

Arbeiten aus dem Physiologischen Laboratorium der Würzburger Hochschule : III Lieferung / herausgegeben von A. Fick.

Contributors

Fick, Adolf, 1829-1901
Würzburger Hochschule. Physiologische Laboratorium

Publication/Creation

Würzburg : Druck und Verlag der Stahel'schen Buch- & Kunsthandlung, 1876.

Persistent URL

<https://wellcomecollection.org/works/mgghch8a>

License and attribution

This work has been identified as being free of known restrictions under copyright law, including all related and neighbouring rights and is being made available under the Creative Commons, Public Domain Mark.

You can copy, modify, distribute and perform the work, even for commercial purposes, without asking permission.



Wellcome Collection
183 Euston Road
London NW1 2BE UK
T +44 (0)20 7611 8722
E library@wellcomecollection.org
<https://wellcomecollection.org>

2
C. S. Schenck

ARBEITEN
AUS DEM
PHYSIOLOGISCHEN LABORATORIUM

DER
WÜRZBURGER HOCHSCHULE.

HERAUSGEGEBEN

VON

A. FICK.

(Separat-Abdruck aus den Verhandl. der physik.-med. Gesellschaft in Würzburg. Neue Folge.)

III. LIEFERUNG.

WÜRZBURG.

DRUCK UND VERLAG DER STAHEL'SCHEN BUCH- & KUNSTHANDLUNG

1876. 2/1 x

Erscheint in zwanglosen Lieferungen.

2/

INHALT

der

III. L i e f e r u n g.

	Seite
Fick, A., Zur Theorie der Farbenblindheit. (Mit 3 Xylographieen) . . .	213
Goldstein, Dr. L., Beiträge zur Lehre von der Glycogenbildung in der Leber. (Aus d. physiolog. Laboratorium der Würzburger Hochschule.)	218
Badoud, Dr. Emil, aus Romont in der Schweiz, Ueber den Einfluss des Hirns auf den Druck in der Lungenarterie (Mit Tafel XIII.) . . .	237
Fick, A., Ueber das Princip der „Zerstreuung der Energie“	249
Bour, Joh. Phil., aus Remich (Gr. Luxemburg), Ueber die verschiedene Erregbarkeit functionell verschiedener Nerv-Muskelapparate	253
Fick, Adolf junior, Ueber quere Nervendurchströmung. (Mit Tafel XIV.)	270

Zur Theorie der Farbenblindheit.

Von

A. FICK.

(Mit 3 Xylographieen.)

Schon *Purkinje* hat bemerkt, dass eine und dieselbe Strahlung auf den seitlichen Netzhautparthieen nicht denselben Eindruck macht wie auf dem gelben Fleck. Genauer untersucht sind diese Erscheinungen von *Schelske*, *Aubert*, *Woinow*, *Holmgreen*. Diese Forscher sind ziemlich übereinstimmend zu dem Ergebniss gekommen, dass die für normal geltende Mannigfaltigkeit von verschiedenen Farbenempfindungen nur einem kleinen Theil der Netzhaut um den Pol herum eigen ist. Um diesen Theil herum zieht sich eine Zone, welche sich bezüglich der Mannigfaltigkeit der Empfindungen ähnlich verhält wie die Netzhaut der rothblinden Augen. Noch weiter nach dem Aequator zu gelegene Theile der Netzhaut sind gar keiner qualitativen Unterscheidung verschiedener Farben mehr fähig. Was die Natur der Eindrücke selbst betrifft, so werden folgende Angaben gemacht, die jeder leicht bestätigen kann. Fällt das Bild einer rothen Fläche in den Bereich der erwähnten mittleren den polaren Theil der Netzhaut zunächst umgebenden Zone, so macht sie den Eindruck gelb resp. braun, sofern die scheinbare Helligkeit gering ist. Auf der aequatorialen Zone macht sie den Eindruck eines sehr lichtschwachen Weiss, so dass sie vor hellem Hintergrunde schwarz erscheinen kann. Gelbe und grüne Flächen machen auf der mittleren Zone den Eindruck eines hellen Gelb, auf der aequatorialen den Eindruck weiss. Blaue Flächen machen, wenn ihr Bild auf die mittlere Zone fällt, den Eindruck eines etwas blässeren und nicht sehr lichtstarken Blau, auf der aequatorialen Zone bringen sie ebenfalls den Eindruck Weiss hervor, jedoch in geringer Stärke, d. h. grau. Violette Flächen sehen auf der mittleren Zone blau, auf der aequatorialen grau aus. Blaugrüne Flächen müssen daher schon auf der mittleren Zone weiss resp. grau aussehen.

Die vier oben citirten Forscher stellen sich in ihren theoretischen Erörterungen sämmtlich auf den Standpunkt der von *Young* aufgestellten

und neuerdings von *Maxwell* und *Helmholtz* entwickelten Theorie der Farbenempfindung. Sie sind geneigt, zu glauben, dass die Erscheinungen im Sinne dieser Theorie erklärt werden könnten, wenn man annehme, dass nur in der Polargegend der Netzhaut die drei hypothetischen Fasergattungen vorhanden wären in der mittleren Zone noch zwei, die Grün- und Blauempfindende und in der äquatorialen Zone nur noch eine einzige, etwa die Blauempfindende.

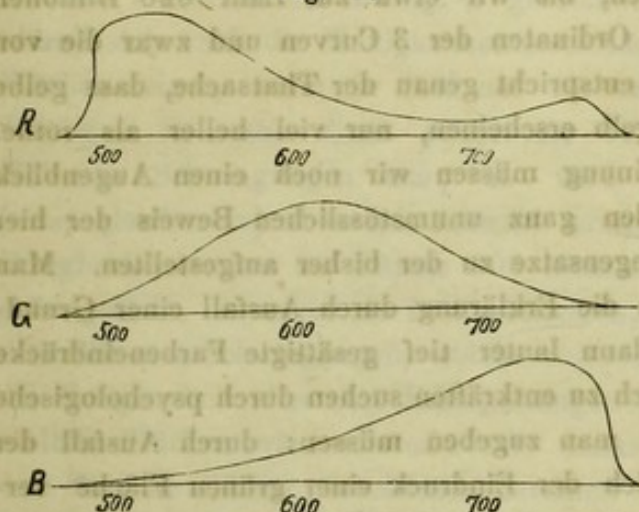
Es ist merkwürdig, dass Keinem, der den vorstehenden Erklärungsversuch vertritt, der logische Widerspruch aufgefallen ist, in welchem er mit den Grundlagen der *Young'schen* Theorie steht. Nach dieser Theorie ist nämlich der Eindruck „Weiss“ bedingt durch die gleichmässige Erregung der drei von ihr angenommenen Fasergattungen. Er kann also nur auf Netzhauttheilen vorkommen, wo alle drei vertreten sind. Wären in der äquatorialen Netzhautzone nur blauempfindende Fasern vorhanden, so müsste hier *jeder* Reiz, sei er ein electrischer, mechanischer oder eine Strahlung irgend welcher Art, wofern er überall wirkt, die Empfindung Blau von einer Sättigung hervorrufen, wie wir sie auf der Polargegend der Netzhaut gar nicht haben können, denn in dieser werden selbst durch homogene Strahlen von 676 Billionen Schwingungen die roth und grünempfindenden Fasern ein wenig mit erregt. Es müssten mit anderen Worten auf den äquatorialen Theilen der Netzhaut selbst weisse Flächen tiefblau erscheinen. Auf der mittleren Zone der Netzhaut könnte nach der obigen Theorie der Eindruck weiss auch nicht zu Stande kommen, sondern nur Eindrücke der tiefsten Farbensättigung und zwar derjenigen Qualitäten, welche wir mit grün, blaugrün, grünblau und blau bezeichnen. Diese Eindrücke entstehen nämlich nach der *Young'schen* Theorie durch die gleichzeitige Erregung der grün und blau empfindenden Fasern in verschiedenen Verhältnissen der Stärke.

Von allem dem findet aber das Gegentheil statt. Die Annahme, dass in der äquatorialen Zone zwei Fasergattungen und in der mittleren Zone eine fehlen, ist also ganz ungeeignet, die totale Farbenblindheit der äquatorialen und die partielle (Rothblindheit) der mittleren Zone zu erklären.

Es gibt aber eine andere sehr wahrscheinliche Annahme, welche alle von den oben citirten Forschern beschriebene Erscheinungen vortrefflich mit der *Young'schen* Theorie in Einklang bringt. Bekanntlich erklärt man im Sinne dieser Theorie die Abhängigkeit der Farbenempfindung auf der Polargegend der Retina von der physikalischen Beschaffenheit der einwirkenden Strahlung durch folgende Annahme: Gleiche und zwar mässig starke Intensität der homogenen Strahlung vorausgesetzt, ist die

Erregung jeder der drei Fasergattungen eine Function der Schwingungszahl der Strahlung und zwar stellt sich diese Function für die rothempfindenden Fasern durch die Curve R ¹⁾, für die grünempfindenden durch

Fig. 1.

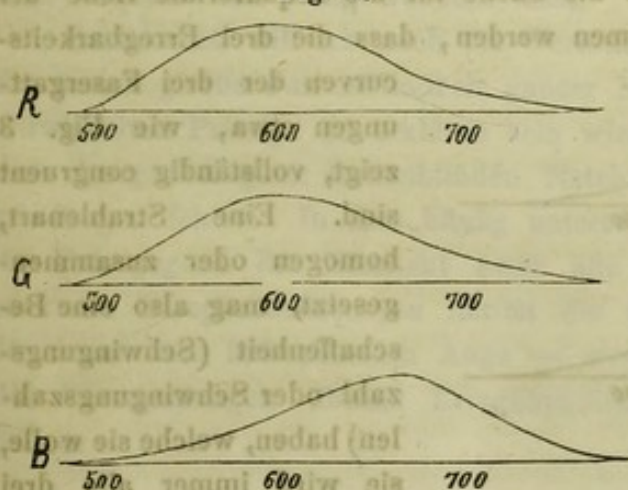


die Curve G , für die blauempfindenden Fasern durch die Curve B in Fig. 1 dar, wo in der Abscisse die Schwingungszahlen gemessen sind.

Wir nehmen nun an, dass in der mittleren Zone der Netzhaut jede Stelle wie in der Polargegend die drei Fasergattungen enthält, deren spezifische Energien Rothempfinden, Grünempfinden und Blauempfinden sind.

Aber die Endapparate dieser Fasergattungen sind etwas anders beschaffen, so dass die Erregung als Function der Schwingungszahl der einwirkenden Strahlung nicht mehr durch die drei Curven der Fig. 1 dargestellt wird, sondern etwa durch die Curven der Fig 2., wo die 3 Maxima näher zusammengedrückt, die beiden für R und G wohl schon ganz an dieselbe Stelle des Spectrums gerückt sind. In der That nehmen wir an, dass die Erregbarkeitscurven der drei Arten von Faserenden so verlaufen wie

Fig. 2.



R , G , B in Fig. 2, dann erklären sich alle Erscheinungen der mittleren Zone. Fällt das Bild einer rothen Fläche auf die fragliche Zone, so muss der Eindruck lichtschrach gelb sein. Die Fläche nämlich sendet vorwiegend Strahlen von 500 bis 550 Billionen Schwingungen aus und diese erregen keine der drei Fasergattungen (siehe die betref-

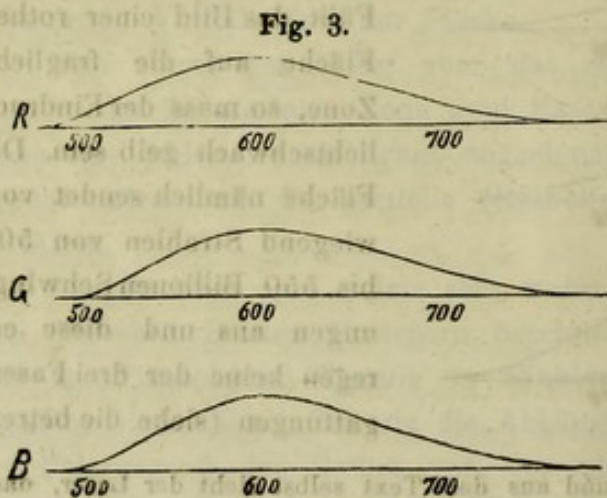
¹⁾ An der Form der Curve R und aus dem Text selbst sieht der Leser, dass ich mit *Maxwell Blau* und nicht *Violett* für eine der drei Grundfarben halte. Keines der gegnerischen Argumente halte ich für zwingend.

fenden Ordinaten in Fig. 2) stark, daher der Eindruck überhaupt wenig hell, aber doch vorwiegend und zwar vollkommen gleichmässig *R* und *G* — also der Eindruck gelb. Der Eindruck gelb muss sich dann auch, nur etwas blasser, und zugleich bedeutend stärker werdend erhalten, wenn wir mit der Schwingungszahl steigen, bis wir etwa zur Zahl 620 Billionen kommen, denn es wachsen die Ordinaten der 3 Curven und zwar die von *R* und *G* gleichmässig. Dies entspricht genau der Thatsache, dass gelbe und grüne Flächen ebenfalls gelb erscheinen, nur viel heller als rothe.

Bei der letzteren Erscheinung müssen wir noch einen Augenblick verweilen, denn sie enthält den ganz unumstösslichen Beweis der hier vertretenen Anschauung im Gegensatze zu der bisher aufgestellten. Man könnte meinen Einwand gegen die Erklärung durch Ausfall einer Grundempfindung, dass nämlich alsdann lauter tief gesättigte Farbeindrücke entstehen müssten, allenfalls noch zu entkräften suchen durch psychologische Erörterungen. Das aber wird man zugeben müssen: durch Ausfall der Rothempfindung kann unmöglich der Eindruck einer grünen Fläche verschoben werden *gerade nach dieser Grundempfindung* hin, was doch in der That stattfindet, indem grüne Flächen auf der betreffenden Zone der Netzhaut den Eindruck *gelb* machen. Meine Erklärung dagegen gibt von dieser Thatsache, wie wir sahen, aufs Ungezwungenste Rechenschaft.

Lassen wir die Schwingungszahl noch weiter wachsen, so finden wir in der Curve *B* die Ordinate grösser als in *R* und *G*. Strahlen von mehr als 650 Billionen Schwingungen müssen also 'den Eindruck des Blau hervorbringen, wie auch wirklich beobachtet ist, indem blaue und violette Flächen auf der fraglichen Zone blau erscheinen.

Ganz einfach gestaltet sich die Sache für die aequatoriale Zone der Netzhaut. Hier muss angenommen werden, dass die drei Erregbarkeits-



curven der drei Fasergattungen etwa, wie Fig. 3 zeigt, vollständig congruent sind. Eine Strahlenart, homogen oder zusammengesetzt, mag also eine Beschaffenheit (Schwingungszahl oder Schwingungszahlen) haben, welche sie wolle, sie wird immer alle drei Fasergattungen in *gleicher* Stärke erregen, d. h. den Eindruck des weissen her-

vorbringen. So wäre denn erklärt, dass mit den aequatorialen Theilen der Netzhaut gesehen alle wie auch immer gefärbten Flächen weiss (resp. grau) erscheinen, was durch die Annahme des Fehlens zweier der hypothetischen Fasergattungen schlechterdings nicht zu erklären ist. Wenn wir den 3 Curven die in Fig. 3 gezeichnete Gestalt beilegen, dann erklären sich auch die Helligkeitsunterschiede, welche verschiedenen gefärbte Flächen zeigen, wenn ihr Bild auf die aequatoriale Zone fällt. Ist die Fläche z. B. roth, d. h. sendet sie vorwiegend Licht von etwa 500 Billionen Schwingungen aus, so wird sie alle drei Fasergattungen (zwar gleich aber) eben nur schwach erregen, da die Ordinaten aller drei Erregbarkeitscurven im Punkte 500 klein sind. Ist die Fläche gelb oder grün gefärbt, so muss sie hell erscheinen, weil für Strahlen von etwa 600 Billionen Schwingungen, welche solche Flächen vorwiegend aussenden, die Erregbarkeit aller drei Fasergattungen ein Maximum ist. Blaue und violette Flächen werden wieder sehr dunkel weiss (oder grau) erscheinen, weil für die stärker brechbaren Strahlen von 700 Billionen und mehr Schwingungen unsere Curven wieder sehr kleine Ordinaten haben.

Es braucht kaum noch ausgeführt zu werden, dass meine Annahme mit der grössten Leichtigkeit allen vorstehend auch nicht erwähnten Einzelheiten der citirten Untersuchungen gerecht wird. Es versteht sich ferner wohl von selbst, dass ich mir den Uebergang der Curvenformen von Fig. 1 in die von Fig. 2 und dann in die von Fig. 3 nicht plötzlich sondern allmählich vorstelle, wodurch Zwischenstufen der Farbenblindheit bedingt sind, die man alle antrifft, wenn man das Bild einer farbigen Fläche auf irgend einem Meridian von der fovea centralis nach dem Aequator hin stetig wandern lässt.

Schliesslich will ich noch die Vermuthung aussprechen, dass auch die pathologische Farbenblindheit ganzer Netzhäute nach dem vorstehend entwickelten Principe zu erklären sein wird und nicht durch die Annahme, dass der pathologisch farbenblinden Netzhaut eine oder zwei Grundempfindungen fehlen. In dem häufig untersuchten rothblinden Auge würde die Polargegend der Netzhaut zwar alle drei Fasergattungen besitzen, aber die Erregbarkeitscurven hätten die in Fig. 2 dargestellte Gestalt. In einem total farbenblinden Auge — wofern es solche gibt — müssten die Fasergattungen überall Erregbarkeitscurven von der Form Fig. 3 haben.

Beiträge zur Lehre von der Glycogenbildung in der Leber.

(Aus dem physiologischen Laboratorium der Würzburger Hochschule.)

Von

Dr. L. GOLDSTEIN.

