige Prinzip so bestimmt ausgesprochen und hervorgehoben wäre, als es notwendig ist. Umsomehr fühle ich mich verpflichtet, auch an dieser Stelle den Satz zu betonen, der so formuliert werden muß:

Überall im Körper bestehen Einrichtungen, welche bewirken, daß die Muskeln, bei den Drehungen in den Gelenken, nicht zu kurz werden und nicht zu viel verlieren von der elastischen Zugkraft, welche sie in stärkerem Maße besitzen, wenn sie lang, als wenn sie kurz sind. —

Und aus diesem Grunde hält auch, bei gleicher Anstrengung der Versuchsperson, ein Muskel dem gleichen Drehungsmoment besser und längere Zeit das Gleichgewicht, wenn er länger, als wenn er kürzer ist. —

Ich betrachte nun ferner dasjenige, was sich zeigt, wenn man der Versuchsperson sagt: sie solle von sich aus gar nichts dazu tun, sondern sie solle ihren Unterschenkel ganz passiv den wechselnden Drehungsmomenten überlassen. Hiebei zeigt sich dann: in welcher Weise die Muskel-Elastizität in die Drehbewegung im Gelenk als eine Bremsvorrichtung eingreift? Zur unmittelbaren Veranschaulichung dieses Verhaltens setzt man abwechselnd den Unterschenkel eines Menschen in den Apparat ein, und eine Stange aus Holz und Eisen und zwar so, daß sich diese beiden unter den gleichen Bedingungen befinden in Bezug auf die Drehungsmomente. Der wesentliche Unterschied ist dann nur dieser, daß in dem Unterschenkel des Menschen elastische Kräfte wirksam sind, welche bei der toten Stange völlig fehlen. Die großen Verschiedenheiten, die sich zeigen, je nachdem die Elastizität sich in dem Apparat befindet oder nicht; — werden durch die Figuren 1 und 2 veranschaulicht, zu deren Erläuterung ich folgendes anführe:

An der Decke des Zimmers ist ein fein gearbeitetes Rad mit geringer Reibung. Über dieses ist eine Schnur geleitet. An dem einen Ende der Schnur wird entweder der tote Hebel oder das menschliche Glied, das untersucht werden soll, angehängt; an dem anderen Ende das äquilibrierende Gewicht. Bei dem toten Hebel beträgt die Entfernung, von der Drehebene zu dem Angriffspunkt der Schnur, ein für allemal, 38 cm. Bei dem lebenden Glied wird die Ledermanschette, an welcher die Schnur (gabel-



Figur 1 stellt dar die verschiedenen Lagen bei der Winkel-Bewegung des künstlichen Glieds (in welche keine elastische Bremskraft eingreift), unter dem Einfluß der verschiedenen Gegengewichte von 4000 Gramm (bei 0) bis 2600 Gramm (bei 14).

Figur 2 stellt dar die verschiedenen Lagen bei der Winkel-Bewegung des natürlichen Glieds, hier eines menschlichen Unterschenkels (in welche die Muskel-Bremse eingreift), unter genau den gleichen statischen Verhältnissen wie in Figur 1.

Figur 3 stellt dar die verschiedenen Lagen bei der linearen Dehnung eines Gummi-Bandes unter dem Einfluß der sukzessiven Belastungen von 0, 200, 400, 600, u. s. f. bis 1400 Gramm.

förmig, wie auch an dem toten Hebel) angreift, immer so angeschnallt, daß die Entfernung der Angriffspunkte der Schnur von der Drehungsebene im Gelenk gleichfalls 38 cm beträgt. — Die 38 cm habe ich deshalb gewählt, weil ich einerseits, aus unmittelbar einleuchtenden Gründen der besseren Deutlichmachung der Erscheinungen, einen möglichst langen Hebelarm haben, andererseits aber berücksichtigen muß, daß, wenn ich über 38 cm hinausginge, an kurzen Unterschenkeln die Manschette nicht mehr anbringbar wäre. Mit 38 cm kommt man aber, auch beim Unterschenkel, bei allen ausgewachsenen Menschen fast immer aus. Außer dem Unterschenkel kann man bloß noch den Arm (vom Schultergelenk ab) überhaupt dieser Untersuchung unterwerfen. An allen übrigen Gliedabschnitten ist eine Untersuchung unmöglich. An dem Arm gehen die 38 cm immer beiläufig bis zur Mitte des Vorderarms, je nach der Länge des Arms etwas mehr oder weniger weit. Hier, an dem Arm, können also die 38 cm niemals zu lang sein, so daß man die Manschette nicht mehr anbringen könnte. Bei dem Arm wird das Ellbogengelenk durch eine einfache Schiene, die in kürzester Zeit angeschnallt ist, festgestellt; und so hat man, auch am Arm, den gleichen festen Hebelarm wie am Unterschenkel. Beim Arm ragen, am distalen Ende des 38 cm langen Hebelarms, ein Stück des Vorderarms und die Hand gerade so über den Hebelarm hinaus wie am Unterschenkel der Fuß. —

Ferner mache ich beide: tote Stange und lebendes Glied, durch Ausgleich mittels angehängter Gewichte, immer gerade so schwer, daß sie durch ein Gegengewicht von 4000 g, wenn dieses am anderen Ende der Schnur zieht, in der horizontalen Lage erhalten werden. — Diese 4000 g habe ich für das Äquilibrium deshalb gewählt, weil ich einerseits nicht, mit einem zu schweren Gewicht, die Reibung unnötigerweise vermehren wollte; andererseits aber auch das Gegengewicht so schwer nehmen mußte, daß es, sowohl für den Unterschenkel als für den Arm, bei allen Menschen genügt. Auch mußte es eine runde Zahl sein, von der ab bequem und klar subtrahiert werden kann. Von den 4000 g sind ferner 2600 g unveränderliche Last des Apparats, die ich von dem Äquilibrium nicht hinwegnehmen kann, bestehend aus dem Einsatz, der nötig ist für die Aufnahme der „Gewichts-Türme“ (s. unten!), und aus den Eisenstangen, welche nötig sind, um das Ende der Schnur, an welchem die Last hängt, zu verbinden mit der selbstregistrierenden Vorrichtung (s. unten). Ich könnte also, auch aus diesem Grunde, kein niedereres Gegengewicht wählen als 4000 g. Denn, wenn ich weniger gewählt hätte, so hätte ich nicht den genügenden Spielraum gehabt für die Gewichte, welche ab- und zugesetzt werden müssen. —

Zu diesem Gegengewicht von 4000 g, das an dem anderen Ende der Schnur zieht, bedarf ein menschlicher Arm immer noch einer bedeutenden Anhängung von Gewichten an die Manschette, damit er, in horizontaler Lage, durch die 4000 g äquilibriert wird. Und auch an den meisten Unterschenkeln muß man noch Gewichte anhängen. Doch können lange und schwere Unterschenkel (mit entsprechenden Füßen), auch schon ohne weiteren Zusatz, mit einem Gewicht bis zu 4000 g in dem Apparat

liegen. Gewöhnliche Unterschenkel bedürfen aber immer, zum Ausgleich mit dem Gegengewicht von 4000 g, gleichfalls (wie die Arme) noch der Anhängung eines halben bis ganzen Kilogramms. Diese Ausgleichsgewichte sind ganz unwesentlich; und es ist, selbstverständlicherweise, völlig gleichgültig, ob sie z. B. durch einen Stiefel oder ob sie durch ein Gewichts-Stück dargestellt sind. Weil der Stiefel entfernter von der Drehungsebene wirkt, so fällt er mehr in das Gewicht, als wenn man, bloß 38 cm vom Kniegelenk, sein Gewicht anhinge. Um alles dieses braucht man sich aber gar nicht zu kümmern. Es handelt sich bloß darum, daß alles, was links (von dem Rad an der Decke) sich befindet, in der horizontalen Lage mit dem Gewicht von 4000 g an der Schnur zieht; oder mit anderen Worten: daß das (natürliche oder künstliche) Glied links in der horizontalen Lage sich dann im Gleichgewicht befindet, wenn rechts, an dem anderen Ende der Schnur, 4000 g ziehen. Durch welche Massen? und durch welche statischen Momente? es bedingt ist, daß auf der linken Seite diese 4000 g an der Schnur ziehen? — dies ist völlig gleichgültig. Denn es handelt sich ja durchaus nicht um die Wägung der Masse, welche links an der Schnur hängt; sondern nur um die vergleichende Messung der elastischen Kraft in den verschiedenen Lagen des Gliedes. In der horizontalen Lage hat, *ceteris paribus*, die Muskelgruppe ihr Minimum von elastischer Zugkraft, im Vergleich zu allen anderen Lagen, welche überhaupt der Untersuchung unterworfen werden können. Denn in der horizontalen Lage des Unterschenkels oder des Arms sind die betreffenden Muskelgruppen am kürzesten. Und mit diesem Minimum von elastischer Zugkraft werden dann die Beträge der Kraft in den längeren Zuständen der Muskelgruppe, mittels dieser Kraftwage, vergleichend bestimmt. Wie ich schon oben mitgeteilt habe, sind von den 4000 g, welche auf der rechten Seite des Rades an der Schnur ziehen, 2600 g dargestellt durch das Gewicht des Apparats; und man kann deshalb das Gegengewicht nicht kleiner machen als 2600 g. Der tiefste Stand, den das (natürliche oder künstliche) Glied einnimmt, ist also derjenige, welcher bewirkt wird durch das Äquilibrium von 2600 g. Der Rest von 1400 g (zwischen 2600 g und 4000 g) wird auf einer Fläche, welche in die Schnur eingeschaltet ist, jeweils zugesetzt und weggenommen. Ich gebe diese 1400 g einerseits ab und zu in einem einzigen Bleigewicht, das 1400 g wiegt und einen bequemen Griff hat, mittels dessen man es, ohne Ruck und Stoß, ab- und zusetzen kann; andererseits baue ich die 1400 g auf und ab mittels zylindrischer Teilgewichts-Stücke von je 200 g. Ich gebe sie dabei also in sieben Teilen ab und zu. Zur Vermeidung von jedem Ruck und Stoß werden sie leicht aufeinander gesetzt, auf die eingeschaltete Fläche, in Gestalt von zwei oder drei kleinen „Gewichts-Türmen“. Die Lage, welche das Glied einnimmt, wenn es horizontal steht, und die zugehörige Belastung bezeichne ich als Null. Das Glied ist dann in horizontaler Lage durch 4000 g äquilibriert. Wenn diese Lage hergestellt ist dadurch, daß auf der anderen Seite die sieben Teilgewichte von je 200 g aufgesetzt sind; dann können also immer 200 g von den 4000 g weggenommen werden, bis herab zu 2600 g. Immer wenn ich 200 g auf der einen Seite weggenommen habe, bezeichne ich die neuen Lagen, welche

ich dadurch dem Glied auf der anderen Seite erteilt habe, fortlaufend mit 2, 4, 6 und so fort. Und diese Bezeichnung ist durchgeführt in den Figuren 1 und 2 (S. 17), in welchen beiden Figuren Winkelbewegungen dargestellt sind; und zwar in Figur 1 die sukzessiven Lagen des künstlichen Glieds, in Figur 2 die des natürlichen, hier eines menschlichen Unterschenkels. Ein menschlicher Arm liefert die gleiche Figur mit den gleichen charakteristischen Eigenschaften und Gegensätzen gegenüber von der Figur 1. Ich habe deshalb, damit ich den Leser nicht durch unnötige Figuren verwirre, mich beschränkt auf die Wiedergabe der Figur, welche der Unterschenkel gezeichnet hat. — (In der Figur 3, von welcher erst nachher die Rede sein wird, sind nicht Winkel-Bewegungen dargestellt sondern lineare Dehnungen eines Gummibandes unter dem Einfluß der gleichen Gewichte, durch welche die verschiedenen Winkelbewegungen in den Figuren 1 und 2 bewirkt worden sind.) Die selbstregistrierende Aufzeichnung der sukzessiven Lagen in den Figuren 1 und 2 ist folgendermaßen zu stande gekommen: Von dem freien Ende der Schnur, also demjenigen, an welchem das Glied nicht hängt, geht die Verbindung so zu dem beruhten Zylinder, daß: 1. durch nochmalige Umdrehung, mittels Wagebalken, die Zeichnung auf dem Zylinder gleichsinnig gemacht wird mit der Bewegung des Gliedes; 2. wegen entsprechender Ungleichheit der Wagebalken, die Registrierung erfolgt ungefähr in der Hälfte der natürlichen Größe der vertikalen Kathete des Drehungswinkels des Gliedes, in welcher Linie die Bewegung des Angriffspunkts der Schnur an dem längeren Wagebalken stattfindet. Mittels dieser Verkleinerung ist es möglich, auch die Drehungen des Gliedes von 38 cm Länge durch einen vollen Quadranten hindurch, auf einem rotierenden Zylinder von gewöhnlicher Höhe (zirka 20 cm), zu registrieren, wenn man dies tun will.

