

**Beitrag zur physiologischen Technik
für „Tonusmuskeln“ vornehmlich bei wirbel-
losen Tieren, nebst Beschreibung eines Mess-
und Registrierapparates für die Reaktionen
solcher Muskeln.**

Von

Hermann Jordan.

(Mit 1 Textfigur.)

Wer das Verhalten der Muskeln vieler wirbelloser Tiere kennt, wird den Begriff „Tonusmuskeln“ wie folgt zu definieren gezwungen sein: Mit genanntem Namen sind solche Muskeln zu belegen, welche die Eigenschaft besitzen, einen bestimmten relativen Verkürzungsgrad auch in der Ruhe beizubehalten. Die physiologische Technik für diese kontraktile Elemente liegt, trotz deren grosser Verbreitung, noch recht im Argen, was verständlich wird, wenn wir folgendes bedenken: Unsere gebräuchlichen Registrierapparate sind für Skelettmuskeln von Wirbeltieren eingerichtet, Muskeln also, die durchweg über einen konstanten Erschlaffungsnullpunkt verfügen. Es war demzufolge überflüssig, an den Apparaten Vorrichtungen anzubringen, die uns erlauben, den Abstand von Muskel zu registrierendem Schreibhebel in irgendeiner Weise genau zu bestimmen oder zu regulieren. Bearbeitet man nun ohne weiteres Tonusmuskeln mit derartigen Instrumenten, so muss man zu einer ganzen Reihe von Fehlschlüssen gelangen, und zwar auf Grund einiger Gesetze, die sich vor allem an den Muskeln gewisser wirbelloser Tiere ergeben haben, und die hier in aller Kürze Wiedergabe finden mögen¹⁾.

I. Die Reizbarkeit eines Tonusmuskels ist abhängig vom Grade seines Tonus: Je niedriger der Tonus, desto höher der Grad der Reizbarkeit.

1) Ich verzichte auf eine detaillierte Zitierung der Literatur und verweise auf die bekannten Arbeiten von v. Uexküll, sowie auf meine eignen in diesem Archiv Bd. 106 S. 189 u. Bd. 110 S. 533 und in der Zeitschr. f. allg. Physiol. Bd. 7 usw.

II. Die Strecke, um die ein Tonusmuskel sich auf Grund eines genau dosierten Reizes zusammenzieht, ist ebenfalls abhängig vom Tonus und wächst, wenn der Tonus fällt.

III. Der Tonus ist abhängig von der Last, die der Tonusmuskel zu tragen hat. Überlastung bedingt Dehnung des Muskels, teils, weil einem bestimmten Tonus bei bestimmter Last eine bestimmte Länge des Muskels entspricht; es wird dieser also bei gleichem Tonus, um ein höheres Gewicht zu tragen, grössere Länge aufweisen müssen. Andererseits aber verändert sich der Tonus selbst unter dem Einfluss der Überlast: er sinkt.

Aus diesen Grundgesetzen (nur auf diese wollten wir uns einlassen) und ihrem Ineinandergreifen ergeben sich eine Reihe von Normen, die bei einer Technik für Tonusmuskeln Berücksichtigung finden müssen.

I. Wir sind vorderhand in keiner Weise in der Lage, für den Tonus ein absolutes Maass zu gewinnen, da es noch nicht gelungen ist, bei solch einem Muskel mit Sicherheit den Punkt „Tonus = 0“ neben „Erregung = 0“ zu erhalten. Solange wir aber seine absolute Länge nicht bestimmt haben, können wir auch über die relative Verkürzung eines Muskels nichts aussagen.

II. Solange wir für den Tonus kein absolutes Maass besitzen, vermögen wir auch nicht Erregbarkeit oder Kontraktionshöhe bei bestimmter Reizenergie als für den Muskel schlechtweg konstante Grössen festzustellen. Alle dahingehenden Versuche, z. B. angestellt, „die Minimalenergie“ zu bestimmen, die notwendig ist, ein Stück Aplysienmuskulatur zur Kontraktion zu bringen, sind ohne jede Bedeutung, d. h. ohne Allgemeingültigkeit, und beziehen sich lediglich auf Spezialfälle, deren Bedingungen uns jedoch unbekannt geblieben sind.

So muss denn die Physiologie der Tonusmuskeln (vorderhand) einen eigenartigen Charakter annehmen: Absolute quantitative Aussagen fehlen. An ihre Stelle tritt schlechtweg Vergleichung. Und weiter: An Stelle der üblichen Vergleichung mit absoluten Zahlen („Standardzahlen“) tritt eine solche mit gleichzeitig untersuchten Normalfällen, eine Vergleichung, bei der es Aufgabe des Experimentators ist, die beiden analogisierten Fälle unter genau gleichen Bedingungen zu betrachten. Wie das zu verstehen sei, mag aus dem Folgenden erhellen:

