(AUS DEM ANATOMISCHEN INSTITUT ZU GREIFSWALD.)

ÜBER DIE
ELASTISCHEN EIGENSCHAFTEN

DES

ELASTISCHEN BINDEGEWEBES, DES FIBRILLÄREN BINDEGEWEBES UND
DER GLATTEN MUSKULATUR.

VON

HERMANN TRIEPEL,
GREIFSWALD.

Es scheint mir nötig zu sein, dass den physikalischen Eigenschaften der Gewebe eine grössere Beachtung geschenkt werde, als dies bisher der Fall gewesen ist. In ganz auffallender Weise ist die physikalische Betrachtungsart hinter der chemischen Betrachtungsart zurückgeblieben. So findet man in den grösseren Lehrbüchern der allgemeinen Anatomie in der Regel ziemlich ausführliche Angaben über das chemische Verhalten der Gewebe, über ihre physikalischen Eigenschaften aber meistens sehr wenig, und nur die Mitteilungen über Mechanik des Knochengewebes und über optische Erscheinungen bilden eine rühmliche Ausnahme. Bis zu einem gewissen Grade ist das erklärlich: wir besitzen eine Mikrochemie, wir besitzen aber keine Mikrophysik. Glücklicherweise ist aber die allgemeine Anatomie nicht ausschliesslich auf den Gebrauch des Mikroskopes angewiesen!

Befremdlich muss es vor allem erscheinen, dass bei dem elastischen Bindegewebe das physikalische Verhalten durchaus nicht gehörig gewürdigt wird, also bei einem Gewebe, durch dessen Namen man schon hat darauf hinweisen wollen, dass seine Bedeutung in erster Linie auf physikalischem Gebiete zu suchen ist. Meistens begnügt man sich mit der Bemerkung, dass das „elastische Gewebe“ sehr elastisch ist und darum seinen Namen bekommen hat, während man über sein chemisches Verhalten genug zu berichten weiss. Später wird sich noch Gelegenheit für mich finden, genauere Litteraturangaben zu machen. Es liegt mir ferne, die chemische Untersuchung des elastischen

Bindegewebes, besonders wenn sie von einem höheren Gesichtspunkte aus unternommen wird, herabzusetzen; doch scheint es mir näher zu liegen, bei einer Gewebsart, die, wie der Augenschein lehrt, dem lebenden Körper hauptsächlich durch ihre physikalischen Eigenschaften nützt, zuerst diese einer sorgfältigeren Prüfung zu unterziehen.

In der vorliegenden Arbeit habe ich es mir zur Aufgabe gesetzt, einen Beitrag zur Feststellung der elastischen Eigenschaften vor allem des elastischen Bindegewebes zu liefern. Die Notwendigkeit der folgenden Untersuchung ergab sich mir, als ich den Versuch machte, für die Anordnung des elastischen Bindegewebes in der Wand der grösseren Gehirnarterien eine Erklärung aufzustellen¹⁾. Damals ging ich davon aus, dass ich der elastischen Substanz besonders grosse und vollkommene Elastizität zuschrieb, wobei ich diese Wörter in demselben Sinne gebrauchte, in dem sie in den meisten anatomischen Lehrbüchern angewandt sind; jetzt, nachdem die folgende Untersuchung abgeschlossen ist, ergibt sich, dass die Ausführungen, die ich damals machte, in ihrer Form einzelne Änderungen erfahren müssen, wenn man sie mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit in allen Punkten in Einklang bringen will.

Es musste mir vor allen Dingen daran liegen, das Verhältnis festzustellen, in dem die elastischen Eigenschaften stehen, die den drei hauptsächlichsten Geweben der Gefässwand, dem fibrillären und dem elastischen Bindegewebe und der glatten Muskulatur, eigentümlich sind. Schon a priori lässt sich annehmen, dass die elastische Faser mit ihrer Elastizität etwa in der Mitte zwischen Bindegewebsfibrille und organischer Muskelfaser steht. Die genaueren Beziehungen lassen sich jedoch nur durch den Versuch ermitteln. Da nun über das fibrilläre Bindegewebe einzelne Versuche vorliegen, und da ich glaubte, dass glatte

¹⁾ Triepel, Das elastische Gewebe in der Wand der Arterien der Schädelhöhle. II. Teil. Anat. Hefte, I. Abt. XXII. Heft. (VII. Bd., 2. Heft). S. 204 ff., 1896.

Muskulatur von quergestreifter Muskulatur, die oft genug zu Dehnungsversuchen benutzt wurde, sich wenig unterscheiden würde, habe ich zuerst mein Hauptaugenmerk auf das elastische Bindegewebe gerichtet. Indessen zeigte sich bald, dass es nicht gerechtfertigt ist, von der quergestreiften Faser auf die Muskelzelle zu schliessen, sodass ich genötigt war, auch mit glatter Muskulatur eine grössere Reihe von Versuchen anzustellen. Endlich war es doch wünschenswert, mit Hülfe derselben Methode Dehnungsversuche auch an fibrillärem Bindegewebe vorzunehmen. Über die Untersuchungen werde ich im ersten Teile der vorliegenden Arbeit berichten, der zweite Teil ist für litterarische Erörterungen, sowie für einige Bemerkungen allgemeiner Natur über das elastische Bindegewebe bestimmt.

I.

Das Material zu den Dehnungsversuchen konnte nicht dem Menschen entnommen werden, da es möglichst frisch zur Untersuchung kommen musste.

Es sollten ferner die angewandten Teile so beschaffen sein, dass sie möglichst als Typen für fibrilläres (oder kollagenes) Bindegewebe, elastisches Bindegewebe und glatte Muskulatur gelten konnten. Es lag am nächsten, die Teile dem Rinde zu entnehmen, und zwar Nackenband, Sehnen und Muskelhaut des Darms. Inwieweit diese Objekte der gestellten Anforderung entsprechen, wird im einzelnen zu erörtern sein. Damit die Resultate vergleichbar wären, mussten die Gewebsstücke jedenfalls von derselben Tierspecies stammen.

Ich vermutete, dass die elastische Substanz in der Wand der Gehirnarterien, wo ich meine Befunde zuerst zu verwerten gedachte, beim Rind im Prinzip nicht anders verteilt wäre als

beim Menschen. Die mikroskopische Untersuchung hat nun freilich einige Unterschiede auffinden lassen, auf die ich bei anderer Gelegenheit eingehen werde. Indessen berührt dies die folgenden Untersuchungen nicht.

Zur Begründung der hier vertretenen Auffassung erscheint es mir geboten, an dieser Stelle einige Grundbegriffe aus der Elastizitätslehre kurz zu erläutern¹⁾.

Elastizität ist die in einem Körper durch einen Zwang wachgerufene innere Kraft, Dehnungselastizität im besonderen, um die es hier sich ausschliesslich handelt, ist die in einem Körper durch einen Zug wachgerufene innere Kraft. Ihre Grösse wird angegeben durch den Elastizitätsmodul E ; sein reziproker Wert ist der Elastizitätskoeffizient ε ²⁾. Es ist nämlich

$$E = \frac{\text{Kraft}}{\text{Veränderung}},$$

$$\varepsilon = \frac{\text{Veränderung}}{\text{Kraft}}.$$

Die Entstehung der Begriffe ε und E kann man sich folgendermassen denken. Man beobachtete bei Dehnungen, dass (innerhalb gewisser Grenzen) die Längenzunahme λ proportional der ursprünglichen Länge l und der Belastung P und umgekehrt proportional dem Querschnitt q war, also

$$\lambda = \varepsilon \cdot \frac{lP}{q},$$

wobei der konstante Koeffizient ε von der Natur des gebrauchten Materials abhing. Setzt man in dieser Formel l , P und $q = 1$, so ergibt sich $\varepsilon = \lambda$ für die Einheit der Länge und des

¹⁾ Vgl. hierzu F. Auerbach, in Winkelmanns Handb. der Physik, I. Bd., 1891, Art. Elastizität im allgemeinen, S. 214 ff. und Art. Zug und Druck, S. 237 ff.

²⁾ Französische Autoren bezeichnen den Modul als coefficient d'élasticité, unseren Elastizitätskoeffizienten als coefficient d'allongement.

Querschnittes des untersuchten Stückes und die Einheit des Gewichtes. Mit ε kann die Grösse der Ausdehnbarkeit bezeichnet werden. Diese ist nun umgekehrt proportional der Kraft der Elastizität, es ist:

$$E = \frac{1}{\varepsilon} = \frac{P}{\frac{\lambda}{l}q}$$

Wenn man hier $\lambda = l$ und $q = 1$ setzt, so ist $E = P$, d. h. gleich dem Gewichte, das das untersuchte Stück, wenn es die Einheit des Querschnittes besitzt, um seine eigene Länge ausdehnt, oder ausdehnen würde, wenn nicht vorher der untersuchte Körper zerrisse und wenn bis zur Erreichung der doppelten Länge Belastung und Ausdehnung proportional verliefen.

Streng genommen kann man von einem Elastizitätsmodul, d. h. einem bestimmten Werte, der einem Körper unter allen Verhältnissen zukommt und zu seiner Definition verwendet werden kann, nur bei vollkommen homogenen Körpern sprechen, und bei solchen Körpern, die dem Hooke'schen Gesetze folgen, bei denen also bis zur Grenze der Elastizität, bis Dehnungen bleibende Veränderungen zurücklassen, Spannung (oder Belastung) und Ausdehnung sich proportional bleiben. Nun sind aber organisierte Stoffe nichts weniger als homogen, und sie folgen auch nicht oder höchstens bei sehr geringen Belastungen dem Hooke'schen Gesetze. Die Beobachtung, dass bei tierischen Stoffen Belastung und Ausdehnung sich nicht proportional sind, geht, wie man gewöhnlich annimmt, auf W. Weber¹⁾ zurück und wurde durch die grundlegenden Versuche Wertheims²⁾

1) W. Weber, Über die Elastizität der Seidenfäden. Poggendorffs. Ann. Bd. 34, 1835, pag. 247.

Derselbe, Über die Elastizität fester Körper. Poggendorffs Ann. Bd. 54, 1841, p. 1.

2) Wertheim, Mémoire sur l'élasticité et la cohésion des principaux tissus du corps humain Ann. de chimie et de physique, III. S., T. 21, 1847, pag. 385.

sicher gestellt ¹⁾. Zwar äussert sich Wundt ²⁾ in entgegengesetztem Sinne, er wurde aber durch Volkmann ³⁾ widerlegt, und später gab er selbst ⁴⁾ eine mathematische Berechnung, aus der hervorgeht, dass nur bei sehr kleinen Veränderungen oder, was bei den meisten organisierten Körper dasselbe heisst, bei sehr kleinen Belastungen Proportionalität zwischen Ausdehnung und Belastung bestehen kann. Dass bei Geweben, die eine wahre Durchflechtung ihrer Elemente zeigen, wie man sie etwa bei der tierischen Cutis findet, das Gesetz der Proportionalität nicht gültig sein kann, wurde von Tresca ⁵⁾ bewiesen.

Aber trotzdem kann man, wie das von verschiedenen Autoren gethan wird, auch bei Stoffen, die dem Hooke'schen Gesetze nicht folgen, einen Elastizitätsmodul feststellen, der nur für verschiedene Dehnungen immer andere Werte annimmt. $E = \frac{1}{\lambda} \frac{P}{q}$

ist auch bei Geweben ein Mass der Elastizität und besagt, dass durch das Gewicht E die Länge eines Gewebstückes von 1 qmm Querschnitt verdoppelt würde, wenn die weitere Verlängerung der gerade beobachteten proportional wäre.

Der Elastizitätsmodul auch der Gewebe ist mit anderen Worten jedesmal das auf die Querschnittseinheit reduzierte Gewicht, dividiert durch die auf die Längeneinheit reduzierte Verlängerung. Er ist aber nicht konstant und könnte in Form einer Kurve hergestellt werden. Wenn man annimmt, dass, wie

¹⁾ Wie ich später zeigen werde, sind ähnliche Beobachtungen schon viel früher gemacht worden (s. u. S. 24).

²⁾ Wundt, Über die Elastizität feuchter organischer Gewebe. Müllers Arch. 1857. S. 298.

Derselbe, die Lehre von der Muskelbewegung. Braunschweig, 1858, S. 17 ff.

³⁾ Volkmann, A. W., Über die Elastizität der organischen Gewebe, Reichert und du Bois-Reymonds Arch., 1859, S. 293.

⁴⁾ Wundt, Über die Elastizität der organischen Gewebe, Zeitschr. f. rat. Med., 3. R., VIII. Bd. 1860, S. 267.

⁵⁾ Tresca, Théorie de la résistance des étoffes tissés à l'extension. Compt. rend. 95. Bd., 1882, pag. 1315.

mehrfach behauptet worden ist, die reduzierten Verlängerungen und Gewichte, den Gesetzen der Hyperbel folgen, so würde sich für den Elastizitätsmodul eine Kurve höherer (3.) Ordnung ergeben.

Einigemale ist die Dehnbarkeit einzelner Gewebe und Organe bestimmt worden, so zuerst von Ed. Weber¹⁾, später unter anderen von Bardeleben²⁾. Diese Forscher geben die Ausdehnbarkeit an als

$$\frac{L_1 - L}{\left(\frac{L_1 + L}{2}\right)(p_1 - p)} \quad \text{für} \quad \frac{p + p_1}{2},$$

wobei L und L_1 die Längen eines Gewebsstückes bei den Belastungen p und p_1 sind. Es ist offenbar, dass man mit Hülfe dieser Formel wohl die Veränderungen ermitteln kann, die die Ausdehnbarkeit eines und desselben Gewebsstückes bei Änderungen der Belastung erleidet, ja dass die Formel Werte liefert, die einen Vergleich der Ausdehnbarkeit verschiedener Gewebstücke bei derselben Belastung ermöglichen, vorausgesetzt, dass die verschiedenen Gewebstücke denselben Querschnitt haben. Es ist aber technisch nicht ausführbar, Teilen verschiedener Gewebe den gleichen Querschnitt zu geben. Ausserdem ist es von vornherein wahrscheinlich, dass die Ausdehnbarkeiten von Muskeln, elastischem Bindegewebe und Sehnengewebe erheblich von einander abweichen werden, und man wird daher den zu untersuchenden Stücken zweckmässigerweise verschiedenen Querschnitt geben, um, wenn irgend möglich, gleiche Belastungen anwenden zu können, ohne dass infolge zu geringfügiger Ausdehnungen die Genauigkeit der Beobachtung Einbusse erleidet.

Bei der Berechnung von E muss jedesmal von der anfänglichen Länge und dem anfangs vorhandenen Querschnitte

1) Ed. Weber, Art. Muskelbewegung in Wagners Handwb. d. Physiol. III, 2. 1846, S. 110.

2) Bardeleben, Über Venenelastizität. Jenaische Zeitschr. f. Naturw. Bd. 12, 1878, S. 37.

ausgegangen werden. Bei jeder Längsdehnung findet natürlich eine Verkleinerung des Querschnittes statt. Nun wäre es ja leicht, aus der Veränderung der Länge die Veränderung des Querschnittes zu berechnen, wenn das Volumen konstant bliebe. Das ist aber nicht der Fall: Zug erzeugt Volumenzunahme; das Verhältnis der Querschnittsverkleinerung zur Längsdehnung („Elastizitätszahl“) ist nicht auf theoretischem Wege zu bestimmen.

Bei der Längenänderung, die ein Körper durch Einwirkung einer äusseren Kraft erfährt, unterscheidet man drei Teile, nämlich die elastische Verschiebung, die momentan oder fast momentan eintritt, die elastische Nachwirkung, die sich im Anschluss daran entwickelt und langsam, während einer unbestimmten Zeitdauer abläuft, und die bleibende Änderung¹⁾. Nach dem Aufhören der Kraft beobachtet man wieder eine momentane Verschiebung und eine Nachwirkungsverschiebung, die bleibende Änderung wird nicht wieder ausgeglichen. Hierauf ist bei der Untersuchung Rücksicht zu nehmen, und bei der Bestimmung der elastischen Eigenschaften eines Gewebes handelt es sich nicht nur darum, die Grösse seiner Elastizitätsmodule, sondern auch darum, die Grösse und Geschwindigkeit der Nachwirkung zu bestimmen.

a) Elastisches Bindegewebe.

Bei der Herstellung der Stücke aus dem Nackenbande leistete mir ein Doppelmesser gute Dienste. Die starken Klingen dieses Messers sind 4,2 cm lang und 3 cm hoch, ihre Schneide ist fast halbkreisförmig gebogen, ihre Innenfläche plan geschliffen. Die eine Klinge ist mit dem Hefte fest verbunden und trägt in der Nähe des Rückens zwei seitlich vorstehende Stifte, worauf die

¹⁾ Vgl. Braun, Art., Elastische Nachwirkung in Winkelmanns Handb. d. Physik. Bd. I. 1891. S. 321.

an entsprechender Stelle durchbohrte zweite Klinge aufgesetzt wird, um festgeschraubt zu werden, nachdem zwischen die Klingen ein beliebig dickes Zwischenstück eingefügt worden ist. Mit dem Doppelmesser wurde aus dem strangförmigen Teile des Nackenbandes ein parallelepipedischer Streifen unter möglichst gleichmässigem Zuge herausgeschnitten, und davon wurde mit der Schere ein schmalerer Streifen von annähernd quadratischem Querschnitt abgetrennt. Es ist zu beachten, dass das dehnbare Nackenband beim Durchziehen des Messers nachgiebt, so dass der herausgeschnittene Streifen nicht genau dieselbe Breite bekommt wie das Zwischenstück des Messers. Ist der Zug nicht gleichmässig, so wird dann auch der Querschnitt des Streifens nicht in jeder Höhe gleich gross. Kleine Unregelmässigkeiten schaden übrigens nichts, denn es wird ein mittlerer Querschnitt aus Gewicht und spezifischem Gewicht bestimmt, und man kann annehmen, dass bei nur geringen Differenzen in den einzelnen Querschnitten die Ausdehnung des ganzen Stückes gleich ist der Summe der Ausdehnungen der einzelnen Längenelemente.