Auf den Figuren 1 und 2 (S. 17) sind also die gleichen Verhältnisse, in Bezug auf die Drehungsmomente und auf die Lage im Raum, dargestellt für die tote Stange ohne und für das lebende Glied mit elastischer Kraft. Und die Zahlen, welche auf den beiden Figuren angeschrieben sind, bedeuten, wie ich schon vorhin mitgeteilt habe, daß von dem Äquilibrium, welches in der horizontalen Lage (bei 0) 4000 g beträgt, immer sukzessive 200 g weggenommen worden sind. Bei 2 wird also (in Figur 1 das künstliche, in Figur 2 das natürliche Glied) noch äquilibrirt durch 3800 g; bei 4 durch 3600 g u. s. f.; bei 14 nur noch durch 2600 g. — Und ein vergleichender Blick auf die beiden Figuren 1 und 2 zeigt nun sofort den großen Unterschied zwischen der Wirkung dieser Drehungsmomente, je nachdem elastische Kraft wirksam ist, wie bei dem natürlichen Glied (in Figur 2), oder nicht, wie bei dem künstlichen (in Figur 1).

Welche sukzessiven Lagen das künstliche Glied im allgemeinen einnehmen muß, dies ist, auf Grund elementarer statischer Gesetze, a priori

klar. Genau können aber die Grade der Neigungswinkel zum Horizont nicht entsprechen denjenigen Graden, welche sich ergeben auf Grund der reinen Formel: $P \cos \alpha$. Denn erstens ist es nicht möglich, und auch durchaus nicht nötig, daß das künstliche Glied genau in einem Kreisbogen läuft. Zweitens ist der Angriffswinkel der Schnur, die, von dem Rad an der Zimmerdecke herab, an das Glied geht, für die verschiedenen Lagen des Glieds ein sehr verschiedener. Und nur wenn dieser Winkel (zwischen dem Glied und der Schnur) in allen Lagen des Glieds immer ein rechter Winkel wäre, könnte die Formel: $P \cos \alpha$ genau zutreffen. Aber auch ein Arm und ein Unterschenkel dreht sich niemals in einer reinen Kreislinie; seine Drehungsebene steht niemals fest, sondern macht (s. auch oben S. 15) immer die unberechenbarsten Bewegungen; und die Angriffswinkel der Schnur ändern sich, bei dem künstlichen und bei dem natürlichen Glied, in der gleichen Weise. Besonders deshalb, weil die Angriffswinkel der Schnur in den unteren Lagen immer mehr sich von einem rechten Winkel entfernen, wirkt das Äquilibrium hier weniger auf das Glied, als es der Fall wäre nach der Formel $P \cos \alpha$; und die Lagen, welche das künstliche Glied in Wirklichkeit einnimmt, gehen, hauptsächlich aus diesem Grunde, in den unteren Lagen tiefer, als es nach der Formel der Fall sein müßte.

Groß sind die Unterschiede aber nicht; und jedenfalls zeigt sich, auf der Figur 1 (S. 17), welche die wirklichen Lagen darstellt, die das künstliche Glied sukzessive einnimmt, auch noch deutlich der Charakter, der durch die Formel $P \cos \alpha$ ausgedrückt ist, mit nur leichten und unerheblichen Abweichungen. Und diese Abweichungen können völlig vernachlässigt werden gegenüber von den großen, durchgreifenden und prinzipiellen, Unterschieden, welche bestehen zwischen der Figur 1 und der Figur 2, auf welcher letzterer die elastische Bremsvorrichtung so stark eingreift, daß dadurch dasjenige völlig verwischt wird, was durch die rein statischen Momente bedingt wäre.

Zum Vergleich dient also immer die Figur 1, in welcher, unter genau den gleichen statischen Bedingungen, unter denen auch die Figur 2 steht (auch mit den gleichen Abweichungen von den Voraussetzungen der Formel $P \cos \alpha$), die Lagen eines Hebelarms graphisch dargestellt sind, wenn keine Elastizität in die Bewegung eingreift.

Ich wende mich nun zu einer vergleichenden Betrachtung der Figuren 1 und 2, in Bezug auf alle Einzelheiten, die an ihnen von prinzipieller Wichtigkeit sind, und vergleiche dann auch Figur 2 und 3, welche letztere nicht entstanden ist aus einer Winkelbewegung sondern aus linearer Dehnung.

In Figur 1 kommen also, wie ich schon wiederholt gesagt habe, elastische Kräfte gar nicht zur Wirkung; und darin liegt der große Unterschied zwischen ihr und der Figur 2. Dagegen

darf, selbstverständlicherweise, auch in der Figur 1, aufser ihren rein statischen Momenten, die, unvermeidliche, tote Reibung des Apparats nicht völlig aufser acht gelassen werden, wenn sie auch nicht gerade besonders erheblich ist.

Zu einem geringen Teile erklärt auch diese blofse tote Reibung die Unterschiede, die ich vorhin betont habe, zwischen den wirklichen und den berechneten Lagen; indem nämlich der Apparat vorher hängen bleiben kann, ehe er diejenige Lage erreicht hat, welche durch die reine Statik bedingt wäre. Doch kommen in dieser Hinsicht die, vorhin angeführten, Abweichungen in den statischen Bedingungen so überwiegend in Betracht, dafs dagegen die Reibung als Ursache verschwindet.

Weil die tote Reibung des Apparats (welchem die Figur 2 ebenso ausgesetzt ist wie die Figur 1) doch nur eine geringe ist; so wird in der Figur 1 die überschüssige Bewegung des künstlichen Glieds nicht vernichtet, so wie sie in Figur 2 durch die elastische Kraft, welche dort eingreift, vernichtet wird. Daher kommt der erste grofse Unterschied zwischen der Figur 1 und der Figur 2, der unmittelbar in die Augen fällt, nämlich dieser: dafs in der Figur 1 das, *ungebremste*, künstliche Glied immer zuerst beträchtlich hinausgeht über die Ruhelagen, die bedingt sind durch die, rein statischen, Verhältnisse. Hievon ist in der Figur 2, an dem *gebremsten* natürlichen Glied, durchaus nichts zu bemerken. Nur wenn man sehr grofse Gewichts-differenzen wirken läfst, also z. B. von 0 direkt auf 14 geht (zu welchem Zwecke ich ein Bleigewicht von 1400 g besitze mit einem bequemen Griff, mittels dessen es ebenso leicht und ruhig ab- und zugesetzt werden kann wie ein kleines 200 g-Gewicht); nur dann hat auch das *gebremste* Glied so viele überschüssige Geschwindigkeit, dafs es gleichfalls, wenigstens einigermaßen, über die Ruhelage hinausgeht. Aber sehr merklich ist immer noch der Einfluß der Muskelbremse auch bei der Wirkung solcher grofser Unterschiede im Äquilibrium. Wenn man auf das *ungebremste* künstliche Glied den gleichen grofsen Gewichtsunterschied wirken läfst, so kann dieser Vorgang überhaupt niemals graphisch aufgezeichnet werden. Denn das künstliche Glied fährt dann in wilden Sprüngen zuerst weit über den beruften Zylinder hinaus. Der menschliche Unterschenkel geht dagegen, auch in diesem Fall, in der Regel nur soweit über die Ruhelage nach abwärts, dafs eine graphische Aufzeichnung auf dem Blatt von dieser Höhe noch möglich ist. Wenn man aber blofs die geringen Gewichtsunterschiede von 200 g anwendet,

dann wird in der Figur 2 alle überschüssige Geschwindigkeit immer durch die Bremsung vernichtet; und in der Figur 2 ist deshalb nirgends von einer überschüssigen Geschwindigkeit etwas zu sehen.

Dafs in der Figur 1 auf dem Wege nach abwärts das Hinausgehen über die Ruhelage viel stärker ist als auf dem Rückweg nach aufwärts; dies rührt daher, dafs man die Gewichte rascher wegnehmen als aufsetzen kann. Wenn man ein Gewichts-Stück rasch in die Höhe zieht, so erzielt man eine momentane Wirkung; das Gewicht hört in dem Zeitmoment, in dem es die Unterlage verläfst, gänzlich auf zu wirken, indem die Hand rasch in die Höhe fährt. Wenn man dagegen mit einem Gewichts-Stück ebenso rasch auf die Unterlage niederfahren würde, wie man mit ihm in die Höhe fährt, so würde der Stofs, der dabei ausgeübt würde, so stark, dafs er ein unzulässiges Plus von Wirkung bedingte. Man mufs deshalb etwas behutsamer aufsetzen als man abnehmen kann; und dabei ist es dann unvermeidlich, dafs die Wirkung eines Gewichts-Stücks andererseits auch wieder nicht eine so momentane wird, wie es sein sollte, damit die Verhältnisse bei der aufsteigenden Bewegung völlig die gleichen wären wie bei der absteigenden. Weil somit bei der aufsteigenden Bewegung die überschüssige Geschwindigkeit immer etwas geringer ist als bei der absteigenden; so wirkt bei der aufsteigenden auch die tote Reibung des Apparats etwas mehr, das Glied bleibt immer etwas früher hängen, was in der Figur 1 unmittelbar daran ersichtlich ist, dafs die Zahlen rechts überall etwas niedriger stehen als links.

Alles dieses sind aber geringfügige Kleinigkeiten, welche völlig vernachlässigt werden können. Im ganzen ist, ungestört durch diese kleinen Abweichungen, die Figur 1 die graphische Darstellung der sukzessiven Lagen bei der Winkelbewegung eines ungebremsten Gliedes nach der Formel $P \cos \alpha$, sowohl in ihrem abwärts-, wie in ihrem aufwärtssteigenden Teil.

Und von diesem Charakter ist in der Figur 2 durchaus nichts mehr direkt zu sehen, obgleich sie unter genau den gleichen statischen Bedingungen entstanden ist wie die Figur 1. Die Muskelbremse verwischt hier alles.