Eine Reihe jener Tiere, deren Lokomotionsapparat aus Tonusmuskeln besteht, habe ich unter dem Namen „reflexarme Tiere“ zusammengefasst. Inwieweit dieser Name generalisiert werden darf, bleibt abzuwarten. Bei diesen Tieren spielen individuelle Reflexe, deren grosser Zahl das höhere Tier die Mannigfaltigkeit seiner Lebensäusserungen dankt, eine untergeordnete Rolle. Ihr lokomotorischer Apparat verfügt, soweit sich das übersehen lässt, über drei Modifikationen eines „generellen Reflexes“, d. h. eines Reflexes, der überall an einem System sich abspielen kann, das aus diffusen Rezeptoren, Zentren und Effektoren besteht (z. B. der Hautmuskelschlauch der Schnecke). Es handelt sich um 1. den elementaren (generellen) Reflex sensu strictiore, 2. den Tonus, 3. den (meist lokomotorischen) Rhythmus. Was die hierher gehörigen Wesen (z. B. Schnecken) an „Mannigfaltigkeit der Lebensäusserung“ aufweisen, verdanken sie eben jenen wenigen Erscheinungen, und deren quantitativer Regulierung durch zentrale Ganglien. Einige individuelle Reflexe kommen hinzu, ohne eine wesentliche Rolle zu spielen. Jene quantitativen Unterschiede werden es sein, die, durch entsprechende Methoden festgestellt, uns die weitgehendsten Aufschlüsse über die Ökonomie („Biologie“) der in Frage kommenden Tiere, also über den eigentlichen Zusammenhang des Geschehens in ihnen, wird geben können. Und da ferner jene quantitative Regulierung Aufgabe der zentralen Ganglien ist, so wird uns dieses Studium interessante Aufschlüsse geben können über eine der wichtigsten Fragen überhaupt: was denn ein Zentrum sei. Dass nun aber zum Studium derartiger quantitativer Unterschiede, die von mir als einzig möglich erkannte Methode der Vergleichung nicht allein ausreicht, sondern recht eigentlich adäquat ist, das mit weiteren Worten auszuführen ist überflüssig.

Aus dem Gesagten ergeben sich für unsere Technik eine Reihe von Postulaten, denen ich versucht habe, durch einen Apparat gerecht zu werden, den ich im Laufe dieser Abhandlung beschreiben werde.

Machen wir uns vorab mit dem Prinzip vertraut.

Denken wir uns vorderhand als Registrierapparat einen gewöhnlichen Schreibhebel. Mit dem bringen wir in üblicher Weise den Muskel in Beziehung: durch einen Faden, der über eine Rolle läuft, so dass der (aus Gründen) in horizontaler Richtung wirkende Muskelzug in die Vertikale der Hebelbewegung übergeführt wird.

Durch einen gewöhnlichen Haken stehen Faden und Muskel (Tier) miteinander in Verbindung. Das andere Ende des Muskels befestigen wir ebenfalls an einem Haken, der an einen Faden geknüpft ist, der seinerseits auf eine Rolle aufgewunden ist. Diese Rolle wollen wir ihrer Funktion wegen „Winde“ nennen. Das Ganze ist auf einer Glasplatte so montiert, dass der Muskel auf dieser ruht, damit das Eigengewicht des Muskels nicht mit in Frage kommt. Mit der Winde können wir nun den Muskel anziehen und loslassen, Bewegungen, die der (belastete) Hebel mitmacht, wodurch wir eine beliebige Ausgangsstellung des Hebels erzielen. Aber mehr noch als das, mit dieser Rolle vermögen wir eine der Hauptbedingungen unserer Versuche zu kontrollieren: das Verhältnis von Muskel zu Hebel. Was das zu bedeuten und wie es zu geschehen habe, mag man dem folgenden entnehmen.

I. Messung des Tonus.

Der Tonus drückt sich aus: 1. bei bestimmter Länge des Muskels durch die Last, die dieser zu tragen vermag, ohne Veränderung seiner Länge in einem der beiden möglichen Sinne zu erleiden. Oder 2. der Tonus drückt sich aus: bei bestimmter Last durch die (konstante) Länge des Muskels. Zu meinen Messungen habe ich mich ursprünglich einer auxotonischen Anordnung bedient, da diese die Verhältnisse am besten nachahmt, wie wir sie z. B. bei einer Schnecke antreffen, bei welcher steigende Kontraktion steigende Belastung der Muskeln bedingt¹⁾.

Ich habe mich inzwischen von mancherlei Vorteilen, bei Gleichheit der Resultate, einer absolut isotonischen Anordnung überzeugt, Vorzüge, denen nur kleinere Nachteile gegenüberstehen. So werden wir also von den beiden oben dargetanen Messmöglichkeiten die zweite wählen, d. h. bei konstanter Last die Länge des Muskels bestimmen.