Die schon seit längerer Zeit gemachte Beobachtung, dass die Leber hungernder Thiere frei von Glycogen ist, musste nothwendig zu der Erwägung führen, dass der eine oder der andere der eingeführten Nahrungstoffe oder vielleicht eine Combination von mehreren zur Erzeugung des Leberamylums in direkter Beziehung stehen. Zunächst musste man an das Amylum denken, da es ja im Organismus in Zucker umgewandelt wird, welcher nicht allein durch die Aehnlichkeit der chemischen Zusammensetzung, als auch dadurch, dass das Glycogen selbst nach dem Tode des Thieres in kurzer Zeit zu Zucker wird, den Rückschluss auf die Bildung des Glycogens aus ihm rechtfertigte. Und doch hat man sich lange gesträubt und sträubt sich noch heute, eine direkte Umwandlung des Zuckers in Glycogen anzunehmen, welche Thatsache zuerst in exacter Weise von *Pavy* in seiner bei uns leider viel zu wenig gelesenen Schrift über den „Diabetes mellitus und seine Behandlung“¹⁾ ausgesprochen und durch Experimente erhärtet wurde.

Meissner versuchte auf Grund theoretischer Erörterungen die Bildung des Glycogens aus den in der Leber zu Grunde gehenden rothen Blutkörperchen nachzuweisen. Allein so geistreich diese Auseinandersetzung auch immerhin sein mag, sie ist bislang noch nicht experimentell erwiesen.

Eine andere Art und Weise für die Bildung des Glycogens in der Leber ist durch Arbeiten aus dem *Brücke'schen* Laboratorium aufgestellt

¹⁾ In's Deutsche übertragen von Dr. W. *Langenbeck*. Göttingen. Vandenhoeck u. Ruprecht's Verlag.

worden. Es wird in ihnen der vermehrte Gehalt der Leber an Glycogen nach Zucker- und Stärkemehlfütterung nicht geläugnet, ja sogar durch *Tscherinoff's* Versuche¹⁾ bestätigt, es wird aber angenommen, dass in der Leber continuirlich Glycogen abgelagert werde, welches seinen Ursprung in einer Zersetzung von Eiweisskörpern verdanke, und jene Anhäufung von Glycogen bei Zufuhr von Kohlenhydraten nur dadurch bewerkstelligt würde, dass letztere durch den Respirationsprocess verzehrt werden, welcher sonst das Leberglycogen verbrauche. Diese letzte Auffassung versuchte in allerneuester Zeit *Weiss*²⁾ durch neue Belege zu bekräftigen, indem ihm auch vom chemischen Standpunkte aus die Umwandlung des Zuckers in Glycogen grossen Schwierigkeiten zu unterliegen scheint. Die Möglichkeit solcher hydrolytischen Synthesen bei den Assimilationsprocessen hat aber *Hermann*³⁾ zur Genüge dargethan, und in der That besitzen wir ja in der mit Wasserbildung einhergehenden Entstehung von Hippursäure aus Glycocol- und Bensoëssäure einen ähnlichen sogenannten Deshydrationsprozess. Wie bemerkt, war es zuerst *Pavy*, welcher, da er als Schüler *Bernard's* in seine Heimath zurückgekehrt, die Sätze seines Lehrers von der glycogenen Funktion der Leber weiter verfolgen und bestätigen wollte, nothgedrungen durch seine Experimente dahin geführt wurde, die Behauptungen *Bernard's* umzustossen und zu constatiren, dass die lebende Leber keinen Zucker bilde, sondern vielmehr aus dem eingeführten Zucker das Leberamylum hervorgehe. Er prüfte den Gehalt der Leber an amyloider Substanz von Hunden und Kaninchen bei animalischer — vegetabilischer und einer animalischen Diät mit Zusatz von Zucker und fand, dass bei vegetabilischer, resp. Mischung aus vegetabilischer mit animalischer Diät, die grössten Procentzahlen für den Gehalt der Leber an Glycogen gefunden wurde. Die Erwägung, dass eine Umwandlung dieses aus Zucker entstandenen Glycogens in Zucker während des Lebens als ein beabsichtigter Naturprocess ungewöhnlich und unwahrscheinlich erscheine, lässt ihn auch von dieser Seite als Gegner *Bernard's* erkennen. Im Wesentlichen bestätigt wurden seine Angaben durch eine zweite Arbeit *Tscherinoff's*⁴⁾, welcher Fütterungsversuche an Hühnern anstellte, deren Lebern durch Hungern glycogenfrei gemacht worden waren. Auch für die Erklärung der direkten Umwandlung des Zuckers in Glycogen spricht

1) Sitzungsberichte der k. Akad. der Wissenschaft. Bd. LI. 2 Abth.

2) Sitzungsber. Bd. LXVII. 3. Abth.

3) Ein Beitrag zum Verständniss der Verdauung und Ernährung. Zürich. 1868.

4) *Virchow's Arch.* Bd. 47. S. 102.

sich *Tscherinoff* in dieser Arbeit aus, ja er will fortan statt des Namens Glycogen den sachgemässerem Glycophthirium einführen. — Ebenso hatte *M'Donnel*¹⁾ eine Vermehrung des Glycogens nach Fütterung mit Amylaceen gefunden,

Schon zur Zeit meiner Assistenz im hiesigen physiologischen Laboratorium war mir von Herrn Prof. *Fick* vorgeschlagen, in Gemeinschaft mit ihm direktere Versuche über diesen Gegenstand anzustellen. da einestheils die Methoden, nach denen die erwähnten Forscher das Glycogen in der Leber bestimmt hatten, als auch die Methode der Fütterung Grund für Einwände verschiedener Art gaben. Die Resultate unserer damaligen Versuche jedoch fielen fast sämmtlich negativ aus und sind nicht veröffentlicht worden. Als Grund dafür müssen wir heute die mangelhafte Versuchsanordnung und die Bestimmung des Glycogens angeben. Wir leiteten nämlich eine Traubenzuckerlösung entweder durch die ausgeschnittene oder die im Organismus gelassene Leber von Thieren, die vorher einer mehr oder weniger längeren Hungerkur ausgesetzt gewesen waren und bestimmten das Glycogen als Zucker, nachdem wir das Extract der zerkleinerten und in heisses Wasser geworfenen Leber mit Säure gekocht hatten. Das schnelle Absterben der ausgeschnittenen Leber sowie der Eingriff in den Organismus durch Oeffnen des Bauches, Abschneiden eines Stückchens Leber zur Controle u. s. w. hatten höchst wahrscheinlich die ungünstigen Resultate zur Folge. Wir erhielten selbst in zwei Fällen, in denen wir eine Zuckerlösung in eine Darmvene injicirten, kein Glycogen oder doch nur so viel, als etwa das hungernde Thier noch in seiner Leber zurückbehalten haben konnte. Eine Weiterverfolgung dieser Versuche wurde theils durch anderweitige Arbeiten, theils durch meine Abreise von Würzburg vereitelt.

Glücklicher hatte inzwischen *F. W. Dock*²⁾ im Hermann'schen Laboratorium in Zürich experimentirt. Er erhebt gegen die Methoden der Darstellung resp. Bestimmung des Glycogengehaltes der genannten Experimentatoren gewichtige Einwände und findet, indem er das Glycogen nach einer von *Brücke* angegebenen Methode direkt bestimmte, dass bei Kaninchen, die mehrere Tage gehungert hatten und denen er dann eine Traubenzuckerlösung³⁾ in den Magen injicirte, erstens die Leber nach

¹⁾ Centralblatt 1862 Nr. 14.

²⁾ Ueber die Glycogenbildung in der Leber und ihre Beziehungen zum Diabetes. Arch. f. Phys. Bd. V. S. 571.

³⁾ Nicht Rohrzucker, wie fälschlich in der Arbeit von *Hoppe-Seiler* (Arch. f. Phys. Bd. VII. S. 410) angegeben ist.

wenigen Hungertagen wenig oder kein Glycogen mehr enthalte und zweitens, dass durch wenige Zuckerinjectionen ein reichlicher Glycogengehalt der Leber erzeugt werde. Diese Versuche sollen einer Mittheilung ¹⁾ Hoppe-Seiler's zu Folge von Woroschiloff an Hunden bestätigt sein. Trotzdem es hierdurch ziemlich sicher gestellt war, dass sich der eingeführte Zucker in der Leber in Glycogen verwandelt, so nahm ich, nach Würzburg zurückgekehrt, eine Weiterverfolgung dieses Gegenstandes wieder auf, da einestheils bei der Wichtigkeit desselben für die Physiologie der Verdauung eine einfache Bestätigung der vorliegenden Thatsachen nicht ohne Interesse gewesen wären, und andererseits sich mir auch die Aussicht bot, eine Erweiterung des bis jetzt Bekannten anzustreben. So war es bis dahin noch von Niemand unternommen worden, die Leber hungerner Thiere nach Einspritzungen von Traubenzucker i'ns Blut zu untersuchen, und ich machte mich daher zunächst daran, dies zu ermitteln, überall durch Rath und That bei meinen Experimenten von Herrn Prof. Fick begleitet, dem ich an dieser Stelle meinen tiefgefühlten Dank ausspreche! Wie es bei jeder grösseren Arbeit geschieht, so waren auch bei dieser, je weiter ich vorschritt, desto mehr Zweifel zu lösen, so dass sich die Experimente auf einen Zeitraum eines Jahres ausdehnten. Während ich in der Ausführung begriffen war, erschienen noch zwei Arbeiten, die ich, bevor ich meine Resultate mittheile, noch kurz besprechen muss. E Schöpfer ²⁾ wiederholte jene Bernard'schen Versuche mit Einspritzungen von Traubenzucker in einen Zweig der ven. port., wobei der Zucker im Harn nicht wieder zum Vorschein kommen soll, während eine Einspritzung in eine Körpervene stets Zuckerharn erzeuge. Aus seinen Zahlen geht hervor, dass bei starkem Drucke und bei grossen Mengen der Zucker, auch wenn er in einen Zweig der vena porta eingespritzt wird, zum Theil im Harn wieder erscheint, dass aber kleinere Mengen langsam injicirt, zuweilen ganz verschwinden, was übrigens auch schon Pavy ³⁾ betont hatte. Er sagt: die Kraft der Leber, Zucker anzuhalten und in amyloide Substanz zu verwandeln, ist keine unbeschränkte; denn obgleich die Aufnahme von Zucker in den Organismus in mässiger Menge und auf dem gewöhnlichen Wege keinen Zuckerreichthum im allgemeinen Kreislauf veranlasst, so kann doch, wenn die Einführung desselben über ein ge-

¹⁾ l. c.

²⁾ Beiträge zur Kenntniss der Glycogenbildung in der Leber (Arch. f. exp. Path. und Pharmacol. Bd. I. S. 73.)

³⁾ l. c. S. 92.

wisses Maas hinausgeht und also grosse Mengen zur Leber gelangen würden, ein Theil durch dieselbe hindurchtreten und dem Blute und in Folge dessen dem Harn eine mehr oder weniger zuckerhaltige Beschaffenheit verleihen; *dies ist bei Injectionen von Zucker direkt in einen Ast der Pfortader der Fall.* Da ausserdem Schöpfer in keinem Versuche den Glycogengehalt der Leber bestimmte, sondern einfach auf Grund der Tscherinoff'schen Experimente annahm, dass der Zucker sämmtlich in Glycogen umgewandelt würde, so können seine Versuche für die vorliegende Frage nicht als beweiskräftig angesehen werden, und erscheint der Satz, die Leber verarbeite in einer Minute 0,12 grm. Zucker, mindestens sehr gewagt. Die zweite Arbeit ist die oben citirte von Weiss, welcher nach Einverleibung von Glycerin bei Hühnern eine Vermehrung des Glycogengehaltes der Leber fand und desshalb die bereits erwähnte (siehe Seite 2) Auffassung von der Entstehung des Glycogens aus Eiweisskörpern theilt, da durch die leichte Verbrennbarkeit des Glycerins weniger Glycogen verbraucht würde. Glycerin als rasch und leicht verbrennbarer Stoff, soll eine Ersparung des Glycogens und dadurch die erzielte Anhäufung herbeiführen. Luchsinger¹⁾ indess hat mit Recht auf die Aehnlichkeit in der chemischen Zusammensetzung des Glycerins und Zuckers hingewiesen, so dass es gar nicht unwahrscheinlich erscheint, dass es im Organismus zunächst zu Zucker und dann weiter zu Glycogen umgewandelt wird. Wenigstens zeigen die Versuche Luchsinger's mit anderweitigen leicht oxydablen Substanzen wie Milchsäure und Weinsteinsäure, sowie die subcutane Injection von Glycerin, welche sämmtlich keine Glycogenbildung zu Stande brachten, dass die Bildung des Glycogens aus Glycerin und Zucker im Sinne von Weiss nicht als richtig angesehen werden kann.

Da wir durch die älteren Aussprüche von Poggiale, Bernard, Limpert u. Falk, Lehmann u. Uhle und durch die neueren schärfer formulirten v. Becker wussten, dass injicirter Zucker nach ca. 45 Min. wieder im Harn erscheint und ein nicht unbedeutender Theil eben durch die Nieren ausgeschieden wird, so suchten wir anfangs den Zucker durch Extirpation beider Nieren bei Kaninchen länger im Blute zu lassen; allein der Eingriff in den Organismus mochte auch hier wohl zu gross gewesen sein; die Versuche sind, wie wir später sehen werden, wenn auch nicht absolut ungünstig, so doch wenigstens nicht schlagend ausgefallen. Auch liess die Methode der Glycogenbestimmung bei diesen Versuchen noch viel zu wünschen übrig. Da wir voraussichtlich eine grosse Reihe von Versuchen

¹⁾ Pflüg. Arch. VIII. Bd. 6. u. 7. Heft.

zu machen hatten und es uns darauf ankam, möglichst schnell das Glycogen zu bestimmen, so mussten wir nach einer Methode suchen, welche nicht so viel Zeit, wie die bereits bekannten, in Anspruch nahm und mit hinreichender Sicherheit uns den Gehalt der Leber an Glycogen angab. Die Brücke'sche Methode, nach welcher die meisten der in letzter Zeit über unsern Gegenstand experimentirenden Forscher gearbeitet haben, war von uns praktisch nicht angewendet worden und können wir daher uns kein Urtheil über dieselbe erlauben. Die von uns angewandte Methode beruhte auf der Braunfärbung des Glycogens durch Jod. Wir bereiteten uns eine Lösung von $10/100$ käuflichen (v. Sittel) Glycogen und füllten sie in eine graduirte Bürette. In einer anderen Bürette hatten wir eine nicht zu concentrirte Lösung von Jod-Jod-Kalilösung eingefüllt. Nachdem nun die Leber aus dem lebenden Thiere ausgeschnitten, schnell zerkleinert und in mit Essigsäure schwach angesäuertes siedendes Wasser geworfen, nachdem dieselbe dann mit gereinigtem Sande stark in einem Mörser zerrieben war, wurde das Filtrat zur Untersuchung genommen, und zwar wurde zu einem Cubikcentimeter 1 Ctm. der Jodlösung hinzugefügt und in einem 39 Ctm. haltenden Medicingläschen mit Wasser bis zu einer Marke verdünnt. Darauf wurde eine Vergleichung mit einer Lösung von 1 Ctm. resp. 2, 3 Ctm. u. s. w. jener Normal Glycogenlösung und 1 Ctm. der Jodlösung vorgenommen, indem die Flüssigkeiten in parallelwandige, viereckige Kästchen (ähnlich den Hämatinometern) geschüttet u. nebeneinander gestellt wurden. Entsprach z. B. die Lösung aus 39 Ctm. H_2O , 1 Ctm. des Leberextractes und 1 Ctm. Lugol'scher Lösung einer von 5 Ctm. unserer Normalglycogenlösung + 1 Ctm. Jod-Jod-Kalilösung und 39 Ctm. H_2O , so waren in einem Cubikcentimeter des Extracts 5 Milligramme Glycogen enthalten, welches dann einfach mit der ganzen Menge des Extractes multiplicirt wurde. Obgleich man gewöhnlich auf derartige Farbenreactionen kein grosses Gewicht zu legen scheint, so müssen wir doch gestehen, dass dieselbe uns für unsere Zwecke die ausgezeichnetsten Dienste geleistet hat. Jeder, auch der Nichteingeweihte, bestimmte, wenn die verschiedenen Kästchen nebeneinander gestellt waren, mit Sicherheit, welches den grösseren Gehalt an Glycogen, resp. welches dunklere Färbung hatte. Bevor man 1 Ctm. u. s. w. der Jodlösung zusetzt, thut man gut, einige Tropfen zum Leber-Extract zuzufügen, bis eine schwache Färbung eintritt, da die fett-¹⁾ und kohlensauren Alkalien, die häufig vorhanden sind, durch

¹⁾ Einige vorläufige Versuche mit Stärkekleister, Jod- und Seifenlösung, machten es uns wahrscheinlich, dass auch die fettsauren Alkalien jene Eigenschaften besitzen.

Bildung von Jodkali die Glycogenreaction verdecken. Auch die anfänglich von uns angewendete Methode des Einspritzens in eine Vene haben wir modificirt. Da es darauf ankam, mit nicht allzugrossem Drucke den Zucker in das Blut einzuführen, damit er nicht so schnell durch den Urin ausgeschieden wurde, so füllten wir die Lösung in eine graduirte Bürette, welche an einem Stativ befestigt durch Heben und Senken so regulirt wurde, dass etwa in zwei Minuten 1 Ctm. in einen Zweig der vena jug. einfluss.

Die Versuche der *ersten Reihe* umfasst die Einspritzung von Traubenzucker in das Blut nephrotomirter Kaninchen. Die Resultate sind aus der nebenstehenden Tabelle ersichtlich. In den ersten 6 Versuchen sollte das Glycogen durch Kochen mit Salzsäure als Zucker mittelst der Fehling'schen Lösung bestimmt werden. Wie man sieht, ist eigentlich nur der Versuch 3, in welchem fast 0,2 Zucker erhalten wurden, beweiskräftig; übrigens war bei diesem Versuche die Operation sehr gut gelungen. Bei sämtlichen Versuchen wurde die Zuckerlösung, deren Gehalt an Zucker jedesmal durch den Saccharimeter bestimmt worden, in einen Zweig der vena jugularis mittelst Canüle und Spritze eingeführt.

Einige Versuche, bei denen die Untersuchung erst am folgenden Tage vorgenommen wurde, sind fortgelassen.