Figuren von dem Charakter, den die Figur 2 zeigt, habe ich im Laufe der Jahrzehnte viele Tausende gezeichnet. Es gibt Menschen, in deren Gliedern die Muskelbremse sich noch viel wirksamer zeigt, als es in der Figur 2 dargestellt ist; — bei welchen ein Unterschied von 1400 g im Gegengewicht nur eine sehr geringe Lageveränderung bewirkt. An den Figuren, welche

von solchen Unterschenkeln gezeichnet werden, können, schon weil sie zu nieder ausfallen, die Gesetze der organischen Elastizität nicht so gut nachgewiesen werden wie an solchen Unterschenkeln, wie derjenige ist, von dem die Figur 2 gezeichnet worden ist. Die letzteren sind aber die Regel; und von den meisten Menschen kann immer sofort eine Figur gezeichnet werden, welche genau den Charakter der Figur 2 zeigt. Die völlige Verwischung desjenigen Charakters, welcher bedingt wäre durch die statischen Momente, wird bewirkt durch die elastischen Kräfte, welche an dem lebenden Glied in die Bewegung eingreifen. Dafs aber diese elastischen Kräfte im wesentlichen solche der Muskeln sind, dies bedarf keiner weiteren Beweisführung. Denn es steht unwidersprochen fest: die Gelenke selbst haben eine minimale Reibung im gewöhnlichen Sinne; die gewöhnlichen Gelenkbänder haben eine minimale Elastizität; und diejenige Elastizität, welche zweifellos die knorpeligen Gelenkbestandteile, in der Art von „Puffern“, besitzen, kommt erst in Betracht an den Grenzen der Bewegungs-Exkursionen und bei starkem Druck oder Stofs, welche beide Umstände in der Figur 2 völlig ausgeschlossen sind. Was sich in Figur 2 wirksam zeigt, darf deshalb ausschliesslich als elastische Zugkraft von Muskeln betrachtet werden. Und somit zeigt also die Figur 2 die Wirkung der verschiedenen elastischen Zugkraft der Muskelgruppe an, je nach der Länge der Muskeln, wenn sich die Versuchsperson völlig passiv verhält und von sich aus nichts dazu tut.

Ich habe auf den Figuren 1 und 2, damit ich den Beschauer nicht durch eine Häufung von Zahlen verwirre, die Zahlen der Winkelgrade nicht direkt in die Figuren hineingeschrieben, welche der jeweiligen Lage der Glieder entsprechen. Ich habe mir für die Bestimmung dieser Winkelgrade, ein für allemal, eine Skala auf einem Stück Karton angeschrieben, die ich dann nur an eine gezeichnete Figur anzulegen brauche; und zu jedem Winkel habe ich auch, ein für allemal, das Produkt $P \cos \alpha$ aufgeschrieben, bezogen auf $P = 4000$ g. Wenn ich also jetzt eine zahlenmäfsige Bestimmung haben will für den Unterschied zwischen der Figur 1 und 2, so habe ich sie jedesmal sofort in einigen Sekunden. — In Figur 2 steht die Zahl 14 bei 45° ; das heifst: als das Gegengewicht noch 2600 betrug, stand das gebremste natürliche Glied bei 45° ; 4000 Gramm multipliziert mit $\cos 45^\circ$ gibt 2830 Gramm. In Figur 1 steht das unge-

bremsste künstliche Glied unter den gleichen statischen Verhältnissen bei 85° ; 4000 Gramm multipliziert mit $\cos 85^\circ$ gibt nur noch 350 Gramm. Aus dieser großen Differenz ist der Schluss zulässig, daß, bei derjenigen Verlängerung der Muskelgruppe, welche der Drehung des Gliedes um 45° Winkelgrade entspricht, die elastische Zugkraft in der Muskelgruppe zirka 2500 Gramm mehr beträgt als in dem kurzen Zustand der Muskelgruppe bei 0.

Dies stimmt auch überein mit den Versuchen der ersten Art, über welche ich im Eingang dieser Abhandlung berichtet habe und bei welchen ich zu bestimmen suchte: welcher Kraftzuwachs in dem längeren Zustand der Muskelgruppe (im Vergleich zu dem kurzen) sich dann zeigt, wenn die Versuchsperson sich anstrengt, durch Vermittlung ihrer Nerven die elastische Zugkraft der Muskelgruppe möglichst zu verstärken. Auch dabei zeigt sich, daß der Versuchsperson bei 45° (verglichen mit 0) durch die bloße Dehnung der Muskelgruppe eine Kraft von 2 bis 3 kg geliefert wird; und daß die Versuchsperson deshalb in dieser Lage entsprechend länger und entsprechend mehr gegen das Drehungsmoment leisten kann (verglichen mit der Lage bei 0). — Durch diesen Unterschied zwischen der Figur 1 und 2, bezüglich der Lage der Zahl 14, wird vorerst einmal die Wirkung der Muskelbremse, ganz im allgemeinen, völlig anschaulich gemacht. Wenn man, statt der Teilgewichte, das einzige Gesamtgewicht von 1400 Gramm mittels des Bleiklotzes auf einmal vom Äquilibrium wegnimmt, dann stellt sich das gebremste natürliche Glied, nachdem die anfänglichen Schwankungen aufgehört haben, in einer Ruhelage ein, die ein wenig tiefer liegt als diejenige, in der es sich einstellt, wenn man mit den Teilgewichten operiert. Groß ist der Unterschied aber nicht. Wir können ihn deshalb vorläufig vernachlässigen und, mit gleichmäßiger Gültigkeit für die Wirkung des ganzen Gewichts wie für die der Teilgewichte, folgendes sagen: Ein, durch die Zugelastizität der Muskelgruppe gebremster, Unterschenkel wird bei 45° durch eine Kraft gehalten, die auf 2 bis 3 kg veranschlagt werden darf. Und diese Kraft kostet gar keinen solchen Kraftaufwand, wie er durch die Nerven vermittelt wird; was jederzeit dadurch bewiesen werden kann, daß die Versuchsperson diese Lage lange beibehält; — daß auf dem beruhten Zylinder eine gerade Linie geschrieben wird, obgleich man der Versuchsperson

sagt: sie solle sich durchaus nicht anstrengen. Denn dieses ist die Kraft, welche die Muskelgruppe, lediglich vermöge ihrer größeren Länge, besitzt (im Vergleich zu ihrem kurzen Zustand); und zu diesem Kraftaufwand ist nicht notwendig eine Verstärkung der elastischen Zugkraft durch solche Einflüsse, welche aus den Nerven kommen. (In wieweit dasjenige, was man bezeichnen kann einestheils als „elastische Nachwirkung“, anderentheils als „Ermüdung“, doch wieder zu einem Verlust auch dieser Kraft führt? — dieses werde ich später in einem eigenen Kapitel erörtern.)

Es kommt also niemals vor, daß ein menschlicher Unterschenkel oder Arm durch das Vierzehnhundert-Gramm-Gewicht so ungebremst hinab- und hinaufgeschleudert würde, wie es, selbstverständlicherweise, bei dem künstlichen Gliede immer der Fall ist. Daß die Muskelbremse so stark funktioniert, dies bedarf aber auch, vernünftigerweise, eigentlich keines empirischen Beweises. Denn die einfachste Überlegung muß einem sagen, daß dies ja gar nicht anders sein kann. Die Notwendigkeit davon muß einem sofort einleuchten, einerseits sobald man nur einigermaßen das in Anschlag zu bringen versteht, was aus der elastischen Natur der Muskeln von vornherein gefolgert werden muß; andererseits sobald man erwägt, daß, ohne eine solche Bremsvorrichtung, alle Bewegungen im Körper die einer Gliederpuppe, eines „Hampelmanns“ wären. Daß also die Muskeln, immer und überall, überhaupt mehr oder minder stark brem sen, dies müßte, im Grunde genommen, jedem denkenden Beobachter, auch ohne experimentellen Beweis, von vornherein klar sein. Daß trotzdem diese unterste Grundlage alles Denkens und Wissens von den Muskeln noch so wenig in das Bewußtsein derjenigen eingedrungen ist, welche die Sache angeht; — dies kann ich mir, nach langem Nachdenken über diesen Punkt, in erster Linie nur dadurch erklären, daß, bei der Schwäche des menschlichen Erkenntnisvermögens, alle Erscheinungen in unserem Bewußtsein immer erst dann genügend haften, wenn sie lange Zeit hindurch unmittelbar auf unsere Sinne gewirkt haben. Mir selbst ist es auch immer so gegangen. Ich hatte schon Jahre lang über die Grundprinzipien bei den Muskeln nachgedacht. So lange ich aber bloß gedacht habe, fehlte noch sehr die klare Erkenntnis, obgleich ich auch damals schon alles gekannt habe, woraus ich mir, bei besserer Denkkraft, alles hätte klar machen können. Aber erst

als ich fortwährend, mittels der graphischen Methoden, mir die Erscheinungen immer wieder vor Augen brachte, habe ich die einfachen Tatsachen wirklich gesehen und dann auch erfaßt und begriffen, von denen ich mir nachträglich freilich immer sagen mußte: es sei eigentlich unverständlich und unbegreiflich, daß ich die, so überaus einfachen, Verhältnisse nicht von vornherein, auch ohne die optischen Stützen, richtig erfaßt und verstanden habe.

Also: daß die Muskelbremse überhaupt in hohem Grade wirksam ist; — dies hätte schon a priori erkannt werden können und in gewissem Sinne auch sollen. Dazu hätte es, streng genommen, keines experimentellen Nachweises durch graphische Darstellung bedurft. Und daß ein gewaltiger Unterschied sich zeigen muß in der Wirkung auf ein ungebremses künstliches und auf ein gebremstes natürliches Glied, wenn man einen Vierzehnhundert-Gramm-Klotz ab und zu setzt; dies ist a priori klar. Dagegen sind die Wirkungen der Teilgewichte (bei siebenmaligem sukzessivem Aufsetzen von je 200 g) etwas, was einen Einblick gewährt in die feineren Eigenschaften der organischen Elastizität, und was man niemals bemerken könnte ohne eine Methode, welche alles deutlich und dauernd sichtbar macht. Und diesen speziellen Charakter der Figur 2 betrachte ich nunmehr unter stetem Vergleich einerseits mit der Figur 1, andererseits mit der Figur 3. Mit der Figur 1 hat die Figur 2 gemeinsam, daß in beiden eine Winkelbewegung dargestellt ist; der Unterschied besteht darin, daß in Figur 1 keine elastische Bremse eingreift. Mit der Figur 3 hat die Figur 2 gemeinsam, daß in beiden elastische Kraft wirksam ist; der Unterschied besteht darin, daß Figur 2 eine Winkelbewegung darstellt, Figur 3 aber eine lineare.