Man wird ohne weiteres einsehen, dass mit einer derartigen Anordnung der relative Tonus niemals schlechtweg festgestellt werden

1) Vgl. meine Arbeit: Untersuchungen zur Physiologie des Nervensystems bei Pulmonaten. I. Arch. ges. Physiol. Bd. 106 S. 189—228. Der neue Apparat, den ich hier mit den Prinzipien seiner Anwendung beschreibe, ist nichts als eine von kundiger Hand ausgeführte Vervollkommnung meines l. c. beschriebenen Apparates. Ein grosser Teil des in meinen früheren Mitteilungen Gesagten, musste hier wiederholt werden.

kann: Die Wahl des Gewichts ist willkürlich und wird stets willkürlich bleiben. Entspricht nun das Gewicht nicht genau dem Tonus (und das wird praktisch nie der Fall sein), so erfolgt eine Einstellung, die dem ursprünglichen Tonus nicht entspricht: Ist das Gewicht zu gross, so sinkt der Tonus; ist es jedoch zu klein, so dehnt es den Muskel nicht mit Sicherheit zu der entsprechenden Länge aus: Denn durch die Präparation haben wir den Muskel vorübergehend zur Verkürzung gebracht, der nach Abklingen der Erregung ein bestimmter Antagonist entgegenarbeiten muss. Der normale Antagonist ist bei der Schnecke der mit der Kontraktion zunehmende Innendruck des Tieres, der natürlich durch die Präparation hat beseitigt werden müssen. Damit aber sind die Gründe, die uns daran verhindern, die Einstellung belasteter Hebel als absolutes Maass für den ursprünglichen Tonus zu betrachten, noch nicht einmal erschöpft.

So müssen wir uns nach einer anderen Reaktion umsehen, die dem Tonus proportionale Werte ergibt, und das scheint mir die Veränderung zu sein, den eben der Tonus durch die Überlast erleidet, vermischt natürlich mit der postulierten Anpassung des ursprünglichen Tonus an die neue Last. Mit anderen Worten, wir messen die Strecke, um die ein belasteter Muskel sich dehnt.

Auch damit haben wir unser Ziel noch nicht ganz erreicht: Es dauert oft stundenlang, bis die durch die Last bedingte Dehnung vollendet ist. Auch ist man aus mancherlei Gründen dieses Dehnungsnullpunktes nie recht sicher. Allein proportional dieser Strecke und damit dem ursprünglichen Tonus ist die Dehnungsstrecke in der Zeiteinheit oder besser in einer bestimmten Zeit. Und mehr noch: Die Reaktion des Muskels auf Last, also jene Dehnung, die wir in ihren räumlichen und zeitlichen Elementen, nämlich als Kurve, messen wollten, ist gerade eine der wichtigsten Erscheinungen bei Tonusmuskeln, die bei höheren Repräsentanten der hier behandelten Tiergruppen durch ein ganz besonderes Zentrum reguliert wird (Pedalganglien der Schnecken, einziges Ganglion der Tunicaten). Dieser Umstand scheint mir die Bedeutung der Methode nicht unwesentlich zu erhöhen.

Nun wissen wir nach dem bereits Gesagten, dass die Kenntnis einer solchen Entlastungskurve nur dann von Wert sein kann, wenn wir sie mit einer anderen, aus irgendeinem Grunde als „Standardkurve“ anzusprechenden vergleichen können. Vergleichung setzt aber

Gleichheit aller vernachlässigter Bedingungen voraus: Daher ist es stets wünschenswert, oft sogar erforderlich, die beiden Vergleichungsobjekte unmittelbar nebeneinander arbeiten zu lassen, schon weil Temperatur und Frischeszustand eigentlich nur so identisch gemacht werden können. Das gilt besonders dann, wenn wir etwa zwei Hälften des nämlichen Tieres vergleichen, ein Vorgehen, bei dem man gerade die zuverlässigsten Vergleichungsobjekte erhält. Ich habe daher zwei Hebel genau gleicher Konstruktion und gleicher Grössenverhältnisse herstellen lassen, denen zwei genau gleiche, gleichartig graduierte Winden entsprechen. Es handelt sich nun darum, die beiden Vergleichungsobjekte so zu befestigen, dass ihre relativen Lagen zum Hebel untereinander gleich sind. Denn nur dann hat gleiche Lage (z. B. über der Horizontalen) beider Hebel auch die gleiche Bedeutung!

Wir wählen also zwei Stücke etwa eines Schneckenfusses, die an Länge übereinstimmen, am besten die beiden durch einen medianen Sagittalschnitt voneinander getrennten symmetrischen Hälften. Oder aber wir wählen zwei Schneckenfüsse, deren gleiche Länge durch Schätzung¹⁾ festzustellen nach meinen Erfahrungen hinreicht. Würden wir nun an dem einen der beiden Objekte denjenigen Eingriff vornehmen, dessen Einfluss auf den Tonus oder die Tonusregulierung wir etwa feststellen wollen, so würden in dem Muskel möglicherweise durch den Eingriff bedingte Zustandsänderungen einsetzen, die uns, solange der Muskel nicht am Apparat arbeitet, für immer entgingen: Würde z. B. der Tonus in dem einen Stücke fallen, so bedingte das bei der Einstellung am Hebel eine unregistrierbare Mehrdehnung, und der Muskel wiese ein relativ zu kleines Restdehnungsvermögen auf. Nur über dieses würde der Hebel uns Aufschlüsse geben, und leicht könnte so das Resultat verwischt, ja in sein Gegenteil verwandelt werden. Wir müssen also den Eingriff erst dann vornehmen, wenn das Verhältnis von Muskel zu Hebel definitiv feststeht. Denn nun wird jeder dauernde Einfluss der vorgenommenen Operation im Endresultat der Hebelbewegung figurieren.