Taf. I. Nephrotomirte Kaninchen. Einspritzungen von Zucker in's Blut.

Nr.	Datum.	Zeit des Hungerns.	Nephrot.	Eingespritzt.	Zucker.	Getötet.	Glycogen.	Zucker.	Jodreaction.	Bemerkungen.
1.	19. 10. 72	1 1/2 Tage.	11h. 30m. a. m.	11h. 50m.	1,3 grm.	4h. — p. m.	—	—	Jodreaction nicht vor- handen.	Glycogen in Zucker d. HCl. übergef. nicht bestimmbare Menge.
2.	23. 10. 72	2 Tage.	10h. 30m.	10h. 45m.	1,6 grm.	12h. 5m. p. m.	—	—	Jodreaction vorhanden.	Glycogen in Zucker über- gef. nicht bestimmbar. Kaninchen zieml. gross. männlich. Operat. gut gelungen.
3.	30. 10. 72	2 Tage.	4h. 30m. p. m.	4h. 45m.	1,5 grm.	5h. 50m. p.	—	—	Jodreaction recht deut- lich vorhan- den.	Glycogen als Zucker best. 0,199. Operation gut gelungen. Section nichts Besonderes.
4.	7. 11. 72	2 1/2 Tage.	—	—	—	5h. 50m. m.	—	—	Jodreaction nicht vorh.	Glycogen als Zucker nicht bestimmbar.
5.	13. 11. 72	2 Tage.	4h. 30m.	—	—	5h. 20m.	—	—	Jodreaction nicht vorh.	—
6.	6. 1. 73	2 1/2 Tage.	10h. 45m. a. m.	11h. 10m.	2 grm.	12h. 10m.	0,0353	—	vorhanden.	Traubenzucker-Lösung schmeckt schimmelich. Bestimmung des Gly- cogens nach der Far- benreaction

Taf. II. Einträufelung von Zucker in's Blut bei Kaninchen.

Datum.	Zeit des Hungerns.	Zeit der Einträufelung	Ende der Einträufelung	Zucker.	Getödtet.	Glycogen.	Zucker.	Bemerkungen.
1. 29. 1. 73.	2 Tage.	3h. 45m. p. m.	5h. 2m.	6,7 grm.	5h. 5m.	—	—	Thier in Watte gewickelt, Jodreaction des Leberfiltrats vorhanden, erst am andern Morgen — untersucht — verschwunden, dafür Zucker. Harn nach 30 Min. zuckerhaltig, am Ende 11 Ctm. genommen enthalten 0,55 grm. Zucker. React. d. Harn sauer.
2. 6. 2. 73	2 Tage.	11h. 25m. a. m.	12h. 14m.	7,2 grm.	12h. 45m.	0, 22	Leberextract. Zuckerreact. vorhanden 3h. 44m.	Harn sauer, nach 33 Min. zuckerhaltig. Extract der Leber milchig. Thier im Kasten viel Urin gelassen.
3. 10. 2. 73	a. 2½ Tage.	a. 11h. 31m.	12h. 4m.	7,5 grm.	1h. —	0,104	—	a. Harn sauer, nach 46 M. zuckerhaltig.
2. Kaninchen.	b. 2½ Tage.	b. —	—	—	11h. 45m.	0,078	—	b. Harn sauer, ohne Zucker.
4. 18. 2. 73	3 Tage.	a. 9h. 10m.	10h. 40m.	5,76 grm.	11h. 15m.	0,156	Zuckerreact. des Extractes.	a. Harn sauer, nach 10 M. zuckerhaltig.
2. Kaninchen.	6 Tage.	—	—	—	11h. 10m.	0,031	—	—

Bei der *zweiten Reihe* der Untersuchungen wurden die Nieren intact gelassen, die Zuckerlösung wurde in der beschriebenen Weise eingeträufelt, der Urin von Zeit zu Zeit aus der Blase entleert. Die Glycogenbestimmung geschah nach der Farbenreaction. Die nebenstehende Tabelle zeigt, dass auch bei Zuckereinspritzungen in's Blut die vorher glycogenfreie Leber in kurzer Zeit glycogenhaltig wird. Zwar sind durch die angegebene Hungerkur von $2\frac{1}{2}$ —3 Tagen die Lebern nicht absolut frei geworden, wie die Controlthiere des 3. und 4. Versuches zeigen, auch ist im dritten Versuch der Unterschied des Glycogengehaltes nicht sehr bedeutend, wogegen der Gehalt der Leber an Glycogen im vierten das Fünffache der des Controlthieres beträgt. In einem Versuche tritt schon nach 10 Min. Zucker im Harn auf, in den meisten Fällen den Angaben älterer Forscher entsprechend nach 30—40 M. Die Zeit, die zwischen dem Ende der Einträufelung und dem Anfange des Aufschneiden des Bauches verlief, betrug gewöhnlich eine Stunde. Die Glycogenmengen des dritten Versuches wurden einer Degestion mit Speichel bei einer Temperatur von 40° C. eine halbe Stunde lang unterworfen.

0,078 Glycogen gaben 0,043 Zucker,

0,104 " " 0,065 "

Die Jodreaction war in beiden Portionen nicht mehr vorhanden. Wenn es erlaubt ist, aus diesen beiden Versuchen zu schliessen, dass nicht ganz die Hälfte des vorhandenen Glycogens beim Digeriren in Zucker übergeführt wird, und wenn dieselben Verhältnisse für die Umwandlung beim Kochen mit Salzsäure stattfinden, so würde die Glycogenmenge des Versuches 3 auf Tabelle I etwa 0,3 grm. betragen haben.

Die *dritte Reihe* war eine einfache Wiederholung der Dock'schen Versuche, die dahin erweitert wurde, dass bei zweien derselben gleichzeitig einem ebenso lange gefastet habenden Kaninchen eine Zuckerlösung in's Blut eingeführt wurde. Die Resultate sind aus der Tabelle III ersichtlich.

Taf. III. Einspritzung von Zucker in den Magen der Kaninchen.

N. d. Vers.	Datum.	Zeit des Hungerns.	Zeit der Einspritzung.	Menge des Zuckers.	Getötet.	Glycogen.	Magen- und Darminhalt.	Bemerkungen.
1.	23. 2. 73	3 Tage.	8h. 45m. a. m.	9,4 grm.	12h. 10m.	0,3	Zucker. 2,0	Urin sauer. Zuckerhaltig nach 2 St. u. 15 M. Inhalt nicht untersucht.
2.	25. 4. 73 2 Kaninch.	a. 4 Tage. b. 4 Tage.	a. 11h. 40m. —	10,7 grm. —	a. 4h. — b. 3h. 45m.	0,169 0,0243	Zucker d. Extr. 0,224 0,155	a. Harn zuckerhaltig.
3.	9. 5. 73 2 Kaninch.	a. 3 1/2 Tage. b. 3 1/2 Tage.	a. 9h. 15m. b. 11h. 15m.	12 grm. 8 grm.	a. 3h. 15m. b. 3h. 20m.	a. 0,28 b. 0,4	— —	Magen und Darm leer. b. Einträufelung v. Zucker in's Blut.
4.	17. 5. 73 2 Kaninch. 18. 5. 73 19. 5. 63	a. 4 Tage. b. 4 Tage.	a. 10h. —m. b. 10 15 a. 10 25 b. 11 30 a. 9 45	a. 10,8 grm. b. 10,8 grm. a. 10,5 grm. b. 10,5 grm. a. 10,2 grm.	4h. 15m.	a. 0,884	Magen u. Darm. 1,8 grm.	b. Einträufelung in's Blut. Urin bei beiden keine unzweifelhafte Zuckerreaction. b. Todt vorgefunden. a. Urin vor dem Versuch zuckerfrei. Nach dem Versuch ebenfalls zuckerfrei.

Die grösste Menge des Glycogens 0,884 grm. wurde bei einem Kaninchen, welchem 3 Tage hindurch jedesmal etwa über 10 grm. Zucker durch die Schlundsonde in den Magen gebracht war, erzielt. Das gleichzeitig mit Injection in's Blut behandelte Thier wurde am dritten Tage todt vorgefunden, und ist daher eine Vergleichung über die beiderseitige etwaige Wirkung nur aus Versuch 3 zu ziehen, in welchem der Glycogengehalt der Leber des einer Injection in's Blut unterworfenen Thieres fast das Doppelte von dem des in den Magen injicirten betrug. Zu bemerken ist, dass wir niemals so grosse Mengen bekommen haben, wie sie *Dock* angibt, welcher nach mehrtägiger Injection von Zucker meistens über einen grm. Glycogen bekam. Ob der Unterschied auf der Verschiedenartigkeit der Bestimmung des Glycogens beruht, vermögen wir nicht anzugeben.

Gleichzeitig ist aus den 3 Tabellen zu ersehen, dass es nicht möglich war, auch bei ziemlich langer Hungerzeit, die Lebern der Controllthiere vollständig glycogenfrei zu erhalten (länger wie 4 Tage konnten wir die Thiere, ohne dass sie krank wurden und starben, nie hungern lassen; *Dock* gibt für seine Thiere 5 — 8 Tage Hungerzeit an). Daher war es uns sehr erwünscht, als wir bei Gelegenheit der Untersuchung von *Froschlebern* fanden, dass dieselben wenigstens, nachdem sie im Winter längere Zeit in unseren Behältern ohne Nahrung zugebracht, vollständig glycogenfrei waren. Unter 20 Controllfröschen, deren Lebern wir eigens auf ihren Glycogengehalt untersuchten, waren nur drei, welche Spuren von Glycogen enthielten. Freilich hätte selbst, wenn bei Einführung von Zucker, kein Glycogen in den Lebern zu Tage getreten wäre, dies negative Resultat nicht absolut gegen die Lehre von der Umbildung des Zuckers in Glycogen gesprochen, da möglicherweise bei den Kaltblütern die günstigen Bedingungen für diesen chemischen Prozess fehlen konnten — um so erfreulicher ist es, wenn wir auch hier von positiven Resultaten berichten können, wie die Tabelle IV anzeigt.

Taf. IV.

Versuche an Fröschen. Einspritzung von Zucker.

A. Einspritzung unter die Rückenhaut.

N. d. Vers.	Datum.	Zeit der Einspritzung.	Was eingespritzt.	Wo eingespritzt.	Getötet.	Glycogen.	Bemerkungen.
1.	5. 6. 73	4h. 20m. p. m.	0,56 grm. Z.	Rlymphsack.	6. 6. 73 10h. — m. a. m.	0,075	In beiden Flüssigkeiten kein Zucker.
2.	5. 6. 73	4 20 p. m.	0,56 grm. Z.	Rlymph.	6. 6. — 10 —	0,072	
3.	10. 6. 73	4h. 30m. p. m.	0,2 grm. Z.	Rl.	11. 6. — 10h. —	0,034	Kein Zucker. Leber dunkelbraun.
4.	10. 6. 73	4 30 p. m.	0,3 grm. Z.	Rl.	11. 6. — 10 —	0,028	
5.	10. 6. 73	4 30 p. m.	0,3 grm. Z.	Rl.	—		
	11. 6. 73	11 15 a. m.	0,3 grm. Z.	Rl.	—		
	12. 6. 73	10 15 a. m.	0,3 grm. Z.	Rl.	—		
	13. 6. 73	—	—	—	9h. 30m. a. m.	0,03	
6.	13. 6. 73	3h. — m. p. m.	0,462 grm. Z.	Rl.	14. 6. — 10h. — m. a. m.	0,062	Leber dunkel.
7.	13. 6. 73	3 — p. m.	0,462 grm. Z.	Rl.	10 — a. m.	0,008	"
8.	13. 6. 73	3 — p. m.	0,462 grm. Z.	Rl.	10 — a. m.	0,026	Leber hell.
9.	17. 6. 73	3h. 45m.	0,44 grm. Z.	Rl.	18. 6. 73 10h. — a. m.	—	Leber sehr klein.

B. Einspritzung in die Bauchvene.

10.	14. 6. 73	6h. — m. p. m.	0,3 grm. Z.	Bauchvene	15. 6. 73 10h. 30m.	—	Dunkle Leber, Blutverlust und Muskelzucken bei der Operation ohne Unterbindung der Vene.
11.	14. 6. 73	6 — p. m.	0,154 grm. Z.	Bauchvene	10 45	0,036	Helle Leber, mit Unterbindung, ohne Blutverlust.
12.	14. 6. 73	6 — p. m.	0,3 grm. Z.	Bauchvene	11 —	Spuren	Dunkle Leber. Ziemlicher Blutverlust.

Wir haben hier den Beweis rein vor uns, dass nach Zuckereinspritzung sowohl in den Rückenlymphsack wie in die Venen (V. 11) eine Bildung von Glycogen in der Leber zu Stande kommt. Gleichzeitig können beim Frosch vielleicht Fragen in Bezug auf den Curare-Diabetes, der Einwirkung der Nerven auf die Entstehung der Fermentwirkung in der Leber, auf die Zeit, die nöthig ist, um den Zucker in Glycogen überzuführen, gestellt werden, welche zur Beantwortung für eine spätere Zeit aufgespart bleiben.

Die negativen Resultate des Versuches 10 und 12 erklären sich vielleicht aus dem grossen Blutverluste, bei der Operation. Zwei Fütterungsversuche mit Zucker bei Fröschen, in denen wir 0,04 grm. und 0,034 grm. Glycogen erhielten, überzeugten uns, dass auch vom Magen und Darm der Frösche aus der Zucker in Glycogen umgewandelt wird.

Wir können also zufolge unserer Versuche mit voller Bestimmtheit behaupten, dass *Traubenzucker in's Blut von Kaninchen und in den Lymphsack von Fröschen eingespritzt, in der Leber Glycogen erzeugt.*

Die grosse Bedeutung der Aufspeicherung des Glycogens für den thierischen Haushalt ist leicht einzusehen¹⁾. Wenn der in dem Darmkanal aufgenommene oder daselbst gebildete Traubenzucker unverändert in das arterielle Blut gelangt, so müsste er entweder ebenso schnell, wie er resorbiert werde, wieder durch den Harn ausgeschieden werden auf Grund der bekannten Versuche, ohne durch seine Verbrennung zur Erzeugung von Kraft und Wärme zu dienen — oder der Zucker müsste ebenso rasch, als er resorbiert werde, zu Kohlensäure und Wasser verbrennen. Das erste findet nicht statt, da der normale Harn bei selbst reichlicher Aufnahme von Zucker oder Amylaceen nur Spuren von Zucker enthält, und gegen das Zweite sprechen einerseits die im Leipziger Laboratorium über die Verbrennung des Zuckers angestellten Versuche und andererseits die Erwägung, dass nach einer an Stärkemehl und Zucker reichen Mahlzeit durch die schnelle Verbrennung des Zuckers eine solche Wärmemenge erzeugt würde, dass für die übrigen Stunden des Tages, an welchen keine Nahrungsaufnahme mehr stattfindet, kein Brennmaterial mehr vorrätig bleibt. Diese Betrachtung führt also nothgedrungen dahin, anzunehmen, dass der resorbierte Zucker in der Leber, wohin er durch das Pfortaderblut gebracht wird, und zwar hier nach *Bock u. Hoffmann*

¹⁾ Diese Auseinandersetzung findet sich im *Pavy'schen* Werke, und ist neuerdings von *Fick* in dessen *Compend. d. Pyhsiol. d. Menschen* 2. Aufl. 1874 S. 284 genauer formuliert worden.

in den Leberzellen als Glycogen abgelagert werde, welches als weniger leicht diffusibeler Körper vor dem sofortigen Ausscheiden durch die Nieren geschützt ist, und später je nach Bedürfniss in kleinen Portionen der Blutmasse überliefert wird.

Der Zucker aber bildet nicht das einzige Material, aus dem (in der Leber) Glycogen gebildet werden kann. Vieles spricht dafür, dass auch aus den Eiweisskörpern jener Körper hervorgehe. Schon *M'Donnel* fand ¹⁾, dass zwar nach Fütterung von Amylaceen oder einem Gemische von Fleisch und diesen die grössten Mengen Glycogen erzielt würden, dass aber Fütterung von Fleisch allein, von Fibrin, Kleber glycogenhaltige Lebern erzeugen. In demselben Sinne sprechen sich *Pavy* und mehrere andere Forscher aus. Auch die längst bekannte Thatsache, dass bei reiner Eiweissnahrung im Diabetes mellitus, bei welchem doch höchst wahrscheinlich die Bildung von Glycogen aus Zucker gestört ist und dieser unverändert in den Harn übergeht, der Zucker im Harn nicht schwindet, spricht für die oben aufgestellte Behauptung. Es entsprang daher für uns die weitere Aufgabe, zu untersuchen, aus welchen Zerfallsprodukten des Eiweisses das Glycogen gebildet würde — denn dass diese es sein müssen, und es nicht etwa gelöstes, unverändertes Eiweiss ist, dafür spricht deutlich der Umstand, dass beim Hungern die Lebern glycogenfrei werden — trotzdem ihnen durch den Blutstrom eine reichliche Menge Eiweiss in Gestalt des Blutserums zufliesst. Einerseits nun hatten die Untersuchungen von *Brücke* gezeigt, dass vom Darm aus unverändertes gelöstes Eiweiss resorbirt wird, und andererseits die Versuche von *Fick* und mir ²⁾ mit Einspritzungen von Peptonen in's Blut einen schnellen zerfall derselben dargethan, so dass eine Zurückverwandlung in Eiweiss im Blute unwahrscheinlich schien, was später noch durch die Elementaranalysen *Möhlensfelds* seine Bestätigung erhielt. Was Wunder also, dass unsere nächste Vermuthung die war, dass die Peptone mit der Glycogenbildung in der Leber im direkten Zusammenhange ständen, gestützt durch die Thatsache, dass auch nach Leimfütterung Glycogen in der Leber beobachtet ist und die Leimpeptone und Eiweisspeptone in vielen Dingen sich ähnlich verhalten. Diese Entstehungsweise aus Peptonen hat auch *Fick* in seinem Compendium ³⁾ vermuthungsweise ausgesprochen.

¹⁾ l. c.