Die Äußerlichkeit: daß die Figuren 1 und 2 zarte und ganz regelmäßige Linien haben, die Figur 3 aber dicke und unregelmäßige, hat folgende unvermeidliche Ursache. In der Figur 1 und 2 schreibt eine feine Metallspitze an einem Wagebalken in einer genauen Führung. In Figur 3 schreibt eine verhältnismäßig plumpe Griffelspitze, welche direkt befestigt ist an einer Gewichts-Schale, die ihrerseits direkt an dem unteren Ende des Gummibands hängt, welches an einem Stativ befestigt ist. Die Möglichkeit einer genaueren Führung ist hier ausgeschlossen. Das Gummiband dreht sich immer etwas, und eine feine Spitze wäre deshalb völlig unbrauchbar. Nur ein dicker Griffel wird so an den beruften Zylinder angedrückt, daß er daran bleibt. Dadurch sind aber sowohl dicke als ungerade Linien un-

vermeidlich bedingt. Dem Plus von Reibung, das sich hieraus ergeben muß, steht aber in der Figur 3 wieder ein bedeutendes Minus an Reibung gegenüber (im Vergleich zu den Figuren 1 und 2), deshalb weil, bei dieser direkten Anschreibung der linearen Dehnung des Gummibands, alle die Ursachen von Reibung wegfallen, welche in den Figuren 1 und 2 gegeben sind in dem Rad, in dem Wagebalken u. s. f. — Figur 3 darf deshalb jedenfalls als der richtige Ausdruck betrachtet werden von den reinen Elastizitätsverhältnissen im Inneren des Gummibandes, ohne Störung durch bloße fremde äußere Reibung. — Ich habe es so eingerichtet, daß die lineare Dehnung des Gummibandes in der Figur 3 sich darstellt ungefähr in den gleichen Größenverhältnissen wie in der Figur 2 die Winkelbewegung des menschlichen Glieds. Die Gummibänder, die ich verwende, wiegen 15 g, sind, unbelastet (bei 0), 35 cm lang (22 mm breit und 2 mm dick). Diese Gummibänder werden nun durch 1400 g annähernd so gedehnt, daß die Figur 3, in welcher diese ihre Dehnung direkt dargestellt ist, gut vergleichbar ist mit der Figur 2, in welcher die Lagen dargestellt sind, die entstanden sind aus der elastisch gebremsten Winkeldrehung. Weil sich die Muskeln, welche in Betracht kommen, sowohl an den Armen als an den Unterschenkeln, nur wenig unterhalb der Drehungsebene ansetzen; so sind, selbstverständlicherweise, die Dehnungen der Muskelgruppe selbst erheblich geringer als die Abschnitte der gegenüber liegenden Kathete, welche in der Figur 2 angezeichnet sind (selbst bei der Reduktion auf die halbe Größe in der Figur 2). Und ich habe ja schon oben (S. 15 Anmerkung) darauf hingewiesen, daß die Grenzen, innerhalb welcher die dicken und kurzen Muskeln am längsten und am kürzesten sind, nahe bei einander liegen, daß es sich dabei handelt um Spielräume von vielleicht höchstens 20%; während ich meine dünnen und langen Gummibänder schon gedehnt habe von 35 auf 150 cm, also um rund 400 %, ohne daß sie gerissen sind. In dieser Beziehung, auf die Dehnung überhaupt, wäre jeder Vergleich zwischen meinen Gummibändern und den Muskeln der Figur 2 wertlos; und Gebilde aus Gummi herzustellen, welche die gleichen Massen hätten wie die Muskeln, um die es sich handelt bei meinen Versuchen, dazu bin ich, aus unmittelbar einleuchtenden Gründen, völlig außer stande. Es würde sich dabei nicht nur handeln um gewaltige Kosten für die Gummimassen selbst, sondern auch um die schwierigsten technischen Vorrichtungen für die Stative und schweren Belastungen, die erforderlich wären. Dies ist aber auch alles unnötig. Denn das Wesentliche und Gesetzmäßige der organischen Elastizität, wie es sich gleichermaßen zeigt im Gummi und im Muskel; — dies kann man gerade besonders deutlich dann erkennen, wenn man einerseits ein dünnes Gummiband benutzt; andererseits von den Winkeln, um welche sich das natürliche Glied dreht, diejenige gegenüberliegende Kathete anschreibt (in der halben Größe s. oben), welche 38 cm entfernt ist von der Drehungsebene. Bei der dadurch bewirkten Vergrößerung der linearen Dehnung der Muskelgruppe, wobei doch im wesentlichen die Stücke der aufgezeichneten Kathete in der richtigen Proportion stehen zu der linearen Dehnung der Muskeln (welche man selbstverständlicherweise am lebenden Menschen nicht direkt aufschreiben kann); — hiebei bekommt man ein genügend deutliches Bild von den gesetz-

mässigen Verhältnissen der organischen Elastizität. Und in diesem Sinne kann man auch meine Figur 1 und meine Figur 2, obgleich sie Winkelbewegungen darstellen, doch vergleichen mit den linearen Bewegungen der Figur 3.

Sowohl in der Figur 3 wie in der Figur 2 zeigt sich niemals überschüssige Geschwindigkeit wie in der Figur 1, infolgedessen das Glied dort immer zuerst über die Ruhelage hinausgeht. Denn diese überschüssige Geschwindigkeit wird durch die Elastizität am Entstehen verhindert. Dagegen zeigt sich überall eine langsame Fortsetzung der Bewegung je nach unten oder nach oben. Dies ist der Ausdruck der sogenannten elastischen Nachwirkung. Da ich über diese und über die wichtigen Beziehungen, welche sich ergeben zwischen ihr und dem, was man „Ermüdung“ heisst, später in einem eigenen Kapitel berichten werde, so gehe ich hier noch nicht darauf ein.

Während jeder Kenner es der Figur 1, welche genau unter den gleichen statischen Bedingungen wie die Figur 2 gezeichnet worden ist, sofort ansehen muß, daß deren verschiedene aufeinanderfolgende Lagen bedingt sind durch die trigonometrischen Verhältnisse, vermöge deren in den oberen Teilen des Quadranten die gleiche Differenz des Gewichts eine viel grössere Niveaudifferenz bewirken muß als in den unteren Teilen; so ist dieses Verhältnis verwischt und in das Gegenteil verkehrt worden durch die Einschaltung der elastischen Zugkraft der Muskelgruppe. Niemand kann der Figur 2 ansehen, obgleich sie unter genau den gleichen statischen Bedingungen steht wie die Figur 1, daß in ihr gleichfalls eine Winkelbewegung dargestellt ist. Denn der Charakter einer solchen ist in ihr völlig verwischt; und sie sieht im wesentlichen aus wie die Figur 3, in welcher nur Lineares und durchaus nichts von einer Winkelbewegung dargestellt ist. Der Charakter der Figur 3 ist bestimmt durch die wesentliche Eigenschaft der organischen Elastizität, daß die linearen Stücke der Verlängerungen, bei sukzessivem Zusatz gleicher Gewichte, innerhalb mässiger Belastungen¹ sukzessive wachsen, und zwar zum mindesten so, daß die geometrischen Proportionen konstant bleiben; im

¹ Unten werde ich gelegentlich berichten, daß in der Nähe der Grenze, bei welcher das Band abgerissen wird, die Stücke wieder kürzer werden. Diese extremen Dehnungen kommen aber für den Vergleich mit den Muskeln durchaus nicht in Betracht.

wesentlichen aber mehr, wie ich nachher zeigen werde. Der Zusatz von je 200 g dehnt das Band:

1.	Von 35	auf 36.5 cm,	also um 4 %	der vorigen Länge,
2.	„ 36.5	„ 37.5	„ „ „ 3 %	„ „ „
3.	„ 37.5	„ 39.5	„ „ „ 5 %	„ „ „
4.	„ 39.5	„ 41.5	„ „ „ 5 %	„ „ „
5.	„ 41.5	„ 44	„ „ „ 6 %	„ „ „
6.	„ 44	„ 46	„ „ „ 5 %	„ „ „
7.	„ 46	„ 49	„ „ „ 6 %	„ „ „

Man sieht also, daß auch dann, wenn man die sachgemäße und notwendige Division in die jedesmalige Anfangslänge vorgenommen hat, diese prozentualen Zunahmen immer noch größer werden. Und in zwei anderen Versuchen mit anderen Gummibändern habe ich gefunden, daß die Zahlen der prozentualen Zunahmen entschieden nicht konstant sind sondern sogar bedeutend wachsen.

Folgendes sind die Zahlen:

I.	II.
1. 6 %	1. 4 %
2. 6 %	2. 6 %
3. 6 %	3. 6 %
4. 7 %	4. 7 %
5. 8 %	5. 7 %
6. 9 %	6. 7 %
7. 12 %	7. 8 %

Die beiden Gummibänder hatten gleichfalls die Anfangslänge von 35 cm. Dasjenige, dessen prozentuale Längenzuwächse unter I. stehen, wurde aber durch die gleiche Kraft viel stärker gedehnt als dasjenige, dessen Dehnung in der Figur 3 (auf S. 17) dargestellt ist. Und in Bezug hierauf, steht das Band, dessen Zahlen unter II. stehen, in der Mitte. Aus den beiden Kolumnen I. und II. ersieht man aber auch, daß die Prozentzahlen bedeutend wachsen. In den beiden Versuchen waren sie das doppelte, als von der Belastung: 1200 g übergegangen wurde zu der Belastung: 1400 g, im Vergleich zu dem Übergang von 0 zu 200 g Belastung. Ich hätte über diese hochinteressante Eigenschaft der Gummibänder noch vieles mitzuteilen. Indem ich aber nicht vergesse, daß ich hier schreibe in die Zeitschrift für Psychologie, und

nicht in eine physikalische; so darf ich jetzt doch nicht auf weitere Einzelheiten eingehen. Ich behalte mir diese vor für einen anderen Ort und sage hier nur dieses: Obgleich in der Figur 2 (auf S. 17), unter dem Einfluß der rein statischen Momente, bei der absteigenden Bewegung die sukzessiven Absätze der Zahlen links und die Querstriche, die ich gezogen habe, so aussehen müßten wie in der Figur 1; — so werden, im Gegenteil, die Schritte immer größer gerade wie in der linearen Bewegung der Figur 3. Das höchst Auffallende und vorläufig schwer Begreifliche ist nun dieses: Die Zunahme in der Winkelbewegung der Figur 2 ist sogar noch größer als die Zunahme in der linearen Bewegung der Figur 3. In Figur 3 ist das Gummiband, beim Übergang von der Belastung 0 zu der Belastung 200 g, länger geworden um 4 %; beim Übergang von der Belastung 1200 zu 1400 g um 7 %. Das Verhältnis darf also, wenigstens für dieses Gummiband, noch nicht einmal veranschlagt werden wie 1 : 2, obgleich es sich doch hier handelt um eine lineare Dehnung. — Über die Figur 2 ist aber folgendes zu sagen: Wie lang die elastischen Muskelmassen bei 0 sind, die in der Figur 2 gedehnt werden? — dies kann ich allerdings nicht angeben. Denn ich kann sie nicht messen. Die Muskelgruppe, die gedehnt wird, setzt sich zusammen aus den verschiedensten Bestandteilen mit den verschiedensten Längen und Verlaufsrichtungen; eine meßbare und eine einheitliche Länge des elastischen Bestandteils gibt es deshalb hier nicht. Zum Teil liegen nur sehnige Transmissionsriemen (ohne Elastizität) dazwischen; und auch die elastischen Bestandteile verlaufen im Winkel zu der Zugrichtung der Patellarsehne, welche an dem Unterschenkel direkt angreift. — Und wenn ich die Länge auch messen könnte, so hätte das Maß deshalb doch keinen Wert, weil ich dann doch nicht angeben könnte, welche lineare Dehnung den Winkelbewegungen der Figur 2 entsprechen. Ich beschränke mich deshalb hier auf folgende, rein anschauliche, Betrachtung: In der Figur 2 ist der Schritt von 12 bis 14 doppelt so groß als der von 0 bis 2; in der Figur 1 dagegen fünfmal so klein. In so starker Weise dreht die Muskelbremse dasjenige herum, was durch die, rein statischen, Momente bewirkt sein müßte. Wenn man die Figuren 1 und 2 vergleicht, so wird man wohl sagen dürfen, daß die zweihundert Gramm, welche bei 12 hinzugesetzt werden, mindestens eine zehnfach so

große lineare Dehnung der Muskelgruppe bewirken werden als die zweihundert Gramm, die bei 0 zugesetzt werden. Und alsdann muß unmittelbar einleuchten, daß mit diesem großen Unterschied die einfache Annahme nicht mehr verträglich ist: die geometrischen Proportionen bleiben konstant. Es ist allerdings völlig unmöglich anzugeben: um wie viele Prozente die elastischen Muskelbestandteile gedehnt werden in den verschiedenen Lagen? Ich kann nur sagen: die Versuchsperson, deren Unterschenkel die Figur 2 gezeichnet hat, hat bei 0° 47 cm Entfernung, von dem proximalsten Punkte am Becken zur Knie-scheibe; bei 45° 51 cm. (Also Differenz 8 bis 9% auf die ganze Strecke bezogen.) Aber was davon für das wirklich Elastische in Anschlag gebracht werden kann? und wie sich diese 8 bis 9 Prozente auf die einzelnen Lagen, von 2 bis 14, verteilen? — dies liegt außerhalb der Meßbarkeit. Doch ist es, Angesichts der Figur 2, eminent unwahrscheinlich, daß die prozentualen Zunahmen konstant wären. Und man wird deshalb, mit gutem Gewissen, dasjenige, was ich Tausende von Malen so von menschlichen Unterschenkeln und Armen gezeichnet habe, wie es Figur 2 zeigt; — folgendermaßen formulieren dürfen: Noch mehr als bei der linearen Dehnung eines Gummibands zeigt sich bei der Winkelbewegung eines menschlichen Glieds, mit sukzessiver Dehnung der großen Muskelmassen, die Eigenschaft der organischen Elastizität, daß die elastische Zugkraft nicht in einfacher geometrischer Proportion wächst mit der Länge, sondern daß die Länge bedeutend stärker wächst als die Zugkraft. Vierzehnhundert Gramm sind das Siebenfache von zweihundert Gramm. Die Muskelgruppe muß aber beträchtlich mehr, als um das Siebenfache, gedehnt sein, wenn sie diese siebenfache Zug-Kraft ausüben soll.