1) Ob diese Schätzung hinreicht, wird in Zukunft, d. h. bei Bearbeitung anderer Probleme, als sie mich bislang beschäftigt haben, natürlich jeweilig durch Erfahrung und Kritik festzustellen sein. Erscheint grössere Exaktheit angebracht, so ist neben der Länge auch Dicke oder Breite (der „Querschnitt“) zu messen.

Damit nun aber der vorübergehend durch den Fingriff bedingte (Reiz- etc.) Effekt nicht gleichfalls und zwar unwillkommen das Resultat beeinflusse, so legen wir durch eine für beide Hebel gemeinsame Bremsvorrichtung den Faden zwischen Muskel und Hebel vollständig fest und warten, bis jene vorübergehende Einwirkung abgeklungen ist¹⁾; sodann lösen wir die Bremse, und die Aufnahme beginnt.

Nach alledem ergibt sich folgende

Anweisung zur Vorbereitung eines Versuchs mit Tonusmuskeln.

Man nimmt, wie oben angedeutet, zwei Objekte und versieht sie am besten je vorn und hinten mit einem losen, am freien Ende in eine Öse auslaufenden Haken. Bei Tieren, welche den durch Fingriffe gesetzten abnormen Tonus sehr lange bewahren (z. B. Aktinien), empfiehlt es sich, die Haken wie folgt zu befestigen: Haken 1 in Stück A, Haken 1 in Stück B, Haken 2 in Stück B, Haken 2 in Stück A, und zwar aus folgendem Grunde: Für die exakte, nun zu beschreibende Einstellung müssen beide Muskeln im Momente der Befestigung an den Apparat in genau gleichem tonischen Zustande sich befinden, also nicht der eine mehr Tonus aufweisen als der andere, nur weil er später die Haken erhalten hat; ich wiederhole, bei den meisten (mir bekannten) Muskelarten ist diese Vorsicht nicht nötig. Die Haken müssen mit grosser Sorgfalt befestigt werden; am besten biegt man sie nach Einstich so, dass sie sich von selbst nicht auslösen können (gebogene Stecknadeln). Denn, lässt nach Befestigung ein Haken los, so ist der Versuch nicht mehr zu brauchen, was unter Umständen einem sehr empfindlichen Zeitverlust gleichkommt. Nun legen wir beide Objekte auf die Glasplatte des Apparates, mit Vorteil auf eine aufgegosene Schicht Paraffinum liquidum. Die Schreibhebel bringt man in die gewünschte Ausgangslage und legt die beiden gespannten Fäden mit der „Bremse“ fest. Die Endhaken der vier Fäden (zwei von den Hebeln, zwei von den Winden) fügt man in die Ösen der Fleischhaken, und nun zieht man beide Winden an, bis alle Fäden eben gespannt sind. Beide Muskeln dürfen als in gleichem Zustande verkehrend angesehen

1) Die hierzu notwendige Zeit ist für verschiedene Objekte sehr ungleich und ergibt sich jeweilig durch Erfahrung (siehe unten in der Anweisung).

werden; allein noch beruht die Spannung der Fäden auf unexaktem Urteil. Darum belasten wir nun beide Hebel mit je gleichem, leichtem Gewicht, etwa 1 g (je nach Muskelart), und lösen die Bremse: Beide Stücke sind gleich, reagieren also gleich auf das gleiche Gewicht. Der Unterschied, der sich im Hebelfalle ergibt, ist daher der Ausdruck für den Fehler, den wir beim Anziehen der Fäden gemacht haben. Wir warten eine kleine Spanne Zeit¹⁾. Ziehen wir nun beide Winden vorsichtig (damit keine Kontraktion erfolgt) an, bis beide Hebel wieder die gewünschte Ausgangslage zeigen, so dürfen wir sagen: Es befinden sich nun beide Muskeln nicht nur in gleichem Zustande, sondern auch, verglichen miteinander, in durchaus gleichem Lageverhältnis zum Hebel. Nach erfolgter Einstellung bremsen wir, nehmen an der einen Seite den Eingriff vor und warten die Zeit ab, die erfahrungsmässig nötig ist, bis die durch die Operation bedingte Erregung abgeklungen ist. Diese Zeit ist für einzelne Objekte verschieden. Bei Aktinien muss sie etwa 10—16 Stunden betragen (wenigstens bei bedeutenden Eingriffen). Ganz anders bei Tieren mit regulierter Tonusfunktion (z. B. Aszidien und Schnecken). Hier ist der Tonus erstens bei weitem nicht so zähe als bei Aktinien, und dann steigt — wie ich zeigte — der Tonus infolge der Exstirpation des regulierenden Ganglions einige Zeit nach der Operation spontan. Die Wartezeit stellt man durch Tasten fest: Einmal kürzere, einmal längere Pausen wählend, findet man bald genug den Punkt, an dem der Tonus spontan nicht mehr ab, aber auch noch nicht zunimmt. (Bei Aszidien genügen 5 Minuten.)