²⁾ *A. Fick*: Ueber das Schicksal der Peptone im Blute. *Pflüg. Arch.* Bd. V Heft I und Sitzungsberichte der phys.-med. Ges. zu Würzburg f. 1872.

³⁾ l. c. pag. 285.

Unsere Versuche sind aber in dieser Reihe zum grössten Theil negativ ausgefallen, da aber dieselben trotzdem für spätere Experimente etwa von Wichtigkeit werden können, so verfehlen wir nicht, das Hauptsächliche derselben hier mitzutheilen. Bei einigen Fröschen fanden wir allerdings nach Einspritzung von etwa 0,4 bis 0,6 grm. Pepton in den Rückenlymphsack Spuren von Glycogen, ja bei einem 5 Tage gefastet habenden Hunde, welchem wir 5,0 Pepton eingeträufelt hatten, 0,260 grm., allein ist einerseits diese Menge viel zu klein und könnte allenfalls als noch von früher her in der Leber zurückbehalten betrachtet werden, und andererseits stehen diesen völlig negativ ausgefallene entgegen. Ich theile einen derselben hier mit:

Versuch 42.

Hund hat 6 Tage gehungert. Morgens $\frac{1}{2}$ 12 Uhr Einträufelung von 9 grm. Peptonlösung in einen Zweig der vena jugularis. Nachmittags $\frac{1}{2}$ 6 Uhr Hund durch Stich in's Herz getödet. *Leberextract glycogenfrei*. In demselben vielleicht Spuren von Zucker (Grünfärbung der Sol. Fehl.). Gallenblase sehr gross. Harn in Harnblase wenig und gibt Trübung beim Kochen, welche auf Salpetersäurezusatz nicht ganz verschwindet.

Unsere Peptone hatten wir anfangs durch längere Zeit fortgesetzte Digestion von feinerhacktem gekochten Hühnereiweiss mit künstlichem Magensaft vom Schwein, nachheriger Neutralisation durch Kali oder Natronlauge, und Fällen durch Alkohol erhalten. Später, als durch die Giftigkeit der Salze einige Thiere beim Injiciren gestorben waren, fällten wir durch salpetersaures Silber (zu 100 Ctm. der 5⁰/₀₀ Säure 1,50 grm. Ag NO³.) brachten das überschüssige Silber durch Fällung mit Schwefelwasserstoff wieder fort, dampften dann nach dem Filtriren die klare Lösung ein und fällten durch absoluten Alkohol. Es ergaben so einmal 225 grm. feuchtes Hühnereiweiss = 34 grm. trocken, 19,2 grm. trockenes Pepton und ein anderes Mal 195 grm. feuchtes Hühnereiweiss = 29 grm. trocken, 17,6 grm. trockenes Pepton.

Da somit längst nicht sämtliches Eiweiss trotz der vollständigen Verdauung zu Peptonen geworden war, so dampften wir bei zwei weiteren Verdauungsversuchen das Alkoholextract ein und injicirten dieses.

Wir hatten 2000 cm. Schweinsmagensaft + 10 ctm. Salzsäure mit 187,5 grm. feuchtem = 25,256 trocknem, durch Alkohol gefälltem Hühnereiweiss in Verdauung gegeben und 3 Tage lang auf dem Brütapparat stehen gelassen. Es ergab sich 6,7 grm. trocknen Alkoholextractes. Beim Eindampfen entwickelten sich Gerüche, wie beim Schmelzen von Fett. Die Substanz gab übrigens die Eiweissreactionen des Millonschen Reagens,

die Xanthoproteinreaction und diejenige mit Solut. Fehling. Ein anders Mal hatten wir 7,3 grm. dieser Substanz erhalten. Beide wurden, die letzte Menge einem Kaninchen, die erstere einer Katze injicirt.

Die Versuche mögen folgen.

Versuch 44.

Kaninchen gehungert 5 Tage. 10 Uhr Einträufelung von 7 grm. des obigen Alkoholextractes. Thier lässt Urin 11 Uhr 15 Minuten, reagirt sauer, gibt Violett-färbung mit sol. Fehling. Keine Xantoproteinreaction. Thier getödtet 2 Uhr 45 Minuten p. m. Glycogen 0,098.

Versuch 45.

Kleine Katze gehungert 7 Tage. Einspritzung 9 Uhr 45 Min. von 4 grm des Alkoholextractes. Thier bei der Einträufelung sehr elend, macht Brechbewegungen. Am Ende des Versuches Krämpfe, erholt sich aber bald. Getödtet 2 Uhr 30 Minuten p. m. Glycogen 0,063.

Wir sehen also, da die gefundenen Mengen viel zu klein sind, um irgendwie in Betracht gezogen werden zu können und man eben annehmen muss, dass diese vor der Einspritzung schon vorhanden gewesen, dass *die Produkte des Eiweisses, welche bei der Verdauung durch den Magensaft erzielt werden, in's Blut eingespritzt, nicht im Stande sind, die Lebern in nennenswerther Weise glycogenhaltig zu machen.*

Wenig ermuthigend war ein Versuch mit Einspritzung von Verdauungsprodukten des *Pancreas*. Es möchte immerhin von einigem Interesse sein, die Resultate der Verdauung selbst mitzutheilen, wesshalb diese hier im Auszuge folgen:

Versuch 47.

Pankreasinfus, bereitet durch Zerkleinern von Ochsenpankreas und Zerstampfen mit gereinigtem Sand 1 Ltr., mit etwas Na_2CO_3 versetzt, wird mit 160 grm. durch siedendes Wasser gefällten Hühnereiweiss am 5. 1. 74 5 $\frac{1}{2}$ Uhr p. m. auf den Digestionsapparat gesetzt.

160 grm. feucht sind gleich 12,5 grm. trocken, da $3,898 \text{ feucht} = 0,301 \text{ trocken}$ gefunden wurden.¹⁾

Vom Apparat wurde das Gemeng am 7./1. 11 Uhr a. m. abgenommen. Es waren nur noch wenige unveränderte weisse Flocken im Glase, eine Menge schmutzigg-rauer Masse am Boden vorhanden. Während der ganzen Verdauungszeit hatte sich ein höchst übler Geruch im Zimmer verbreitet. Neutralisationspräcipitat war keines gefallen. Die ganze Masse wurde, nachdem sie filtrirt worden, eingedampft.

¹⁾ Es sei hier gestattet, eine Reihe von Trockenbestimmungen von Hühnereiweiss anzuführen, welche dienen mag theils als Vervollständigung des bereits in dieser Hinsicht vorliegenden Materials, theils als Beweis, wie man gut thut, bei

Es wurden 4 grm. (trocken) Substanz, welche immer noch schlecht roch, erhalten, welche mit neutralem essigsaurem Bleioxyd eine Fällung gaben, jedoch nicht mit Ferrocyankalium. Ausserdem zeigten sich die Xanthoproteinreactionen, die Reaction mit Solutio Fehling und dem Millonschen Reagens.

Diese 4 grm. wurden in Wasser gelöst einem 6 Tage lang gefastet habenden kräftigen Kaninchen eingeträufelt. Das Thier stirbt schon nach wenigen Cubiccentimetern der Lösung unter Krämpfen, indem zuerst völlige Unbeweglichkeit der Augen, dann Athmungsbeschwerden mit ungeheuer vermehrtem Schläge des Herzens und schliesslich Stillstand des letzteren eintraten.

Die giftige Wirkung der Verdauungsprodukte, die hier so augenscheinlich zu Tage getreten, liess uns vorläufig von weiteren Versuchen dieser Art absehen.

Somit haben wir bis jetzt nur definitiv die Umwandlung des sowohl in den Magen wie in's Blut von Warm- und Kaltblütern, Fleisch- und Pflanzenfressern injicirten Zuckers constatiren können und müssen den Nachweis einer etwaigen Umwandlung anderer Nahrungsstoffe für die Zukunft uns aufbewahren.

Gleichzeitig mit diesem Nachweise der Umwandlung des Zuckers in Glycogen tritt auch die Frage nach dessen weiteren Schicksalen an uns heran. Allein wir betreten damit ein rein hypothetisches Gebiet.

jeder derartigen Untersuchung eine Trockenbestimmung voranzuschicken, da die Zahlen untereinander nicht unbeträchtlich variiren.

I.	1,032	grm.	wogen	nach	der	Trocknung	0,157 = 15,2 0/0.
II.	1,478	"	"	"	"	"	0,212 = 14,34 0/0.
III.	1,141	"	"	"	"	"	0,257 = 22,5 0/0.
IV.	2,688	"	"	"	"	"	0,402 = 14,9 0/0.
V.	0,919	"	"	"	"	"	0,131 = 14,14 0/0.
VI.	1,26	"	"	"	"	"	0,190 = 15,06 0/0.
VII.	2	"	"	"	"	"	0,250 = 12,5 0/0.
VIII.	1	"	"	"	"	"	0,130 = 13 0/0.
IX.	2,553	"	"	"	"	"	0,416 = 15,9 0/0.
X.	4,320	"	"	"	"	"	0,582 = 13,47 0/0.
							Eiweiss d. Alkohol abs. gefällt.
XI.	3,898	"	"	"	"	"	0,310 = 7,9 0/0.
							Eiweiss d. sied. Wasser gefällt.
XII.	2,413	"	"	"	"	"	0,42 = 17,4 0/0.
XIII.	2,799	"	"	"	"	"	0,48 = 13,6 0/0.
XIV.	5	"	"	"	"	"	0,833 = 16,66 0/0.
XV.	3,270	"	"	"	"	"	0,487 = 14,89 0/0.

In den Fällen, in denen nichts Besonderes bemerkt, wurden die Eier jedesmal bis zum völligen Hartsein des Weissen gekocht.

Sichergestellte Thatsachen liegen bis jetzt über diesen Punkt fast keine vor. Das Einzige, was beobachtet wurde, ist eine häufig vorkommende Fettleber bei Zuckerfütterung (*Tscherinoff*). Es wäre gewiss verfrüht, daraus allein auf eine Umwandlung des Glycogens in Fett zu schliessen, vielmehr bieten sich der Möglichkeiten gar viele und so könnte ja der Stoff als solcher durch die Lebervenen fortgeführt werden, um entweder in den Muskeln zu Brennmaterial oder aber direkt zur Bildung von Formelementen verwandt zu werden. Letzteres schliesst *M'Donnel* z. B. daraus, dass sich Glycogen in fast sämtlichen Geweben des Embryo's vorfindet. Möglich wäre es auch immerhin, dass eine allmähliche Rückwandlung in Zucker stattfände, da die Bedingungen dafür ja in der leichten Fermentbildung in der Leber, wie sie nicht nur im Tode, sondern auch bei nervösen Störungen, bei Einverleibung mancher Gifte u. s. w. vor sich geht, gegeben sind. Wir sehen, das Bereich der Möglichkeiten ist sehr gross — aus demselben wird uns nur das Experiment führen können.

Würzburg, im Januar 1874.

Ueber den Einfluss des Hirns auf den Druck in der Lungenarterie.

Von

Dr. EMIL BADOUD

aus Romont in der Schweiz.

(Mit Tafel XIII.)

Seit den bahnbrechenden Untersuchungen von *Bezold's* ist der Einfluss des Nervencentralorgans auf den Blutlauf ein Lieblingsgegenstand der physiologischen Forschung gewesen. Die lange Reihe interessanter und wichtiger Untersuchungen über diesen Gegenstand belehrt uns aber nur über das, was im Aortensystem bei verschiedenen Eingriffen ins Nervencentrum geschieht. Dagegen hat sich noch Niemand damit beschäftigt, zu untersuchen, wie sich die Blutbewegung in den Lungengefässen zu solchen Eingriffen verhält. Da diess aber offenbar auch von grossem Interesse ist, so bin ich gern der Aufforderung des Herrn Professor *Fick* gefolgt, in Gemeinschaft mit ihm hierüber einige Versuche anzustellen, deren Resultate auf den folgenden Blättern mitgetheilt werden sollen.

Der Druck in der Lungenarterie und ihren Zweigen ist nicht so leicht der Messung zugänglich wie der in den Gefässen des Aortensystems, denn um mit einem Aste der Lungenarterie ein Manometer zu verbinden, müsste man den Brustkorb öffnen, was die Centralorgane des Blutkreislaufes unter wesentlich veränderte Bedingungen setzt. Von diesem Verfahren sind wir daher von vornherein abgestanden und haben gesucht, den Druck im Lungenarteriensystem — der wohl auch hier bis in kleine Verzweigungen hinein überall ziemlich derselbe sein wird — indirekt zu bestimmen. Wir gingen dabei von folgender Betrachtung aus. Zur Zeit der Systole muss im rechten Ventrikel der Druck ebenso hoch sein, als in der Lungenarterie. Während der Diastole wird der Druck in der Lungenarterie allerdings einen andern Werth haben als im Ventrikel, denn er sinkt von dem während der Systole bestehenden Maximum nicht so tief herab wie im Ventrikel, wo zur Zeit der Diastole der Druck auf Null resp. unter Null sinken muss, da ja zu dieser Zeit das Blut von

den grossen Venen her in ihn einströmt. Wenn von den Druckschwankungen in den Aortenästen ein Analogieschluss auf diejenigen in der Lungenarterie erlaubt ist, so betragen dieselben wohl meist nur einen kleinen Bruchtheil von dem während der Systole herrschenden Maximaldrucke. Diesen letzteren nun kann man nach dem soeben Gesagten ohne Eröffnung des Thorax bestimmen, wenn es gelingt, die Druckcurve des rechten Ventrikels genau zu verzeichnen. Ihre Gipfel sind zugleich die Gipfel der Druckcurve in der Arteria pulmonalis.

Die Höhle des rechten Ventrikels ist mit einer Röhre erreichbar, ohne dass man den Thorax zu eröffnen brauchte. Um aber die Druckcurve im rechten Ventrikel zu erhalten, muss diese Röhre zu einem Manometer geführt werden, das sehr rapide und ausgiebige Druckschwankungen mit voller Treue zu verzeichnen vermag. Das Quecksilbermanometer kann hiezu entschieden nicht gebraucht werden und selbst das Federmanometer würde uns vielleicht bei diesen äusserst raschen Druckschwankungen im Stiche lassen. Wir haben uns daher eines neuen von *Fick* konstruirten Manometers bedient, welches von Eigenschwankungen noch viel freier ist, als das Federmanometer. Es hat aber vor diesem sowie vor allen anderen bisher gebrauchten manometrischen Vorrichtungen noch einen anderen wesentlichen Vorzug. In allen solchen nämlich muss nothwendig ein Theil der Flüssigkeit, deren Druck gemessen werden soll, einströmen, um den Zeiger zu heben. Da nun hierdurch der Druck in dem Raum, wo er eigentlich gemessen werden soll, sich mindert, so zeigt jedes Manometer einen kleineren Druck an als der ist, der eigentlich gemessen werden soll.

Dieser Fehler ist offenbar absolut unvermeidlich, aber er ist um so kleiner, eine je kleinere Flüssigkeitsmenge in die manometrische Vorrichtung eingepresst zu werden braucht um daselbst einen sehr hohen Druck hervorzubringen. In dieser Beziehung ist nun eben das neue Manometer allen anderen ausserordentlich überlegen, denn es bedarf nur einiger Kubikmillimeter Flüssigkeit, um darin den Druck sehr bedeutend zu steigern. Das dem in Rede stehenden neuen Manometer zu Grunde liegende Prinzip ist das des Mareyschen Sphygmographen, und die Einrichtung ist folgende: Mit dem Raum, in welchem der Druck gemessen werden soll, wird durch einen möglichst unausdehn samen Schlauch ein etwa 8 mm. weites Glasrohr verbunden, dessen freies Ende durch eine dünne Kautschukhaut verschlossen ist. Auf diese ist ein rundes Holzplättchen aufgeleimt, dessen Durchmesser nur wenig kleiner ist als der Durchmesser der Röhrenlichtung. Das Holzplättchen ist oben nach zwei Seiten etwas abgeschrägt, so dass es eine stumpfe Schneide nach aufwärts kehrt. Auf

diese — und mithin durch das Kautschukblatt auf die im Röhrchen enthaltene Flüssigkeit — drückt ein stark federnder Stahlstreif, ganz so wie die Feder des Mareyschen Sphygmographen durch die Weichtheile auf das Arterienblut drückt. Steigt der Druck im Glasröhrchen, so wird demnach das freie Ende der Stahlfeder etwas gehoben, sinkt er, so geht das Federende abwärts. Da aber dieselbe eben sehr stark ist, so werden ihre Bewegungen *sehr* klein sein, um so kleiner, als der Druck nur auf die kleine Oberfläche des Holzplättchens ausgeübt wird. So kommt es auch, dass bei sehr bedeutender Erhöhung des Druckes das Glasröhrchen nur einige Kubikmillimeter Flüssigkeit mehr aufzunehmen braucht. Die kleinen Bewegungen des Federnendes werden durch ein Hebelwerk aus Strohhalmen vergrössert und die Spitze des letzten Strohhälmschen zeichnet an der berussten Trommel alles in bekannter Weise. Dies Manometer zeichnet allerdings, wenn man die Vergrösserung nicht übertreiben will, in sehr kleinem Maassstabe, das dürfte indessen eher ein Vortheil als ein Nachtheil sein, wenn die Zeichnungen sehr präzise sind, so dass sie eine genaue Ausmessung zulassen. Die Erhebungen des Zeichenstiftes sind ausserdem ziemlich genau proportional den Aenderungen des Druckes, was immerhin eine erwünschte, wenn auch nicht erforderliche Eigenschaft einer brauchbaren manometrischen Vorrichtung ist.