Ich muß jetzt noch auf einen sehr wesentlichen Unterschied hinweisen zwischen den Bedingungen der Figur 2 und denen der Figur 3. In der Figur 3 wird einfach die elastische Zugkraft eines einzigen Gummibandes in das Gleichgewicht gesetzt mit Gewichten, die daran hängen; dies geschieht in dem absteigenden Teil der Figur so, daß dieses einzige Gummiband durch, sukzessive zugesetzte, Zweihundertgramm-Gewichts-Stücke gedehnt; in dem aufsteigenden Teil aber so, daß durch, sukzessive weggenommene, Gewichte die Dehnung wieder aufgehoben wird. Wenn also hier, wie aus der Figur 3

unmittelbar ersichtlich ist, in dem aufsteigenden Teil die Zahlen rechts anfangs bedeutend unter den Zahlen links bleiben; so ist dies, da bloße tote Reibung so gut wie völlig ausgeschlossen ist (s. oben S. 28), der unzweideutige Ausdruck davon, daß das Gummiband einen Verlust an elastischer Zugkraft erlitten hat; und eine andere Einwirkung kommt nicht in Betracht. Denn es sind nur die zwei Kräfte wirksam: erstens die des Gewichts; zweitens die elastische Zugkraft des einzigen Gummibandes. In der Figur 2 kommt aber eine dritte Kraft hinzu, nämlich die der antagonistischen Muskelgruppe. Diese muß auch schon berücksichtigt werden bei der Betrachtung des absteigenden Stückes der Figur 2. Denn hier ziehen nicht nur die statischen Drehungsmomente das Glied nach abwärts; sondern als Kraft, welche gleichfalls zur Dehnung ihres Antagonisten beiträgt, kommt noch in Betracht die Muskelgruppe, welche kürzer wird, wenn die andere länger wird.

Es ist aber nun sehr schwierig, sich eine klare Vorstellung darüber zu bilden: was durch diese dritte Kraft bewirkt wird? Doch läßt sich etwa so viel sagen: In dem absteigenden Teil der Figur 2 ist, zwischen 0 und 2, diejenige Muskelkraft, welche gegen die Wirkung des rein statischen Drehungsmoments bremst, besonders groß; diejenige Muskelkraft dagegen, welche mit dem rein statischen Drehungsmomente in gleichem Sinne wirkt, besonders klein. Denn diese letztere Kraft befindet sich hier in dem Zustand, in welchem sich, in Figur 3, die Kraft des einzigen Gummibands bei 14 befindet. Aus doppeltem Grund wird also der Schritt zwischen 0 und 2 so sehr viel kleiner, als er sein müßte unter dem bloßen Einfluß der statischen Verhältnisse im Sinne der Figur 1. — Umgekehrt ist, am anderen Ende des absteigenden Teils der Figur 2 (zwischen 12 und 14), diejenige Muskelkraft, welche, gegen die bremsende Muskelkraft, mit dem, rein statischen, Drehungsmoment in gleichem Sinne wirkt, groß. Sie befindet sich hier in dem Zustand, in welchem sich in Figur 3 die elastische Zugkraft des Gummibands in dem aufsteigenden Teil der Figur befindet, wenn sie den Rückschritt von 2 auf 0 wieder gerade so groß macht, wie beim Absteigen der Schritt von 0 auf 2 gewesen war, während unten der Schritt von 14 auf 12 so gering gewesen war. Es dürfte aber vorläufig dem Leser und Beschauer völlig unmöglich sein, sich zurecht zu finden in der Verwicklung, die dadurch entsteht, daß in der Figur 2 die Wirkung von drei Kräften in die Erscheinung tritt. Und ich kann nur hoffen, daß allmählich, so wie es auch mir gelungen ist, sich einige Menschen finden werden, welchen es gelingt, die Wirkung der drei Kräfte in der Figur 2 zu sehen. Weil die Figur 2 auch noch durch die Winkelbewegung kompliziert ist, so wird das Verständnis noch schwieriger. Wenn also, in dem aufsteigenden Teil der Figur 2, die Schritte rechts von 14 zu 12, von 12 zu 10 und von 10 zu 8 so sehr klein sind, im Vergleich zu den entsprechen-

den absteigenden Schritten links; — so konkurrieren dabei vier Ursachen: erstens (zu einem allerdings sehr geringen Teil): die bloße tote Reibung des Apparats, wie sie auch in der Figur 1 ersichtlich ist; zweitens: wenn man den ganz kleinen Schritt von 14 zu 12 vergleicht z. B. mit dem großen Schritt (oben in der Figur 2) von 2 zu 0 (natürlich auf der rechten Seite!); so kann man ja wohl sagen, daß hier auch noch die rein statischen Drehungsmomente in dem gleichen Sinne wirksam sein mögen wie in Figur 1, wo der Zwischenraum zwischen 0 und 2 fünfmal so groß ist als der zwischen 12 und 14. Hierbei muß man aber, selbstverständlicherweise, sofort hinzusetzen, daß der Zwischenraum zwischen 12 und 14 in der gebremsten Figur 2 da liegt, wo in der ungebremsten Figur 1 die Zwischenräume um 6 herum liegen. Und hier sind die, rein statisch bedingten, Zwischenräume schon wieder größer. Es wird deshalb auch diese Ursache, die, wie die erste, gleichfalls nur geschöpft wäre aus dem Vergleich mit der Figur 1, wenig in das Gewicht fallen, und im wesentlichen werden bloß in Betracht kommen, drittens und viertens: die elastischen Kräfte jeder der beiden Muskelgruppen. Diejenige Muskelgruppe, die von 0 bis 14 gebremst hat, ist schwächer geworden, als sie zu Anfang gewesen war, so wie in Figur 3 die einzige elastische Kraft bei 14. Und dies ist die dritte Ursache der kleinen Schritte von 14 an nach aufwärts. — Viertens aber ist die andere Muskelkraft jetzt besonders stark; und dies ist die wichtigste Ursache der kleinen Schritte. Die gleiche Brems-Skala, die sich in dem absteigenden Teil der Figur 2 gezeigt hatte, zeigt sich jetzt in dem aufsteigenden.

Hiemit habe ich das Wichtigste gesagt, was über die Figur 2 zu sagen ist. Ich bin mir klar bewußt, daß ich damit in dem Leser und Beschauer immer noch kein richtiges Verständnis habe erwecken können. Denn die Verhältnisse sind zu kompliziert. Dies könnte aber vorläufig auch durch weitere Sätze nicht geändert werden. Ich selbst habe auch viele Jahre gebraucht, bis ich die Figur 2 verstanden habe, die ich, schon in der ersten Hälfte der neunziger Jahre des vorigen Jahrhunderts, Tausende von Malen einen menschlichen Unterschenkel oder Arm hatte zeichnen lassen, ohne daß ich sie verstanden habe. —

Eine unmittelbare Konsequenz aus dem, was ich in der Figur 3, der von dem Gummiband, dargestellt habe, ist folgende: Ein Gummiband bekommt, unter der Wirkung eines und desselben Gewichts, eine sehr verschiedene Länge, je nachdem es vorher kurz oder lang war. Wenn ich das Band belaste mit dem Vierzehnhundert-Gramm-Gewicht auf einmal, so ist der Unterschied ein sehr beträchtlicher, je nachdem ich von oben komme, aus einem vorherigen Zustand ohne jede Dehnung, oder von unten aus einem vorherigen Zustand starker Dehnung.

In dem ersteren Falle stellt sich das Gummiband ein auf die Länge von 81 cm, in dem letzteren auf die von 87 cm. Der Unterschied der Länge beträgt somit 7 %.

Also: selbst wenn man vorläufig noch völlig absieht von der Wirkung der Temperatur, die ja auch, wie ich in dem späteren Kapitel auseinandersetzen werde, eine sehr starke ist; so ist die Länge eines elastischen Bandes durch die Angabe des Gewichts, das an ihm zieht, noch nicht eindeutig bestimmt. Sondern es gehört, als wesentliche Bestimmung, noch dazu die Angabe: welcher Zustand vorher bestand?: ob das Band aus einem kurzen? oder aus einem langen? Zustand kommt.

Auch damit ist noch keine, völlig eindeutige, Bestimmung gegeben. Sondern es kommt dann immer noch darauf an: wie lange Zeit hindurch das Band vorher lang oder kurz war? Diesen, gleichfalls sehr wichtigen, Punkt kann ich hier aber noch nicht erörtern. Sondern ich muß seine Erörterung aufsparen auf das nächste Kapitel, in welchem ich, im Anschluß an die sogenannte elastische Nachwirkung, im wesentlichen zeitliche Verhältnisse zur Sprache bringen werde.

Auch bei einem menschlichen Unterschenkel kann jederzeit das Gleiche demonstriert werden wie bei einem Gummiband. Auch ein solcher nimmt, in einer durchaus gesetzmäßigen Weise, verschiedene Lagen ein, je nachdem er von oben oder von unten kommt.

Um den Zustand der Muskelgruppe herzustellen, der, soweit als es überhaupt möglich ist, dem Zustand des Gummibandes entspricht, wenn dieses völlig schlaff und entlastet ist; — streckt man den Unterschenkel maximal gegen den Oberschenkel. Dann ist die Kniescheibe, so sehr als es überhaupt möglich ist, proximalwärts verschoben und die Muskelgruppe so kurz, als sie überhaupt, bei unverletztem Körper, werden kann. Wenn man nun, aus diesem Zustand heraus, das Drehungsmoment so wirken läßt, daß es der Zahl 14 der Figuren 1 und 2 entspricht; dann stellt sich der Unterschenkel ein in der Gegend um 45° . — Den umgekehrten Versuch, heraus aus möglichst langem Zustand der Muskelgruppe, stellt man folgendermaßen an: Man bringt den Unterschenkel abwärts in spitzwinklige Beugung zum Oberschenkel, soweit als es sich mit der Sicherheit und Genauigkeit des Versuchs verträgt. Wenn man ihn aus dieser Lage so losläßt, daß nun gleichfalls das Drehungsmoment auf ihn wirkt, welches der Zahl 14 entspricht; — so stellt er sich nunmehr (statt auf 45° , als er von oben kam) ein auf 65° . Nach der Formel $P \cos \alpha$ entspricht dies einem Unterschied von rund 1100 g. Um so viel mehr elastische Zugkraft, als wenn sie vorher lang war, hat also die Muskelgruppe, welche gegen die Abwärtsbewegung bremst, wenn sie vorher kurz war (und umgekehrt diejenige Muskelgruppe, welche gegen die Aufwärtsbewegung bremst).