Zur Befestigung der Stücke habe ich folgenden Apparat benutzt. Auf einem horizontalen Fuss erheben sich senkrecht zwei parallel stehende Bretter, die je 42 cm hoch und 7 cm breit sind und einen Abstand von 16 cm von einander haben. Die Bretter sind am oberen Ende durch ein 2 cm starkes und etwa in der Mitte ihrer Höhe durch ein schwächeres Querbrett unter einander verbunden. In dem oberen Querbrett befindet sich in der Nähe der einen Seitenwand eine Öffnung vom Durchmesser eines qcm, und senkrecht unter dem Mittelpunkt dieser Öffnung ist in dem mittleren Querbrett ein Loch angebracht, das gerade gross genug ist, um einer dünnen Schnur den Durchtritt zu gestatten.

Durch die Öffnung in dem oberen Querbrett dieses Apparates wurde das zu untersuchende Stück aus dem Nackenbande hindurchgesteckt, und sein hervorstehendes Ende wurde zwischen

zwei starken, an ihrer Innenfläche unebenen Metallplatten festgeschraubt. Die Platten waren breiter als die obere Öffnung, so dass sie auf dem Querbrett aufliegen konnten; es befand sich somit die obere Grenze des untersuchten Abschnittes immer in gleicher Höhe mit der oberen Fläche des Querbrettes. Durch das untere Ende des Nackenbandstückes wurde ein scharfer Haken geführt, von dem aus ein Faden durch das Loch im mittleren Querbrett bis in die unterste Abteilung des Apparates reichte, wo er eine leichte, aus Holzspänen gefertigte Wagschale trug. Bei der bekannten Struktur des Nackenbandes, die so viele Verbindungen zwischen den einzelnen Fasern aufweist, war es nicht anzunehmen, dass der Haken bei mittleren Belastungen einreissen werde; somit fiel immer sein Scheitel mit der unteren Grenze des untersuchten Abschnittes zusammen. Mit dem Haken hatte ich eine kurze, auf ihm senkrecht stehende Nadel fest verbunden.

Die Messung nahm ich nun in der Weise vor, dass ich die Nadel auf einer berussten Tafel, die in senkrechter Stellung auf dem mittleren Querbrett leicht verschoben werden konnte, die beobachteten Längen aufschreiben liess. Die obere Grenze des untersuchten Gewebstückes bez. die Höhe des oberen Querbrettes wurde ausserdem in geeigneter Weise angegeben. Die Masse wurden nachträglich an einem verjüngten Massstabe abgelesen.

Die graphische Methode steht in Bezug auf Genauigkeit hinter der Messung mit Hülfe des Kathetometers zurück, ebenso hinter dem direkten Ablesen einer Skalenverschiebung mit dem Mikroskop. Doch andererseits kommen der graphischen Methode ganz erhebliche Vorteile zu: man hat die Möglichkeit, die von den untersuchten Objekten selbst geschriebenen Protokolle aufzuheben, man kann die Messung zu beliebiger Zeit nach dem Versuche vornehmen, wodurch grössere Objektivität gesichert ist, und es wird vor allem, was gerade hier besonders ins Ge-

wicht fällt, für den einzelnen Versuch bedeutend weniger Zeit als bei anderen Methoden gebraucht. Das von mir befolgte Verfahren gestattete freilich nur eine Längenbestimmung mit einer Genauigkeit von 0,1 mm; es wird sich aber zeigen, dass diese Genauigkeit für die verfolgten Zwecke vollkommen ausreicht. Von dem Aufschreiben auf einer rotierenden Trommel sah ich ab, um dem Fehler der Reibung auszuweichen, die durch dauernde Berührung der Schreibfeder mit der Trommel entstehen musste.

Seitliche Schwankungen des Objectes wurden durch den Faden, der durch das Loch im mittleren Querbrett des Apparates hindurchtrat, verhindert, und es war beim Markieren nur eine geringe Torsion möglich; Torsionen, selbst bedeutende, haben aber, wie von Braun¹⁾ (für Seide und Kautschuk) festgestellt wurde, auf elastische Längenänderungen keinen Einfluss.

Wenn ich glaube, dass eine Genauigkeit der Längenmessung von 0,1 mm genüge, so beruht das darauf, dass wir bei den meisten tierischen Geweben überhaupt auf eine so weitgehende Genauigkeit, wie sie dem Physiker bei der Untersuchung der Elastizität von Metallen, Glas, Hölzern möglich ist, verzichten müssen. Die erste Schwierigkeit bei der Untersuchung tierischer Gewebe liegt in der Gefahr der Austrocknung. Wir wissen durch Wertheims²⁾ Versuche, dass bei Austrocknung der Elastizitätsmodul sich erhöht. Wundt³⁾ hat, um die Austrocknung zu verhüten, die untersuchten Gewebe in einem gewissen Abstände mit einer wasserdurchtränkten Fliesspapierhülle umgeben; eine solche Vorrichtung wäre indessen bei Anwendung der graphischen Methode störend. Volkmann⁴⁾ umgab seine

1) Braun, Über die Natur der elastischen Nachwirkung. Poggend. Ann. 159. Bd., 1876, S. 354 u. S. 368—372.

2) Wertheim, l. c., S. 396.

3) Wundt, l. c. (in Müllers Arch. 1857), S. 303.

4) Volkmann, l. c., S. 303 u. 304.

Versuchsobjekte unmittelbar mit nassen Baumwollfäden, die mit dem oberen Ende des Gewebstückes zugleich befestigt waren; Reibung und Adhäsion lassen dieses Verfahren als nicht einwandfrei erscheinen. Da meine Versuchsreihen meistens nicht länger als eine Viertelstunde dauerten, so nahm ich in der Regel auf die Austrocknung keine Rücksicht, in der Voraussetzung, dass ihr Einfluss in so kurzer Zeit sich noch nicht merklich geltend machen würde. In einigen Fällen allerdings habe ich durch mehrmaliges sanftes Betupfen mit 0,6 proc. Kochsalzlösung die Oberfläche der Gewebstücke feucht zu erhalten gesucht. Ich werde das bei Wiedergabe der Rechnungsergebnisse besonders anführen, die Fälle unterscheiden sich übrigens nicht von den anderen.

Eine zweite Schwierigkeit liegt in den Veränderungen, die die Gewebe sehr bald nach dem Tode erleiden. Es muss natürlich unser Bestreben sein, die elastischen Eigenschaften der Gewebe des lebenden Tieres kennen zu lernen, und diese Eigenschaften sind, wenn man auf die Untersuchung nach dem Tode des Tieres angewiesen ist, überhaupt nicht mit Sicherheit zu ermitteln. Die Genauigkeit wird um so grösser, je früher die Versuche angestellt werden; meine Versuche fielen in die ersten Stunden (1 bis ca. 4 Stunden) nach dem Tode. Da postmortale Veränderungen der Gewebe sehr schnell eintreten, so ist eine kurze Dauer der Versuchsreihen jedenfalls vorteilhaft und lässt hoffen, dass innerhalb der zu einer Reihe gehörenden Versuche die Elastizität des untersuchten Gewebes sich gleich geblieben ist. Wenn wir die im lebenden Tiere bestehenden Verhältnisse nachahmen wollten, so müssten wir die Versuche auch bei der Temperatur des tierischen Körpers anstellen, ganz zu geschweigen von der Herstellung einer künstlichen Blutcirkulation. Die Erhöhung der Temperatur würde wieder einen anderen Fehler, nämlich den der Austrocknung begünstigen, wenn wir nicht in einer mit Feuchtigkeit gesättigten Luft arbeiten.

Die Verallgemeinerung der am Nackenbande gefundenen Resultate und ihre Übertragung auf reine elastische Substanz ist nicht ohne weiteres gestattet. Denn es enthält ja das Nackenband ausser dieser noch Gefässe, kollagene Fasern und Bindegewebszellen. Die elastischen Fasern überwiegen aber die anderen Bestandteile erheblich an Masse, sie selbst und ihre zahlreichen schrägverlaufenden Anastomosen haben in der Hauptsache die Richtung des angewandten Zuges, und überhaupt verleihen sie dem Nackenbande seinen ganzen Charakter. Man beginge somit sicher nur einen geringen Fehler, wenn man die gefundenen Resultate auf reine elastische Substanz übertrüge.

Die grösste Schwierigkeit bereitet bei der Bestimmung des Elastizitätsmoduls die elastische Nachwirkung. Es fragt sich überhaupt, ob man zur Berechnung von E nur die durch die elastische Verschiebung oder auch die durch die Nachwirkung herbeigeführte Längenänderung benutzen soll. Von Braun¹⁾ ist es wahrscheinlich gemacht, dass die Nachwirkung auf einer anderen Form der Molekularbewegung beruht als die Verschiebung. Sie ist also prinzipiell von ihr zu trennen, und man ist berechtigt, E ausschliesslich als die der Verschiebung entgegenwirkende Kraft zu berechnen. Bei solchen Körpern, bei denen die Nachwirkung sehr klein ist und mit einer sehr geringen Geschwindigkeit abläuft, lässt sich, wie man ohne merklichen Fehler annehmen kann, die Verschiebung unmittelbar beobachten. Aber bei Geweben ist die Nachwirkung grösser und schliesst sich ohne bemerkbare Grenze an die Verschiebung an, und diese zu messen, ist überhaupt unmöglich. Volkmann²⁾ liess den ganzen Vorgang der Längenänderung belasteter Muskeln graphisch wiedergeben und glaubte den Ort, an dem die primäre Änderung eingetreten ist, dort zu finden, wo die gezeichnete Kurve zum erstenmale die grösste Steilheit des Abfalls zeigte; thatsächlich

1) Braun, l. c. (in Poggend. Ann. 1876), S. 237 ff.

2) Volkmann, l. c., S. 296—298.

war es aber ihm nicht möglich, diesen Ort mit Sicherheit zu bestimmen.

Von ganz anderen Gesichtspunkten ging Wundt¹⁾ aus, er legte das Hauptgewicht auf die endliche Verlängerung, die er erreichte. Die endliche Verlängerung zur Bestimmung von E heranzuziehen wäre aber sicher unzweckmässig. Denn erstens kommt es hauptsächlich darauf an, den Widerstand zu messen, der einer nur kurze Zeit einwirkenden Gewalt entgegengesetzt wird. Und zweitens müsste ich, wenn ich die gesamte Nachwirkung abwarten wollte, vor einer einzigen Messung unter Umständen sehr lange Zeit vergehen lassen²⁾, und es wäre möglich, dass in dieser Zeit postmortale Veränderungen sich geltend machten, die die Elastizität des untersuchten Gewebes veränderten.

Es bleibt also nichts anderes übrig, als eine beliebige Länge, die während der Nachwirkung erreicht wird, zur Messung herauszugreifen. Es nützt nach Wundt³⁾ nicht einmal etwas, wenn man die Zeiten, die zwischen Belastung und Messung verfließen, gleich macht, denn die Geschwindigkeit der Nachwirkung ist bei verschiedenen Belastungen verschieden. Das Verfahren ist daher so ziemlich der Willkür anheimgestellt. Ich habe bei meinen Versuchen über die Grösse des Elastizitätsmoduls immer dann die Länge markiert, wenn eine grob sinnfällige Längenänderung nicht mehr eintrat, wenn also der erste mit der grössten Geschwindigkeit ablaufende Teil der Nachwirkung vorüber war.

Wundt⁴⁾ verlangt sodann, man solle nicht „successiv“ belasten, sondern solle nach jeder Belastung wieder entlasten und

1) Wundt, l. c. (in Müllers Archiv, 1857), S. 303.

2) Bei einem Seidenfaden war in einem Versuche Knoblauchs nach mehreren Monaten die definitive Dehnung noch nicht erreicht. Nach Volkmann, l. c., S. 311.

3) Wundt, l. c. (in Müllers Arch. 1857), S. 304 u. l. c. (in Zeitschr. f. rat. Med. 1860), S. 269 u. 270.

4) Wundt, l. c. (in Müllers Arch. 1857), S. 305.

warten bis die erste Länge wieder erreicht ist. Denn es habe eine schon bestehende Belastung auf den Ablauf der Nachwirkung, die im Gefolge einer Mehrbelastung eintritt, einen verzögernden Einfluss. Hinzufügen möchte ich noch, dass, wenn bei den ersten Messungen das Ende der Nachwirkung nicht abgewartet wird, man später immer noch Teile der auf die früheren Belastungen zurückzuführenden Nachwirkungen mitmisst. Wenn ich indessen jedesmal nach der Messung entlasten und warten wollte, bis die Verkürzungsnachwirkung abgelaufen ist, so wäre es zweifelhaft, ob ich in der für eine Versuchsreihe festgesetzten Zeit überhaupt mehr als einen Versuch machen könnte. Hiervon werde ich später noch Gelegenheit haben zu sprechen.

Ich glanze zur Genüge gezeigt zu haben, dass man bei tierischen Geweben den Elastizitätsmodul bzw. die für verschiedene Ausdehnungen geltenden Elastizitätsmodule nie mit absoluter Genauigkeit, sondern immer nur annäherungsweise bestimmen kann.

Die Versuche (auch die später unter b und c beschriebenen) wurden sämtlich bei einer Zimmertemperatur von 13—15° R. ausgeführt.

Bei den ersten Versuchen, die ich zur Bestimmung von E beim Nackenband anstellte, belastete ich successiv, d. h. ich entlastete nicht jedesmal zwischen zwei einzelnen Beobachtungen.

Es sei im folgenden immer

p = Eigengewicht des untersuchten Gewebsabschnittes (in g)

$\mathfrak{P}$ = halbes Eigengewicht desselben + Gewicht des angehängten Hakens und der Wagschale¹⁾ (in g),

P = aufgelegte Belastung (in g),

s = spezifisches Gewicht,

l = Länge des untersuchten Abschnittes (in mm),

q = Querschnitt desselben (in qmm),

¹⁾ $\mathfrak{P}$ ist also die Last, die konstant das untersuchte Stück zu verlängern strebt. Vgl. dazu Auerbach, l. c., S. 243.

λ = Längenzunahme (in mm),

$v = \frac{\lambda}{l}$ = Verlängerung der Längeneinheit,

E = Elastizitätsmodul (in kg).

Nach den Bestimmungen von Krause und Fischer¹⁾ ist für das Nackenband des Rindes $s = 1,1219$ zu setzen. E musste sein, da P in Gramm angegeben ist,

$$= \frac{1}{\lambda q} \cdot \frac{P}{1000}.$$

Da p in Grammen und l in Millimetern gemessen wurde, und da q Quadratmillimeter bedeutet, so berechnet sich

$$q = \frac{1000}{l} \frac{p}{s} \text{ und}$$

$$E = \frac{1}{10^6} \frac{s}{p} \cdot \frac{P}{\lambda}$$

1. Versuchsreihe²⁾.

Nackenband. $p = 0,510$, $\mathfrak{P} = 2,925$.

P	l	λ	v	E
0	71,1			
5	73,1	2,0	0,028	0,028
10	74,0	2,9	0,041	0,038
15	75,3	4,2	0,059	0,040
20	76,2	5,1	0,072	0,044
25	76,8	5,7	0,080	0,049
30	77,7	6,6	0,093	0,051
35	78,7	7,6	0,107	0,051
40	79,7	8,6	0,121	0,052
45	80,3	9,2	0,129	0,054

1) Krause und Fischer, Neue Bestimmungen der spezifischen Gewichte von Organen und Geweben. Zeitschr. f. rat. Med. 3. R. 26. Bd. 1866, S. 331.

2) Die Nummern der Versuchsreihen bezeichnen ihre zeitliche Reihenfolge.

P	l	λ	v	E
50	81,2	10,1	0,142	0,055
55	81,9	10,8	0,152	0,057
100	89,0	17,9	0,252	0,062
110	91,9	20,8	0,293	0,059
120	94,2	23,1	0,325	0,058
130	95,8	24,7	0,347	0,059
140	97,6	26,5	0,373	0,059
150	99,1	28,0	0,394	0,060

5. Versuchsreihe.

Nackenband. $p = 0,655$. $\mathfrak{P} = 2,578$

P	l	λ	v	E
0	89,5			
5	91,0	1,5	0,017	0,046
10	92,4	2,9	0,032	0,047
15	93,7	4,2	0,047	0,049
20	95,2	5,7	0,064	0,048
25	96,4	6,9	0,077	0,050
30	97,3	7,8	0,087	0,053
35	98,3	8,8	0,098	0,055
40	99,4	9,9	0,111	0,055
45	100,5	11,0	0,123	0,056
50	101,7	12,2	0,136	0,056
100	112,1	22,6	0,253	0,061
200	130,2	40,7	0,455	0,067
300	143,2	53,7	0,600	0,077

9. Versuchsreihe.

Nackenband. $p = 0,480$. $\mathfrak{P} = 2,490$.