Will man nun einfach die tonische Reaktion beobachten, so löst man nach jener Wartezeit die Bremse, nachdem man an die Hebel die gewünschten Gewichte gehängt hat. Man erhält dann die beiden Entlastungskurven entweder unmittelbar oder liest zu gleichen Zeitpunkten die den relativen Längen entsprechenden Zahlen an einer weiter unten zu beschreibenden Skala ab.

Bei einer Reihe von Tieren (oder Muskelarten) genügt obiges Verfahren noch nicht. Sie erschlaffen nach der Einstellung so ausgiebig, dass bei Lösung der Bremse nicht nur ein viel zu grosses Stück der Schreibfläche (Skala) verloren geht, sondern der Hebel mit einem Ruck dergestalt fällt, dass die Zerrung als Reiz wirkt.

1) $\frac{1}{2}$ Minute mag genügen, eine ausgiebige Dehnung des Muskels darf unter keiner Bedingung eintreten, wenn man die Einwirkung niederen Gewichtes studieren will.

Wir müssen daher das Objekt nach Einstellung und Bremsung spannen. Zu diesem Zwecke haben wir lediglich beide Winden um das gleiche Stück anzuziehen. Die Winden tragen eine Einteilung, an denen man durch einen feststehenden Zeiger in Millimeter ablesen kann, um welche Strecke man die Objekte gespannt hat.

Überhaupt darf nicht vergessen werden: nach erfolgter Einstellung darf an keiner Winde etwas geändert werden, was nicht auch an der anderen geändert wird. Man tut gut, nach Einstellung den Stand der Winden aufzuschreiben, um jede unbeabsichtigte Verstellung unmittelbar wieder ausgleichen zu können.

Erfordert der Versuch ein Nacheinander, so ändert das naturgemäss nicht das allergeringste an der Technik; nur achte man darauf, dass die Zeitabschnitte zwischen Entnahme des Präparats, Hakenbefestigung und Einstellung jeweilig gleich sind.

2. Über die Technik zur Messung der Reizbarkeit und Kontraktilität (inbegriffen die Registrierung von rhythmischen Bewegungen, soweit quantitative Verhältnisse in Betracht kommen) ist nunmehr wenig zu sagen. Die Hauptsache ist, dass auch hier bei Einstellung der Objekte obige Vorschriften genau befolgt werden. Die Befestigung der Elektroden muss dauernd sein und gleichzeitig vor dem Versuch, am besten nach erfolgter Einstellung (und Bremsung) vorgenommen werden. Das wichtigste Moment ist: Reizen wir, während beide Hebel sich nicht in einigermaassen gleicher Lage (verglichen miteinander) befinden, so ist der Versuch wertlos! Denn jede Änderung in der relativen Verkürzung eines Tonusmuskels bedingt auch eine Änderung seiner Reizbarkeit. Die Hilfsmittel, den Zeigerstand gleich zu erhalten, sind mannigfach und haben sich den jeweiligen Umständen anzupassen. Verhältnismässig am geringsten sind die sich ergebenden Unterschiede im Hebelstande bei Anwendung geringer Belastung. Sind kleine Differenzen nicht zu vermeiden, so stelle man eine grosse Zahl von Versuchen an, um die Wahrscheinlichkeit zu vergrössern, einigermaassen vergleichbare Werte zu gewinnen. Aber ich wiederhole: keine Änderung an der Winde!

Während man bei Tonusversuchen als Ausgangspunkt den höchstmöglichen Hebelstand anwenden wird, tut man gut, bei Reizversuchen etwas tiefer einzustellen, doch ist zu bedenken, dass man auf alle Fälle das angewandte Gewicht erst eine Zeitlang

auf den Muskel wirken lassen, den Hebel also erst bis zu einer gewissen relativen Konstanz fallen lassen soll, bis man reizen darf. Es spielen sonst tonische Anpassungsreaktionen und Reizbarkeit durcheinander, Anlass zu Fehlern gebend.

Die Registrierung oder Ablesung.

Alle Reaktionen von Tonusmuskeln zeichnen sich durch Inanspruchnahme grosser Zeitdauer aus. Auf völligen Ablauf der Anpassungserscheinungen an höhere Last muss man häufig genug stundenlang warten. Ferner, und das scheint mir noch wichtiger zu sein, sind alle diese Reaktionen sehr ausgiebig, d. h. es dehnen sich die Muskeln um sehr beträchtliche Strecken. Da erhellt es ohne weiteres, dass wir mit den üblichen Registrierapparaten nicht weit kommen. Abgesehen von den durch die Länge der Dehnungsstrecke noch mehr als durch die Zeitdauer bedingten technischen Schwierigkeiten verliert die graphische Methode — unentbehrlich bei schnellen Reaktionen — an Bedeutung, ja an Übersichtlichkeit. So habe ich denn hinter den Hebeln je eine Skala anbringen lassen, welche die Winkelgrade des Hebelausschlages angeben. Hierdurch kann man nicht nur tonische Reaktionen, sondern auch Kontraktionshöhen ohne weiteres ablesen, was oft viel schneller zum Ziel führt als eine hier immerhin umständliche Aufnahme von Kurven, auf die man übrigens nicht zu verzichten braucht, denn die Skalen können leicht entfernt werden.