Wir verfahren nun bei unseren Experimenten folgendermassen:

Das Thier, ein kleiner oder mittelgrosser Hund, wurde, gewöhnlich ohne vorherige Narcotisation auf dem Versuchsbrett, in der Rückenlage mit gestreckten Extremitäten und Kopfe angebunden. Zuerst wurde die Tracheotomie gemacht und eine Canüle in die Luftröhre eingeführt, dann entblössten wir die Jugularis, unterbanden sie peripherisch und injicirten in ihren centralen Theil, je nach der Grösse des Thieres, eine bis drei Spritzen voll einer Curare-Lösung. Nach ein paar Minuten trat die Wirkung des Giftes ein, und wir konnten das Thier von seinen Fesseln befreien und, während ein Gehilfe mittelst eines mit der Canüle durch einen Kautschukschlauch verbundenen Blasebalgs die künstliche Athmung unterhielt, die Operation ruhig weiter fortsetzen, nämlich die Carotis der anderen Seite ebenfalls blosslegen, sie peripherisch unterbinden und ihren centralen Theil während dessen durch eine Klemmpincette schliessen. Nun wurde die Jugularis, welche vorher ebenfalls durch eine Klemmpincette geschlossen worden war, unterhalb derselben aufgeschlitzt und eine etwa 2 decim. lange, an einem Ende leicht gebogene Glasröhre durch den Schlitz in die Vena cava und ins rechte Herz eingeführt, eine Manipulation, für welche eine bestimmte Methode nicht angegeben werden kann, man muss eben so lange probiren, bis die Canüle in den Herzventrikel eindringt.

Das gebogene Ende der Canüle mit zwei seitlichen und einer endständigen Oeffnung lag alsdann im rechten Herzen, das andere freie war mit einem kleinen Kautschukschlauch verbunden, welchen ebenfalls eine Klemmpincette sperrte. Die Furcht, durch Einführen eines Rohres in den Herzventrikel eine künstliche Insufficienz der Tricuspidalis hervorzubringen, zeigte sich als unbegründet, indem wir niemals bei der Auscultation Geräusche vernehmen konnten, welche darauf gedeutet hätten; auch sind die Druckcurven derart, dass sie den Verdacht mangelhafter Klappenwirkung ausschliessen. Ich muss noch hinzufügen, dass die Glasröhre mit einer Lösung von kohlensaurem Natron gefüllt war, welche die Gerinnung des Blutes verhindern sollte, was uns jedoch nicht immer gelang. Nun führten wir in die Carotis in der bekannten Weise eine kleine Canüle ein.

Es blieb uns dann übrig, Carotis und rechtes Herz mit Manometern und Kymographion in Verbindung zu setzen. Diese Verbindung wurde dadurch bewirkt, dass wir beiderseits die Sperrpincetten wegnahmen und in die Schläuche das Ende zweier von Glasröhrchen und hohlen Gummi-
stücken gebildeter Ketten einführten, welche mit den Manometern fest verbunden waren und die vorher auch mit derselben Lösung von kohlensaurem Natron gefüllt worden waren. Die Carotis wurde mit einem grossen Federmanometer, das rechte Herz mit dem vorhin beschriebenen Manometer verbunden.

Nun liessen wir die Trommel des Kymographion laufen, nachdem wir vorher die Nulllinien gezogen hatten, und so bekamen wir die normalen Curven der Carotis und des rechten Herzens. Wir hatten nun das Rückenmark zu durchschneiden. Zu diesem Zweck wurde das Thier nach Entfernung der Verbindungsketten und der Herzsonde umgedreht und zuerst die Nackenmuskulatur durchgeschnitten und verdrängt. Dann führten wir zwischen Atlas und Hinterhauptsbein ein kleines Messer in den Wirbelcanal hinein und suchten auf diese Weise die Durchschneidung auszuführen. Die Blutung wurde mittelst Pengavar gestillt. Die Verbindung mit den Manometern wurde dann wieder hergestellt, die Trommel in Gang gesetzt und so bekamen wir eine andere Reihe von Curven, deren Vergleichung mit den Ersten uns über den Einfluss der Durchschneidung des Markes auf das rechte Herz resp. die Lungenarterie belehren sollte. Da der Trommelwechsel oft sehr störend war, so begnügten wir uns, gewöhnlich die Trommel zu verschieben und sie also für zwei oder drei Curven zu benutzen. Es wurden dabei nicht immer von neuem die Nulllinien gezogen, um nicht allzuoft die Verbindung mit dem Manometer lösen zu müssen, und so sind zu manchen unserer Curven die Nulllinien nur durch Construction gefunden, wobei allerdings eine gewisse Willkür

lichkeit unvermeidlich ist, die aber sicher keine unsere Schlussfolgerungen beeinträchtigende Fehler mit sich bringt. Die Reizung des Rückenmarkes bewerkstelligten wir selbstverständlich auf elektrischem Wege. Zwei spitze Elektroden wurden in die Wirbelsäule eingebohrt und mit der secundären Rolle eines Inductionsapparates verbunden. Dann liessen wir die Curve abwechselnd mit und ohne Reiz zeichnen. Als wir mit dem Versuche, welcher gewöhnlich drei Stunden in Anspruch nahm, fertig waren, so liessen wir das Thier durch Erstickung zu Grunde gehen, indem wir aufhörten, Luft in seine Lungen einzublasen.

Regelmässig wurde dann an demselben oder am folgenden Tage die Section des Rückenmarkes vorgenommen, um uns zu überzeugen, ob es wirklich durchgeschnitten worden war. Es wurden von uns neun solche Experimente, freilich nicht alle mit gleich günstigem Erfolg gemacht, denn nicht alle Thiere ertrugen gleich gut den Eingriff. Allein wir bekamen doch bald ein ziemlich reichliches Material, welches uns erlaubt, hier einige nicht uninteressante Thatsachen mitzutheilen.

Das Erste, was wir zu constatiren im Stande waren, ist, dass die Durchschneidung des Rückenmarkes den Druck in der Lungenarterie ebenso wie im arteriellen System des grossen Kreislaufes bedeutend sinken lässt. Als Belege dafür möge man die Fig. 1 und 2 auf der Tafel vergleichen.

Die unteren Curven in beiden Figuren sind durch das neue Kautschukmanometer, bei welchem 1 mm. Ordinatenhöhe, 6 mm. Hg., entspricht und was im rechten Herzen lag, die oberen dagegen durch das grosse Federmanometer gezeichnet, welches mit der Carotis verbunden war und bei dem 1 mm. Ordinatenhöhe nur 2 mm. Hg. gleich ist.

Die Fig. 1 gibt uns eine graphische Darstellung des Blutdruckes in beiden Systemen vor der Durchschneidung des Markes, die Figur 2 dagegen nach dieser Operation. Die Nulllinie ist ebensowohl in Fig. 1 als in Fig. 2 für beide Curven dieselbe. In Fig. 2 ist die Nulllinie nicht ausgezogen, sie geht aber ohne Zweifel durch die fast wagrechten unteren Theile der Wellen. Man sieht auf den ersten Blick, wie colossal der Druck gesunken ist. Wenn wir ihn genauer messen, so ergibt sich folgendes:

a) Lungenarterie: Vor der Durchschn. = 48 mm. Hg.

Nach der Durchschn. = 18 mm. Hg.

also eine Druckverminderung von 30 mm. Hg.

b) Carotis: Vor der Durchschn. 102 mm. Hg.

Nach der Durchschn. 20 mm. Hg.

also eine Druckverminderung von 82 mm. Hg.

Interessant ist auch die aus diesen Figuren ersichtliche Thatsache, dass der Druck in der Carotis verhältnissmässig mehr sinkt als der Druck

in der Lungenarterie, ein Faktum, welches auf einen viel höheren Tonus in den Gefässen der grossen als in denjenigen der kleinen Circulation hindeutet.

Die Curven der Fig. 1 wurden uns durch unseren dritten Versuch geliefert, welcher an einem mittelgrossen Hunde gemacht worden ist. Die Autopsie zeigte, dass das Rückenmark, bis auf zwei kleine seitliche Brücken, gänzlich durchgeschnitten war.

In einem anderen Versuche war vor der Durchschneidung des Markes der Druck in der Carotis gleich 111 mm. Hg., in der Lungenarterie 60 mm.; nach der Durchschneidung betrug er:

in der Carotis 28 mm.

in der Lungenarterie 30 mm.;

er war also hier sogar etwas höher als dort.

Im Allgemeinen können wir als Ergebniss unserer sämtlichen Beobachtungen den Satz hinstellen, dass der grosse Unterschied zwischen dem Druck in der Aorta und in der Lungenarterie, welcher im normalen Zustande besteht, nach der Durchschneidung des Rückenmarkes so gut wie vollständig schwindet. Wir können dies Resultat mit anderen Worten auch so ausdrücken, dass *nach der Durchschneidung des Markes der rechte Herzventrikel bei jeder Systole merklich gleich viel Arbeit leistet wie der linke.*

Die Arbeit der Systole ist ja das ausgepresste Blutvolum multiplicirt mit dem Druck, gegen welchen er ausgepresst wird. Das Blutvolum ist aber für den rechten und linken Ventrikel gleich, sowie ein beharrlicher Zustand im Kreislauf eingetreten ist. Wenn also auch der Druck gegen welchen beide Ventrikel arbeiten, derselbe ist, so leisten beide bei jeder Systole gleichviel Arbeit.

Wenn wir annehmen — und das wird wohl anzunehmen erlaubt sein — dass in beiden Ventrikeln während der Diastole das Blut unter einem von Null nicht wesentlich verschiedenen Drucke einströmt, so ist die vom linken Ventrikel geleistete Arbeit das Maass für den gesammten im grossen Kreislauf vorhandenen Widerstand, und ebenso misst die Arbeit des rechten Ventrikels die Widerstände in den Gefässen der Lunge. Unsere Beobachtung lehrt also, dass nach Durchschneidung des Markes die Widerstände im grossen Kreislauf die Widerstände in den Lungengefässen nicht mehr übertreffen. Man wird diese Thatsache kaum anders deuten können als dahin, dass *der normale Tonus in den Gefässen der Lunge viel geringer ist, als in den Gefässen des Körperkreislaufes.* Der Wegfall alles Tonus bei Durchschneidung des Markes hat nämlich im Körperkreislauf eine weit grössere Veränderung des Widerstandes zur Folge, als im Lungenkreislauf, es muss also der

Tonus dort kräftiger gewesen sein als hier. Mit den Ergebnissen unserer Versuche an sich wäre sogar die Annahme vereinbar, dass in den Lungengefässen vom Gefässnervencentrum gar kein ständiger Tonus erhalten wird, denn das Sinken der Widerstände auch im Lungenkreislaufe könnte ja durch die Verlangsamung des gesammten Blutstromes allein bedingt sein, welche nach Durchschneidung des Markes wohl unzweifelhaft eintritt.

Die letztere Annahme ist indessen kaum wahrscheinlich, denn da die Lungenarterienäste einmal Muskelfasern besitzen wie die Körperarterien, so werden sie vermuthlich auch in beständiger tonischer Erregung sein, wenn dieselbe auch schwächer ist als die der Aortenäste.

Gehen wir nun zur Reizung des Rückenmarkes über. Das Thier, an welchem wir die vorigen Curven gewannen, starb leider, bevor wir an ihm die Gegenprobe machen konnten. Die dritte Figur, welche uns die Wirkung dieser Reizung vergegenwärtigen soll, stammt deswegen aus einem anderen Versuche, nämlich aus dem siebenten, welcher an einem kleineren Hunde gemacht worden ist. Die Nulllinien sind hier getrennt, ausserdem ist der Zeichenstift des grossen Manometers an der dritten Axe befestigt, wodurch das Verhältniss zwischen Ordinatenhöhe und Druck etwas geändert wird: 1 mm. Ordinatenhöhe entspricht hier 3 mm. Hg.

Der erste Theil beider Curven stellt uns den Druck in Carotis und a. pulmonalis nach der Durchschneidung des Markes und vor dem Reize dar.

Er beträgt: in der Carotis 23 mm. Hg.

im r. Herzen 18 mm. Hg.

Jetzt beginnt der Reiz, etwa bei den in den Nulllinien mit rr bezeichneten Punkten.

Der Druck steigt allmählig in beiden Curven und erreicht am Ende derselben

in der Carotis 87 mm. Hg.

im r. Herzen 84 mm. Hg.

also beträgt die Erhöhung für die Carotis 64 mm., und für die Lungenarterie 66 mm. Neben der Druckzunahme macht sich in dieser Curve auch die bekannte bedeutende Zunahme der Pulsfrequenz bemerklich, denn während wir vor dem Reize auf 21 mm. Länge bloss 9 Schläge beobachten, zählen wir nach dem Reize auf dieselbe Länge 15.

Beiläufig bemerkt, rührt die wagrechte Ausdehnung der Wellen in dieser wie in allen folgenden Figuren gegenüber der Fig. 1 und 2 nicht sowohl von einer grösseren Häufigkeit des Pulses als vielmehr von langsamerer Umdrehung der Trommel her.

In Fig. 3b ist noch ein anderes Stück derselben Versuchsreihe dargestellt, um noch ein Beispiel von etwas anderen Verhältnissen zu geben.

Der Theil linker Hand stellt 6 Wellen im rechten Herzen und in der Carotis über derselben Nulllinie dar, vor der Reizung, und der getrennte Theil rechter Hand giebt eine Reihe von Wellen, während der höchsten Wirkung des Rückenmarkesreizes ebenfalls über derselben Nulllinie. Vor dem Reize betragen die Druckmaxima im rechten Herzen 18 mm. Hg., der Mitteldruck in der Carotis ist höher als in dem vorhin dargestellten Stücke des Versuches und beträgt etwa 43 mm. Hg. Es war hier offenbar der Tonus im Aortensystem noch nicht so vollständig erloschen, als bei Fig. 3a.

Während der Reizung erreichen die Druckmaxima im rechten Herzen 108 mm. Hg., der Mitteldruck in der Carotis 155 mm.

In den mitgetheilten, wie in allen anderen Versuchen derselben Art, zeigt sich vor allen Dingen auf das deutlichste, dass Reizung des durchschnittenen Markes im Lungenkreisläufe einen ähnlichen Erfolg hervorbringt wie im Aortenkreisläufe, nämlich Erhöhung des Druckes, und zwar scheint die Gesamtwirkung im Lungenkreisläufe noch grösser zu sein als im Aortensystem, denn es zeigt sich bei Reizung des Markes nicht das normale Verhältniss zwischen Druck im Aorten- und Lungenkreisläufe, wie es im unversehrten Thiere besteht. Hier erreicht wohl kaum jemals der Druck in der Lungenarterie den Werth von 60 mm. Hg., wenigstens ist uns dieser Werth niemals vorgekommen. Bei Reizung des Markes aber haben wir in Fig. 3a 84 und in Fig. 3b sogar 108 mm. Hg. als Druckwerth in der Lungenarterie gefunden. Allerdings erweckt die Gestalt der Curve, nämlich das tiefe Herabsinken unter die Nulllinie, einigermaßen den Verdacht, dass so ungeheuer rapiden Druckschwankungen, wie sie hier zu verzeichnen waren, selbst unser neues Manometer nicht ohne Schleuderung folgen konnte. Aber wir haben hier in der Curve einige Anhaltspunkte, um, auch wenn wir diesem Verdachte Raum geben, zu schätzen, welche Werthe mindestens der Druck in Wahrheit erreicht haben muss. Wir dürfen nämlich annehmen, dass das Druckminimum im rechten Ventrikel nie viel unter Null liegt und könnten also wohl die tiefer unter der Nulllinie herabgehenden Zacken als Folgen der Schleuderung beim raschen Sinken des Druckes ansehen.

Ganz sicher wirft nun die Eigenschwingung den Zeiger beim Steigen nicht höher über den richtigen Punkt hinauf als beim Sinken hinunter. Wenn wir also oben soviel von den Zacken abschneiden, als unten unter der Nulllinie liegt, so kommen wir auf eine Druckhöhe, die ganz sicher den wahren Maximalwerth des Druckes im Herzventrikel nicht übertrifft.

Diese Druckhöhe beträgt aber in Fig. 3b immer noch 84 mm. Hg. also bedeutend mehr als die normale Druckhöhe in der Lungenarterie. Derselbe Reiz des Rückenmarkes hat den Druck in der Aorta, wie wir sahen, nur auf einen Werth gebracht, welcher durchaus noch im Bereiche normaler Werthe im unversehrten Thierte liegt.

Man kann nun offenbar an verschiedene Ursachen denken, welche zur Erhöhung des Druckes in der Lungenarterie, bei Reizung des Markes zusammenwirken. Erstens kann eine Erhöhung des Druckes in den Lungengefässen rein mechanisch durch die Zusammenziehung der Gefässe des grossen Kreislaufes hervorgebracht werden. Diese Zusammenziehung nämlich kann einen Theil des Blutes aus den Körpergefässen in die Lungengefässe verdrängen und hier also einen höheren Druck durch stärkere Anfüllung bedingen, ohne dass eine Zusammenziehung der Lungengefässmuskeln statt zu finden brauchte. Ob diese rein mechanische Wirkung vom Aortensystem her wirklich im Stande ist, eine merkliche Drucksteigerung hervorzurufen, kann man leicht entscheiden durch Reizung des n. splanchnicus. Bekanntlich hat diese Reizung die Zusammenziehung eines sehr geräumigen Theiles vom Aortensystem zur Folge und sie kann also ebenso wie Reizung des Rückenmarkes selbst einen Theil des Blutes nach den Lungengefässen verdrängen. Unsere 4. Figur wird uns darüber belehren. Wir bekamen diese Curven in unserem sechsten Versuche durch Reizung des Splanchnicus an einem kleinen Hunde. Diese Reizung wurde in der Weise ausgeführt, dass wir die Wirbelsäule mittelst Durchschneidung der Rückenmusculatur und seiner Scheide gleich unterhalb der letzten Rippe entblössten und Electroden in die Vorderseite der Wirbelkörper einbohrten an der Stelle, wo der Splanchnicus liegt. Wir bezogen uns dabei auf die Angaben Asp's, nach welchen man N. splanchnicus in dieser Gegend neben Vena und Arteria lumbalis auffinden kann. Da in diesem Versuche das Rückenmark vollständig durchgeschnitten war, so kann mit Bestimmtheit behauptet werden, dass die Druckänderung im kleinen wie im grossen Kreislaufe lediglich durch die centrifugale im Splanchnicus fortgepflanzte Erregung bedingt war. Denn wir wissen aus den Versuchen Bezold's, dass Reflexe nur im Hirn, nicht aber in dem davon getrennten Rückenmark auf Herz und Gefässe übertragen werden können.