P	l	λ	v	E
0	96,3			
5	99,1	2,8	0,029	0,039
10	101,8	5,5	0,057	0,039
15	104,5	8,2	0,085	0,040

P	l	λ	v	E
20	106,4	10,1	0,105	0,043
25	108,5	12,2	0,127	0,044
30	110,8	14,5	0,151	0,045
35	113,3	17,0	0,177	0,045
40	115,2	18,9	0,196	0,046
45	116,4	20,1	0,209	0,049
50	118,8	22,5	0,234	0,048
55	119,9	23,6	0,245	0,051
60	121,7	25,4	0,264	0,051
65	123,1	26,8	0,278	0,053
70	125,6	29,3	0,304	0,052
75	126,5	30,2	0,314	0,054
80	128,3	32,0	0,332	0,054
85	129,2	32,9	0,342	0,056
90	130,1	33,8	0,351	0,058
95	130,7	34,4	0,357	0,060
100	132,8	36,5	0,379	0,059
110	133,7	37,4	0,388	0,064
120	135,7	39,4	0,409	0,066
130	137,5	41,2	0,428	0,068
140	140,0	43,7	0,454	0,069
150	141,8	45,5	0,473	0,071
160	142,8	46,5	0,483	0,075
170	144,9	48,6	0,505	0,076
180	146,2	49,9	0,518	0,078
190	147,7	51,4	0,534	0,080
200	150,7	54,4	0,565	0,080
0	104,8			

10. Versuchsreihe.

Nackenband. $p = 0,300$. $\mathfrak{P} = 2,820$.

P	l	λ	v	E
0	75,7			
5	78,5	2,8	0,037	0,038
10	81,2	5,5	0,073	0,039
15	83,2	7,5	0,099	0,043
20	85,7	10,0	0,132	0,043

P	l	λ	v	E
25	87,3	11,6	0,153	0,046
30	89,1	13,4	0,177	0,048
35	90,8	15,1	0,200	0,050
40	93,2	17,5	0,231	0,049
45	94,5	18,8	0,248	0,051
50	96,5	20,8	0,275	0,052
55	97,6	21,9	0,289	0,054
60	99,1	23,4	0,309	0,055
65	100,3	24,6	0,325	0,057
70	102,1	26,4	0,349	0,057
75	102,8	27,1	0,358	0,059
80	105,4	29,7	0,392	0,058
85	105,8	30,1	0,398	0,061
90	107,3	31,6	0,417	0,061
95	107,8	32,1	0,424	0,063

14. Versuchsreihe.

Nackenband. $p = 0,840$. $\mathfrak{P} = 2,715$.

P	l	λ	v	E
0	96,4			
5	97,3	0,9	0,009	0,069
10	98,2	1,8	0,019	0,069
15	99,1	2,7	0,028	0,069
20	100,5	4,1	0,043	0,061
25	101,3	4,9	0,051	0,063
30	102,4	6,0	0,062	0,062
35	103,2	6,8	0,071	0,064
40	104,8	8,4	0,087	0,059
45	105,4	9,0	0,093	0,062
50	106,3	9,9	0,103	0,063
55	106,3 ¹⁾	9,9	0,103	0,069
60	107,0	10,6	0,110	0,070

1) Vor der Belastung mit 55 g war (aus Versehen) für kurze Zeit entlastet worden. Darauf wird es zurückzuführen sein, dass eine verhältnissmässig zu geringe Länge erreicht wurde.

P	l	λ	v	E
65	108,2	11,8	0,122	0,068
70	108,6	12,2	0,127	0,071
75	110,3	13,9	0,144	0,067
80	110,8	14,4	0,149	0,069
85	111,8	15,4	0,160	0,069
90	112,2	15,8	0,164	0,071
95	113,1	16,7	0,173	0,071
100	113,8	17,4	0,181	0,071
105	114,8	18,4	0,191	0,071
110	115,3	18,9	0,196	0,072
115	116,7	20,3	0,211	0,070
120	117,0	20,6	0,214	0,072
125	118,3	21,9	0,227	0,071
130	118,6	22,2	0,230	0,073
135	118,9	22,5	0,233	0,074
140	119,4	23,0	0,239	0,076
145	120,2	23,8	0,247	0,076
150	120,8	24,4	0,253	0,076
155	121,9	25,5	0,265	0,075
160	122,9	26,5	0,275	0,075
165	123,2	26,8	0,278	0,076
170	124,0	27,6	0,286	0,076
175	125,2	28,8	0,299	0,075
180	125,6	29,2	0,303	0,077
185	125,8	29,4	0,305	0,078
190	126,5	30,1	0,312	0,078
195	126,9	30,5	0,316	0,079
200	128,4	32,0	0,332	0,078
0	101,8			

Es ergibt sich aus den mitgeteilten Versuchen, dass E nicht konstant bleibt, sondern bei Anwendung verschiedener Belastungen innerhalb ziemlich weiter Grenzen schwankt. Und zwar bekommen wir bei höheren Belastungen oder was damit parallel geht, bei grösseren Verlängerungen ein grösseres E. Ist dieses Resultat auf die Versuchsanordnung zurückzuführen?

Es wäre zuerst zu überlegen, ob die Änderung von E vielleicht damit zusammenhängt, dass „successiv“ belastet wor-

den ist. Es ist offenbar, dass die einzelnen für λ gewonnenen Werte sich nicht vollkommen gleichwertig sind. Schon beim Auflegen der ersten Belastung muss, streng genommen, noch eine Nachwirkung im Gange sein. Denn das untersuchte Stück ist von vornherein durch sein halbes Eigengewicht und das Gewicht des Hakens und der Wagschale beschwert. Sieht man hiervon ab, so wird bei der ersten Messung berücksichtigt die erste momentane Verschiebung und ein Teil der ersten Nachwirkung. Bei der zweiten Messung werden berücksichtigt diese beiden Grössen, vermehrt um die zweite momentane Verschiebung und einen Teil der zweiten Nachwirkung und vermehrt um einen weiteren Teil der ersten Nachwirkung. Denn die im Gefolge der ersten Belastung sich einstellende Nachwirkung hört beim Auflegen des zweiten Gewichtes nicht auf, und wahrscheinlich dauert sie nicht nur während der zweiten, sondern während aller folgenden Belastungen fort, wenn sie auch beim Nackenbande, wie sich später zeigen wird, sehr bald verschwindend kleine Werte annimmt. Bei der dritten Belastung wirkt dann auch die von der zweiten herstammende Nachwirkung noch fort u. s. w. Es würde daraus folgen, dass bei den höheren Belastungen λ wahrscheinlich verhältnismässig zu hoch angenommen wurde, und E also eher noch zu kleine als zu grosse Werte bekommen hat.

Doch muss hinzugefügt werden, dass die Abweichungen von den wahren Werten von E nicht gross sein können. Denn einmal war die Zeit, zu der die erste Längenzunahme markiert wurde, so gewählt, dass schon ein recht ansehnlicher Teil der ersten Nachwirkung abgelaufen war, und ausserdem ist es nach den vorhin angezogenen Ausführungen Wundts wahrscheinlich, dass beim successiven Belasten die Nachwirkungen, die von den später aufgelegten Gewichten herrühren, langsamer ablaufen als die, die sich bei den ersten Belastungen zeigen, so dass für die grobsinnliche Wahrnehmung in den späteren Fällen

die Verlängerung verhältnismässig eher aufzuhören scheint, was das Anlegen der Marke beeinflussen musste.

Dass der Elastizitätsmodul bei grösseren Dehnungen höhere Werte annimmt, könnte aber vielleicht daran liegen, dass die untersuchten Stücke dem Vertrocknen ausgesetzt waren, und, wie schon bemerkt, wissen wir, dass die Austrocknung der Gewebe eine Erhöhung des Moduls im Gefolge hat. Indessen konnte bei der kurzen Dauer der einzelnen Versuchsreihen eine wesentliche Austrocknung nicht stattfinden oder höchstens die äussersten Teile des Nackenbandstreifens betreffen, was bei einem Querschnitte des Streifens von immer mehreren qmm kaum in Betracht kommt. Um den möglichen Einwurf vollkommen zu entkräften, weise ich auf die Versuchsreihen 16 und 22 hin, die ich später in anderem Zusammenhange mitteilen werde; auch hier bekam, obgleich der Möglichkeit der Austrocknung durch Betupfen mit physiologischer Kochsalzlösung vorgebeugt wurde, bei den höheren Belastungen der Elastizitätsmodul einen höheren Wert.

Wir können also als feststehend annehmen, dass das Nackenband sich ebenso verhält wie andere tierische Gewebe, insofern als sein Elastizitätsmodul mit Zunahme der Belastung steigt.

Es wird, wie ich an dieser Stelle am besten einfügen kann, allgemein angenommen, dass das Gesetz von der Inkonstanz des Moduls bei organisierten Körpern auf W. Weber und Wertheim zurückgeht. Allein die Beobachtung, dass bei Geweben Belastung und Ausdehnung einander nicht proportional sind, ist schon viel früher, ungefähr hundert Jahre vor den Arbeiten der genannten Forscher gemacht worden, wahrscheinlich zuerst von Sauvages. Haller¹⁾ führt hierher gehörende Versuche an, für die er als Gewährsmann Sauvages²⁾ citiert;

¹⁾ Haller, *Elementa physiologiae corporis humani*. Tom. IV., Lausannae, 1762, S. 440 u. 441.

²⁾ Sauvages de la Croix, *Theoria tumorum*. Monspeliensis, 1753, S. 7 und 8. Das Werk selbst war nicht zugänglich.

es heisst z. B. bei Haller: „ . . . ut a tanto pondere extensa“ (sc. fibra musica a centum libris) „omnino maiori vi egeat, si ultra extendere velis“ und weiterhin: „lorum cutis a pondere simplici ad quatuor lineas: a duplo per septem, a triplo per novem lineas, extensum est“. Das besagt, allgemein ausgedrückt, dass die Belastung schneller zunimmt als die Ausdehnung.

Es ist nun natürlich, dass für die absolute Grösse des jeweils gefundenen Moduls nicht die Belastung ausschlaggebend ist, sondern dass zu dieser der Querschnitt des untersuchten Stückes hinzukommt. Man wird bei verschiedenen Stücken und bei gleichen Belastungen in der Regel keine gleichen Module finden, sondern nur dann, wenn die durch die Querschnitte dividierten Belastungen einander gleich sind. Denn in diesem Falle wird man auch gleiche Verlängerungen $\left(\frac{\lambda}{l}\right)$ haben, und offenbar hängt die Grösse des Moduls von den Dehnungen ab, d. h. von der Grösse der Lageänderungen, die die einzelnen Moleküle erfahren. Bevor ich die Elastizitätsmodule nach dem Werte v geordnet zusammenstelle, möchte ich noch einige andere Versuchsreihen besprechen.

Es musste mir daran gelegen sein, zu beobachten, wie sich Stücke aus dem Nackenbande verhielten, wenn ich nicht successiv, durch Zulegen neuer Gewichte, belastete, sondern vor dem Auflegen eines neuen Gewichtes immer erst wieder entlastete. Das Resultat zeigt die folgende Tabelle. Bevor ich nach jeder Entlastung die Länge aufzeichnen liess, wartete ich annähernd ebensolange wie zwischen Belastung und Markieren.

22. Versuchsreihe.

Nackenband. $p = 0,770$. $\beta = 2,735$.

Anfeuchtung mit Kochsalzlösung.

P	l	λ	v	E
0	122,6			
5	124,9	2,3	0,019	0,048
0	122,5			
10	126,0	3,4	0,028	0,064
0	122,3			
20	(128,3) ¹⁾	5,7	0,046	0,077
0	122,0			
30	131,1	8,5	0,069	0,077
0	121,3			
40	134,3	11,7	0,095	0,075
0	120,9			

Es zeigt sich nun hier die merkwürdige Thatsache, dass nach Wegnahme der Belastung das untersuchte Stück auf eine kürzere Länge zurückgeht, als ihm vor der Belastung zukam! Und je grösser die Belastung war, um so grösser ist der Rückgang. Ich dachte, ich würde die Erscheinung vielleicht vermeiden können, wenn ich mit grösseren Gewichten begänne und von diesen zu kleineren überginge. In dieser Annahme wurden die beiden nächsten Versuchsreihen angestellt.

23. Versuchsreihe.

Nackenband. $p = 0,370$. $\beta = 2,535$.

P	l	λ	v	E
0	87,6			
50	111,3	23,7	0,271	0,049
0	88,5			
40	107,2			

¹⁾ Die eingeklammerten Zahlen sind wegen undeutlicher Markierung unsicher.

P	l	λ	v	E
0	88,2			
30	101,9			
0	87,5			
20	97,3	9,7	0,111	0,048
0	87,3			
10	92,1	4,5	0,051	0,052
0	87,0			

24. Versuchsreihe.

Nackenband. $p = 0,265$. $\mathfrak{p} = 2,903$.

P	l	λ	v	E
0	65,6			
20	72,5	6,9	0,105	0,053
0	66,5			
10	69,1			
0	66,4			
5	67,5			
0	65,9			
3	66,5			
0	65,6			
2	65,9			
0	65,3			

In beiden Reihen wurde nach Wegnahme der ersten Belastungen die ursprüngliche Länge während der Beobachtungszeit noch nicht wieder erreicht, eine Verkürzung über die Anfangslänge hinaus trat erst später ein, in der 24. Versuchsreihe erst am Schluss; ganz vermisst wurde sie also doch in keinem der beiden Fälle.

Wie erklärt sich nun diese übermässige Verkürzung?

Die Längenabnahme nach der Entfernung des Gewichtes setzt sich, ebenso wie die Ausdehnung nach der Belastung, aus

momentaner Verschiebung und Nachwirkungsverschiebung zusammen. Da in den letzten beiden Versuchsreihen die erste Belastung grösser war als in der 22. Reihe, so nimmt auch die Nachwirkungsverkürzung eine längere Zeit in Anspruch, und die Marke wurde gemacht, bevor die Nachwirkung vollendet war. Hätte ich länger gewartet, so wäre vielleicht das untersuchte Stück ebenso wie in der 22. Reihe kürzer geworden als es ursprünglich war. Unverständlich aber bleibt es dann, warum in der 22. Reihe auch nach Wegnahme der grossen Belastungen, und sogar in besonders hohem Grade, die übermässige Verkürzung eintritt. Man wird zu der Annahme gedrängt, dass der Zustand der untersuchten Stücke in den einzelnen Versuchsreihen von einander abwich. Man könnte an die Möglichkeit denken, die übermässige Verkürzung sei durch eine Erhöhung des Elastizitätsmoduls bedingt, die während der Belastung infolge von Austrocknung eintrat. Aber gerade in der so charakteristischen 22. Versuchsreihe war der Möglichkeit des Austrocknens durch Betupfen mit Kochsalzlösung vorgebeugt.

Die übermässige Verkürzung kommt vielleicht dadurch zustande, dass die Fasern des Nackenbandes nach der Entlastung Wellenform annehmen. Die Wellen würden aber immer nur so geringe Biegungen aufweisen, dass man äusserlich keine oder fast keine Veränderung an dem untersuchten Stück bemerkt. Nur einmal, in Reihe 22, habe ich mir notiert, dass die Seitenränder des Stückes leicht wellenförmig erscheinen. Es würden also an den Nackenbandsfasern nach Entlastung Entspannungsgestalten auftreten oder wenigstens auftreten können, wie sie in Bezug auf Form und Ursachen genauer von Valentin¹⁾ studiert worden sind. Mit dieser Erklärung stimmt überein, dass in Reihe 22 die übermässige Verkürzung um so grösser

1) Valentin, Vers. einer physiologischen Pathol. d. Blutes. 2. T. Die physikalische Untersuchung der Gewebe. 1867. S. 201 ff.

ausfiel, je grösser die Belastung gewesen war, nicht stimmt allerdings damit überein, dass sie, soweit sich das beobachten liess, nicht momentan nach der Entlastung eintrat und in der 23 und 24. Reihe nur nach Entfernung sehr kleiner Gewichte Platz griff.

Ist die Annahme von Entspannungsgestalten richtig, so nehmen in dem übermässig verkürzten Stück die Moleküle keinen bleibenden Gleichgewichtszustand ein, den man bei der Berechnung von E zu Grunde legen müsste; man kann bei ihr daher immer nur von der ursprünglichen Länge ausgehen. Dort, wo (in Reihe 23 und 24) die Anfangslänge in kurzer Zeit nicht wieder erreicht wird, ist offenbar die Nachwirkungsverkürzung noch nicht abgelaufen, und eine neue Belastung bringt ein verhältnismässig zu kleines λ hervor. Man könnte daher hier, wollte man E berechnen, zwar auch nicht von der augenblicklich erreichten Länge ausgehen, aber ebensowenig von der ursprünglichen, denn die Dehnung wird ja thatsächlich bei einer anderen Länge bewirkt. Ein Wert für E ist deshalb in diesen Fällen nicht angegeben. Beim letzten Versuch der 24. Reihe würde E aussergewöhnlich hoch ausfallen; es macht hier geradezu den Eindruck, als ob schon während der sehr geringen Belastung eine Tendenz zur übermässigen Verkürzung vorhanden wäre, die dann auch nach der Entlastung in überraschender Weise eintritt. Auch hier habe ich E weggelassen.