Weiterhin musste mit dem Umstande gerechnet werden, dass die Reaktionsgrösse verschiedener Muskelarten sehr ungleich sein kann, und um für alle Fälle gerüstet zu sein, musste das Verhältnis der beiden Hebelarme veränderlich sein; es ist variierbar von 1:6 bis 4:6. Diese Zahlen gelten jedoch nur, solange wir Winkelgrade messen. Denn, nehmen wir Kurven auf, so müssen wir in üblicher Weise die Zeiger noch mit einem Rohr nebst Schreibspitze versehen. Doch davon später.

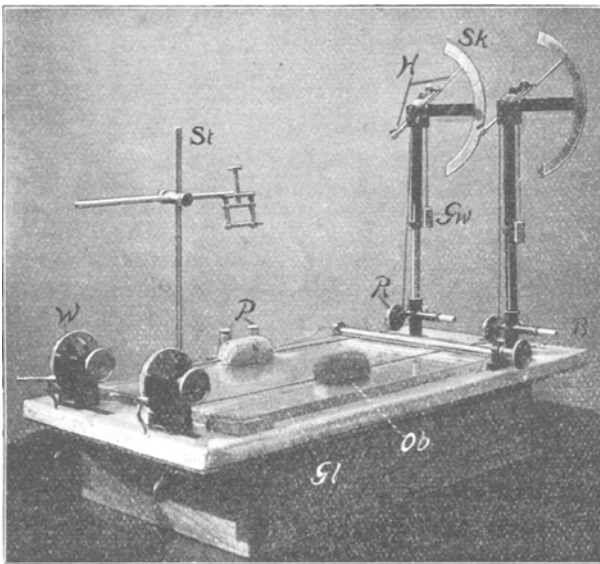
Der Apparat, den ich zur Verwirklichung obiger Prinzipien habe konstruieren lassen, wurde von Herrn Universitätsmechaniker E. Albrecht¹⁾ ausgeführt. Es sei mir auch an dieser Stelle ge-

1) Herr Universitätsmechaniker E. Albrecht, Tübingen fertigt den Apparat zum Preise von 120 M. an. Soll dieser an irgendeine Registriervorrichtung angebracht werden, so bedarf es eventuell einer entsprechenden Angabe.

stattet, genanntem Herrn meinen besten Dank für die freundliche Art auszudrücken, in der er meinen Wünschen mit Rat und Tat entgegenkam. Die hier reproduzierte Photographie verdanke ich gleichfalls Herrn Albrecht.

Beschreibung eines Apparates zur Messung und Registrierung der Reaktionen von Tonusmuskeln.

Ein durch einen Fuss erhöhtes, mit Blech überzogenes Brett von 36 cm Länge und 17 cm Breite trägt in der Mitte eine Glas-



W. = Winde. — St. = Hilfsständer. — Gl. = Glasplatte. — Ob. = Objekt. —
P. = Polköpfe. — R. = Rolle. — B. = Bremse. — H. = Hebel. —
Sk. = Skala. — Gw. = Gewicht.

platte, berufen, den Objekten als Tisch zu dienen. Diese Glasplatte ist derart auf dem Brett befestigt, dass zu ihren beiden, um die Längsausdehnung voneinander entfernten Enden eine Partie des Brettes frei bleibt, die mit Einschnitten versehen ist, in denen die eigentlichen Mess- und Einstellvorrichtungen eingeschraubt werden. Die Einschnitte sind in der kurzen Achse des Apparates langgestreckt und ermöglichen so eine seitliche Verschiebung aller Einzelvorrichtungen. Von diesen haben wir folgende zu unterscheiden:

1. Zu einer Seite der Glasplatte finden sich zwei gleiche,

selbständig gelagerte (und je in toto seitlich verschiebbare) Räder (Winden), die mit einem Handgriff gedreht werden können. Sie sind durch Zähne und in diese eingreifende Haken in der Richtung des Gewichtszuges gesperrt, natürlich so, dass die Sperrung willkürlich beseitigt werden kann. Die Räder sind mit einer Einteilung versehen, so dass man die Strecke, um die man einen mit dem einen Ende auf das Rad gewundenen Faden mit jenem anzieht, in Millimetern ablesen kann. Das Einstellen mit diesen Rädern wird dadurch noch erleichtert, dass die Zähne den genauen Abstand von 1 mm haben.