Alles, worüber ich soeben berichtet habe, ist eine noch stärkere Verdeutlichung dessen, was schon aus den Figuren 2 und 3 unmittelbar abgelesen und was alles so formuliert werden kann: Die Länge eines Gummibandes und einer Muskelgruppe (NB! bei gleicher Temperatur!) ist nicht eindeutig bestimmt durch das ziehende Gewicht (resp. durch das Drehungsmoment), sondern sie ist in wesentlichem Grade mitbestimmt durch den Unterschied: ob das Band (resp. die Muskelgruppe) vorher lang? oder kurz? war.

Hiebei wiederhole ich nochmals:

Die Zeitstrecke, während deren das Langsein oder Kurzsein ange dauert hat, ist gleichfalls von großer Wichtigkeit. Wenn ich aber diese weitere Kausalität jetzt schon hereinzöge, so würde ich die Sache vollends unerträglich verwickelt machen.

Vorbehältlich der Korrekturen also, welche ich später hinzufügen werde in Bezug auf die zeitlichen Verhältnisse, kann ich folgenden Satz formulieren:

Die elastische Zugkraft ist um so größer, je kürzer das elastische Band vorher gewesen ist, ehe die elastische Kraft in Wirksamkeit trat; und um so kleiner, je länger das Band gewesen ist. In dieser Formulierung ist nun aber auch die Erklärung enthalten für die zunehmenden Schritte im absteigenden und im aufsteigenden Teil der Figuren 2 und 3. Wenn das Gummiband und die Muskelgruppe bei 0 gestanden waren, dann waren sie am kürzesten; folglich hatten sie am meisten elastische Zugkraft; und deshalb muß der erste Schritt derjenige sein, am dem sich die meiste Bremskraft zeigt. Jeder folgende Schritt in dem absteigenden Teil geht schon aus von einem längeren und deshalb auch schwächeren Zustand; und in dem aufsteigenden Teil umgekehrt.

Indem nun die Natur elastische Zugkräfte von dieser Eigenschaft in den Muskeln verwendet, so hat sie damit eine sehr zweckmäßige Einrichtung getroffen in Hinsicht auf brauchbare Bremsung. Denn starke Bremsung ist um so notwendiger, je länger der Weg ist, den das Glied zurücklegt. Um so stärker nämlich wird die überschüssige Geschwindigkeit der Bewegung. Und diese muß ja eben durch Bremsung vernichtet werden. Ferner sind im Beginn einer Bewegung in der Regel die Drehungsmomente am stärksten, ferner die Muskelgruppen, gegen welche gebremst werden muß, lang und ihre elastische Zugkraft

deshalb, wie später erörtert werden wird, am meisten verstärkbar durch das, was aus den Nerven kommt. Als Gegenkraft gegen alles dieses greift nun, in eminent zweckmäßiger Weise, die Bremskraft des Muskels ein, die gleichfalls da am stärksten ist, wo diejenigen Kräfte am stärksten sind, gegen welche sie zu bremsen hat. Man vergegenwärtige sich nur, daß dies auch ganz anders sein könnte. Die organische Elastizität könnte auch diese Eigenschaft haben, daß sie, aus dem kurzen Zustand heraus, zuerst eine geringere Zugkraft entwickelte, die später wüchse.

Eine solche Zunahme der elastischen Zugkraft läßt sich in der Tat auch an einem Gummiband dann konstatieren, wenn es schon so stark gedehnt ist, daß es dem Zustand nahe ist, bei dem es reißt. Ehe dieser Punkt erreicht ist, bewirken Zusätze gleicher Gewichte auch wieder abnehmende Verlängerungen; die elastische Zugkraft ist also hier wieder im Zunehmen.

Ich habe darüber z. B. folgende Skala aufgeschrieben:

Von der Belastung:	2200	bis	3200	g	wurde	das	Band	länger	um	44 %
„	„	„	: 3200	„	4200	„	„	„	„	22 %
„	„	„	: 4200	„	5200	„	„	„	„	16 %
„	„	„	: 5200	„	6200	„	„	„	„	12 %

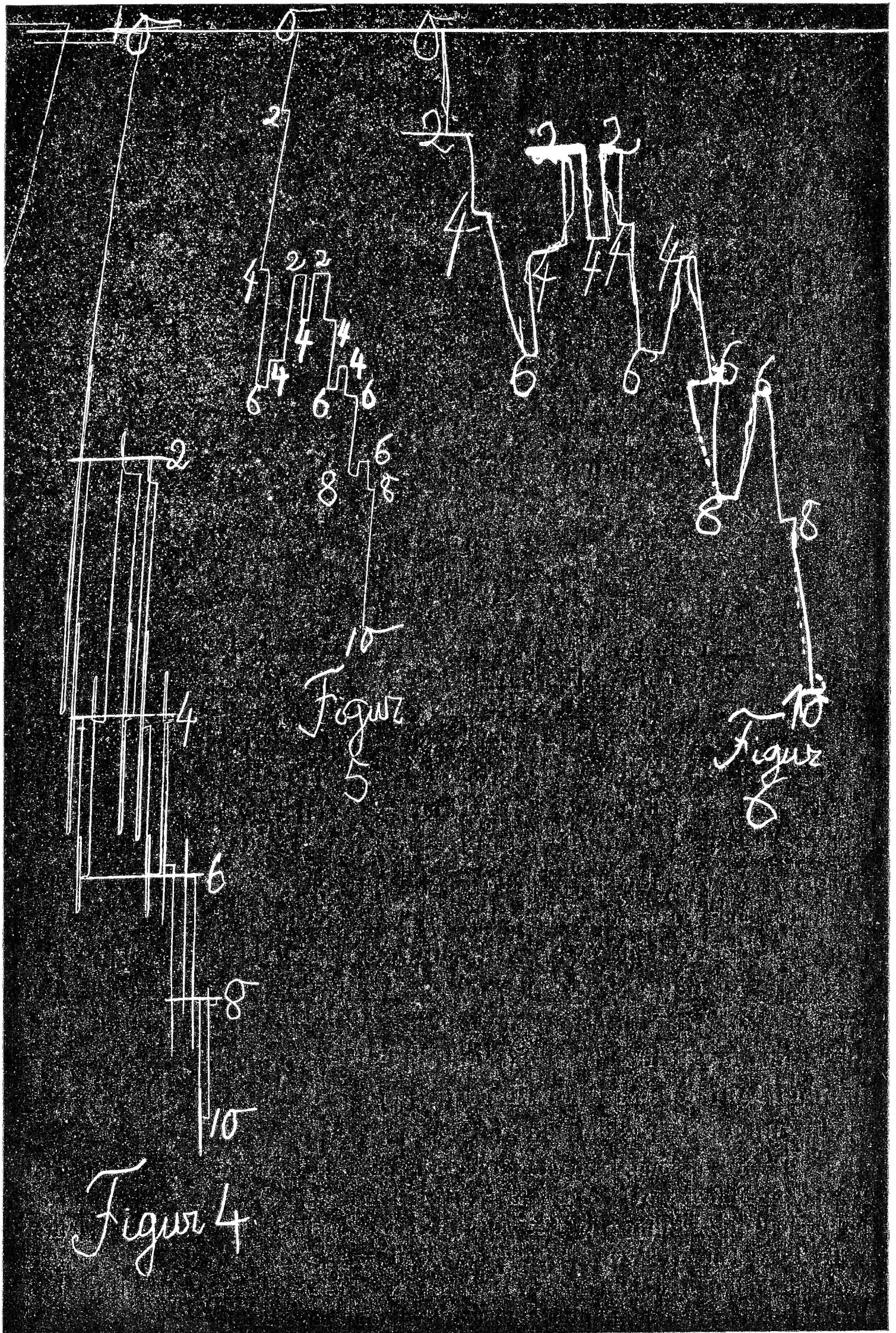
Dann ist es gerissen. Dies ist also eine ganz andere Skala als die der Figuren 2 und 3, in denen die Schritte sukzessive größer werden. Aber von solchen starken Dehnungen ist ja bei dem Muskel nicht im entferntesten die Rede, bei welchem, wie ich bei jeder Gelegenheit hervor-gehoben habe, die Extreme (zwischen der größten Länge und Kürze der elastischen Bestandteile), immer höchstens um 20 % auseinander liegen werden. Und innerhalb dieser Grenzen gilt die Skala der Figuren 2 und 3, mit ihrer großen Zweckmäßigkeit für die Bremstätigkeit.

Nach allem, was ich im bisherigen mitgeteilt habe, ist nun auch unmittelbar verständlich, daß, im Gegensatz zu dem künstlichen Glied, bei jeder Wendung, auch in den mittleren Lagen, die Bremskraft besonders stark in die Erscheinung tritt. Wenn ich das künstliche Glied abwechselnd abwärts und aufwärts bewege dadurch, daß ich vom Gegengewicht immer 200 g ab- und zusetze; so sind die Lagen, die es einnimmt, sehr wenig von einander verschieden, wie aus der Figur 4 (S. 39) unmittelbar ersichtlich ist. Es sind nur die kleinen Unterschiede sichtbar, welche durch die tote Reibung des Apparats bedingt sind. — In der Figur 5 dagegen, welche von einem menschlichen Unterschenkel, unter genau den gleichen statischen Bedingungen wie in der Figur 4, gezeichnet worden ist, hat jede Wendung (in der

Richtung der Bewegung) zur Folge, daß das Glied bedeutend zurückbleibt hinter der Lage, welche es, unter dem Einfluß des gleichen Drehungsmomentes, eingenommen hatte, als es sich in entgegengesetzter Richtung bewegt hatte. Und in der Figur 6, welche die lineare Dehnung eines Gummibandes, unter dem Einfluß der gleichen Zusätze und Wegnahmen von Zweihundert-Gramm-Gewichten, darstellt, zeigt sich der gleiche prinzipielle Unterschied, nur in schwächerem Grade, wie ja auch in der Figur 2 (an dem menschlichen Unterschenkel) die Wirkung der Muskelbremse viel deutlicher in die Erscheinung tritt als in der Figur 3 (an dem Gummiband) die Wirkung der elastischen Zugkraft (schon aus dem Grunde, weil in der Figur 3 die doppelten elastischen Kräfte der beiden Muskelgruppen wirksam sind, wie ich oben, S. 33, auseinandergesetzt habe).

Diese Tatsache, die ich Tausende von Malen graphisch dargestellt habe, und die ich jederzeit sofort demonstrieren kann, ebenso am Gummiband wie am menschlichen Glied, zeigt gleichfalls wie alles Bisherige: daß die Stärke der elastischen Zugkraft in hohem Maße abhängig ist von dem, was vorangegangen war. Durch solche Wendungen kann der ganze Spielraum der Wirkungen, welche abhängig sind von den verschiedenen Belastungen, weiter nach oben oder nach unten verlegt werden. Und es zeigt sich somit auch hiebei, daß, durch die besonderen Eigenschaften der elastischen Zugkraft, diejenige einfache Kausalität, welche bestünde zwischen den Lagen einerseits, den Gewichten und Drehungsmomenten andererseits, in hohem Grade modifiziert wird.

Ich halte es für wichtig und nützlich, daß ich noch nachdrücklich auf folgenden Punkt hinweise: Man könnte sich vorstellen, die großen Verschiedenheiten, welche die elastische Zugkraft des Muskels und des Gummibands zeigt, je nach dem Zustand, in welchem sich Muskel und Gummiband vorher befunden hatten, seien einfach dadurch bedingt, daß die räumlichen Verhältnisse innerhalb des Muskels und des Bandes sich geändert hätten: daß es, in den verschiedenen Fällen, länger, breiter, schmaler u. s. f. wäre. Ich halte aber diese räumlichen Vorstellungen für wertlos und spreche immer nur von Abänderungen der Kraft. Daß die räumlichen Vorstellungen nichts erklären könnten, dies kann einfach durch folgende Versuche bewiesen werden, welche ich gleichfalls Tausende von



Figur 4 stellt dar die verschiedenen Lagen bei der Winkel-Bewegung des künstlichen Glieds (in welche keine elastische Bremskraft eingreift), unter dem Einfluß verschiedener Gegengewichte, welche abwechselnd zu- und abgesetzt werden. Diese Wendungen haben, bei dem Glied **ohne** Bremskraft, keinen Einfluß.