Es ergibt sich aus den vorstehenden Betrachtungen, dass sich dem Untersucher, wenn er nicht „successiv“ belastet, wie ich es in den ersten Versuchsreihen gethan habe, erhebliche Schwierigkeiten in den Weg stellen.

Um eine Anschauung von dem Verlauf der Nachwirkung beim Nackenbande zu geben, führe ich die Versuchsreihen 16, 25 und 26 an.

Es bedeutet im folgenden:

t = Zeit, die nach der Belastung bez. Entlastung vergangen ist,

d = Differenz der einzelnen beobachteten Längen (in mm),
 c = durchschnittliche Geschwindigkeit der Längenänderung (in einer Sekunde).

16. Versuchsreihe.

Nackenband. $p = 0,360$. $\mathfrak{P} = 2,895$.

Anfeuchtung mit Kochsalzlösung.

P	t	l	d	c
0		62,8		
20	(0)	69,6		
	$\frac{1}{2}$ Min.	70,0	0,4	0,0133
	$1\frac{1}{2}$ „	70,0	0	0
	$3\frac{1}{2}$ „	70,0	0	0
	7 „	70,0	0	0
	15 „	69,8	—0,2	(0,0004)
0	$\frac{3}{4}$ „	64,3		
	$6\frac{1}{4}$ „	63,6	—0,7	0,0021
	$14\frac{3}{4}$ „	62,9	—0,7	0,0014
40	(0)	72,6		
	$\frac{1}{2}$ Min.	73,0	0,4	0,0133
	2 „	73,0	0	0
0	$\frac{3}{4}$ „	63,6		
	$1\frac{3}{4}$ „	63,4	—0,2	0,0033

Es zeigt sich hier, dass die Nachwirkung nach sehr kurzer Zeit abgelaufen ist, dass nämlich sowohl bei einer Belastung von 20 g als bei einer von 40 g nach $\frac{1}{2}$ Minute von einer weiteren Verlängerung nichts mehr zu bemerken ist. Auch ist die Nachwirkungsverschiebung im Vergleich zur momentanen Verschiebung in beiden Fällen sehr klein, wobei allerdings bemerkt werden muss, dass sie wegen der Unmöglichkeit die momentane Verschiebung zu messen etwas zu kleine Werte erhalten hat.

Die Verkürzungsnachwirkung nach Wegnahme der Belastung verläuft dagegen langsamer. Nach der Entfernung des zweiten Gewichtes wurde nur kurze Zeit gewartet, um den Versuch nicht zu lang auszudehnen. Aber nach Entfernung des ersten Gewichtes ist nach Verlauf von $14\frac{3}{4}$ Minuten die Anfangslänge noch nicht einmal vollständig erreicht. Es ist also von der vorhin beschriebenen übermässigen Verkürzung nichts zu bemerken. An dieser Stelle kann auf die Versuchsreihen 9 und 14 zurückgewiesen werden, an deren Schluss auch die Verkürzung nach Entfernung der Belastung gemessen wurde. Es wird hier auch nicht die ursprüngliche Länge wieder erreicht, offenbar ist bei der Vornahme der Messung die Nachwirkungsverkürzung noch nicht abgelaufen gewesen.

Eine eigentümliche Erscheinung zeigt sich in der 16. Versuchsreihe, die an die übermässige Verkürzung erinnert, aber auf anderen Ursachen beruhen muss; zwischen der 7. und 15. Minute nach dem Auflegen von 20 g verkürzt sich das belastete Stück um 0,2 mm. Die Geschwindigkeit dieser Verkürzung war nicht genau zu bestimmen, da es ja nicht bekannt war, ob die Verkürzung unmittelbar nach Verlauf von 7 Minuten begann. Worauf diese nachträgliche Verkürzung beruht, ist nicht klar. Dass man es mit einer Erhöhung des Elastizitätsmoduls zu thun hätte, die während des Versuchs durch Austrocknen eingetreten wäre, ist wegen des Betupfens mit Kochsalzlösung auszuschliessen. Denkbar wäre es allenfalls, dass vor der Belastung schon einmal eine Dehnung, die ich nicht beachtet hatte, vorgekommen war und eine noch auf diese Dehnung zurückzuführende Nachwirkungsverkürzung wegen der neuen Dehnung erst viel später zur Beobachtung kam¹⁾.

Etwas genauere Angaben über den Verlauf der elastischen Nachwirkung in der ersten Zeit nach der Belastung erhielt ich

¹⁾ Über die Übereinanderlagerung verschiedener Nachwirkungen vgl. Braun c. I. (in Winkelmanns Handb.), S. 325 u. 326.

dadurch, dass ich die Zeit durch ein Uhrwerk angeben liess, das in Intervallen von 0,433 Sek. schlug, so dass ich in der Lage war, nach bestimmten kürzeren Zeiträumen die Länge des untersuchten Stückes zu markieren.

25. Versuchsreihe.

Nackenband. $p = 0,365$. $\beta = 2,658$.

Anfeuchtung mit Kochsalzlösung.

P	t.	l	d	c
0		122,3		
20	4,3 Sek.	135,8		
	13,0 „	136,2	0,4	0,046
	21,7 „	136,4	0,2	0,023
	30,3 „	136,5	0,1	0,012
	39,0 „	136,5	0	0
	47,6 „	136,5	0	0

26. Versuchsreihe.

Nackenband. $p = 0,335$. $\beta = 3,643$.

Anfeuchtung mit Kochsalzlösung.

P	t	l	d	c
0		108,2		
50	4,3 Sek.	132,5		
	21,7 „	(143,2)	0,7	0,040
	56,3 „	(143,5) ¹⁾	0,3	0,009
	73,6 „	143,7	0,2	0,012
	90,9 „	143,7	0	0
	108,3 „	143,7	0	0
	125,6 „	143,7	0	0

1) Kurz vor dem Markieren dieser Länge war eine Störung des Versuches durch Anstossen am untersuchten Stück eingetreten.

Auch in diesen Versuchsreihen ist die Nachwirkung nicht gross und läuft in kurzer Zeit ab; ihre Dauer ist bei der schwereren Belastung etwas länger als bei der leichteren. Ihre Schnelligkeit ist im Anfang am grössten, sie nimmt aber sehr bald bis 0 ab; die Abweichung hiervon in der 26. Reihe erklärt sich durch die eingetretene Störung.

Eine bleibende Änderung scheint beim Nackenbande normalerweise, d. h. wenn es sich in möglichst frischem Zustande befindet, überhaupt nicht vorzukommen, vorausgesetzt, dass die Dehnung nicht allzuweit getrieben wird. Öfter zeigte sich dagegen nach Entfernung der stets nur mittelgross gewählten Belastungen sogar eine übermässige Verkürzung, so dass die Möglichkeit einer bleibenden Verlängerung nicht weiter diskutiert zu werden braucht. Übrigens kann eine bleibende Dehnung eines Gewebes im lebenden Körper überhaupt nicht vorkommen, ohne pathologische Veränderungen nach sich zu ziehen. Man kann auch umgekehrt sagen: es häuft sich an Stellen, die einem Zuge ausgesetzt sind, so viel von einer Substanz, z. B. der elastischen, an, dass in Rücksicht auf die Grösse des Querschnittes in dem fertigen Gewebe eine dauernde Verlängerung durch den einwirkenden Zug nicht entstehen kann.

Es bleibt mir jetzt nur übrig, die gefundenen Elastizitätsmodule, nach den zugehörigen Verlängerungen geordnet, zusammenzustellen. Ich benutze dazu sämtliche Werte aus den Versuchsreihen 1, 5, 9, 10, 14, 22, aus der Reihe 23 nur den 1., 4., 5., aus der Reihe 24 nur den 1. Versuch (aus vorhin erörterten Gründen). Dazu kommen noch vier Werte von E, die ich aus den zum Studium der Nachwirkung angestellten Versuchen entnehme und im folgenden zusammenstelle. Auch den zweiten Versuch der Reihe 16 glaube ich benutzen zu dürfen, die Anfangslänge ist hier nur um 0,1 mm grösser als die ursprüngliche Länge. Das bei der Belastung in Rechnung ge-

zogene l bezieht sich immer auf die zweite nach dem Auflegen des Gewichtes genommene Marke, um die Verhältnisse den ersten Versuchen anzupassen.

Aus der 16., 25. und 26. Versuchsreihe.

Versuchsreihe	P	l	λ	v	E
16	0	62,8	7,2	0,115	0,034
	20	70,0			
16	0	62,9	10,1	0,161	0,049
	40	73,0			
25	0	122,3	13,9	0,114	0,066
	20	136,2			
26	0	108,2	35,0	0,324	0,056
	50	143,2			

Man muss, wie schon erwähnt, erwarten, dass der Elastizitätsmodul für gleiche Verlängerungen immer gleich gross gefunden wird. Davon zeigen sich jedoch manche Abweichungen, die zu erheblich sind, als dass sie auf Beobachtungsfehler zurückgeführt werden könnten.

Da nun auch die Zeit nach dem Tode des Tieres, zu der die Versuche vorgenommen wurden, immer annähernd gleich war, so bleibt nur die Annahme übrig, dass individuelle Schwankungen im Elastizitätsmodul des Nackenbandes vorkommen, sei es, dass sie auf einer Verschiedenheit im Modul der elastischen Substanz, sei es, dass sie auf Schwankungen im Bau des Nackenbandes beruhen. Ich gebe daher in der folgenden Tabelle eine Zusammenstellung der Mittelwerte, die ich aus den einzelnen bei bestimmten Verlängerungen beobachteten Modulen berechnet habe.

Mittlere Werte von E.
Nackenband.

Zahl der Versuche	v	E
14	0 bis 0,05	0,053
20	„ 0,1	0,053
21	„ 0,15	0,057
14	„ 0,2	0,058
12	„ 0,25	0,063
14	„ 0,3	0,064
15	„ 0,35	0,063
9	„ 0,4	0,060
8	„ 0,5	0,068
5	„ 0,6	0,078

Die für mittlere Verlängerungen gefundenen Mittelwerte sind verhältnismässig hoch, was auf Rechnung der hohen aus Versuchsreihe 14 stammenden Zahlen zu setzen ist. Das Ansteigen des Wertes von E wird regelmässiger, wenn man grössere Gruppen zusammen nimmt.

Zahl der Versuche	v	E
69	0 bis 0,2	0,055
50	„ 0,4	0,062
13	„ 0,6	0,072

b) Fibrilläres Bindegewebe.

Die Charaktere des fibrillären Bindegewebes scheinen mir am reinsten in der Sehne vorzuliegen, und diese wählte ich deshalb zu meinen Untersuchungen. Auch in der Sehne haben wir zwar, ebenso wie im Nackenbande, keine gleichartige Substanz vor uns, sondern im wesentlichen, wenn man von Zellen

und eingelagerten feinen elastischen Fasern absieht, ein Gemisch von kollagenen Fibrillen und der diese verbindenden Kittsubstanz. Doch überwiegt die kollagene Substanz den Kitt erheblich an Masse¹⁾, so dass man die gefundenen Resultate ohne grossen Fehler verallgemeinern und auf reine Bindegewebsfibrillen übertragen kann. Wenn man gelegentlich liest²⁾, dass die Fäden des areolären Bindegewebes sich leichter „ausziehen“ lassen, als die Sehnenfäden, so kann sich das nur auf eine Ausgleichung der dort stärker ausgeprägten wellenförmigen Biegungen der Fasern beziehen.

Den Elastizitätsmodul der Sehne suchten schon festzustellen Wertheim und Wundt. Doch weichen die Resultate beider Forscher erheblich von einander ab.

Wertheim nimmt an, dass bei Gewebsstücken die Ausdehnungskurve eine Hyperbel ist. Er stellt aus zwei Einzelbeobachtungen die Konstanten der Hyperbel fest und berechnet mit ihrer Hülfe E als das Gewicht, das das Gewebstück um seine eigene Länge ausdehnen würde, wenn es bis zu dieser Ausdehnung sich den Gesetzen der Hyperbel fügte. Auf diese Weise fand er³⁾ bei Sehnen des Plantaris Erwachsener (bis zum 40. Jahre) einmal $E = 164,71$, einmal $= 139,42$ und einmal $= 134,78$, bei der Sehne des Flexor hallucis longus $E = 128,39$. Es ist offenbar, dass diese Elastizitätsmodule über die Beschaffenheit des Gewebes nur dann etwas aussagen, wenn man, wie es Wertheim auch thut, die Hyperbelkonstanten hinzufügt. Ein anschaulicheres Bild der Verhältnisse bekommt man aber jedenfalls, wenn man in der vorhin angegebenen Weise

1) Vgl. die Lehrbücher der physiologischen Chemie.

2) So s. B. in einer älteren (der 2.) Auflage des Lehrbuches der Physiologie von Valentin, Braunschweig 1847, S. 39. In der 4. Auflage seines Lehrbuches (1855) bekannte sich Valentin als Anhänger der Reichert'schen Theorie, nach der die Fäden des Zellgewebes durch Faltungen einer gleichartigen Substanz nur vorgetäuscht werden. (S. 350.)

3) Wertheim, l. c., S. 393.

verfährt, wenn man nämlich die Änderungen der Elastizität nicht durch die Konstanten einer (hypothetischen) Kurve ausdrückt, sondern durch die Veränderlichkeit des Elastizitätsmoduls selbst¹⁾.

Wundt findet für Kalbssehnen $E = 1,6693$ ²⁾. Ein Blick auf die mitgeteilte Versuchsreihe zeigt, dass dieser Wert von E nur nach den beiden ersten Versuchen berechnet ist, dass also E nicht konstant ist. Wundt hat nur sehr kleine Belastungen angewandt, und die erzielten Längenveränderungen waren so gering, dass seinen Versuchsergebnissen keine grosse Genauigkeit zugesprochen werden kann.

Zu meinen Untersuchungen benutzte ich die Sehne des Klauenbeinbeugers vom Vorderfuss des Rindes, und zwar aus der Gegend hinter der Fessel, wo man sie in der Scheide findet, die von der Sehne des Kronbeinbeugers gebildet wird. Aus der Sehne schnitt ich mir mit meinem Doppelmesser ein schmales Parallelepipedon heraus, wobei die Messerklingen leicht zwischen den Fibrillenbündeln eindringen. Von der einen Längskante des Parallelepipedons schnitt ich sodann mit der Schere ein dünnes Streifchen ab, das nur aus einer geringen Anzahl von Bündeln bestehen konnte.

Solche Streifchen unterwarf ich in derselben Weise der Ausdehnung, wie die Nackenbandstücke. Um den Haken mit der Wage befestigen zu können, bog ich das untere Ende jedes Streifchens zu einer Schlinge um, die ich mit einem kurzen Faden starken Zwirnes zusammenband, und in die der Haken eingelegt werden konnte. Dass dadurch der Querschnitt des Streifchens auf einer kurzen Strecke sich verdoppelte, wurde nicht berücksichtigt.

1) Vgl. die Annahme verschiedener Elastizitätsmodule beim Kautschuk von Villari, Über die Elastizität des Kautschuks, Poggendorffs Ann. d. Physik u. Chemie. 143. Bd. 1871, S. 88, und seine Tabellen. S. 93 ff.

2) Wundt, l. c. (in Müllers Archiv 1857), S. 306 u. l. c. (Muskelbewegung), S. 30 giebt den Modul in Grammen an, also $= 1669,3$.

Bei der Bestimmung der Elastizitätsmodule der Sehne kamen natürlich wieder dieselben Fehlerquellen in Betracht wie bei der Untersuchung des Nackenbandes, und es ist von vornherein darauf hinzuweisen, dass man auch hier keine vollkommene Genauigkeit erzielen kann. Das gilt hier in noch höherem Grade, denn der mögliche Ablesungsfehler bekommt einen grossen Einfluss auf das Resultat, weil die Sehne selbst bei verhältnismässig hohen Belastungen nur geringe Längenänderungen darbietet. Deswegen gebe ich im folgenden auch nur die Versuche wieder, bei denen die grösste Feinheit im Markieren erreicht worden war,

Besonders gross war bei den dünnen Sehnenstreifchen die Gefahr der Austrocknung; ihr suchte ich vorzubeugen durch regelmässig und fleissig angewandte Anfeuchtung mit physiologischer Kochsalzlösung.

Als spezifisches Gewicht der Sehne nahm ich 1,1165 an, den Wert den Krause und Fischer¹⁾ für menschliche Sehnen gefunden haben. Eigentlich hätte ich in jedem einzelnen Falle das spezifische Gewicht der untersuchten Sehne bestimmen müssen; da mir das aus praktischen Gründen nicht möglich war, so sah ich mich genötigt, einen Durchschnittswert einzuführen, und ich glaube annehmen zu können, dass das mittlere spezifische Gewicht der Sehne beim Menschen und den höheren Wirbeltieren nicht wesentlich verschieden ist.