2. Auf der anderen Seite der Glasplatte befinden sich zwei Ständer, die ebenfalls seitlich verschiebbar sind. Unten tragen sie je eine Rolle, welche die horizontale Richtung der Bewegung, die der Muskel auf den Faden überträgt, der ihn mit dem Registrierhebel (Zeiger) verbindet, in eine vertikale Richtung verwandelt. Auf den Ständern ferner, vertikal verschiebbar, befindet sich je ein Hebel. Die Ständer sind nicht gleich hoch, vielmehr ist der höchste Stand des einen etwa gleich dem niedrigsten des anderen, so dass wir die Hebel sowohl untereinander (zum gleichzeitigen Kurvenschreiben) als nebeneinander¹⁾ benutzen können. Beide Hebel sind einander genau gleich und isotonisch, d. h. das belastende Gewicht befindet sich an einem Faden, der über eine auf der Hebelachse montierte Rolle läuft; der Zeiger-(Schreib-)Arm aber wird durch den Arm ausbalanciert, der zum Angriff des Muskels dient, und der, um diesen Ausgleich sicher und für alle Fälle zutreffend zu machen, mit einem Laufgewicht versehen ist. Der Angriffshebel trägt in regelmässigen Abständen Haken, um die Vergrösserung der Bewegung durch den Zeiger regulieren zu können. Soweit unterscheiden sich die Hebel durch nichts von den üblichen, auch eine Stellschraube zum (horizontalen) Andrücken an die berusste Fläche ist vorhanden. Hinter dem Hebel befindet sich je eine Skala, welche nach Winkelgraden²⁾ eingeteilt ist. Ich habe den Nullpunkt ganz unten anbringen lassen, oben also die grösste Zahl (13), ein Vorgehen, das sich durch das weiter oben Gesagte rechtfertigt. Zur Belastung dienen besondere Gewichte, die nach Bedarf angehängt werden können. An dem auf das Rädchen aufgewundenen Faden ist mit Hilfe seines haken-

1) In dieser letzteren Stellung bildet die Figur den Apparat ab.

2) Diese sind jedoch ihrerseits dezimal eingeteilt.

förmigen Endes ein Träger befestigt: ein steifer Draht, der unten eine Platte trägt, und alles in allem genau 1 g wiegt. Die Gewichte sind zylindrisch und alle vom gleichen Durchmesser, gleich dem der Basalplatte des Trägers. Die Gewichtszyylinder tragen alle einen seitlichen Einschnitt (d. h. in der Richtung der Achse oder Höhe verlaufend), in den der Draht des Trägers passt und der so tief ist, dass eben dieser Draht in der Achse des Zylinders zu liegen kommt. So kann man bequem eine grosse Zahl von Gewichten übereinander anhängen, um den gewünschten Belastungseffekt zu erzielen. Da das genannte Rädchen am Hebel doppelt ist, so können wir so Muskel als Gewicht an ihm arbeiten lassen (der Durchmesser des Rädchens ist $\frac{1}{6}$ der Hebellänge), und dann ist das Gewicht mit seinem vollen Betrage in Rechnung zu stellen, sonst mit $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$, wie sich das ja ganz von selbst versteht.

3. In der Nähe der Hebelständer, aber noch über der Glasplatte, befindet sich eine Vorrichtung, die beiden von den Muskeln zu den Hebeln laufenden Fäden festzulegen, zu bremsen. Quer über die Platte läuft ein Blechstreifen in der Form etwa eines Zylindermantels, die konvexe Seite der Glasplatte zugekehrt. Er wird durch zwei Federn derart von der Platte abgedrückt, dass er hoch genug über dieser sich befindet, um unter sich den Faden ungehindert hindurchzulassen. Über dem Blechstreifen befindet sich ein Exzenter, d. h. ein exzentrisch montierter, etwa halb zylindrischer Stab, dessen Längsachse parallel dem Blechstreif, also quer zum Apparat verläuft. Der Stab ist drehbar. Befindet sich die flachgefeilte, der Achse zunächst liegende Seite über dem Blechstreifen, so steht dieser hoch genug über der Glasplatte; um jedoch fest an diese angedrückt zu werden, wenn wir den Exzenter so drehen, dass seine konvexe exzentrisch vorragende Seite nach unten kommt. Der Blechstreifen befindet sich an beiden Enden in einer Führung.

4. Seitlich vom Grundbrett befindet sich ein Drahtbügel, das Brett, an dessen beiden Enden er eingelassen ist, auf seiner ganzen Länge begleitend. Auf diesem Bügel als auf einer Schiene läuft ein Ständer, über die ganze Länge des Bügels verschiebbar und übrigens abnehmbar. Der Ständer trägt einen beliebig zu verstellenden, mit einer Klammer versehenen Arm, der zur Aufnahme (Stütze) von Nebenapparaten wie Elektroden, Thermometer dient.

5. Seitlich von der Glasplatte, auf dem Grundbrett, etwa in der Mitte der Längsachse befinden sich auf einer Ebonitplatte isoliert

zwei Polköpfe. Sie sind berufen, die Drähte aufzunehmen, die vom Induktionsapparate kommen. Man kann mit diesen Polköpfen selbst zwei Stanniolstreifen festschrauben, auf die man (nach völliger Glättung) die zu reizenden Objekte legt; eine Methode, die sich sehr gut bewährt hat. Auch um auf andere Weise den Strom auf das Objekt zu übertragen, eignen sich die beiden Polklemmen.