Wir brauchten dabei dieselben Manometer wie in der vorigen Figur. Die Nulllinien fallen wie in der 1. und 2. Figur zusammen. Die untere Curve ist die des r. Herzens, die obere die der Carotis. Der erste Theil a der Figur zeigt uns die Verhältnisse vor dem Reiz, nach vorhergegangener Durchschneidung des Rückenmarkes:

Lungenarterie 18 mm. Hg.

Carotis 43 mm. Hg.

Bei b. haben wir dieselben Curven während des Reizes:

Lungenarterie 24 mm. Hg.

Carotis 117 mm. Hg.

Bei c. haben wir den Druck unmittelbar nach Aufhören des Reizes:

Lungenarterie 24 mm. Hg.

Carotis 124 mm. Hg.

Endlich bei d. längere Zeit nach Aufhören des Reizes:

Lungenarterie 6 mm. Hg.

Carotis 57 mm. Hg.

Ein ähnliches Resultat gab ein vollkommen reiner Versuch, wo der Splanchnicus aus der Brusthöhle hervorgezogen und durchschnitten war und bloß das peripherische Ende gereizt wurde. Wir sehen also, dass Reizung des Splanchnicus, den Druck in der Lungenarterie ein wenig steigern kann, ohne dass irgend eine direkte Einwirkung auf das rechte Herz oder die Lungenarterie ausgeübt wäre. Hieraus dürfen wir schließen, dass bei der grossen Drucksteigerung in der Lungenarterie durch Rückenmarkesreiz eine Verdrängung von Blut aus dem Aortensystem ins Lungengefässsystem wohl eine Rolle spielen könnte, wenn auch nur eine untergeordnete.

Es mag beiläufig darauf aufmerksam gemacht werden, dass in unsern Versuchen der Druck in der Carotis erst unmittelbar nach Aufhören des Reizes seinen höchsten Punkt erreicht, und sehr allmählich fällt, so zwar, dass er in d (also längere Zeit nach dem Aufhören des Reizes) noch nicht auf sein früheres Niveau gesunken ist.

Die Druckerhöhung im Aortensystem, welche bei Rückenmarksreizung zu Stande kommt, könnte noch in einer anderen Weise die Arbeit des rechten Herzens fördern, und somit eine Steigerung des Druckes in den Lungenarterien mittelbar hervorrufen.

Die Druckerhöhung im Aortensystem wird sich nämlich vor Allem in den Verzweigungen der Arteria coronaria cordis geltend machen und man könnte wohl daran denken, dass hierdurch die Herzmuskulatur zu erhöhter Leistung befähigt und angetrieben würde. Man kann diese Vermuthung leicht prüfen. Man braucht nur die Aorta, am besten vor Abgang der Baucharterien zu comprimiren, dann wird in allen weiter oben entspringenden Aesten, namentlich also in den Kranzarterien des Herzens der Druck enorm steigen, ohne dass Blut aus den Verzweigungen der Aorta verdrängt würde.

Solche Versuche wurden nun auch von uns angestellt. Ihr Ergebniss wird am besten durch die Fig. 5 versinnlicht. Sie wurde uns von demselben Hunde geliefert wie die Vorige. Die Manometer sind also dieselben. Die Nulllinien fallen hier zusammen. Diese Figur zeigt uns nun, dass der Druck in der Carotis, welcher unmittelbar vor der Compression der Aorta 60 mm. Hg. betrug, beim Anfang derselben plötzlich um 33 mm. Hg. steigt und bald 160 mm. Hg. erreicht um beim Aufhören nicht weniger plötzlich auf den früheren Punkt zurückzukommen. In der Lungenarterie dagegen zeigt sich gar keine Steigerung. Diese wiederholt von uns beobachtete Thatsache ist von Interesse, sofern sie zeigt, dass bei der Steigerung des Druckes in der Lungenarterie durch Rückenmarkesreizung, die Steigerung des Blutdruckes in den Kranzadern des Herzens absolut nicht mitwirkt. Da auch die Verdrängung des Blutes aus dem Aortensystem nach dem Lungengefässsystem wie wir sahen jedenfalls nur eine sehr untergeordnete Rolle spielt, so müssen wir schliessen, dass die Lungengefässe nebst dem rechten Herzen in ganz gleicher Weise wie die Körpergefässe nebst dem rechten Ventrikel von dem Nervencentralorgan direkt abhängig sind, derart, dass Erregung der zugehörigen Nervenbahnen einerseits den Tonus der Gefässwandungen steigert und andererseits den Herzventrikel zu häufigeren und kräftigeren Schlägen antreibt. Beim Körperkreislaufe können wir diese beiden Wirkungen im Versuche von einander trennen. Dazu ist für den Lungenkreislauf wohl wenig Aussicht, denn es ist zu erwarten, dass die Gefässnerven der Lungenarterie sich vom Rückenmark zunächst mit den Herznerven zum Herzen begeben, und sich hier erst von ihnen abzweigen, um dem Verlaufe der Lungenarterie und ihrer Aeste zu folgen. Man wird also vermuthlich am Halse nicht die Herznerven durchschneiden können, ohne die Lungengefässnerven mit zu durchschneiden. Auch umgekehrt die Lungengefässnerven isolirt zu durchschneiden oder zu reizen wird man kaum für ausführbar halten.

Nach den vorher mitgetheilten Versuchen scheint dieser direkte Einfluss des künstlichen Rückenmarkesreizes auf den Lungenkreislauf noch grösser als auf den Körperkreislauf, obgleich nach den zuerst erörterten Versuchen der normale Tonus meistens im Körperkreislauf grösser zu sein schien.

Dass die Reizung der Herznerven (accelerantes) im Rückenmark die Herzschläge nicht nur häufiger sondern auch kräftiger oder heftiger macht, ist von anderen Forschern wohl ausgesprochen, aber der Beweis dafür ist wohl noch nicht mit der wünschenswerthen Sicherheit geliefert. Er kann auch nur mit manometrischen Vorrichtungen gegeben werden, die

ein wirklich getreues Bild vom zeitlichen Verlaufe der Druckschwankungen verzeichnen. Ich will deshalb hier noch eine graphische Darstellung begeben, welche den in Rede stehenden Satz über allen Zweifel erhebt. In Fig. 6 sind unter A und B zwei kurz nach einander von derselben Carotis gezeichnete Curvenstücke zusammengestellt. Unter A sieht man durch Aortacompression den Druck steigen und nach Aufhören der Compression jäh absteigen. Das Curvenstück unter B ist gezeichnet während mässiger Rückenmarksreizung. Der Druck ist nicht einmal ganz so hoch wie er bei der Aortencompression gestiegen ist, aber die Form der Puls-welle ist eine solche, dass sie auf eine viel heftigere Zusammenziehung des Herzventrikels schliessen lässt.

Zum Schlusse dieser kurzen Abhandlung sei es mir erlaubt, meinem geehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. Fick, für die Gefälligkeit, mit welcher er mich in dieser Arbeit unterstützte, sowie dem Herrn Assistent Dr. Kunkel, welcher an allen unseren Versuchen den eifrigsten Antheil nahm, meinen tiefgefühlten Dank auszusprechen.

Ueber das Princip der „Zerstreuung der Energie“

von
A. FICK.

Der zweite von *Clausius* aufgestellte Grundsatz der mechanischen Wärmetheorie hat bekanntlich zu sehr merkwürdigen Erörterungen Veranlassung gegeben, welche den Entwicklungsgang des Weltganzen zum Gegenstande haben. Englische Physiker haben diesen Grundsatz mit seinen Folgerungen als das Princip der „Zerstreuung der Energie“ (*dissipation of energy*) bezeichnet, welchen Ausdruck ich in der Ueberschrift angenommen habe.

Das genannte Princip lässt sich etwa so formuliren: Ein vollkommen freies System von Körpern nähert sich ununterbrochen einem stationären Bewegungszustande, der dadurch besonders charakterisirt ist, dass keine Temperaturdifferenzen darin vorkommen. Wenn wir uns das System unserer Sonne beispielsweise als vollkommen frei denken, so würde — soviel ich sehe — in diesem Beharrungszustand die ganze Materie desselben eine zusammenhängende Masse von überall gleicher Temperatur bilden, die um ihren Schwerpunkt rotirt. Obgleich ein von einem endlichen System nachgewiesener Satz nicht ohne Weiteres auf ein unendliches übertragen werden darf, so haben doch, wie es scheint, viele bedeutende Physiker keinen Anstand genommen, den Satz von der „Zerstreuung der Energie“ auf das Weltsystem anzuwenden. Zu diesen Physikern gehört namentlich der Begründer des Satzes *Clausius*, der die Anwendung desselben auf das Weltsystem mit den Worten ausdrückt: „die Entropie der Welt strebt einem Maximum zu.“ In der That lassen sich gerade im gegebenen Falle manche besondere Erwägungen geltend machen für die

Ausdehnung des für ein endliches freies System gültigen Satzes auf ein unendliches. Ich will indessen diese Erwägungen hier beiseite lassen und nur noch eine Folgerung erwähnen, auf die ich vor mehreren Jahren von meinem Bruder, Professor der Rechte in Zürich aufmerksam gemacht bin, und die ich in einer Sammlung von Vorträgen veröffentlicht habe, da sie mir streng logisch erscheint. Sie geht dahin, dass von irgend einem *denkbaren* Anfangszustand an die Welt in einer endlichen Zeit einen Zustand erreichen müsste, in welchem alle noch vorhandenen Temperaturdifferenzen kleiner sein müssten, als jede noch so kleine angebbare Grösse. Das würde so viel heissen, als dass vor einer unendlichen Zeit von jetzt an gerechnet das Weltsystem noch nicht den jetzt gültigen Gesetzen unterworfen gewesen wäre, oder dass vor unendlicher Zeit unendlich grosse Geschwindigkeiten oder unendlich grosse Temperaturdifferenzen vorhanden gewesen wären, was undenkbar ist.

Es ist begreiflich, dass ein Satz, der zu so bedenklichen Folgerungen führt, selbst bedenklich erscheint. So hat denn auch schon vor längerer Zeit *Rankine* versucht, den Satz zu entkräften, indem er meinte, es könnten vielleicht durch totale Reflexion an passend gestalteten Grenzen des Aethers Wärmestrahlen derart concentrirt werden, dass an gewissen Stellen höhere Temperaturen von neuem entstehen, als die irgend wo anders bestehenden. Diesen Versuch hat aber *Clausius* alsbald durch unwiderlegliche mathematische Betrachtungen aus dem Felde geschlagen. Mir scheint nun, dass es auf einem andern Wege möglich ist, den bedenklichen Folgerungen aus dem zweiten Hauptsatze der mechanischen Wärmetheorie zu entgehen.

Der erste Grundsatz der mechanischen Wärmetheorie ist bekanntlich ein Corollar des Satzes von der Erhaltung der Kraft und ist daher soweit *à priori* gewiss, als es gewiss ist, dass alle Kräfte in der Welt ausschliesslich Centralkräfte sind. Der zweite Hauptsatz ist nicht von gleichem Range. Die ersten Beweise von *Clausius* für diesen Satz gründen sich auf die Annahme, dass Wärme nicht von selbst d. h. ohne die Wirkung äusserer Kräfte von einem kälteren in einen wärmeren Körper übergehen könne. Nun ist zwar diese Annahme wahrscheinlich genug um den ausgedehntesten Gebrauch von ihr zu machen, aber auf die Würde eines eigentlichen Axiomes kann sie doch eigentlich nicht Anspruch machen.

Später hat daher *Clausius* und unabhängig von ihm *Boltzmann* versucht, von dem zweiten Hauptsatze einen Beweis zu liefern, der sich unmittelbar auf die allgemeinen Grundsätze der Mechanik stützt, der daher in gewissem Sinne des Wortes eine überzeugende Anschauung der

Sache giebt. Ich halte zwar diesen Beweis für vollkommen gelungen, aber er darf auch für nicht mehr genommen werden als wofür er sich selbst giebt. Es handelt sich keineswegs um die vollständigen Bewegungsgleichungen eines Systemes von Körpern, in deren Auslegung der Satz von der Zerstreuung der Energie enthalten wäre. Der Beweis geht vielmehr aus von der Annahme eines gewissen Bewegungszustandes eines Systemes sehr zahlreicher Massenpunkte, wobei die einzelnen Punkte vollkommen regellos durcheinanderlaufen. Nun ergibt zwar die Wahrscheinlichkeitsrechnung, dass sich in einem solchen Systeme *sehr wahrscheinlich* ein Zustand herstellen und beharren wird, bei welchem in jedem Raumtheil von einiger Ausdehnung, der sehr viele Massentheilchen umfasst, dieselbe durchschnittliche lebendige Kraft der einzelnen Theilchen herrschen wird. Für den gasförmigen Aggregatzustand ist dieser Beweis von Boltzmann sogar im Einzelnen durchgeführt. Ein derartiger Beweis, der nicht von der Totalanschauung des Systemes in einem gegebenen Zeitaugenblicke, sondern von einer unvollständigen Anschauung ausgeht und an der Hand der Wahrscheinlichkeitsrechnung fortschreitet, kann nie Gewissheit geben, sondern nur eine Wahrscheinlichkeit, die sich von der 1 um eine endliche, wenn auch noch so kleine Grösse unterscheidet.

Ich behäupte hiernach, dass dem Satze von der Zerstreuung der Energie keine Gewissheit zukommt, sondern nur ein Grad von Wahrscheinlichkeit, der zwar gross genug ist, um jeden beliebigen praktischen Gebrauch davon zu machen, der aber nicht gestattet, diesen Satz zu einem eigentlichen Princip der Naturphilosophie zu machen. Wir können uns sogar ganz leicht anschaulich Ausnahmen von dem Satze construiren ohne im Mindesten gegen die Grundsätze der Mechanik zu verstossen. Es sei gestattet, einen Fall derart anzudeuten. Wir wollen uns eine Gasmasse von überall gleicher Temperatur in einem Gefässe eingeschlossen denken. Stellen wir uns davon einen so kleinen Raumtheil vor, dass er nur noch einige 100 Moleküle fasst und nehmen wir an, dass in einem bestimmten Augenblick jedes dieser Moleküle genau dieselbe Geschwindigkeit hat. Die Principien der Mechanik gestatten nicht nur, sondern sie zwingen zu der Annahme, dass schon bei den nächsten Zusammenstössen höchst wahrscheinlich einige der Moleküle an lebendiger Kraft gewonnen, andere ebenso viel verloren haben und es kann sich recht wohl ereignen, dass nach einer gewissen Zeit die meisten der gewinnenden Moleküle sich auf der rechten, die meisten der verlierenden Moleküle sich auf der linken Seite finden werden. Da wäre denn in diesem kleinen Raume eine Temperaturdifferenz von selbst entstanden. Was von diesem kleinen Raume gilt, muss aber auch von einem grösseren gelten, freilich wird mit

wachsender Anzahl der Molekule die Wahrscheinlichkeit immer kleiner, dass ein namhafter Bruchtheil des ganzen von der Gasmasse eingenommenen Raumes vorzugsweise schnell bewegte, ein anderer vorzugsweise langsam bewegte Molekule enthält. Unmöglich ist dies ganz entschieden nicht. Es wäre sogar unter den Voraussetzungen, die für die Beweise von *Clausius* und *Boltzmann* erforderlich sind, folgendes Problem der Wahrscheinlichkeitsrechnung zu stellen und zu lösen: Wie lange müsste ich ein Cubikmeter Wasserstoff von der Temperatur t und dem Drucke p beobachten, um, 100 gegen 1 wetten zu dürfen, dass während dieser Zeit einmal 1 Sekunde lang die Temperatur in der oberen Hälfte des Raumes um 100^0 höher ist als in der unteren. Ob die Lösung dieses Problems eine Zahl von Jahren ergibt, die in kleiner Schrift gedruckt eine Meile oder eine Siriusweite lang ist, kann uns hier nicht interessiren, wo es sich um ein Princip handelt, das für die Ewigkeit gelten soll.

Es scheint mir somit unzweifelhaft, dass Temperaturdifferenzen entstehen resp. Wärme aus einem kälteren in einen wärmeren Körper übergehen können ohne Einwirkung äusserer Kräfte.

Ganz ebenso schliesst es auch unsere Vorstellung von der Natur des gasförmigen Aggregatzustandes nicht aus, dass einmal zufällig besonders viele Molekule in gleicher Richtung fliegen. Wenn sich aber dies an der Grenze der Atmosphäre eines Planeten ereignete, so könnten sich frei fortfliegende Molekularaggregate bilden. In einem solchen Falle wäre Wärme ohne Compensation in Massenbewegung verwandelt worden. Man sieht leicht, dass dieser Gedanke zu ganz artigen kosmischen Phantasieen Veranlassung geben kann, die ich aber hier nicht weiter ausspinnen will.

Ich glaube, hiernach wird man zugeben müssen, dass der Satz von der Zerstreuung der Energie nicht ein unverbrüchliches Naturgesetz ist, sondern eine Regel von allerdings sehr allgemeiner Gültigkeit, die aber doch ihre Ausnahmen gestattet. Die Möglichkeit der Ausnahmen liegt nicht darin, dass bei Begründung des Satzes etwas übersehen wäre, sondern sie liegt in der Natur der Sache selbst. Jedesfalls kann das Princip der Zerstreuung der Energie nicht verwendet werden, um weittragende Schlüsse über das Weltganze zu begründen.

Ueber die verschiedene Erregbarkeit functionell verschiedener Nerv-Muskelapparate

von

JOH. PHIL. BOUR

aus Remich (Gr. Luxemburg).

V o r w o r t.

Die nachfolgenden Untersuchungen wurden angestellt im physiologischen Laboratorium des Herrn Prof. A. Fick; Veranlassung zu denselben gab die Rollett'sche Schrift: „über die verschiedene Erregbarkeit functionell verschiedener Nerv-Muskelapparate.“

Einleitung.

Vor 70 Jahren hat *Ritter* Versuche bekannt gemacht und theoretische Betrachtungen daran geknüpft, die ihres unverständlichen Beiwerkes entkleidet, etwa besagen, dass im N. ischiadicus des Frosches gewisse Fasern, welche zu flectirenden Muskelgruppen gehören, leichter erregbar sind als andere zu Extensorengruppen gehörige.