Figur 5 stellt dar die verschiedenen Lagen bei der Winkel-Bewegung des natürlichen Glieds, hier eines menschlichen Unterschenkels (in welche die Muskel-Bremse eingreift), unter genau den gleichen statischen Verhältnissen wie in Figur 4. Die Wendungen haben, bei dem Glied **mit** Bremskraft, einen großen Einfluß.

Figur 6 stellt dar die verschiedenen Lagen bei der linearen Dehnung eines Gummibands, unter dem Einfluß der gleichen Wendungen in den Belastungen wie in den Figuren 4 und 5. Die Wendungen haben Einfluß, jedoch viel weniger als in Figur 5.

Malen angestellt habe, und welche ich jederzeit sofort wiederholen kann, immer mit dem gleichen Ergebnis. Wenn ich das Gummiband oder den Muskel zuerst möglichst kurz gemacht, und wenn ich sie darauf, einige Zeit lang, möglichst stark gedehnt habe, so müssen, in diesem Zustand starker Dehnung, den ich immer bis zu einer und derselben, genau markierten, Grenze durchführe, die räumlichen Verhältnisse die gleichen geworden sein wie in dem anderen Fall, in welchem vorher der, möglichst kurze, Zustand nicht bestanden hatte. Wenn ich dann aber das überdehnende Gewicht wegnehme, so zeigt sich in der elastischen Zugkraft ein ausnahmsloser und bedeutender Unterschied, je nachdem vor der Überdehnung der kurze Zustand bestanden hatte oder nicht. Wenn der Muskel oder das Band, vor der Überdehnung, möglichst kurz gewesen waren; so ist der Zuwachs an Kraft, den ihnen dieser kurze Zustand gegeben hatte, immer noch deutlich vorhanden, obgleich, nach dem kurzen Zustand, noch einmal Überdehnung, mit völliger Umkehrung der räumlichen Verhältnisse, stattgefunden hatte.

Nur wenn die Überdehnung sehr lange dauert, oder wenn sie häufig wiederholt wird, ohne daß dazwischen nochmals der kurze Zustand eingeschaltet wird; — erst dann verschwindet allmählich jener Zuwachs an Kraft, der, aus dem vorigen kurzen Zustand, lange Zeit hindurch sich erhalten hatte.

Ich kann, angesichts der Erhaltung der Kraft durch ganz andere räumliche Verhältnisse hindurch, nicht finden, daß wir durch Zuhilfenahme räumlicher Vorstellungen in unserem Verständnis gefördert würden. Und ich bediene mich deshalb ausschließlich des einfachen Begriffs der Kraft, ohne ihn anzuknüpfen etwa an Vorstellungen über die Lage elastischer Moleküle in dem Bande oder über Ähnliches. Ich glaube, daß mit solchen Bemühungen lediglich Zeit vergeudet würde, und daß sie die Aufmerksamkeit nur ablenkten von der Hauptsache, nämlich von dem Studium der wirklichen und direkt erkennbaren Bedingungen der elastischen Kraft.

Es wird niemand im stande sein, über das Gummiband, welches ich in beiden Fällen vollkommen gleich lang gemacht habe, etwas zu behaupten in dem Sinne: daß seine räumlichen Verhältnisse in dem einen Fall, in welchem es vorher kurz gewesen war, andere seien als in dem anderen Fall, in welchem es vorher nicht kurz gewesen war. Und doch hat es in den beiden Fällen eine sehr verschiedene Kraft.

Und bei dem Muskel ist es genau ebenso. Wenn ich den Unterschenkel zum Oberschenkel maximal gestreckt habe, so habe

ich bei jedem Versuch die obere und die untere Muskelgruppe in genau die gleichen räumlichen Verhältnisse gebracht. Wenn ich dann aber den Unterschenkel loslasse, so zeigt sich ausnahmslos ein beträchtlicher Unterschied in der Lage, die er einnimmt (folglich in der Verteilung der elastischen Zugkraft auf die beiden Muskelgruppen), je nachdem, vor dem kurzen Zustand, Überdehnung nach unten stattgefunden hatte oder nicht; — und in dem umgekehrten Falle umgekehrt. —

Damit habe ich eine weitere Kausalität nachgewiesen, welche ich so formuliere: die elastische Zugkraft steht nicht nur in kausaler Abhängigkeit davon, ob das Band unmittelbar vorher lang oder kurz gewesen war. Sondern ausnahmslos kann ich auch die elastische Zugkraft gröfser oder kleiner machen, je nachdem ich, vor dem Zustand der Länge oder Kürze, welcher unmittelbar vorher bestanden hat, den entgegengesetzten Zustand (der Länge oder Kürze) hergestellt hatte, oder nicht.

Diese kausale Abhängigkeit habe ich so sicher in der Hand, dafs ich sie jetzt jederzeit demonstrieren kann. Ich habe aber viele Jahre gebraucht, bis ich sie erfaßt hatte. Und gerade, weil sie mir verborgen geblieben war, bin ich Jahre lang vor dem berufenen Zylinder gesessen, ohne dafs ich seine Figuren begriffen habe. Eine Ursache davon, dafs ich so viele Jahre gebraucht habe, bis ich diese versteckten Kausalitäten herausgefunden habe, ist auch diese: weil immer die zwei Muskelgruppen wirksam sind, so kommt sehr viel darauf an: ob sich der Unterschenkel etwas mehr oder weniger schnell in die neue Lage begibt. Die obere Muskelgruppe sei z. B. stark gedehnt, der Unterschenkel stehe, schon etwas spitzwinklig zum Oberschenkel, nach hinten durch einen Zügel festgehalten, während das Gegengewicht, wenn der Zügel ihn losläfst, ihn zirka auf 45^0 stellt. Wenn man nun die Überdehnung das eine Mal etwas rascher, das andere Mal etwas langsamer aufhobe, so würde im ersteren Falle die überschüssige Geschwindigkeit das Glied zuerst etwas höher bringen als in dem zweiten. Damit käme er aber auch wieder mehr in die obere Gegend des Quadranten, in welchem die obere Muskelgruppe, weil sie kurz wird, wieder Kraft gewinnt. Dann würde, aus diesem Grunde, die Ruhelage eine etwas höhere als dann, wenn das Glied nicht bis in diese Gegend hinauf gekommen war. Man darf deshalb nur diejenigen Versuche mit einander vergleichen, in welchen das Glied, vor der Einstellung in die Ruhelage, gleich weit über die Ruhelage hinausgegangen war. Mittels des berufenen Zylinders, auf welchem sich der ganze Vorgang abzeichnet, ist diese Kontrolle nicht schwer. Man mufs aber wissen, dafs es auch darauf sehr ankommt; und solange man dies nicht berücksichtigt, wird man in Unklarheit bleiben.

Völlige Verwirrung entsteht auch dann, wenn man die starke Wirkung der Zeit nicht berücksichtigt. Wenn z. B. die obere Muskelgruppe nur

kurze Zeit kurz, und die untere lange Zeit lang gewesen war, so kann daraus am Schluß eine geringere elastische Zugkraft resultieren, als wenn sie gar nicht kurz, aber auch nur kurze Zeit lang gewesen war. Vergleichbar hinsichtlich ihrer Wirkung auf die elastische Zugkraft sind deshalb die Zustände, die vorher bestanden hatten, auch nur unter der Bedingung, daß sie, je die gleiche Zeit hindurch, bestanden hatten. Auch diese Bedingung kann ja leicht verwirklicht werden. Aber man muß sie eben kennen als eine wesentliche Bedingung; und solange man sie unbeachtet läßt, ist Verwirrung gleichfalls unvermeidlich. Der große Einfluß der Zeit, als solcher, wird im nächsten Kapitel auseinander gesetzt werden.

Alle diese verwickelten Vorgänge wird derjenige in seinem Denken richtig erfassen und zusammenfassen können, der auf sie alle die Grundformel anwendet: der kurze Zustand **gibt**, der lange **nimmt** Kraft. Und der Gewinn und der Verlust persistieren (einige Zeit), auch durch die entgegengesetzten Zustände hindurch.

Hiemit habe ich dasjenige mitgeteilt, was ich zu berichten hatte über die Bedingungen der, organischen, elastischen Zugkraft, ohne Rücksicht auf die Zeit und ohne Rücksicht auf die Temperatur, nur mit Rücksicht auf den kurzen und langen Zustand und die Übergänge von dem einen in den anderen. Dem Einfluß der Zeit wird mein nächstes, dem der Temperatur mein übernächstes Kapitel gewidmet sein. Bei dem Einfluß der Temperatur werde ich zu erörtern haben: ob das, was aus den Nerven in die Muskeln kommt, im wesentlichen der Art ist, daß es auf die Temperatur der Muskeln wirkt? oder nicht?

Über das, was ich in dem vorstehenden Aufsätze gesagt habe, bemerke ich noch dieses:

Obgleich ich nur mit den einfachsten Begriffen von elastischer Zugkraft operirt habe, so muß doch schon aus den schlichten Tatsachen, die ich dabei an das Licht gebracht habe, auch jedem denkenden Psychologen klar werden: daß, zwischen der Wirklichkeit der äußeren Welt und dem, was wir über diese Wirklichkeit sagen können, Kräfte in unserem Muskelsystem eingeschaltet sind, deren Bedingungen wir zuerst genau kennen müssen, ehe wir weiteres behaupten können über die Beziehungen der äußeren Wirklichkeit zu dem, was der Mensch über diese Wirklichkeit sagen kann.

Ich selbst bin, von einem rein psychologischen Ausgangspunkt, zu allen Beobachtungen gekommen, über welche ich

im vorstehenden berichtet habe. Ich habe mir, vor zwanzig Jahren, gesagt: Wenn wir z. B. etwas behaupten wollen über die subjektive Schätzung von Lasten, die objektiv auf unsere Glieder wirken; so müssen wir doch zuerst wissen: was diese Lasten in unseren Gliedern selbst wirken? wir müssen zusehen: wie es ist, wenn wir das eigene Gewicht dieser Glieder durch Äquilibrirung ausschließen? u. s. f.

Ich habe mir ferner gesagt: eine Formel, wie z. B. die FECHNERSche, kann doch nicht die Bedeutung haben, wie wenn der Mensch etwa konstruiert wäre in der Art eines Meßapparates, z. B. einer Tangenten-Boussole, die, nach einer bewußten Anordnung und gemäß einer bestimmten Formel, Verhältnisse innerhalb der äußeren Wirklichkeit anzeigt. Denn der Mensch ist doch nicht von einem Mechaniker verfertigt worden.

Als ich nun aber z. B. versuchte, das eigene Gewicht des Gliedes durch Äquilibrirung auszuschließen; da wurde ich immer wieder darauf geführt, daß die elastische Kraft in sehr starker Weise und unter den Bedingungen einwirkte, die ich im vorstehenden erörtert habe. Und nunmehr ergibt sich für die Frage: was wir von der äußeren Wirklichkeit wahrnehmen? das ganz bestimmte Problem: wonach urteilen wir? nach den jeweiligen Zuständen der elastischen Kraft innerhalb unserer Muskeln? oder nach dem, was außerhalb des Körpers wirkt?