Zunächst gebe ich drei Versuchsreihen wieder, in denen ich successiv belastete. Um sicher zu sein, dass die Anfangslänge durch eine Marke bezeichnet ist, die erst geschrieben wurde, als das Sehnenstreifchen schon völlig gestreckt war, wird als Anfangslänge die Länge betrachtet, die bei der ersten (geringen) Belastung zur Beobachtung kam. Dieselbe Grösse wird auch zur Berechnung des Querschnittes benutzt, wobei vorausgesetzt wird, dass durch die geringfügige erste Ausdehnung des Streif-

1) Krause und Fischer, l. c., S. 331.

chens sein Volumen nicht merklich geändert wird. (Vergl. S. 10). Als Belastung (P) wird bei der Bestimmung von E nur, wie gewöhnlich, die Mehrbelastung in Rechnung gezogen.

4. Versuchsreihe.

Sehne. $p = 0,140$. $\mathfrak{P} = 2,320$.

P	l	λ	v	E
10	102,2			
50	103,7	1,5	0,015	2,2
100	104,6	2,4	0,023	3,1
200	105,9	3,7	0,036	4,3
250	106,5	4,3	0,042	4,6
500	107,7	5,5	0,054	7,4
0	103,1			

6. Versuchsreihe.

Sehne. $p = 0,225$. $\mathfrak{P} = 2,363$.

P	l	λ	v	E
15	90,6			
50	91,8	1,2	0,013	1,2
100	92,5	1,9	0,021	1,8
200	93,2	2,6	0,029	2,9
300	94,1	3,5	0,039	3,3
400	95,0	4,4	0,049	3,6
500	95,0	4,4	0,049	4,5
0	91,6			

11. Versuchsreihe.

Sehne. $p = 0,100$. $\mathfrak{P} = 2,480$.

P	l	λ	ν	E
10	113,5			
20	113,9	0,4	0,0035	3,6
30	114,0	0,5	0,0044	5,8
40	114,2	0,7	0,0062	6,2
50	114,4	0,9	0,0079	6,4
100	114,7	1,2	0,011	10,8
150	115,2	1,7	0,015	11,8
200	115,6	2,1	0,019	13,0
250	115,9	2,4	0,021	14,4
300	116,2	2,7	0,024	15,4
350	116,4	2,9	0,026	16,9
400	116,8	3,3	0,029	17,0
450	117,1	3,6	0,032	17,6
500	117,4	3,9	0,034	18,1
0	114,4			

Die Grösse des Elastizitätsmoduls bewegt sich in den mitgetheilten Versuchen zwischen 1,2 und 18,1 kg. Sie erhebt sich meistens über die von Wundt angegebene Zahl, erreicht aber bei weitem nicht den Wert, den Wertheim gefunden hat. Wie schon erwähnt, lassen sich die Wertheimschen Zahlen für den Elastizitätsmodul mit den von mir angegebenen nicht unmittelbar vergleichen. Wenn ich beispielsweise für meine Versuchsreihe 4, und zwar aus deren erstem und letztem Versuche, den Elastizitätsmodul nach der Wertheimschen Methode bestimme, so erhalte ich $E = 22,1$.

Einen Mittelwert für E werde ich nachher angeben.

In der folgenden Versuchsreihe habe ich nach jeder einzelnen Belastung wieder entlastet.

20. Versuchsreihe.

Sehne. $p = 0,075$. $\S = 2,388$.

P	l	λ	v	E
20	108,2			
20 + 50	110,0	1,8	0,017	4,8
20	109,1			
20 + 100	111,1	2,0	0,018	8,9
20	109,3			
20 + 150	112,0	2,7	0,025	9,9
20	109,8			
20 + 200	112,9	3,1	0,028	11,6
20	110,0			

Nach der Entlastung wird hier die ursprüngliche Länge nie wieder erreicht. Es fragt sich, ob durch die neue Belastung eine noch nicht abgelaufene Nachwirkungsverkürzung unterbrochen wurde oder ob eine bleibende Verlängerung vorliegt. Ich möchte an eine bleibende Verlängerung denken, im Hinblick auf die recht unvollkommene Verkürzung, nach der vollständigen Schlusssentlastung in den Reihen 4, 7 und 11, durch die nicht einmal die Anfangslänge erreicht wurde, obgleich bei dieser schon eine Belastung vorhanden gewesen war, die am Schluss auch mit entfernt wurde. Bei der Berechnung von E wurde darum als Anfangslänge die jedesmal unmittelbar vor der Belastung markierte Länge betrachtet. Für Reihe 4, 7 und 11 folgt, dass die zu den Versuchen benutzten Sehnenstreifen den ausdehnenden Kräften weniger Widerstand entgegensetzten, als sie es im lebenden Körper gethan haben würden, dass also wahrscheinlich E immer etwas zu niedrig angenommen worden ist.

Beachtenswert ist, dass E in allen vier Versuchen mit zunehmender Ausdehnung wächst.

Über die Nachwirkung beim Sehnengewebe steht mir nur folgende kurze Versuchsreihe zur Verfügung.

17. Versuchsreihe.

Sehne. $p = 0,035$. $\varphi = 2,733$.

P	t	l	d	c
0		unbestimmt		
100	(0)	62,3		
	3 Min.	62,6	0,3	0,0017
	7 „	62,7	0,1	0,0004
	15 „	62,7	0	0
0	$\frac{3}{4}$ „	61,4	-0,1	0,0002
	$9\frac{3}{4}$ „	61,3	0	0
	$15\frac{3}{4}$ „	61,3		
200	(0)	63,1		
	5 Min.	63,3	0,2	0,0007
0	$\frac{3}{4}$ „	62,1	-0,1	0,0003
	$5\frac{3}{4}$ „	62,0		

Aus dem zweiten Versuche dieser Reihe ($l = 61,3$ und $= 63,1$) berechnet sich $E = 13,3$ für $v = 0,029$.

Soviel lässt sich aus den zwei Versuchen schliessen, dass die Nachwirkung bei der Sehne ziemlich langsam verläuft, sicher langsamer als beim elastischen Bindegewebe. Besonders das Zurückgehen nach der Entlastung macht einen durchaus anderen Eindruck als beim Nackenbande, und es hat auch hier wieder den Anschein, als ob eine bleibende Verlängerung sich eingestellt habe.

Als Mittelwerte für E erhalte ich, wenn ich die gefundenen Zahlen nach den Verlängerungen ordne, die folgenden Grössen.

Mittlere Werte für E .

Sehne.

Zahl der Versuche	v	E
17	0 bis 0,027	8,0
12	„ 0,054	9,0

Es ergibt sich hier vor allen Dingen wieder, was auch schon aus den einzelnen Versuchsreihen zu ersehen war, dass der Elastizitätsmodul zugleich mit der Verlängerung wächst, ebenso wie sich das beim Nackenbände gezeigt hat.

Ferner ergibt sich, dass der Widerstand, den fibrilläres Bindegewebe (in seiner typischen Form als Sehne) einer Ausdehnung um ein Zwanzigstel der ursprünglichen Länge entgegensetzt, ungefähr 200 mal so gross ist wie der Widerstand, den elastisches Bindegewebe von gleichem Querschnitte einer eben solchen Ausdehnung leistet, wahrscheinlich aber noch grösser, wenn man bedenkt, dass die von mir angegebenen Werte von E nach den vorigen Ausführungen etwas zu niedrig bemessen sind.

c) Glatte Muskulatur.

Genauere Angaben über die Elastizität der glatten Muskeln finden sich in der Litteratur überhaupt nicht, während die Elastizität der quergestreiften Muskeln häufig zum Gegenstand der Untersuchung gemacht worden ist. Es ist begreiflich, dass die beiden Arten der Muskulatur in ihren elastischen Eigenschaften erheblich von einander abweichen, im Hinblick auf die durchaus verschiedenen Funktionen, die sie im lebenden Körper ausüben. Der Elastizitätsmodul der quergestreiften Muskulatur ist von Wertheim¹⁾ zwischen 0,261 und 1,271 gefunden worden, Wundt²⁾ bestimmte ihn (beim Rind) = 0,2734, und van Mansvelt³⁾, der Untersuchungen am Lebenden anstellte, ermittelte ihn = 0,069. Es wird sich zeigen, dass der Modul der glatten Muskeln, gleichviel welche Lasten sie zu tragen haben,

¹⁾ Wertheim, l. c., S. 394.

²⁾ Wundt, l. c. (in Müllers Archiv 1857), S. 306 u. l. c. (Muskelbewegung), S. 30. E ist bei Wundt in g angegeben.

³⁾ von Mansvelt, Over de elasticiteit der spieren. Dissert. Utrecht, 1863. Ich citiere nach Hermann, in Hermanns Handb. d. Physiol., 1. Bd., 1. Th., 1879, S. 13.

stets erheblich niedriger ausfällt. Der wichtigste Unterschied aber zwischen den elastischen Eigenschaften des einen und des anderen Gewebes besteht jedenfalls darin, dass die elastische Nachwirkung bei der glatten Muskulatur eine viel längere Dauer besitzt als bei der quergestreiften, und dass infolgedessen die Nachwirkungsverlängerung erheblich grösser ausfällt. Die Nachwirkungserscheinungen sind bei der glatten Muskulatur so sehr ausgebildet, dass sie hier überhaupt das ganze Bild der Dehnungsversuche beherrschen.

Als ein sehr zweckmässiges Material für die Untersuchungen erwies sich die Längsmuskulatur vom Mastdarm des Rindes. Die ersten Versuche, die ich an Quer- und Längsstreifen anderer Darmstücke oder an der äusseren Muskelschicht des Uterus anstellte, gaben keine guten Resultate, einmal, weil die Serosa, die nur sehr schwer entfernt werden kann, sich sehr bald grösseren Ausdehnungen widersetzt und andererseits, weil mit der Muskulatur zugleich eine grosse Menge Bindegewebe — beim Uterus aus der mittleren, gefässführenden Schicht, die sich nicht vollkommen beseitigen lässt — den Dehnungen unterworfen wird. Vom Mastdarm lassen sich Bündel längsverlaufender Muskelzellen von einigen Millimetern Breite ohne Schwierigkeit mit der Schere auslösen, da sowohl das perirektale als das auf der Seite der Ringmuskelschicht gelegene Bindegewebe sehr locker ist, und die Furchen an der Oberfläche, die die grösseren Bündel von einander abgrenzen, sehr deutlich ausgeprägt sind.

Bei dem Herausschneiden eines Muskelstreifens ist es nun vollkommen unmöglich, jede Zerrung an ihm zu vermeiden. Daher waren die Streifen unmittelbar nach dem Herausschneiden stets etwas länger als die Lücken in der Muskulatur, die sie vorher ausgefüllt hatten. Nach kurzer Zeit jedoch, während der sie in feuchter Kammer auf glatter Unterlage sich befanden, erreichten sie die frühere Länge wieder. Ja, sie wurden sogar

kürzer, als die Lücken waren, aus denen sie stammten! Das besagt offenbar nichts anderes, als dass sie durch die Schwere des Darmstückes, dem sie angehörten, über ihre natürliche Länge ausgedehnt waren. Man könnte daraus schliessen, dass die Elastizität der Muskeln in der kurzen Zeit nach dem Tode des Tieres schon erhebliche Veränderungen erlitten hatte. Dass in der Muskulatur, sowohl der quergestreiften, wie der glatten, sehr bald nach dem Tode und noch vor dem Eintreten der Totenstarre Veränderungen Platz greifen, ist nicht zu bezweifeln. Doch halte ich sie für zu geringfügig, als dass ich glauben würde, es hinge von ihnen die beschriebene Ausdehnung der Muskeln über ihre natürliche Länge ab. Vielmehr ist es mir wahrscheinlich, dass die Verlängerung eingetreten ist, weil mit dem Tode des Tieres und der Herausnahme des Darms nervöse Einflüsse fortfallen, von denen der Kontraktionszustand der Muskulatur abhängig ist. Jedenfalls spricht für die Brauchbarkeit der verwandten Streifen die Thatsache, dass sie sich nach dem Abschneiden vom Darne wieder verkürzten.

Das benutzte Material ist auch wieder keine einheitliche Substanz. Die einzelnen Bündelchen der Muskelzellen sind durch Bindegewebe mit einander verbunden, es finden sich darin Nerven und Gefässe, und auch zwischen den Muskelzellen sind, wenn auch verschwindend wenig, Bindegewebsfäserchen vorhanden. Das Gewebe zwischen den Bündelchen ist aber nur spärlich und locker gefügt, so dass es die Dehnung der Muskulatur nur wenig beeinflussen kann. Wichtig ist es, dass die einzelnen Muskelzellen durch Protoplasmabrücken mit einander verbunden sind, gerade in der Längsmuskulatur des Mastdarms vom Rinde fand ich die Zellbrücken sehr schön ausgebildet¹⁾.

¹⁾ Triepel, Zu den Zellbrücken in der glatten Muskulatur. *Anatom. Anz.* XIII. Bd. 1897, S. 501. Über denselben Gegenstand hielt ich einen Vortrag mit Demonstrationen in der Sitzung des Greifswalder medizinischen Vereins vom 3. Juli 1897; Referat wird in der Deutschen medizinischen Wochenschrift erscheinen.

Wir haben also, wenigstens innerhalb eines Bündelchens, nicht eine Anhäufung aneinander gekitteter Muskelzellen, sondern eine grössere Masse von Muskelsubstanz vor uns, die zwar gegliedert, aber vollkommen zusammenhängend ist.

Da die verwandten Muskelstreifen bei ihrer grossen Ausdehnbarkeit einen Durchmesser von mehreren Millimetern haben könnten, so war der Einfluss der Austrocknung auf die Resultate nur gering anzuschlagen. Eine Betupfung mit Kochsalzlösung wurde deshalb nur in zweien von den nachher mitzuteilenden Versuchsreihen (Nr. 18 und 19) vorgenommen.

Das spezifische Gewicht der glatten Muskulatur wurde bei der Berechnung des Elastizitätsmoduls $= 1,0582$ gesetzt, nämlich gleich dem Werte, den Krause und Fischer¹⁾ für das spezifische Gewicht der menschlichen glatten Muskulatur angeben; die Berechtigung hierzu ergibt sich aus Gründen, die ich schon bei der Besprechung des fibrillären Bindegewebes anführte.

Bei der glatten Muskulatur ist es viel schwerer als bei den beiden anderen untersuchten Gewebsarten, während die Nachwirkung abläuft, diejenige Verlängerung herauszugreifen, die für die Berechnung des Elastizitätsmoduls am geeignetsten ist. Die Nachwirkung schliesst sich hier auch wieder unmittelbar an die primäre Dehnung an, so dass es unmöglich ist, die Grenze zwischen momentaner Verschiebung und Nachwirkungsverschiebung zu ermitteln und für die Berechnung des Moduls nur die momentane Verschiebung — was ja am einfachsten wäre — zu benutzen. Die Nachwirkungsverschiebung ist aber ganz ausserordentlich viel grösser als etwa beim Nackenband; sie hat im Anfang bei nicht zu grossen Belastungen mittlere Geschwindigkeit, und man bekommt oft den Eindruck, als ob das Auf-

1) Krause und Fischer, l. c., S. 331.

legen des Gewichtes keine oder fast keine momentane Wirkung ausübt, sondern nur den Anstoss zu einer allmählich in der Richtung der Schwere ablaufenden Bewegung giebt. Es wurde auch hier nach der bisher verfolgten Methode und nach den früher entwickelten Grundsätzen verfahren, und die Länge nach der Belastung jedesmal dann markiert, wenn für die grobsinnliche Wahrnehmung die Verlängerung eben unmerklich geworden war; es war dann aber hier, im Gegensatz zu den früheren Fällen, die Nachwirkung noch bei weitem nicht abgelaufen.

Bei den nächsten drei Versuchsreihen habe ich successiv belastet.

7. Versuchsreihe.

Längsmuskulatur des Rektums. $p = 1,185$. $\beta = 3,263$.

P	l	λ	v	E
0	70,2			
5	71,1	0,9	0,0128	0,0244
10	73,0	2,8		0,0157
15	75,3	5,1		0,0129
20	79,6	9,4		0,0094
25	84,0	13,8		0,0080
30	87,9	17,7		0,0075
35	90,8	20,6		0,0075
40	95,2	25,0		0,0070
45	98,6	28,4		0,0070
50	102,7	32,5		0,0068
55	108,3	38,1		0,0064
100	124,6	54,4		0,0081
0	104,5			
0	90,3			
(nach 11 Min.)				

12. Versuchsreihe.

Längsmuskulatur des Rektums. $p = 1,485$. $\mathfrak{P} = 3,418$.

P	l	λ	v	E
0	90,1			
2	94,6	4,5	0,0499	0,0026
4	98,8	8,7		0,0027
6	108,5	18,4		0,0019
8	118,5	28,4		0,0016
10	121,0	30,9		0,0019

13. Versuchsreihe.

Längsmuskulatur des Rektums. $p = 1,655$. $\mathfrak{P} = 3,543$.