Schon bald wendete sich die Kritik dagegen, wie man leicht begreift, wenn man bedenkt, dass die Annahme einer wesentlich und constant verschiedenen Erregbarkeit verschiedener motorischer Nervenfasern im gemeinsamen Nervenstamme eine höchst unwillkommene Verwicklung in unsere physiologischen Anschauungen einführen würde. Es hat nämlich *C. H. Pfaff* auf Grund neuer eigener Versuche den Lehren *Ritter's* widersprochen, indem er zwar zugibt, dass bisweilen wohl die *Ritter'sche* Erscheinung beobachtet würde, aber keineswegs regelmässig und dass sie daher alles Interesses entbehre.

In demselben Sinne spricht sich auch *J. Müller* in seinem berühmten Lehrbuche der Physiologie aus.

Später ist *E. du Bois-Reymond* in seiner meisterhaften historischen Darstellung der elektrischen Reizversuche auf *Ritter's* Untersuchungen ausführlicher eingegangen. Seine rein kritischen Erwägungen führen ihn

dahin, die *Ritter'schen* Lehren für mindestens sehr unwahrscheinlich zu halten. Das Endergebniss seiner Betrachtungen fasst er in dem Satze zusammen: „Wie dem auch sei, in diesem verwickelten Gebiete von Erscheinungen ist möglicherweise die Quelle von *Ritter's* Missverständnissen zu suchen, das wir somit auf so lange für beseitigt ansehen wollen, bis es auf's Neue durch unzweideutige und im Einzelnen mitgetheilte Erfahrungen sich das Recht der Berücksichtigung erkämpft haben wird.“

Dies zu leisten hat nun in jüngster Zeit *A. Rollett* unternommen. In einer kürzlich erschienenen Untersuchung *) „über die verschiedene Erregbarkeit functionell verschiedener Nerv-Muskelapparate“, ist er mit den vervollkommenen Hilfsmitteln der neueren Physiologie an die Frage herangetreten.

In einem Punkte freilich, das verdient sogleich hervorgehoben zu werden, hat er die jetzt vorwiegend übliche Methodik der Reizphysiologie wieder mit der älteren vertauscht; sein Versuchsobject ist nämlich nicht der an einem Fühlhebel angeknüpfte Froschmuskel mit seinem Nerven, dessen sich seit den bahnbrechenden Untersuchungen von *du Bois-Reymond* und *Helmholtz* fast alle Forscher zur Entscheidung von Reizbarkeitsfragen bedient haben, sondern der ganze Unterschenkel und Fuss des Frosches in ihrer natürlichen Verbindung.

Dieser Umstand giebt aber sofort einem Bedenken gegen die zu ziehenden Folgerungen Raum, das schon *du Bois-Reymond* in seinen kritischen Erörterungen über *Ritter's* Arbeiten angedeutet hat, und das der Ausgangspunct der vorliegenden Untersuchung ist.

Wenn man den N. ischiadicus eines unversehrten Froschunterschenkels reizt und sieht denselben irgend eine Bewegung ausführen, so ist das keineswegs ein Beweis dafür, dass die Muskeln ausschliesslich oder auch nur am stärksten in Zusammenziehung sind, welche diese Bewegung herbeiführen. Die Bewegung des Gliedes ist vielmehr ein sehr verwickeltes Geschehen, das von einer ganzen Reihe von Bedingungen abhängt, die weiter unten noch erörtert werden sollen.

Wir wollen nun vor Allem unsere fast genaue Wiederholung der *Rollett'schen* Versuche beschreiben.

*) Wiener Sitzungsber. der kaiserl. Akad. d. Wissenschaften 11. Juni 1874.

Der Froschpräparat und der Reizapparat.

Das Präparat wurde genau nach den Angaben *Rollett's* angefertigt.

Zuerst wurde das Rückenmark so tief unten mit einem einzigen Scheerenschlage durchschnitten, dass keine tetanischen Zuckungen im Schenkel auftraten, darauf wurde der N. ischiadicus bis zur Kniekehle lospräpariert, sodann die Muskulatur vom Oberschenkelknochen abgetrennt und dieser selbst etwa in der Mitte durchgeschnitten. Endlich wurde der N. ischiadicus seiner ganzen Länge nach auf die Elektroden in einer der *Rollett'schen* ähnlichen feuchten Kammer gelegt, nachdem die Tibia an ihren Condylen mit einer Pincette und das os femoris mit einer Nadel, welche in dessen Röhre gestochen war, befestigt waren.

Das Präparat wurde so aufgehängt, wie es *Rollett* auf Tafel I. in Fig. 1 abgebildet hat.

Ausserdem wurden noch nasse Papierstreifen benutzt, um das von der feuchten Kammer nicht bedeckte Stück des N. ischiadicus vor Austrocknung zu bewahren.

Der Reizapparat war nicht nach den Angaben *Rollett's* eingerichtet, da wir schon bei der allerersten rohen Wiederholung seiner Versuche fanden, dass wir mit den einfachsten Mitteln zum Ziele kamen. Wir wendeten nämlich ganz einfach das bekannte *du Bois-Reymond'sche* Schlitteninductorium an und stufen wie üblich, die Stromstärke durch Verschiebung der secundären Rolle ab. Dass *Rollett* mit diesem einfachen Verfahren nicht zum Ziele kam und desshalb zu andern feinern Hilfsmitteln der Abstufung der Stromstärke seine Zuflucht nehmen zu müssen glaubte, hat möglicherweise darin seinen Grund, dass er den primären Strom nicht stark genug wählte und desshalb schon um die ersten Reizungen zu bewirken, die secundäre Rolle der primären einigermaßen nähern musste. Es ist in dieser Beziehung zwar von *Rollett* Nicht ausdrücklich

bemerkt, es drängt sich aber diese Vermuthung auf, weil in der That die Verschiebung der Rollen kein sehr feines Mittel der Abstufung der Stromstärke ist, sowie die Rollen einander nahe stehen, denn in diesem Falle steigert jedes Millimeter Annäherung die Stromstärke schon um einen sehr erheblichen Bruchtheil. Wir haben daher in die primäre Leitung ein grosses Grove'sches Element aufgenommen, dessen Strom so stark war, dass meist schon bei 500—600 mm. Rollenabstand Reizwirkungen auftraten.

Erste Versuchsreihe.

Die folgende Tabelle zeigt die Resultate unserer Wiederholung der Rollett'schen Versuche. Das Präparat stammte von einem mittelgrossen Frosche, wie wir sie bei allen Versuchen benutzten.

Tabelle I.

Nummer der Versuche	Rollen- abstände in Millimetern	E r f o l g	
1	450	Kleine Beugung.	
	440	Starke Beugung.	
	430	Streckung.	
2	300	Beugung.	
	295	Starke Beugung.	
	290	Sehr starke Beugung.	
	285	Desgleichen.	
	280	Desgleichen.	
	275	Starke Beugung.	
	270	Beugung in Streckung übergehend.	
	265	Streckung.	
3	260	Starke Streckung.	
	430	Kleine Beugung.	
	425	Beugung.	
	420	Desgleichen.	
	415	Stärkere Beugung.	
	410	Starke Beugung.	
	405	Desgleichen.	
	400	Beugung in Streckung übergehend.	
4	395	Streckung.	
	410	Kleine Beugung.	
	405	Beugung.	
	400	Stärkere Beugung.	
	395	Starke Beugung.	
	390	Desgleichen.	
	385	Kleine Streckung.	
	380	Starke Streckung.	

Nummer der Versuche	Rollen- abstände in Millimetern	E r f o l g	
5	395	Starke Streckung.	
	400	Schwache Streckung.	
	405	Starke Beugung.	
	410	Beugung.	
	415	Desgleichen.	
	420	Schwache Beugung.	
	425	Noch schwächere Beugung.	
	430	Unbestimmbare Zuckung.	
	435	Kein Erfolg.	

Zweite Versuchsreihe.

Die Anführung dieser wenigen Versuche mag genügen, wenn wir hinzufügen, dass wir genau dasselbe Ergebniss noch in vielen andern Versuchen erhalten haben, es überhaupt bei keinem gut ausgeführten Präparate vermissten.

Man wird also wohl mit *Rollett* behaupten dürfen: wenn man den Nervus ischiadicus eines gerade herabhängenden Froschunterschenkels mit wachsenden Stromstärken reizt, so tritt bei den schwächsten Strömen, die überhaupt einen Erfolg haben, *Hebung* (Beugung) des herabhängenden Fusses ein und erst bei stärkern Strömen wird der Fuss durch die überwiegende Wirkung des Gastrocnemius gerade gestreckt; oder, um *Rollett's* eigene Worte zu gebrauchen, kann man behaupten, „dass am Froschschenkel in der That bei schwachen Reizen, welche den gemeinsamen Nervenstamm treffen, eine Bewegung im Sinne einer functionell bestimmten Gruppe von Muskeln — — auftritt; während bei stärkern Reizen eine Bewegung im Sinne einer andern functionell bestimmten Gruppe von Muskeln — — erfolgt.“

Ob aber die von *Rollett* für die Gedankenstriche vorstehendes Citates gemachten Einschiebungen, „die also die mehr erregbaren sind“, resp. „die also die weniger erregbaren sind“, wirklich aus den beobachteten Thatsachen folgen, das ist doch noch die Frage.

Es wird zwar wohl Niemand behaupten wollen, dass sämtliche motorische Fasern eines Froschnerven mathematisch genau gleiche Erregbarkeit besitzen, aber eben so wenig wird man geneigt sein anzunehmen, dass allfällige Ungleichheiten der Erregbarkeit gerade genau regelmässig vertheilt wären, derart, dass die mehr erregbaren Fasern ausschliesslich in Flexoren, die weniger erregbaren in Extensoren verlaufen, so dass bei

einer gewissen sehr kleinen Reizgrösse die Flexoren allein, bei einer grössern Flexoren *und* Extensoren zuckten, wobei dann selbstverständlich letztere wegen ihrer grössern Masse am Gelenke im Uebergewicht wären.

Diese Folgerung aus den beschriebenen Thatsachen zu ziehen, wird man sich offenbar so lange sträuben, als noch irgend ein Weg offen steht, der an sich richtigen Thatsache eine andere Deutung zu geben.

Ein solcher Weg scheint sich aber zu eröffnen, wenn man die *Rollett'sche* Figur 1 auf Tafel I. aufmerksam betrachtet.

Der Fuss hängt am Unterschenkel in fast gerader Linie herab.

Dies ist bekanntlich nicht die natürliche Gleichgewichtslage des Gliedes, wenn alle fremden Kräfte; namentlich auch die Schwere ausgeschlossen sind, und nur die elastischen Kräfte der ruhenden Muskeln wirken; der Fuss ist alsdann ganz an die Vorderseite des Unterschenkels angezogen.

Hieraus ist zu schliessen, dass bei der hängenden Lage des Präparates die Flexores pedis gedehnt und ihre elastischen Kräfte mit der Schwere des Fusses im Gleichgewicht sind, dass aber die Länge des Gastrocnemius + seiner Sehne grösser ist als die Entfernung seines Ursprunges von seinem Ansatz bei der in Rede stehenden Lage.

Dass dem wirklich so ist, kann man leicht sehen, wenn man die Haut von der Fersenegend entfernt. Man bemerkt alsdann, dass die Achillessehne bei der annähernd geradlinig ausgestreckten Lage des Fussgelenkes *gefaltet* ist.

Bekanntlich haben schon die Gebrüder *Weber* in der Mechanik der Gehwerkzeuge auf ein ähnliches Verhalten der Beuger und Strecker beim Menschen hingewiesen und *du Bois-Reymond* hat hieran in seiner Kritik der *Ritter'schen* Arbeiten erinnert.

Es ist nach dieser Betrachtung Folgendes ganz einleuchtend:

Wenn bei der gedachten Lage des Froschunterschenkels beide Muskelgruppen, Beuger und Strecker, sich um einen sehr kleinen Bruchtheil ihrer Länge verkürzen, so wird der Fuss im Sinne der Beugewirkung gehoben werden müssen, da vorher eben Gleichgewicht zwischen der Schwere des Fusses und der elastischen Kraft der Beuger bestand. Dieser Erfolg kann durch die geringe Verkürzung des Gastrocnemius nicht verhindert werden, da die überschüssige Länge der Achillessehne so gross ist, dass selbst bei etwas verkürzten Fasern des Muskels und bei wenig gebogener

Lage des Gelenkes noch keine merkliche Spannung im Gastrocnemius entsteht.

Um die Sache nicht zu sehr zu compliciren, wollen wir auf die Bewegungen der Zehen gegen den Fuss gar nicht eingehen.

Halten wir uns an die Bewegung im Fussgelenke allein, so wird nicht gelegnet werden können, dass die vorstehenden Betrachtungen die *Rollett'sche* Erscheinung erklären können, ohne zu der Annahme seine Zuflucht nehmen zu müssen, dass die zu den Beugern führenden Nervenfasern im Stamme des Ischiadicus leichter erregbar seien, als die zu den Streckern gehenden.

Ob die von *Rollett* beschriebene Erscheinung wirklich auf der blossen anatomischen Anordnung der Beuge- und Streckmuskeln am Gelenke beruht, das lässt sich leicht durch Versuche entscheiden.

In der That, wenn bei den äusserst geringen Werthen der Reizstärke, bei denen wie *Rollett* behauptet und wie wir bestätigen können, Hebung des Fusses eintritt, die Strecker sich auch in Erregung befinden und bloss wegen überschüssiger Länge der Sehne keine sichtbare Wirkung ausüben, dann muss offenbar bei denselben Werthen der Stromstärke das Umgekehrte, nämlich eine Streckung des Fusses auftreten, sowie man dem Gelenke eine andere Anfangslage giebt, nämlich eine stark gebogene Lage, bei welcher die Strecker schon gespannt sind.

Dass es sich nun in Wahrheit so verhält, das zeigten uns schon die allerersten ganz rohen Versuche, welche auf folgende Art ausgeführt wurden.

Es wurde zunächst einfach der *Rollett'sche* Versuch angestellt und wenn eine Stromstärke (Rollensstellung) aufgefunden war, welche entschiedene Beugung des Fusses hervorbrachte, so wurde mit einem leichten, locker in der Hand gehaltenen Stäbchen der Fuss des Präparates gegen den Unterschenkel in starke Beugestellung gehoben, und nun wiederum der Nerv mit derselben Stromstärke gereizt. Mit der grössten Regelmässigkeit sah und fühlte man jetzt den Zug des Gastrocnemius, welcher den Fuss zu strecken strebte, also durch die Stromstärke bewegt wurde.

Nachstehend theilen wir einige Protokolle solcher Versuche mit.

Tabelle II.

Nummer der Versuche	Rollen- abstände in Millimetern	E r f o l g
1	450 440 430	Kleine Beugung. Starke Beugung. Streckung. <i>Anmerkung.</i> Bei Rollenabstand 440 mm, erfolgt Streckung, wenn man den Fuss beugt.
2	690— 660 650 635 610 600 590 585	Beugung. Stärkere Beugung. <i>Anmerkung.</i> Beim Auflegen des gebeugten Fusses auf ein dünnes Stäbchen erfolgt Streckung. Stärkere Beugung. Desgleichen. Schwache Beugung. Kampf. Streckung.
3	500 510 520	Beugung. Stärkere Beugung. Desgleichen. <i>Anmerkung.</i> Bei jedem dieser Rollenabstände erfolgt Streckung bei gebeugtem Fusse.
4	575 570 565 560	Kleine Beugung. Beugung. Stärkere Beugung. Desgleichen. <i>Anmerkung.</i> Bei den Rollenabständen 570—560 mm. erfolgt regelmässig Streckung bei gebeugtem Fusse.

Dritte Versuchsreihe.

Das blosse in die Höhe halten des Fusses mit der Hand kann mit Recht als eine etwas unsichere Methode angegriffen werden, um so mehr als hier der Erfolg durch willkürliche und unwillkürliche kleine Bewegungen des Haltenden beeinflusst werden kann.

Wir haben desshalb das Verfahren der Beobachtung in folgender Weise vervollkommnet. Es wurden zwei Myographien aufgestellt und zwar von einer Form, wie sie *Marey* zuerst in Vorschlag gebracht hat. Ein solches Myographion besteht in einem Hebel in Gestalt eines dünnen Stäbchens, welcher um eine etwa 2 mm. im Durchmesser dicke Axe drehbar ist, so dass selbst die minimste Bewegung der Axe an dem weit entfernten Ende des Hebels deutlich sichtbar wird. Um die Axe sind zwei

Fäden, mit Häkchen versehen, in entgegengesetztem Sinne geschlungen; an dem einen Faden wird ein Gegengewicht aufgehängt, an dem andern wird der Muskel befestigt. Das eine Myographion war hoch über dem Präparate an einem Stativ angebracht, das andere darunter.

An der längsten Zehe des Fusses wurde vorläufig ein Faden angebunden und dessen Schlinge abwechselnd zuerst in den Haken des oberen Myographion's eingehängt, so dass das Gegengewicht an demselben die Zehen und den Fuss in die Höhe zog und den Fuss in starke Beugung gegen den Unterschenkel brachte, und dann in den Haken des unten und seitwärts vom Präparate stehenden Myographions eingehängt, so dass alle Gelenke in starker Streckung sich befanden.

Nun wurde jedesmal zuerst der Fuss einfach in der *Rollett'schen* Lage hängen gelassen und die Stromstärke aufgesucht, welche entschiedene Beugung hervorrief, dann bei derselben Stromstärke ein Versuch mit Beugstellung am oberen und darauf einer mit Streckstellung am unteren Myographion angestellt.

In der folgenden Tabelle sind solche Versuche wiedergegeben; die *Rollett'sche* Lage ist mit „1. Lage“, die gebeugte Lage am Myographion mit „2. Lage“ und die gestreckte am Myographion mit „3. Lage“ bezeichnet.

Tabelle III.