Obgleich ich schon vieles darüber sagen könnte, so enthalte ich mich doch hier, an diesem Orte, noch jeder Antwort auf diese Alternativ-Frage; sondern ich begnüge mich mit der bloßen Fragestellung. —

Hier ist noch der Ort dazu, daß ich des sogenannten SCHWANNSchen Gesetzes Erwähnung tue. Über dieses habe ich in der Abhandlung, welche ich oben (S. 5) zitiert habe, auf S. 32 ff. nachstehendes mitgeteilt:

ROBERT MAYER hatte gesagt (Mechanik der Wärme. 2. Auflage, S. 111):

„Nach der in der Mechanik befolgten mathematischen Methode wird die physische Kraft als ein Produkt aus einem Druck oder Zug in den Wirkungsraum dargestellt. Es ist nun dieser Druck bei Gasen sowohl als bei den Muskeln dem Wirkungsraum umgekehrt proportional. Der von einem Gase ausgeübte Druck steht mit der Expansion des Gases in umgekehrtem Verhältnisse: BOYLESches oder MARIOTTESches Gesetz. Die Stärke des Zuges nimmt proportional der Zunahme der Kontraktion des Muskels ab: SCHWANNSches Gesetz.“ — Hiezu

habe ich folgendes bemerkt: Den Anmerkungen zu DU BOIS-REYMONDS Gedächtnisrede auf JOHANNES MÜLLER entnehme ich folgende Stelle aus einem Briefe von THEODOR SCHWANN: „Das Erste, was ich in dieser Richtung publiziert habe, waren die Versuche über die Gesetze, wonach die Tragkraft des Muskels mit dem Grade der Kontraktion abnimmt und worüber ich bei der Naturforscher-Versammlung in Jena 1836 einen Vortrag gehalten habe (MÜLLERS Physiologie II, S. 59). Dadurch wurde, soviel ich weiß, zum erstenmal eine evidente Lebenserscheinung mathematischen, in Zahlen ausgedrückten Gesetzen unterworfen.“ — Dieses eigene Urteil SCHWANNs über seine Untersuchung macht DU BOIS-REYMOND im Text jener Rede (a. a. O. S. 206) zu seinem eigenen, und diese Bestätigung, seitens eines so eminenten Kenners der Physiologie und ihrer Geschichte, läßt die Untersuchungen SCHWANNs um so wichtiger erscheinen. In der angeführten Stelle von MÜLLERS Physiologie sind die Versuche genau geschildert und ihr Resultat dann folgendermaßen zusammengefaßt (S. 61): „Die Kraft des Muskels nahm im geraden Verhältniß mit seiner Kontraktion ab.“ — Und der Schluß-Satz lautet: „Dieses Gesetz ist dasselbe, welches bei den elastischen Körpern gilt.“ Mit diesem Satz bricht aber dieser Gedankengang ab, und die Darstellung geht zu anderen Folgerungen aus den Versuchen über, die sich beziehen auf Theorien über die inneren Vorgänge bei der Muskelkontraktion, deren Vergleichung mit der jetzt von ELIAS MÜLLER aufgestellten zwar sehr interessant wäre, aber wie schon wiederholt betont, außerhalb meiner Interessensphäre liegt. Dagegen ist mir der, vorhin gesperrt abgedruckte, Schluß-Satz hinsichtlich der Analogie mit den elastischen Körpern sehr wichtig. Aus der Stelle in JOHANNES MÜLLERS Lehrbuch geht nicht ganz unzweideutig hervor, daß auch dieser Satz SCHWANN angehört. Man könnte ihn auch für eine, an SCHWANNs Versuche geknüpfte, Bemerkung JOHANNES MÜLLERS halten. Hierüber gibt aber Aufklärung der Bericht über die Naturforscher-Versammlung zu Jena vom Jahr 1836 in der Isis von Oken (1837 S. 523. 524), dessen Kenntniß ich der Anmerkung 94 auf S. 319 des zitierten Buches von DU BOIS-REYMOND verdanke. In diesem sehr kurzen Berichte heißt es: „SCHWANN machte auf die vollkommene Übereinstimmung seines Gesetzes mit dem Gesetze aufmerksam, nach welchem sich ein ausgedehnter elastischer Körper zusammenzieht. Er entwickelte die Ansicht, daß man sich einen Muskel vorstellen könne als einen elastischen Körper, bei dem die Kraft, die er im ausgedehnten Zustande äußert, vermöge des Bestrebens sich zusammenzuziehen (durch den Nerveneinfluß) verstärkt werden kann.“ —

Daraus geht deutlich hervor, daß SCHWANN, und nicht JOHANNES MÜLLER, die erwähnte Beziehung zum Begriff der Elastizität zuerst ausgesprochen hat. Dagegen scheint SCHWANN diese Versuche nicht weiter verfolgt zu haben. 1846 zitiert EDUARD WEBER in seinem Artikel: Muskelbewegung (WAGNER, Handwörterbuch der Physiologie. Dritter Band. Zweite Abhandlung. S. 84), die SCHWANNsche Entdeckung nur nach der oben abgedruckten Stelle aus JOHANNES MÜLLERS Physiologie (und zwar mit der für den zweiten Band falschen Jahreszahl 1837, welche auch in ein Zitat in HERMANNs Handbuch von 1879, S. 21, Anm. 2 übergegangen ist). Von der, im Jahr 1845 auf ROBERT MAYERS eigene Kosten erschienenen, Schrift: „Die organi-

sche Bewegung in ihrem Zusammenhang mit dem Stoffwechsel“ konnte EDUARD WEBER im Jahr 1846 nichts wissen, da sie bekanntlich Jahrzehnte lang völlig unbeachtet blieb. Andererseits ist sie aber auch vor EDUARD WEBERS Artikel erschienen, und ROBERT MAYER hat den oben zitierten Satz direkt an SCHWANN'S Satz angeknüpft. — ROBERT MAYER selbst gibt kein Zitat, aus dem zu entscheiden wäre: woher er seine Kenntniss geschöpft hat? er spricht aber von dem „SCHWANN'Schen Gesetz“ als von etwas ganz Bekanntem. Dies ist um so bemerkenswerter, als heutzutage SCHWANN'S Name in der Muskelphysiologie manchmal gar nicht mehr genannt wird. In ROSENTHAL'S „Allgemeiner Physiologie der Muskeln und Nerven“ (Internationale wissenschaftliche Bibliothek. 27. Band. Leipzig 1877) werden die Versuche SCHWANN'S nur kurz und beiläufig erwähnt; in FICK'S Buch (Mechanische Arbeit und Wärmeentwicklung bei der Muskelthätigkeit. Internationale wissenschaftliche Bibliothek. 51. Band. Leipzig 1882) kommt sein Name überhaupt nicht vor, während doch, nach dem oben von DU BOIS-REYMOND angeführten Urteil, ihm eine Epoche machende Bedeutung zukommt hinsichtlich der Betrachtungen über Muskel-Elastizität, welche gerade bei FICK eine so große Rolle spielen. Ich möchte nun aber andererseits auch darauf hinweisen, daß in den SCHWANN'Schen Sätzen, die ich oben genau angeführt habe, noch verhältnismäßig wenig Aufklärung enthalten war, und daß erst ROBERT MAYER weitere Perspektiven eröffnet hat. SCHWANN hat (nach dem Gesagten, wie es scheint, als der Erste) darauf hingewiesen, daß elastische Kräfte im Muskel tätig sind, welche einerseits ihrer eigenen physikalischen Natur folgen können, wenn nämlich bei gleichem Erregungs-Zustand die Länge der Muskeln variiert wird; welche aber andererseits auch fortwährend durch verschiedene Erregungszustände (vom Nervensystem aus) abgeändert werden. Dies war damals zwar gewiß eine nützliche Formulierung; und daß im Jahr 1836 dabei die thermologischen Konsequenzen noch nicht gezogen werden konnten, versteht sich eigentlich von selbst, zumal da sie nicht einmal in den seither verflossenen sechsundfünfzig Jahren gezogen worden sind. Aber andererseits ist auch selbstverständlich, daß sie dem Entdecker des mechanischen Äquivalents der Wärme nicht verborgen bleiben konnten. Allerdings sind seine Bemerkungen hierüber nur äußerst aphoristisch. Aber die zwei Sätze, die sich einige Zeilen nach dem oben Angeführten in der Abhandlung von ROBERT MAYER finden: „Wo nichts ist, da läßt sich auch nichts umwandeln. Ohne Wärme ist keine Elastizität denkbar“; enthalten doch den Keim zu allem, was in dieser Hinsicht noch zu entdecken und zu folgern ist. Sie machen allein auch den Vergleich des Muskels mit elastischen Körpern fruchtbar; und deshalb enthalten sie die richtige Weiterbildung von SCHWANN'S Sätzen, woran sich nur leider, bis heute, keine weitere Tradition angeschlossen hat. —

Was von dem Vorstehenden in das thermologische Gebiet gehört, werde ich unten in dem späteren Kapitel erörtern, welches behandeln wird: Die elastische Zugkraft der Muskeln betrachtet als Funktion ihrer Temperatur. Hier be-

merke ich, ohne Rücksicht auf die Wirkung der Temperatur, zu dem Vorstehenden nur dasjenige, was die Abhängigkeit der elastischen Zugkraft der Muskeln von ihrer Länge angeht. —

Wenn das SCHWANNsche Gesetz formuliert ist in den Worten: „Die Kraft des Muskels nehme im geraden Verhältnis mit seiner Kontraktion ab“; und: „Dieses Gesetz ist dasselbe, welches bei den elastischen Körpern gilt“; — so sind die Ausdrücke: „im geraden Verhältnis“ und „Kontraktion“ noch durchaus unklar. „Gerades Verhältnis“ ist insofern richtig, wenn es heißen soll: nicht umgekehrt proportional. Unter „geradem Verhältnis“ könnte man aber auch verstehen ein Verhältnis, dessen arithmetischer Ausdruck einfach eine Gleichung ersten Grades wäre ($y = x$); das hiesse: Daß zu den einfachen Multiplis der elastischen Zugkraft die entsprechenden Multipla der Verlängerung gehörten, daß z. B. 1000 Gramm getragen würden bei dem Fünffachen des Zuwachses der Länge bezogen auf den Zuwachs der Länge, der durch 200 Gramm bewirkt wird. — Diese Behauptung wäre, wie ich oben im Text gezeigt habe, durchaus falsch sowohl für den Gummi als für den Muskel. Und bei einer solchen Formulierung würde man gerade das Charakteristische und Interessante an der organischen Elastizität völlig übersehen und verkennen. —

Ferner ist das Wort „Kontraktion“ sehr zu beanstanden. Ich brauche es nie, weil es, notwendigerweise, zu den stärksten Konfusionen führen muß. In dem gewöhnlichen Sprachgebrauch würde jedermann, ohne weiteres, unter „Kontraktion“ dasjenige verstehen, was, unter dem Einfluß der Nerven, hinzugetan wird an elastischer Zugkraft. Und wenn man dies unter „Kontraktion“ versteht, so ist der Satz: „Die Kraft des Muskels nimmt mit seiner Kontraktion ab“ sinnlos. Denn durch starken Nerven-Einfluß nimmt in der Regel, gerade bei der „Kontraktion“, die Kraft des Muskels bedeutend zu. Auf eine verständliche Formulierung kann man deshalb nur dann kommen, wenn man das, völlig zweideutige, Wort „Kontraktion“ ganz vermeidet und nur sich dieser Ausdrücke bedient: Die elastische Zugkraft ist, (aber in einem, durchaus nicht einfachen, Verhältnis) um so geringer, je kürzer der Muskel ist; jedoch natürlich nur bei gleichbleibenden Wirkungen aus den Nerven.

(Eingegangen am 24. Juli 1902.)

(Forts. folgt.)