P	l	λ	v	E
0	48,1			
5	51,4	3,3	0,0686	0,0022
10	54,8	6,7		0,0022
15	62,3	14,2		0,0016
20	67,7	19,6		0,0015
25	74,6	26,5		0,0014
30	82,5	34,4		0,0013
35	90,4	42,3		0,0012
40	96,6	48,5		0,0012
45	102,3	54,2		0,0012
50	106,8	58,7		0,0013
55	111,0	62,9		0,0013
60	118,5	70,4		0,0013

Der Elastizitätsmodul erreicht in den Reihen 12 und 13 noch nicht einmal die Grösse von 3 g. Auch aus den nachher noch mitzuteilenden drei Versuchsreihen lässt sich ein Modul von nur wenigen Grammen berechnen, so dass die 7. Reihe mit einer geringeren Ausdehnbarkeit und somit höheren Werten von E vereinzelt dasteht und ein aussergewöhnliches Verhalten des

untersuchten Gewebes zeigt. Wenn man daher von ihr ab-
sieht, so würde — nach der Definition des Moduls — ein Streifen
glatter Muskulatur, das einen Querschnitt von 1 qmm besitzt,
durch eine Belastung von ca. 3 g um seine eigene Länge aus-
gedehnt werden.

Die Reihen 7, 12 und 13 zeigen ferner, dass der Elastizitäts-
modul mit zunehmender Belastung oder zunehmender Aus-
dehnung abnimmt, dass also die glatte Muskulatur sich anders
als die beiden anderen untersuchten Gewebe verhält. Der Unter-
schied ist jedoch nur scheinbar. Da die elastische Nachwirkung
noch sehr lange Zeit nach der Belastung vorhanden ist, so muss
sie alle später zur Beobachtung kommenden Ausdehnungen viel
grösser werden lassen, als sie ohne die schon vorangegangenen Be-
lastungen geworden wären. Also der Wert von E muss späterhin
zu klein gefunden werden. Es ist ausserdem zu berücksichtigen,
dass die untersuchten Streifen ein ziemlich hohes Eigengewicht
hatten, das — neben der anhängenden Wagschale — sie gleich-
falls ausdehnen musste, und die an diese Dehnung sich an-
schliessende Nachwirkung ist sicher nicht zu vernachlässigen.
Damit hängt es zusammen, dass in Reihe 7 nach der vollstän-
digen Schlusssentlastung die Anfangslänge bei weitem nicht wieder
erreicht wird.

Es ergibt sich hieraus, dass bei der glatten Muskulatur
die successive Belastung keine Resultate liefert, die in derselben
Weise wie die früheren zu verwerten wären. Ich habe daher
auch nur jedesmal bei der ersten Belastung die Verlängerung
(v), für die das gefundene E gilt, berechnet; nur diese Zahlen
können mit den bei Nackenband und Sehne gefundenen ver-
glichen werden. Dass es übrigens, wenn man beabsichtigt, aus
einer Versuchsreihe mehrere Werte von E zu gewinnen, ebenso
erfolglos ist, nach jeder Belastung wieder zu entlasten, ergibt
sich aus dem, was ich nachher von der Nachwirkung berichten
werde.

Es stehen mir somit für die Bestimmung von E nur einige wenige Versuche mit geringen Belastungen zur Verfügung, so dass man bei einer entsprechenden Zusammenstellung ein Ansteigen des Elastizitätsmoduls bei zunehmender Ausdehnung nicht deutlich erkennen kann; hätte ich die Versuchsreihen mit grösseren Belastungen begonnen, so würden sich für E höchstwahrscheinlich etwas höhere Werte ergeben haben.

Über die elastische Nachwirkung bei der glatten Muskulatur habe ich die folgenden Versuche angestellt.

18. Versuchsreihe.

Längsmuskulatur des Rektums. $p = 1,335$. $\mathfrak{P} = 3,018$.

Anfeuchtung mit Kochsalzlösung.

P	t	l	d	e
0	(0)	83,2		
5	$\frac{1}{4}$ Min.	90,5		
	$1\frac{1}{4}$ "	93,9	3,4	0,0567
	$2\frac{1}{4}$ "	95,7	1,8	0,0300
	$3\frac{1}{4}$ "	97,1	1,4	0,0233
	$4\frac{1}{4}$ "	98,5	1,4	0,0233
	$5\frac{1}{4}$ "	99,8	1,3	0,0217
	$6\frac{1}{4}$ "	100,9	1,1	0,0183
	$7\frac{1}{4}$ "	101,9	1,0	0,0167
	$8\frac{1}{4}$ "	102,6	0,7	0,0117
	$9\frac{1}{4}$ "	103,5	0,9	0,0150
	$10\frac{1}{2}$ "	104,4	0,9	0,0120
	$11\frac{3}{4}$ "	105,2	0,8	0,0107
	$13\frac{3}{4}$ "	106,0	0,8	0,0067
	$15\frac{3}{4}$ "	106,5	0,5	0,0042
0	$1\frac{1}{4}$ "	104,5	—0,7	0,0117
	$1\frac{1}{4}$ "	103,8	—0,3	0,0050
	$2\frac{1}{4}$ "	103,5	—0,5	0,0021
	$6\frac{1}{4}$ "	103,0		
Das Stück wurde abgenommen und in der feuchten Kammer horizontal gelegt.				
	17 Min.	85,6* ¹⁾	—17,4	0,0270
	$28\frac{1}{4}$ "	79,7*	—5,9	0,0087
	$64\frac{1}{4}$ "	75,0*	—4,7	0,0022

¹⁾ Die mit * bezeichneten Längen wurden unmittelbar mit dem Zirkel gemessen.

19. Versuchsreihe.

Längsmuskulatur des Rektums. $p = 0,915$. $\mathfrak{P} = 2,808$.

Anfeuchtung mit Kochsalzlösung.

P	t	l	d	c
0	(0)	103,1		
	1 Min.	104,1	1,0	0,0167
	2 „	104,6	0,5	0,0083
2	$1\frac{1}{4}$ „	108,1		
	$1\frac{1}{4}$ „	110,3	2,2	0,0367
	$2\frac{1}{4}$ „	111,4	1,1	0,0183
	$3\frac{1}{4}$ „	112,3	0,9	0,0150
	$4\frac{1}{4}$ „	113,1	0,8	0,0133
	$5\frac{1}{4}$ „	113,7	0,6	0,0100
	$7\frac{1}{4}$ „	114,6	0,9	0,0075
	$10\frac{1}{4}$ „	115,5	0,9	0,0050
	$13\frac{1}{4}$ „	115,7	0,2	0,0011
0	$1\frac{1}{4}$ „	115,0		
	$1\frac{1}{4}$ „	114,8	—0,2	0,0033
	$3\frac{3}{4}$ „	114,3	—0,5	0,0033

Das Stück wurde abgenommen und in der feuchten Kammer horizontal gelegt.

$19\frac{1}{4}$ Min.	95,4*	—18,9	0,0203
$27\frac{3}{4}$ „	91,5*	—3,9	0,0076
$48\frac{3}{4}$ „	90,0*	—1,5	0,0012

21. Versuchsreihe.

Längsmuskulatur des Rektums. $p = 0,540$. $\mathfrak{P} = 3,040$.

P	t	l	d	c
0	(0)	55,1		
	1 Min.	55,3	0,2	0,0033
	2 „	55,2	—0,1	(0,0017)

P	t	l	d	c
5	$1\frac{1}{4}$ Min.	61,8		
	$3\frac{3}{4}$ "	65,2	3,4	0,1133
	$1\frac{1}{4}$ "	66,9	1,7	0,0567
	2 "	69,2	2,3	0,0511
	$2\frac{3}{4}$ "	71,2	2,0	0,0444
	$3\frac{3}{4}$ "	73,3	2,1	0,0350
	$4\frac{3}{4}$ "	74,8	1,5	0,0250
	$5\frac{3}{4}$ "	75,7	0,9	0,0150
	$6\frac{3}{4}$ "	76,5	0,8	0,0133
	$8\frac{3}{4}$ "	77,6	1,1	0,0092
	$10\frac{3}{4}$ "	78,0	0,4	0,0033
0	$3\frac{3}{4}$ "	75,8		
	$2\frac{3}{4}$ "	75,3	—0,5	0,0042
	$5\frac{3}{4}$ "	74,8	—0,5	0,0028

Das Stück wurde abgenommen und in der feuchten Kammer horizontal gelegt.

$20\frac{3}{4}$ Min.	55,7*	—19,1	0,0212
$50\frac{1}{4}$ "	52,5*	—3,2	0,0018
$59\frac{1}{4}$ "	51,2*	—1,3	0,0024

Aus den drei Versuchsreihen berechnen sich folgende Elastizitätsmodule (berücksichtigt werden als Anfangslänge die erste gemessene Länge, als durch die Dehnung erreichte Länge die weite, nur bei Reihe 21 die dritte nach Auflegen des Gewichtes gefundene Grösse):

Versuchsreihe	P	l	λ	v	E
18	0	83,2			
	5	93,9	10,7	0,1286	0,0026
19	0	103,1			
	2	110,3	7,2	0,0698	0,0034
21	0	55,1			
	5	66,9	11 8	0,2142	0,0025

Man sieht, dass die Nachwirkung sehr lange andauert, und man kann annehmen, dass sie bei der Unterbrechung der Versuche, also nach durchschnittlich einer Viertelstunde, noch bei weitem nicht abgelaufen ist, da in den letzten Minuten noch eine deutlich erkennbare Geschwindigkeit der Verlängerung vorhanden ist. Das Verhalten wird besonders auffallend, wenn man zum Vergleich den Ablauf der elastischen Nachwirkung beim Nackenbande herbeizieht. Dort war schon nach ungefähr einer halben Minute von Nachwirkung nichts mehr zu bemerken.

In zwei Reihen (19 und 21) wurde auch die Nachwirkung beobachtet, die sich an die Dehnung anschliesst, die durch das (halbe) Eigengewicht und das Gewicht des Hakens und der Wagschale ($\mathfrak{P}$) bewirkt wird. Sie ist, wie sich zeigt, gar nicht so unbeträchtlich. Dort, wo diese Nachwirkung beim Auflegen des Gewichtes wahrscheinlich nicht abgelaufen ist (Reihe 18 und 19), muss sie die durch die Belastung P bedingte Nachwirkung — wenn auch in geringem Grade — vergrössern. Auffallend ist in Reihe 21, dass an dem noch unbelasteten Streifen die Nachwirkung nach 1 Minute sich umkehrt, dass eine Verkürzung eintritt. Die Erscheinung erinnert an Verhältnisse, die beim Nackenbande beobachtet wurden.

Die Geschwindigkeit, mit der die Nachwirkung verläuft, ist am Anfang am grössten. Und zwar ist die Anfangsgeschwindigkeit um so grösser, je grösser die angewandte, d. h. die auf die Querschnittseinheit entfallende Belastung ist; das ergibt sich aus einem Vergleich der Versuche, bei dem jedesmal P durch das zugehörige q und c durch l dividiert werden muss. Mit der Dauer der Nachwirkung nimmt die Geschwindigkeit ab, zuerst schneller, in grossen Sprüngen, dann immer langsamer, um sich schliesslich der Null zu nähern. Ob die Null überhaupt erreicht werden kann, d. h. ob bei einem einmal gedehnten Muskelstreifen, wie überhaupt bei einem beliebigen

gedehnten Objekte, die Nachwirkung, sowohl positive wie negative, vollkommen verschwinden kann, erscheint fraglich.

Die Verkürzungsnachwirkung, die nach der Entlastung auftritt, folgt denselben Regeln wie die Dehnungsnachwirkung. Sie setzt mit einer grösseren Geschwindigkeit ein, als sie im weiteren Verlaufe beibehält. Die Anfangsgeschwindigkeit ist um so grösser, je grösser die entfernte Belastung gewesen war. Um dies zu zeigen, hat man dieselben Reduktionen wie vorhin vorzunehmen. Die erreichte Verkürzung ist aber nur unvollkommen. Dass das nicht etwa die Folge einer bleibenden Dehnung ist, sondern nur eine Folge der Nachwirkung, die auf die Belastung mit dem Gewichte $\mathfrak{P}$ zurückzuführen ist, zeigt sich, wenn man, wie es in den drei Versuchsreihen geschehen ist, den Muskelstreifen nach einiger Zeit abnimmt und in der feuchten Kammer auf glatter horizontaler Unterlage sich selbst überlässt. Dann zieht sich der Streifen anfangs mit grosser Geschwindigkeit zusammen, sodass man mit unbewaffnetem Auge die Verkürzung bequem verfolgen kann. Die Geschwindigkeit lässt natürlich bald nach, es wird aber noch nach ungefähr einer Stunde eine Verkürzung beobachtet. Die Folge der Verkürzung auf der horizontalen Unterlage ist, dass der Streifen kürzer wird, als er, vertikal aufgehängt, zu Beginn des Versuches war!

Man fragt sich unwillkürlich, ob denn auch im lebenden Körper die Nachwirkung bei der Dehnung glatter Muskulatur so enorme Veränderungen hervorrufen kann, wie sie sich in den Versuchen zeigten. Da dies auf Grund der Beobachtungen, die wir über die Wirkungsweise der glatten Muskulatur machen können, entschieden zu verneinen ist, so müssen wir annehmen, dass andauernd centrale nervöse Erregungen, die den Muskelzellen zufliessen, sich den Dehnungsnachwirkungen entgegenstellen. Von der Grösse des Nerveneinflusses, unter dem die glatte Muskulatur steht, erhält man gerade durch die ausserordentlichen Nachwirkungsveränderungen eine Vorstellung, die

bei ihr zu beobachten sind, wenn sie dem Nerveneinfluss entzogen ist. Es sind demzufolge die elastischen Eigenschaften des im lebenden Körper befindlichen glatten Muskelgewebes mit den hier beobachteten nicht zu identifizieren.

II.

Aus den mitgeteilten Tabellen geht hervor, dass beim Rinde die Elastizität der Sehnen grösser ist als die des Nackenbandes und diese wiederum grösser ist, als die Elastizität der Längsmuskulatur des Rektums. Und zwar sind die Unterschiede in den Elastizitätsmodulen der drei Organe so erheblich, dass ohne Zweifel eine Verallgemeinerung gestattet ist, in der Weise, dass man an Stelle der Sehne ein hauptsächlich aus fibrillärem Bindegewebe bestehendes Organ setzt, an Stelle des Nackenbandes ein solches, das hauptsächlich elastisches Bindegewebe enthält, und an Stelle der Längsmuskeln des Rektums überhaupt glatte Muskulatur. Da es nun offenbar ist, dass die physikalischen Eigenschaften eines Organes in erster Linie von den physikalischen Eigenschaften des Gewebes abhängen, das in ihm in vorwiegender Menge vertreten ist, so ergeben sich folgende zwei Sätze, die sich gegenseitig bedingen:

1. Unter dem fibrillären Bindegewebe, dem elastischen Bindegewebe und der glatten Muskulatur besitzt das fibrilläre Bindegewebe die grösste, das elastische eine geringere und die glatte Muskulatur die kleinste Elastizität.

2. Je mehr fibrilläres Bindegewebe ein Organ enthält, um so grösser ist seine Elastizität, sie wird um so geringer, je mehr die elastische Substanz vorwiegt, und am geringsten, wenn glatte Muskulatur den Hauptbestandteil des Organs ausmacht.

Die beiden Sätze gelten sicher für alle Wirbeltiere. Sie sind übrigens schon von vorneherein sehr wahrscheinlich, denn bei der Zergliederung frischer Kadaver fällt es sofort auf, dass

und auch in welcher Weise die Ausdehnbarkeit von Organen, wie der drei genannten, sich unterscheidet. Die Messung bestätigt die Voraussetzung.

Zu den aufgestellten Sätzen müssen aber noch zwei wichtige Zusätze hinzugefügt werden:

1. Es kommt bei der Bestimmung der Elastizität eines Organes nicht allein auf die Menge an, in der einzelne Gewebselemente darin vertreten sind, sondern auch auf die Anordnung, in der sie sich finden. Denn Teile, die vor der Einwirkung irgend einer äusseren Kraft gefaltet oder gekräuselt sind, werden dieser Kraft, bis sie durch sie geglättet sind, überhaupt keinen nennenswerten Widerstand entgegensetzen. Ferner werden Fasern, deren Längsachse senkrecht zur Richtung der Dehnung liegt, für den Erfolg dieser Dehnung vollständig oder fast vollständig ohne Belang sein. Endlich können die Verhältnisse noch dadurch kompliziert sein, dass die Organe Verflechtungen der faserigen Gewebsbestandteile aufweisen, ähnlich wie die künstlichen Gewebe, deren Elastizität, wie Tresca ¹⁾ gezeigt hat, geringer ist, als die ihrer einzelnen Fäden.

2. Wenn ein Organ aus mehreren Geweben mit verschiedenen Elastizitätsmodulen besteht, so hängt seine Ausdehnbarkeit wesentlich von dem Gewebe ab, das den grössten Elastizitätsmodul besitzt, wenn darin alle etwa vorhandenen Kräuselungen oder Falten ausgeglichen sind und die Elemente nicht durch grössere Zwischenräume von einander getrennt sind. Denn wäre dies nicht der Fall, so müsste ja das Organ zerreißen, sobald von ihm eine stärkere Ausdehnung verlangt wird, als es das widerstandsfähigste Gewebe in ihm zulässt. Sehr gut lässt sich das an einem von Serosa bekleideten Organe demonstrieren, dessen Ausdehnung zuerst durch den straffen bindegewebigen Überzug behindert wird.