Gebrauch des Apparates zur Aufnahme von Kurven.

Um einzelne Kurven aufzunehmen, bringt man nach Entfernung der Skala und Armierung des Zeigers mit einem Rohrhebel (und eventuell dessen Ausbalancierung) den Apparat an eine gewöhnliche Trommel. Bei den hierbei notwendigen Ein- und Umstellungen des Hebels notiere man die Werte, welche die Winde angibt, wenigstens wenn man Vergleichungsergebnisse anstrebt. Schwierigkeiten stellen sich ein:

1. wenn man tonische Reaktionen registrieren will. Vorab bedarf man eines sehr langsam sich bewegenden Zylinders. Sodann muss man eine sehr geringe Vergrößerung der Bewegung wählen (eventuell 4:6), da sonst bei vielen Objekten in keinem Falle die zu Gebote stehende Schreibfläche ausreicht. Ich habe mich zum Erzielen solch grosser Schreibfläche gelegentlich einer berussten Glas- tafelf bedient, die auf einem Mikrotomschlitten montiert, durch einen regulierten Elektromotor gezogen wurde. Für die meisten oder doch viele Fälle dürfte jedoch bei oben angegebener Gestalt beider Hebel der Zylinder hinreichen. Muss man dennoch zu irgendeiner Form der ebenen Schreibfläche seine Zuflucht nehmen, so verweise ich auf eine unten beschriebene weitere Anordnung.

2. Noch grössere Schwierigkeiten bietet die Aufnahme zweier zu vergleichender Kurven. Für viele Fälle werden die gebräuchlichen kleinen Zylinder nicht hoch genug sein, da die Hebel übereinander arbeiten müssen. Die an den modernen grossen Kymographien verwandten Trommeln reichen sicherlich oft hin. Es unterliegt keinem Zweifel, dass derartig übereinander aufgenommene Kurven sehr übersichtlich sind. Ich habe solche auch veröffentlicht, die ich mit gewöhnlichen Hebeln (starke Vergrößerung der Bewegung), wie angedeutet, auf einer Glastafel aufgezeichnet hatte¹⁾.

Trotzdem habe ich wenigstens an dem für mich konstruierten

1) Zeitschr. f. allg. Physiol. Bd. 7 S. 85—134. 1907. Vgl. Tafel 2.

Apparat davon Abstand genommen, eine Vorrichtung anbringen zu lassen, die ein unmittelbares Übereinander der Hebel erlaubt. An Stelle hiervon ist es möglich, die nebeneinander oder hintereinander stehenden Hebel so einzustellen, dass der eine höher steht als der andere.

Die Anordnung „neben- — übereinander“ setzt eine bewegte Fläche voraus, die man wohl am besten durch ein Kymographion mit zwei Zylindern auf dem Papierband ohne Ende erhält. Später trennt man beide Kurven dadurch, dass man das Papierband längs in zwei gleiche Teile zerschneidet, und klebt sie so aneinander, dass (markierte) gleiche Phasen untereinander kommen. Da einer der Hebel (wenn man nicht alles eigens konstruieren lassen will) ohne feste Unterlage lediglich auf gespanntem Papier schreiben muss, so bediene man sich als Schreibspitzen sogenannter „Stirnschreiber“ (natürlich um 90° gedreht in tangentialer Schreibung), die sich sehr gut etwaigen kleinen Unebenheiten anpassen.

Die Anordnung „hinter- — übereinander“, für die der Apparat gleichfalls eingerichtet ist, setzt voraus, dass der hintere Hebel (in diesem Falle aus Aluminium) ein horizontal um 90° gebogenes Knie hat. Die letztgenannte Methode dürfte für solche Fälle zu bevorzugen sein, bei denen die Zylinderfläche der geringen Hebelexkursion wegen genügt; dann nämlich würde ein Kymographion mit einem Zylinder ausreichen. Bezüglich der graphischen Methode will ich mich mit dieser Skizze begnügen.

Aus vielen Gründen beschränke ich mich in der Regel auf Skalenablesungen, da die Teile der Kurve, die man auf diese Weise nicht erhält, vorderhand (für meine Zwecke) bedeutungslos sind. Andererseits spart man mit der einfachen Ablesung viel Zeit.

Vor allen Dingen wird man in kleinen maritimen zoologischen Stationen, die für physiologische Versuche nicht eingerichtet zu sein pflegen (denn die Zoologen betreiben vorderhand noch kaum die physiologische Hälfte ihres Faches), froh sein, mit solch kleinem, leicht transportierbarem Apparat zu seinem Ziele kommen zu können. Dabei ist nach meinen Erfahrungen der Apparat hinreichend vielseitig, ja universell in der Verwendung und lässt sich auch für solche Muskel verwenden, die nicht als Tonusmuskeln anzusehen sind (z. B. der Medusen). Dass der Gebrauch der Vorrichtung nicht nur auf die Tonusmuskeln wirbelloser Tiere beschränkt sein wird, bedarf wohl extra keiner Versicherung.