¹⁾ Tresca, l. c.

Aus dem Gesagten ergibt sich auch, dass es in den Arterien und Venen Gewebselemente giebt, die eine grössere, und andere, die eine kleinere Elastizität besitzen als die elastische Substanz. Die Untersuchungen erstreckten sich, gerade im Hinblick auf die Zusammensetzung der Gefässwände, nur auf drei Gewebsarten, aber auch unter den anderen Geweben des tierischen Körpers nimmt das elastische Bindegewebe auf Grund seiner elastischen Eigenschaften durchaus keine Sonderstellung ein, wie man etwa wegen des Namens, der ihm beigelegt worden ist, glauben könnte. Vielmehr lässt sich mit grosser Sicherheit schon a priori annehmen, dass z. B. die Knorpel, die Knochen, die Haare¹⁾ eine grössere, das Fett- und Gallertgewebe, quergestreifte Muskeln oder embryonale Gewebe²⁾ eine viel geringere Elastizität besitzen, als die Gewebsart, die man als die elastische *κατ' ἐξοχήν* bezeichnet³⁾. Es ergibt sich daraus, dass die Bezeichnung elastisches Bindegewebe falsch oder doch zum mindesten unwissenschaftlich ist.

Zunächst möchte ich mich gegen die Bezeichnung „elastisches Gewebe“, die man sehr häufig liest, wenden. Es genügt wohl nicht, wie Kölliker⁴⁾ thut, das Gewebe als „gesetzmässige, in gleichen Teilen immer in derselben Weise wiederkehrende Anordnung der Elementarteile“ zu definieren, vielmehr wird der Begriff des Gewebes durch die Beschaffenheit der Zellen, die sich entweder in einem solchen Verbande von Elementarteilen

1) Vgl. auch die hierher gehörenden Messungen von Rauber, Elastizität und Festigkeit der Knochen, 1876 (betr. Knorpel, S. 28), Messerer, Über Elastizität und Festigkeit der menschlichen Knochen, Wertheim, l. c., S. 393, Wundt, l. c. (Muskelbewegung), S. 25, Volkmann, l. c., S. 302 ff.

2) Vgl. His, Unsere Körperform und die physiologischen Probleme ihrer Entstehung. 1874.

3) Beim Knorpel und einigen anderen Geweben kommt in erster Linie die Elastizität bei Druck in Frage. Über das Verhältnis der Druck- und Zugelastizität vgl. Valentin, l. c. (Physiol. Pathologie), S. 199.

4) Kölliker, Handbuch der Gewebelehre. 6. Aufl. I. Bd. 1889, S. 78.

finden, oder aus denen er hervorgegangen ist, noch näher umgrenzt.

Nicht selten findet man die Bezeichnung „elastische Substanz“. Dieser Begriff bedarf keiner weiteren Erklärung. Dort wo im Bindegewebe die elastische Substanz die kollagene an Menge übertrifft, haben wir die elastische Modifikation des Bindegewebes oder kurz „elastisches Bindegewebe“ vor uns. In diesem Sinne sprach zuerst Ranvier¹⁾ von einem tissu conjonctif élastique.

Gegen die zuletzt angeführten Namen wäre nichts einzuwenden, wenn sie nicht auch das Beiwort „elastisch“ enthielten, das vor einer sorgfältigen Kritik nicht Stand halten kann. Indessen muss ich leider darauf verzichten, eine Verdrängung dieses Beiwortes durch ein geeigneteres anzustreben, weil ein solches Bemühen erfolglos wäre²⁾. Doch halte ich es, weil die allgemein angenommene Bezeichnung einer tierischen Substanz die Ansichten über ihre physiologische Bedeutung beeinflussen muss, für nötig, auf die Angelegenheit noch etwas näher einzugehen.

Es drängt sich einem die Frage auf, worauf es denn zurückzuführen ist, dass die getadelte Bezeichnung in die anatomische Sprache eingedrungen ist. Ist etwa beim elastischen Bindegewebe die Elastizität in funktioneller Beziehung wertvoller und wichtiger als bei anderen Gewebsarten? Man erkennt leicht, dass bei allen Geweben die Grösse ihrer Elastizität sehr bedeutungsvoll ist, und dass im besonderen bei allen Bindesubstanzen neben den mechanischen alle anderen Eigenschaften in den Hintergrund treten. Es ist also offenbar, dass man damals, als man zum erstenmale von elastischem Gewebe sprach, nicht beachtete,

1) Ranvier, *Traité technique d'Histologie*. 1875. S. 424.

2) Am besten wäre es noch, wenn man von einem dehnbaren Bindegewebe spräche, da die sogenannte elastische Substanz unter allen zur Bindegewebsgruppe gehörenden geformten Intercellularsubstanzen (wahrscheinlich) die geringste Elastizität oder die grösste Ausdehnbarkeit besitzt. Allerdings wäre dann eine Verwechslung mit areolärem Bindegewebe möglich.

dass auch alle anderen Gewebe Elastizität besitzen. Jedenfalls muss gerade der mittlere Grad von Elastizität, den das elastische Bindegewebe aufweist, oder es müssen besondere Eigentümlichkeiten, die sich zeigen, wenn seine Elastizität in Anspruch genommen wird, die Veranlassung für die einseitige Benennung gewesen sein. Die genauere Analyse zeigt, dass das elastische Bindegewebe allerdings annähernd in demselben Sinne elastisch genannt werden kann, in dem der Laie dieses Wort zu gebrauchen pflegt, und dass der wissenschaftliche Elastizitätsbegriff von dem sprachgebräuchlichen abweicht.

Über die Verschiedenheit der beiden Begriffe handelt ausführlich Auerbach¹⁾. Zuerst giebt Auerbach eine genaue wissenschaftliche Definition von Elastizität und betont, dass man diese Definition in bezüglichen physikalischen Monographien immer wieder findet. Sodann erwähnt er aber auch, was hier nicht verschwiegen werden soll, dass selbst Physiker gelegentlich einmal die laienhafte Verwendung des Wortes nicht scheuen²⁾. Im gewöhnlichen Leben wird nach Auerbach einem Körper um so grössere Elastizität zugeschrieben, je grösser seine Grenzveränderung ist, d. h. je grösser die Änderung sein kann, die er in seiner Form, z. B. seiner Länge durch eine äussere Kraft erfahren kann, ohne dass er aufhört, nach Entfernung der äusseren Kraft seine ursprüngliche Form wieder anzunehmen. Ich möchte zu dieser Begriffsbestimmung hinzufügen, dass ein Laie einen Körper überhaupt nur dann als elastisch bezeichnen wird, wenn die elastische Nachwirkung bei der Verkürzung schnell abläuft. Denn es wird wohl kein Laie z. B. der glatten Muskulatur irgend welche Elastizität zuschreiben, wenn er

1) F. Auerbach, Zur Klarstellung des Elastizitätsbegriffes, 65. Jahresbericht der schlesischen Ges. f. vaterländ. Kultur, 1888. S. 132.

Derselbe, l. c. (in Winkelmanns Handb.), S. 217 u. 218.

2) So finde ich z. B., dass Clebsch in seiner „Theorie der Elastizität fester Körper“, 1862, S. 3, den Kautschuk als einen sehr elastischen Körper bezeichnet.

einen so langsamen Verlauf der elastischen Nachwirkung sieht, wie sie in meinen Versuchen sich gezeigt hat.

Dann möchte ich behaupten, dass der sprachgebräuchliche Elastizitätsbegriff überhaupt nichts so ganz feststehendes ist, wie Auerbach annimmt, es mischt sich mehr oder weniger von dem wissenschaftlichen Begriff hinein. Ich fragte eine — allerdings nur kleine — Anzahl von Laien, was sie für elastischer hielten, ob Stahl oder Kautschuk, ungefähr die Hälfte der Gefragten entschied sich für Stahl, die andere Hälfte für Kautschuk. Billardspieler, die den Kautschuk zwar für sehr elastisch hielten, räumten ein, dass auch Elfenbein eine grosse Elastizität besitze. Ich glaube, man wird diese Differenz in der Anschauung ganz allgemein finden. Wenn jemand die Grösse der Kraft, mit der ein in seiner Form veränderter Körper in die frühere Form zurückzukehren strebt, als massgebend für die Grösse seiner Elastizität hält, so nähert er sich der wissenschaftlichen Auffassung, nach der es auf die Grösse des Widerstandes ankommt, die der Körper von vornherein einer formverändernden Kraft entgegensetzt.

Aber auch angenommen, der sprachgebräuchliche Elastizitätsbegriff sei feststehend, so scheint es mir doch ausser Zweifel zu sein, dass prinzipiell der Anatom sich nicht für die laienhafte, sondern nur für die wissenschaftliche, d. h. in diesem Falle die vom Physiker aufgestellte Begriffsbestimmung entscheiden darf.

Gegen die Anwendung des Wortes Elastizität, wie sie sich in der anatomischen Sprache eingebürgert hat, lässt sich noch so manches ins Feld führen. Wenn im gewöhnlichen Sprachgebrauch (nach Auerbachs Deutung) Elastizität mit Grenzverlängerung identisch ist, so deckt es sich annähernd mit dem, was häufig als Vollkommenheit der Elastizität bezeichnet wird. Im lebenden Körper, auf den es doch immer in erster Linie ankommt, sind nun offenbar normalerweise alle Gewebe immer vollkommen elastisch; andernfalls müssten patho-

logische Zustände eintreten. Es kommen aber gerade bei verschiedenen Geweben im lebenden Körper grössere Formveränderungen vor als beim elastischen Bindegewebe, z. B. beim quergestreiften Muskel, beim Fettgewebe u. a. m.

Dass der sprachgebräuchliche von dem wissenschaftlichen Elastizitätsbegriff gelegentlich auch in den medizinischen Wissenschaften beeinflusst wird, ist leicht zu zeigen. Einer der ersten Sätze, die der Lernende in der Muskelphysiologie sich aneignen muss, besagt, dass der quergestreifte Muskel zwar bis zu grossen Verlängerungen vollkommen elastisch bleibt, dass seine Elastizität aber nur gering ist. Der Anatom hat sich schon längst daran gewöhnt, den Knorpel als ein sehr elastisches Gebilde anzusehen. Das ist ebenso im Anfang dieses Jahrhunderts gewesen wie es heute der Fall ist.

In Mascagnis Handbuch, das 1819 erschien, heisst es von den Knorpeln¹⁾: „Possiedono assai più di tutte le altre parti del corpo organico animale l'elasticità.“ Unter den neueren anatomischen Lehrbüchern würdigen die meisten die grosse Elastizität der Knorpel, so z. B. Hyrtl²⁾ ziemlich eingehend, u. a. m. Seltener findet man schon, dass die ausserordentlich grosse Elastizität der Knochen Anerkennung findet. Über diese macht Rauber³⁾ genauere Angaben.

Ungefähr zur Zeit Mascagnis, also zu einer Zeit, in der bekannt war, dass der Knorpel sehr elastisch ist, trug man kein Bedenken, einem anderen Gewebe den ausschliessenden Namen „elastisches Gewebe“ oder „elastisches System“ beizulegen. Als Erfinder dieses Namens ist entweder Jules Cloquet anzusehen, der in seinem grossen Handbuche⁴⁾ 1821

1) P. Mascagni, Prodomo della grande anatomia. Firenze 1819, p. 113.

2) Hyrtl, Lehrb. d. Anatomie des Menschen. 20. Aufl. 1889. S. 236.

3) Rauber, 4. Aufl. von Quain Hoffmanns Lehrb. d. Anat. I. Bd. 1892, S. 296 ff. Siehe auch oben S. 57 Anm. 1.

4) J. Cloquet, Anatomie de l'homme. T. I. Paris 1821, p. 5.

ein système élastique aufführt oder Béclard (s. f. S. Anm. 4), der auch schon 1821 das elastische Gewebe erwähnt. Eine gute Zusammenstellung der zahlreichen, nach Bichat im Anfange unseres Jahrhunderts gemachten Versuche, die Gewebelehre einzuteilen, giebt Heusinger¹⁾, und hier erscheint Cloquet als der erste Autor, der ein elastisches von dem anderen Systemen abtrennt. Ebenso wird später Cloquet das Verdienst zugeschrieben, die Sonderstellung des elastischen Gewebes zuerst erkannt zu haben, so von E. H. Weber²⁾, von Henle³⁾, von Arnold⁴⁾.

Nur einmal finde ich in der Litteratur angegeben, dass zuerst Duméril — gemeint ist jedenfalls André Marie Constant Duméril — ein bestimmtes Gewebe als spezifisch elastisch bezeichnet habe. Es findet sich nämlich in einer späteren, von Blandin besorgten Ausgabe der Bichatschen „Allgemeinen Anatomie“⁵⁾ folgende Anmerkung des Herausgebers: „elle (la membrane moyenne des artères) appartient à un genre d'organes qui forment véritablement la transition entre les tissus précédents, organes que M. Duméril a proposé d'appeler *fibreux jaunes* ou *élastiques*“⁶⁾. Von Dumérils Schriften könnte allenfalls sein aus dem Jahre 1793 stammender Aufsatz „Projet d'une nomenclature anatomique“⁷⁾ einen solchen Vorschlag enthalten — die Arbeit war mir nicht zugänglich. Andererseits ist nicht wohl anzunehmen, dass, bevor Bichat seine grundlegenden Anschau-

1) Heusinger, System der Histologie. Eisenach 1822. I. T. S. 28 ff.

2) E. H. Weber, 4. Aufl. von Hildebrandts Handb. d. Anat. 1. Bd. Braunschweig 1830, S. 180.

3) Henle, Allgemeine Anatomie (Sömmering, vom Baue des menschl. Körpers. 6. Bd.) Leipzig 1841, S. 408.

4) Arnold, Handb. d. Anat. 1. Bd. Freiburg 1844, S. 229.

5) Bichat, Anatomie générale. Nouvelle édition, contenant les additions publiées précédemment par Béclard, et augmentée d'un grand nombre de notes nouvelles par F. Blandin. T. II. Paris 1830, p. 54.

6) „Organe“ ist hier augenscheinlich in demselben Sinne wie „tissu“ gebraucht.

7) Duméril, Projet d'une nomenclature anatomique. Magazin encyclopédique 1793.

ungen über die Abgrenzung einzelner Systeme veröffentlicht hatte (1801), und bevor durch Pinels Nosographie¹⁾ die Vorarbeiten für eine Einteilung der Gewebe geliefert worden waren (1798), schon von anderer Seite einer bestimmten Gewebsart eine besondere Stellung angewiesen wurde.

Später, 1825, giebt Duméril selbst, in einem grösseren naturwissenschaftlichen Werke²⁾, eine Zusammenstellung der verschiedenen Gewebe, bei der ein „elastisches Gewebe“ fehlt; das beweist nun freilich noch nicht viel, da die allgemeinen Betrachtungen an dem genannten Orte ganz kurz gehalten sind. Nicht ausgeschlossen ist es, dass Cloquet und Béclard aus mündlichen Mitteilungen Dumérils geschöpft haben. Cloquet war, wie er selbst angiebt³⁾, ein Schüler Dumérils; auch scheint mir für die angedeutete Möglichkeit die Bemerkung Béclards über das gelbe oder elastische Gewebe aus dem Jahre 1821⁴⁾ zu sprechen: „personne, que jè sache, n'a donné de description complète de ce tissu: il n'a presque été indiqué jusqu'à ce jour que dans des leçons orales.“ In jedem Falle muss man aber annehmen, dass Cloquets Einteilung der Gewebe den Anstoss dazu gab, dass das „elastische Gewebe“ später allgemein als ein besonderer Typus anerkannt wurde.

Die durch Cloquet vorgenommene Abgliederung des elastischen Systems war geschichtlich notwendig, wenn später wieder seine Beziehung zum Bindegewebe erkannt werden sollte. Wie alle wissenschaftlichen Fortschritte, so war auch dieser durch Vorarbeiten begründet, denn es hatten schon früher eine ganze Reihe von Forschern die elastische Substanz gesehen. Nur

1) Pinel, Nosographie philosophique (Paris 1798). 6. Ausg. Paris 1818.

2) Duméril, *Éléments des sciences naturelles*. T. II. Paris 1825. p. 14.

3) Cloquet, l. c., T. V, Vorrede.

4) Ich citiere nach der vorhin angeführten Ausgabe von Bichats Anatomie générale, die die Zusätze von Béclard aus dem Jahre 1821 enthält, T. III. Paris 1830, S. 218, Anm.

hatten diese nicht, wie Cloquet (und vielleicht Duméril) die besondere Stellung erkannt, die dem elastischen neben anderen Systemen zukommt. Es ist selbstverständlich, dass schon oft vor Cloquet die Elastizität einzelner Organe hervorgehoben worden war und besonders der Arterien, deren elastische Eigenschaften ja sofort in die Augen springen; aber man hatte sogar schon die Gewebselemente, die seit Cloquet als elastische bezeichnet werden, gesehen und beschrieben. Bichat¹⁾ betont ausdrücklich, dass die *membrane propre* der Arterien und die Bänder zwischen den Wirbelbögen unter den Geweben eine Sonderstellung einnehmen, und im besonderen sich die Bestandteile der Arterienwand vom muskulösen und die genannten Bänder vom fibrösen Gewebe unterscheiden. Hunter²⁾ lässt einige Jahre vorher die Arterienwand aus elastischer und muskulöser Substanz bestehen (S. 231 ff.), und auf die Anordnung beider führt er das Verhalten durchschnittener oder ausgeschnittener Teile der Wand zurück. Er giebt an, dass die innere Haut der Arterien aus elastischen und muskulösen Fasern gemischt ist (S. 242), und ferner, dass auch die äussere, „elastische“ Haut faserig und die Richtung ihrer Fasern meist kreisartig ist (S. 243). Home³⁾ ist nicht nur über das Vorkommen elastischer Bänder an den Klauen des Löwen unterrichtet (S. 20 und 21), er kennt auch die „elastische Substanz“, die sich neben Muskelfasern in den Arterien findet (S. 20), und die die Aorta fast ausschliesslich zusammensetzt (S. 22). Die elastischen Fasern sollen nach Bécclard⁴⁾ sogar schon von Nicholls bemerkt worden sein, das wäre also vermutlich schon vor 1750 gewesen (?).

1) Bichat, l. c., T. II, S. 43 ff. u. T. III, S. 218.

2) Hunter, Vers. über das Blut, die Entzündung und die Schusswunden. Aus dem Englischen übersetzt von Hebenstreit. I. Bd. Leipzig 1797.

3) Home, The Croonian Lecture on Muscular Motion. Philos. Trans. 1795.

4) Bécclard, *Éléments d'Anatomie générale*. Paris 1823, p. 324. Laurent, *Essai sur les tissus élastiques et contractiles*. Ann. de la méd. physiol. T. X. Paris 1826, citiert Nicolle (?).

Nachdem Jules Cloquet das elastische von den anderen Systemen abgegliedert hatte, wurde die Sonderstellung dieses Systemes doch nicht sofort überall anerkannt. Heusinger¹⁾ sprach sich 1822 gegen sie aus, er rechnet die „sogenannten elastischen Bänder“ zu dem „eigentlichen Fasergewebe.“ Auch die Bekanntschaft mit der elastischen Faser war zu dieser Zeit noch nicht allgemein. Reisseisen²⁾, der die zahlreichen elastischen Fasern in der Wand der Luftwege entdeckte, beschreibt diese zwar als „elastische, weisse Fasern“ und erklärt richtig ihre Wirkungsweise; dagegen sagt er (S. 11), ihre Natur sei ihm „etwas rätselhaft,“ sie scheinen ihm eine eigene Art von Fasern zu sein, „die vielleicht mit der Tunica muscularis oder fibrosa der Arterien und den Fibern der menschlichen Gebärmutter in eine Klasse zu setzen sind.“

Wie schon erwähnt, wurde die Ansicht Cloquets geteilt von Béclard, der 1821 in seinen Zusätzen zur „allgemeinen Anatomie“ Bichats³⁾ ganz ähnlich, wie Cloquet verschiedene Organe als gelbe oder elastische vom système fibreux abgliedert, sie aber immerhin noch als einen besonderen Teil desselben betrachtet. Die nächsten Jahre bringen zwei Monographien, die die neu aufgestellte Gewebsart zum Gegenstande haben, 1822 erscheint die Arbeit von Hauff⁴⁾, von Laurent⁵⁾ eine eingehende Abhandlung 1826. Laurent sucht vor allem darzuthun, dass, worauf die Abstufung in der Elastizität der verschiedenen Organe hinweise, ein Übergang des elastischen in fibröses oder Muskelgewebe stattfinde, wobei er den Einfluss des Mengenverhältnisses

1) Heusinger, l. c., S. 38 u. 43.

2) Reisseisen, Über den Bau der Lungen. Gekrönte Preisschr. d. kgl. Akademie in Berlin, 1822.

3) Siehe die zitierte Ausgabe von Bichat, Anatomie générale. T. III. S. 218. Aum.

4) Hauff, De systemate telae elasticae. Tubingae 1822. Die Arbeit war mir nicht zugänglich.

5) Laurent, l. c.

übersieht, in dem die einzelnen Gewebe in den Organen vorhanden sind. Unter den französischen Lehrbüchern ist das von Béclard (1823)¹⁾, unter den deutschen das von E. H. Weber (1830)²⁾ das erste, das für die Cloquetsche Ansicht eintritt. Wenige Jahre später giebt H. Lauth³⁾ die erste genauere, wenn auch kurze Beschreibung der elastischen Fasern aus den Lig. intercruralia, wobei er allerdings das Wort „elastisch“ nicht gebraucht. Indessen ist es nach meinen vorigen Ausführungen unrichtig, wenn Lauth, wie es Henle⁴⁾ u. a. thun, als der Entdecker der elastischen Fasern bezeichnet wird.

Ein neuer Abschnitt in der Geschichte des elastischen Bindegewebes wird 1836 eingeleitet durch die ausführliche, unter Schwanns Leitung gearbeitete Dissertation Eulenburgs⁵⁾ „De tela elastica,“ deren Verfasser schon die Grundzüge dessen, was wir heute in diesem Kapitel der Histologie wissen, bietet, und zwar im allgemeinen — abgesehen von kleinen Mängeln — richtig. Die Arbeiten, die in der Folgezeit über das elastische Bindegewebe entstanden, sind erst neuerdings zusammengestellt worden⁶⁾. An dieser Stelle will ich nur hervorheben, dass, wie ich schon erwähnte, die physikalischen Eigenschaften der elastischen Substanz stets ausserordentlich vernachlässigt wurden. Vergebens sucht man nach Angaben über diese in fast allen grösseren Monographien, und vereinzelt steht die Arbeit von W. Müller⁷⁾ da, der die optischen Eigenschaften der elastischen Substanz untersuchte. Aber auch W. Müller lässt die Elasti-

1) Béclard, l. c. (Éléments), S. 324 ff.

2) E. H. Weber, l. c., S. 364.

3) Al. Lauth, Mitteilung in der Société d'Histoire naturelle de Strasbourg. L'Institut, Journal général des sociétés etc. Paris 1834. Nr. 57, S. 191.

4) Henle, l. c., S. 408.

5) Eulenberg, De tela elastica. Diss. inaug., Berolini 1836.

6) Seipp, Das elastische Gewebe des Herzens. Anatom. Hefte. I. Abt. 17. Heft, 1895, S. 111—114.

7) W. Müller, Beiträge zur Kenntnis der Molekularstruktur tierischer Gewebe. Zeitschr. f. rat. Med., 3. R. X. Bd., 1861, S. 174 ff.

zität der elastischen Substanz vollkommen ausser acht. Autoren, die die Entwicklung des elastischen Bindegewebes in den Kreis ihrer Untersuchungen gezogen haben, bringen nichts über mechanische Verhältnisse, auf die vielleicht das Entstehen der elastischen Substanz zurückgeführt werden konnte. Gelegentlich wurde der Versuch gemacht, die Topographie des elastischen Bindegewebes in einzelnen Organen mit mechanischen Ursachen in Zusammenhang zu bringen, so von Zenthöfer¹⁾ und mir²⁾).

Die Lehrbücher der allgemeinen Anatomie und Gewebelehre liefern dem, der in ihnen nach physikalischen Beobachtungen über das elastische Bindegewebe sucht, keine grosse Ausbeute. Einige bringen bei seiner Beschreibung überhaupt nichts aus dem Gebiete der Physik. Andere begnügen sich mit der Bemerkung, das „elastische Gewebe“ habe deswegen seinen Namen erhalten, weil es sehr elastisch sei. Eine dritte Reihe von Lehrbüchern giebt eine etwas wortreichere Schilderung seines physikalischen Verhaltens, die aber meist nicht viel mehr enthält, als eine Umschreibung der Begriffe „grosse Elastizität“ und „grosse Brüchigkeit“. Genauere Angaben findet man nirgends, höchstens einmal in Gestalt einer kurzen Notiz über die Ausdehnbarkeit des Nackenbandes. Sehr oft liest man die Bemerkung, die elastische Substanz finde sich im Körper an solchen Stellen, an denen eine besonders grosse Elastizität des Gewebes nötig oder zweckmässig sei. Bisweilen wird auch ausinandergesetzt, dass elastische Bänder Muskeln zu ersetzen vermögen.

Einige der Schilderungen sind insofern interessant, als sie die Vorstellung erkennen lassen, die der Autor von dem Begriffe

1) Zenthöfer, Topographie des elastischen Gewebes innerhalb der Haut des Erwachsenen. Monatshefte f. prakt. Dermat. Erght. I. 1892, S. 9 ff.

2) Triepel, l. c. (Anatom. Hefte, 22.), S. 204 ff.

der Elastizität hat. Béclard¹⁾ z. B. sagt von der elastischen Faser: „Elle est éminemment élastique: distendue elle s'allonge sensiblement et dans quelques parties, elle acquiert le double de sa longueur; abandonnée ensuite elle revient subitement et avec force sur elle même“. Bei Gerber²⁾ heisst es vom „elastischen Gewebe“: „es ist so elastisch, dass es sich beinahe auf die doppelte Länge ausdehnen lässt und sich wieder vollkommen zusammenzieht“. Bock³⁾ definiert Elastizität als „die Eigenschaft der Körper, ihren ursprünglichen Zustand wieder anzunehmen, wenn die Ursache zu wirken aufhört, welche ihre Form oder ihr Volumen änderte“. Sie kommt nach Bock „fast allen Substanzen des Körpers zu“. Eine auffallende Inkonsistenz lässt sich Hollstein⁴⁾ zu Schulden kommen. Er führt aus, dass die Bänder im allgemeinen eine geringe Elastizität besitzen, wovon nur die Bänder zwischen den Wirbelbögen eine Ausnahme machen (S. 169); später wird gesagt, die Elastizität der Arterien sei gross (S. 696), die der Venen gering (S. 762). Hollstein identifiziert also bei der Beschreibung der Bänder die Begriffe Elastizität und Dehnbarkeit, bei der der Gefässe setzt er sie einander entgegen.

Sehr beachtenswert ist eine Bemerkung von W. Krause in seinem Handbuche⁵⁾. Es werden einige Ausdrücke erläutert, und dabei heisst es: „Vollkommene und grosse, resp. unvollkommene und geringe Elastizität sind selbstverständlich im physikalischen Sinne gemeint (Kautschuk z. B. hat sehr vollkommene aber geringe, Stahl dagegen grosse und vollkommene Elastizität. Ersteres setzt ausdehnenden Kräften nur geringen Widerstand entgegen, kehrt aber selbst nach beträchtlicher Aus-

1) Béclard, l. c. (Éléments), S. 324 u. 325.

2) Gerber, Handb. d. allgem. Anatomie. 2. Ausg. 1844, S. 118.

3) Bock, Anatomie d. Menschen. Bd. II. 4. Aufl. Leipzig 1850, S. 212.

4) Hollstein, Handb. d. Anatomie d. Menschen. I. Bd. Freiburg, 1844.

5) W. Krause, Bearbeitung von C. Krauses Handb. d. menschl. Anatomie. 3. Aufl. I. Bd. 1876, S. 4.

dehnung sehr vollständig zu seiner ursprünglichen Form zurück“). Später, bei Beschreibung der elastischen Fasern (S. 49) spricht der Verfasser von ihrer „grossen und vollkommenen“ Elastizität, ohne näher auf deren Bedeutung einzugehen.

Die von Krause in seiner Einleitung befürwortete Anwendung des Wortes elastisch im wissenschaftlichen Sinne ist in der neueren anatomischen Litteratur ebenso selten versucht worden wie in der älteren. Bisweilen ist infolgedessen die Begriffsverwirrung recht schlimm geworden, wie mir ein Satz beweist, den ich bei Leisering und Müller¹⁾ finde. Es heisst dort bei der Beschreibung des Begattungskanales der Stute: „Seine Muskelhaut . . . ist mit so vielen elastischen Fasern versehen, dass sie ausserordentlich ausdehnungsfähig wird.“

Gelegentlich findet man einmal, dass auch schon von anderer Seite der Name „elastisches Gewebe“ bemängelt worden ist. So sagt Hyrtl²⁾: „Der Name elastisch eignet sich also schlecht zur Benennung einer einzigen Gewebsart, da ein gleicher Grad von Elastizität auch allen anderen Geweben zukommen muss, welche mit dem elastischen Gewebe anatomisch verbunden sind“).

Wenn nun auch Messungen der Elastizität des elastischen Bindegewebes bisher nicht vorlagen, so sind doch öfter Messungen der Dehnbarkeit verschiedener Organe vorgenommen worden, in denen das elastische Bindegewebe in reichem Masse vertreten ist. Arterien und Venen wurden häufig der Untersuchung unterworfen, ich will mich aber hier darauf beschränken, die ausgedehnten Versuche von Braune³⁾ und von Bardeleben⁴⁾ über Venenelastizität anzuführen. Das Verhältnis zwischen der

1) Leisering und Müller, Anatomie d. Haussäugetiere. 6. Aufl. 1885, S. 569.

2) Hyrtl, l. c. S. 110.

3) Braune, Beiträge zur Kenntnis der Venenelastizität, in Beiträgen zur Anatomie und Physiologie. Festgabe f. C. Ludwig, Leipzig 1874, S. 1.

4) Bardeleben, Über Venenelastizität. Jenaische Zeitschr. für Naturw. XII. Bd. 1878, S. 21.

Dehnbarkeit der Gefässe und der Dehnbarkeit seiner einzelnen Gewebsbestandteile ist sehr kompliziert, und es kann zur Zeit noch nicht darauf eingegangen werden.

Die vorstehenden Betrachtungen lassen sich kurz in folgendem zusammenfassen:

Es ist falsch, eine bestimmte Gewebsart als elastisch *κατ' ἔξοχην* zu bezeichnen. Denn alle Gewebe besitzen Elastizität. Und es kann nur der naive Beobachter behaupten, dass beim elastischen Bindegewebe die elastischen Eigenschaften mehr als bei anderen Geweben aus der Reihe der Bindesubstanzen auffielen oder gar nützten; wir wissen, dass die Elastizität fast aller Gewebe in hohem Grade in Anspruch genommen wird.

Man kann aber auch nicht dem elastischen Bindegewebe eine besonders grosse Elastizität zuschreiben, gleichviel für welche Definition des Wortes Elastizität man sich entscheidet. Wählt man, was vorzuziehen ist, die wissenschaftliche Erklärung des Elastizitätsbegriffes, so muss man einräumen, dass das elastische Bindegewebe hinsichtlich der Grösse der Elastizität von manchen anderen und besonders von den meisten ihm genetisch verwandten Gewebsarten übertroffen wird. Doch auch der, der den Elastizitätsbegriff beibehalten will, den die Sprache des Laien gebildet hat, stösst auf Schwierigkeiten. Denn der Sprachgebrauch ist überhaupt schwankend, und besonders in dem vorliegenden Falle. Wer etwa Grösse der Grenzverlängerung und Grösse der Elastizität gleichsetzt, dem ist zu bemerken, dass im lebenden Körper einzelne Gewebe unter Umständen grösseren Formveränderungen ausgesetzt werden als das elastische Bindegewebe. Wer das Hauptgewicht auf schnellen Ablauf der elastischen Nachwirkung legt, kann sich allerdings darauf berufen, dass, wie meine Versuche gezeigt haben, die Nachwirkung im Nackenband schneller abläuft als in Sehnen und glatter Muskulatur. Doch spricht durchaus nichts dafür, dass im elastischen Bindegewebe die Nachwirkung schneller abläuft, als in allen

anderen Geweben, wie z. B. Knorpel oder Knochen. Endlich macht sich der Anhänger des sprachgebräuchlichen Elastizitätsbegriffes einer Inkonsequenz schuldig, wenn er ausser dem elastischen Bindegewebe auch noch dem Knorpel oder gar dem Knochen eine grosse Elastizität zuschreibt, oder wenn er im Anschluss an die Lehren der Muskelphysiologie die Elastizität des quergestreiften Muskels als gering bezeichnet.

Das Beiwort elastisch in der Benennung einer bestimmten wohlcharakterisierten Modifikation des Bindegewebes hat sich leider zu sehr eingebürgert, als dass irgend welche Aussicht vorhanden wäre, es aus der anatomischen Sprache auszumerzen. Wenn wir daher genötigt sind, auch fernerhin von einer elastischen Substanz und ihrem Vorkommen im elastischen Bindegewebe zu sprechen, so haben wir uns doch immer zu vergegenwärtigen, dass dieser Substanz die folgenden elastischen Eigenschaften zukommen:

1. Ihr Elastizitätsmodul ist bei kleinen und mittleren Ausdehnungen erheblich kleiner als der der meisten anderen Binde-substanzen.

2. Ihr Elastizitätsmodul nimmt für verschiedene Ausdehnungen verschiedene Grösse an, ebenso wie die Module wahrscheinlich der meisten tierischen Gewebe, und zwar wächst er mit der Dehnung.

3. Sie besitzt im Vergleich zu anderen tierischen Substanzen eine grosse Grenzverlängerung, wenn auch nicht die grösste unter allen.

4. Sehr schnell läuft bei ihr die elastische Nachwirkung ab. Leider kennen wir den Verlauf der elastischen Nachwirkung bei anderen tierischen Substanzen noch zu wenig, um in diesem — jedenfalls besonders wichtigen — Punkte die Stellung der elastischen Substanz genauer bestimmen zu können.