Nummer der Versuche	Rollen-abstände in Millimetern	1. Lage.	2. Lage.	3. Lage.
1	430	Beugung	Streckung	Beugung.
2	530	Beugung	Streckung	Starke Beugung.
3	540	Starke Beugung	Streckung	
4	540		Beugung	
	540		Streckung	Beugung.
5	550	Kleine Beugung	Kein Erfolg.	
6	540	Beugung	Starke Streckung	Beugung.
7	540	Beugung	Beugung	Beugung.
8	540	Beugung	Streckung	Beugung.
9	540	Beugung	Streckung	Beugung.
10	540	Streckung	Starke Streckung	
	550	Desgl.		
	560	Desgl.		Beugung.
	570	Desgl.		
	580	Desgl.		
	585	Streckung und Beugung		
	590	Beugung	Streckung	Beugung.
11	590	Desgl.	Desgl.	Beugung.

NB. Bei den Versuchen 10. und 11. wurde der N. ischiadicus umgelegt.

Vierte Versuchsreihe.

Bei den Versuchen dieser Art in der Beugelage (2. Lage) zeigten sich bisweilen Unregelmässigkeiten. Dies ist auch von vornherein nicht anders zu erwarten, da eine ganze Reihe von Gelenken zwischen dem festen Punkte am Präparate und dem Angriffspunkte am Myographion liegt, deren Bewegungen im entgegengesetzten Sinne Statt finden können. So kann es sehr leicht kommen, dass trotz einer sichtbaren Zusammenziehung des Gastrocnemius dennoch ein Sinken des Myographionhebels eine scheinbare Beugung anzeigt.

Wir haben desshalb die Erscheinung noch dahin vereinfacht, dass wir bloss die Bewegung des Sprunggelenkes beobachteten. Es wurde nämlich ein Faden um den Tarsus gelegt und zusammengeschnürt.

Im Uebrigen wurde verfahren, wie bei der vorigen Versuchsreihe d. h. Anknüpfung des um den Tarsus gelegten Fadens an das obere Myographion versetzte den Fuss in stark gebeugte, Anknüpfung desselben an das untere, in stark gestreckte Lage.

Die Ueberschriften in nachstehender Tabelle, in welcher solche Versuche dargestellt sind, haben dieselbe Bedeutung wie in Tabelle III.

Tabelle IV.

Nummer der Versuche	Rollen- abstände in Millimetern	1. Lage.	2. Lage.	3. Lage.
1	590	Zuckung		Beugung.
2	590	Zuckung		Beugung.
3	600	Schwache Beugung	Kein Erfolg	
	600	Desgl.		
	595	Desgl.	Spuren von Streckung	
4	590	Beugung	Streckung	Beugung.
5	610	Starke Streckung		
	680	Desgl.		
	790	Starke Beugung		
	800	Desgl.		
	810	Desgl.		
	880	Zuckung		
	900	Desgl.		
	890	Desgl.		
	880	Desgl.		
	870	Kleine Beugung	Kein Erfolg	
	860	Zuckung		
6	850	Desgl.		
	840	Kein Erfolg		
	830	Zuckung		
	820	Desgl.		
	810	Desgl.		
	800	Eher Beugung	Kein Erfolg	

Nummer der Versuche	Rollen- abstände in Millimetern	1. Lage.	2. Lage.	3. Lage.
7	790	Eher Beugung		
	780	Desgl.		
	770	Kleine Beugung	Kein Erfolg	
	760	Desgl.	Desgl.	
8	740	Beugung	Beugung u. Streckung	Beugung.
9	740	Beugung	Streckung	Beugung.
10	730	Beugung	Starke Streckung	Beugung.
11	720	Beugung	Streckung	Starke Beugung.
12	710	Beugung	Streckung	Beugung.
13	700	Beugung	Streckung	Beugung.
14	690	Kampf	Starke Streckung	Beugung.
15	680	Kampf	Starke Streckung	Beugung.
16	690	Zuckung	Zuckung	Schwache Beugung.
17	700	Zuckung	Zuckung	Kein Erfolg.
18	420	Zuckung		
	415	Beugung	Streckung	Beugung.
19	410	Starke Beugung	Streckung	Beugung.
20	405	Starke Beugung	Streckung	
	410	Beugung	Streckung	Beugung.

Anmerkung. Versuche 18—20 wurden mit einem frischen Präparate gemacht.

Fünfte Versuchsreihe.

Aus den bisher mitgetheilten Versuchen geht soviel mit voller Sicherheit hervor, dass die *Rollett'schen* Experimente keineswegs eine höhere Erregbarkeit der zu den Beugern gehörigen motorischen Nervenfasern im Stamme des N. ischiadicus beweisen.

Es hat sich ja gezeigt, dass Stromstärken, welche das hängende *Rollett'sche* Präparat zu entschiedener Beugung bringen, es aus einer andern Anfangslage heraus zur Streckung bringen.

Aber es ist durch unsere Versuche keineswegs unzweifelhaft festgestellt, dass ein regelmässiger Unterschied zwischen der Erregbarkeit der zu verschiedenen Muskelgruppen gehörenden motorischen Fasern nicht Statt findet, so unwahrscheinlich dies auch an sich sein mag.

Um diese Frage zu entscheiden, muss man nothwendig die beiden antagonistischen Muskelgruppen unter gleiche mechanische Bedingungen bringen, d. h., beide im Ruhezustande anspannen und ihre Spannung mit fremden Kräften im Gleichgewicht halten, so dass sich die geringste Zusammenziehung der einen sowohl wie der andern Muskelgruppe durch eine sichtbare Bewegung verräth. Dies war ja in keinem der bisherigen

Versuche der Fall. Es war vielmehr entweder die Beugergruppe gespannt und der Gastrocnemius entlastet oder umgekehrt.

Es könnte daher sehr wohl sein, dass sich die überwiegende Erregbarkeit der einen Gruppe hinter gänzlich ausbleibendem Erfolge versteckte.

Einige Versuche der vierten Versuchsreihe könnten in der That schon in diesem Sinne gedeutet werden. In der 7. Gruppe dieser Reihe kommen mehrere Fälle vor, wo z. B. für den Rollenabstand 770 mm. in der hängenden Lage eine merkliche Beugung auftritt, dieselbe Stromstärke jedoch bei der gebeugten Lage ohne Erfolg bleibt. Nun muss man zwar an der Gränze der Stromstärke auf allerlei Unregelmässigkeiten gefasst sein. Es könnte auch eine bei dieser Stromstärke vorhandene kleine Zusammenziehung der Strecker der Beobachtung ganz entgehen, weil vielleicht selbst in der von uns hergestellten gebeugten Lage die Strecker noch immer nicht hinlänglich angespannt sind. Es wäre aber endlich auch denkbar, dass in gebeugter Lage die Stromstärke beim Rollenstand 770 mm. die Beuger allein zu einer kleinen Zusammenziehung gebracht hätte, die aber in der gebeugten Lage nicht wahrgenommen wurde, weil eben die Beuger sich in ähnlicher Erschlaffung befunden hätten, wie die Strecker beim *Rollett'schen* Versuche.

Es sind also Versuche unerlässlich, bei denen zu Anfang beide Muskelgruppen gespannt sind. Theoretisch muss es natürlich möglich sein, diesen Erfolg durch eine bestimmte Lage des Gelenkes zu erzielen; aber praktisch ist dies nicht wohl ausführbar, da diese Lage am unversehrten Schenkel schwerlich zu ermitteln ist. Ueberdiess müsste bei der Beurtheilung der in einem solchen Falle eintretenden Bewegung die Stärke der antagonistischen Muskelgruppen und die Länge ihrer Hebelarme mit in Rechnung gezogen werden, was selbstverständlich unausführbar ist.

Sehr einfach kommt man zum Ziele, wenn man sich von der Einrichtung des Gelenkes unabhängig macht, und sich eben der Methode bedient, die heut zu Tage allgemein im Gebrauche ist, dass man nämlich jeden der zu untersuchenden Muskeln für sich mit einem Hebel in Verbindung setzt.

Um diesen Untersuchungsplan auszuführen, legten wir die Sehnen der Flexoren am Tarsalgelenke frei, liessen dieselben jedoch in ihrer Verbindung mit dem Tarsus, an welchen wir einen Faden knüpften. In eine Schlinge am unteren Ende desselben wurde ein Myographion eingehängt. Legt man den Faden um die Sehnen des M. peronaeus u. tibialis selbst, so werden dieselben sehr leicht verletzt. Bei der Achillessehne bedarf es dieser Vorsicht nicht und so wurde dieselbe direct mit einem Faden umschnürt, dessen Schlinge mit einem zweiten Myographion in Verbindung

stand. Endlich wurde der Fuss, mit Ausnahme des Tarsus, abgeschnitten, ebenso der untere Theil der Unterschenkelknochen entfernt, um jede Reibung der Muskeln an denselben zu verhindern. Schliesslich wurde noch die Haut des Unterschenkels der Länge nach aufgeschlitzt, damit nicht bei der Zusammenziehung der einen Muskelgruppe auch die andere mittelst dieser Hauthose in die Höhe gehoben und so eine Contraction dieser Muskelgruppe vorgetäuscht werde.

Das Präparat wurde nicht wie früher am oberen Ende der Tibia, sondern am Oberschenkel selbst befestigt, weil beide antagonistischen Muskelgruppen an demselben entspringen.

Die Lage des N. ischiadicus auf den Elektroden war dieselbe, wie bei den früheren Versuchen.

Nun wurde bei verschiedenen allmählig verminderten Rollenabständen der als Nebenschliessung zum Nerven in den Kreis der sekundären Rolle eingeschaltete Schlüssel für je eine Secunde etwa geöffnet und man konnte mit der grössten Genauigkeit beobachten, ob das an den Beugern oder das an den Streckern befestigte Myographion bei kleinerer Stromstärke, d. h. bei grösserem Rollenabstande in Bewegung gesetzt wurde.

Es wäre nun offenbar als das Wahrscheinlichste zu erwarten gewesen, dass bei häufiger Wiederholung solcher Versuche, ohne bestimmte Regel bald die Beuger, bald die Strecker eine geringere Stromstärke zu ihrer Anregung forderten. Allenfalls hätte man auch erwarten können, dass sich die Strecker etwas häufiger im Vortheil zeigten. In der That sollte man ja meinen, dass die verschiedenen überhaupt möglichen Erregbarkeitsstufen auf die verschiedenen Fasern des N. ischiadicus regellos vertheilt wären und dass also die höchste Erregbarkeit bald an Fasern der Beuger, bald an Fasern der Strecker zu finden wären. Da aber die stärkere Muskelgruppe der Strecker wohl auch mehr Nervenfasern bekommt, so würde allerdings die Wahrscheinlichkeit, dass unter ihnen die erregbarsten zu finden seien, etwas grösser sein als $\frac{1}{2}$.

Dieser Erwartung haben die zahlreichen Versuchsreihen, die wir angestellt haben, nicht ganz entsprochen. Wir haben im Ganzen 78 verschiedene Versuche angestellt und 39mal eine merklich grössere Erregbarkeit in den Beugenervfasern, 26mal in den Strecknervfasern gefunden; 13mal fingen Beuger und Strecker bei merklich gleicher Stromstärke an zu zucken.

Die Zahl der Versuche entspricht nicht der Zahl der Präparate. Es wurden im Ganzen nur 16 Präparate in der beschriebenen Weise untersucht. Nachdem wir nämlich bemerkt hatten, dass an demselben Präparate je nach Umständen bald die Strecker bald die Beuger früher

zuckten, wurden an jedem Präparate 4 Versuche angestellt und jeder meist mehrere Male wiederholt. Es wurde nämlich den reizenden Inductionsschlägen erst die obere Nervenstrecke in der Nähe des abgeschnittenen Endes ausgesetzt und ein Versuch bei aufsteigend, einer bei absteigend gerichteten Oeffnungsschlägen angestellt. Dann wurde eine mehr periphere Nervenstrecke nahe dem Muskel auf die Elektroden gelegt und wieder ein Versuch mit aufsteigender und einer mit absteigender Richtung der Oeffnungsschläge angestellt.

Die Aenderung der Stromrichtung hatte indess, wie man bald sehen wird, nur in wenigen Fällen einen Einfluss auf den Erfolg.

Mit Rücksicht hierauf wollen wir nun noch einmal die Versuche genauer betrachten, wie es in den nachfolgenden numerirten 9-Sätzen geschehen ist. Die erste Nummer bezieht sich auf die Versuche, welche angestellt sind, ehe wir auf die Lage der gereizten Nervenstrecke zu achten Veranlassung hatten. Die Nummern II, III, IV, beziehen sich auf die Versuche, bei welchen zwar die Nervenstrecke, nicht aber die Stromrichtung beachtet wurde. In den Nummern V, VI und VII ist die absteigende Richtung des Oeffnungsschlages als Stromrichtung a, die umgekehrte als Stromrichtung b bezeichnet.

I. Bei zufälliger Lage des Nerven auf den Elektroden, die wir für eine mittlere Lage ansehen können, waren die Strecker bei fünf Versuchen im Uebergewicht, die Beuger bei einem Versuche.

II. Bei peripherer Lage des Nerven und unbekannter Stromrichtung waren die Strecker bei drei Versuchen, die Beuger bei keiner reizbarer.

III. Bei centraler Lage des Nerven und unbekannter Stromrichtung waren die Beuger bei drei Versuchen und die Strecker bei keinem reizbarer.

IV. Bei derselben Lage waren Beuger und Strecker einmal im Gleichgewicht der Reizbarkeit.

V. Bei peripherer Lage des Nerven und Stromrichtung a waren die Beuger neunmal und die Strecker sechsmal, bei Stromrichtung b die Beuger siebenmal und die Strecker sechsmal im Uebergewicht.

VI. Bei centraler Lage des Nerven und Stromrichtung a waren die Beuger bei neun Versuchen und die Strecker bei zwei Versuchen; bei Stromrichtung b die Beuger bei zehn, die Strecker bei drei Versuchen reizbarer.

VII. Im Gleichgewicht der Reizbarkeit waren beide bei peripherer Nervenstrecke, Stromrichtung a, dreimal, Stromrichtung b, fünfmal; bei centraler Nervenstrecke, Stromrichtung a und b, je zweimal.

VIII. Demnach waren ohne Unterschied der Nervenstrecke und Stromrichtung, die Strecker bei sechs und zwanzig Versuchen, die Beuger bei neun und dreissig Versuchen im Uebergewicht der Reizbarkeit, während sie bei dreizehn Versuchen gleich reizbar waren.

IX. Bei peripherer Lage des Nerven waren die Strecker fünfzehnmal, die Beuger sechzehnmal; bei centraler Lage die Strecker sechsmal, die Beuger zwei und zwanzigmal im Uebergewicht der Reizbarkeit.

Fasst man insbesondere die in No. IX. gegebene Zusammenstellung in's Auge, so drängt sich die Vermuthung auf, dass in den oberen Theilen des Ischiadicusstammes ganz besonders regelmässig (freilich nicht ausnahmslos) der höchste Erregbarkeitsgrad bei solchen Fasern zu finden ist, welche zu den Beugemuskeln gehen, dass dieser Unterschied sich weiter unten im Nerven mehr verwischt. So kommt es vor, dass in demselben Präparate die Beuger früher zucken, wenn die centrale Strecke auf den Elektroden liegt, die Strecker dagegen beim Aufliegen der untern Nervenstrecke. Um diese höchst seltsame Erscheinung zur Anschauung zu bringen, wollen wir eine derartige Versuchsreihe ausführlich mittheilen.

Tabelle V.

Bezeichnung des Frosch- schenkels	Nerven- strecke	Intervall der ausschliesslichen Reizung		Bemerkungen
		der Strecker	der Beuger	
VI.	centrale		380—365 350—345 350—340	Die Zahlen geben die Rollenabstände in Millimetern an.
	periphere	595—580 520—510 515—495		
	centrale		460—445 460—430	
	periphere	500—475		
	centrale		380—330 470—450	Nerv gedreht.

Nach den sämtlichen hier mitgetheilten Versuchen kann davon allerdings nicht mehr die Rede sein, dass nach einem unverbrüchlichen Gesetze die Nervenfasern der einen Muskelgruppe im Stamme des Nerven stets erregbarer wären, als die zu einer anderen Muskelgruppe gehörigen, aber es könnte wohl noch angenommen werden, dass aus einem in der Organisation liegenden Grunde die Wahrscheinlichkeit grösser sei, dass

die Beugefasern die höchste überall vorkommende Erregbarkeit haben, besonders in den oberen Theilen des Ischiadicusstammes. In der That würde man sich wohl schwerlich entschliessen, in einem Gefässe gleich viele weisse und schwarze oder gar mehr weisse Kugeln zu vermuthen, wenn man daraus bei 28 Zügen 22mal eine schwarze und nur 6mal eine weisse gezogen hätte. Selbstverständlich aber wäre dies noch lange kein sicherer Beweis für das Ueberwiegen der schwarzen Kugeln in dem Gefässe. Ebensowenig ist die Aufzählung in No. IX, S. 19 ein strenger Beweis für die Begünstigung der Beugefasern bezüglich der Erregbarkeit in der oberen Nervenstrecke durch irgend eine organische Einrichtung wohl aber ein Wink in diesem Sinne.

Da nun einmal die ganze Frage von dem Gebiete einer absoluten Gesetzmässigkeit auf das der blossen Wahrscheinlichkeit übergegangen ist, so kann nur eine grosse Statistik darüber entscheiden, die ein Einzelner gar nicht beibringen kann. Wir haben es daher unterlassen, noch mehr Versuchsreihen anzustellen. Wir haben um so eher auf eine Weiterführung der Untersuchung verzichtet, als die definitive Entscheidung der Frage, um die es sich jetzt nur noch handeln kann, selbst wenn sie gegeben werden könnte, bei Weitem nicht mehr das Interesse hat, welches *die* Frage hatte: ob eine bestimmte Muskelgruppe nach einem unverbrüchlichen Gesetz allemal die erregbarsten Nervenfasern besitzt.

Schliesslich muss noch eine Erklärung berührt werden, die man von dem Verhalten der verschiedenen Nervenfasern in unsern Experimenten versuchen könnte. Es wäre offenbar denkbar, dass beispielsweise die Beuger bei geringerer Stromstärke zuckten, nicht weil ihre Nervenfasern besonders erregbar wären, sondern weil einzelne ihrer Fasern gerade auf der Seite des Nervenstammes lägen, mit welcher er die Electroden berührt, so dass diese Nervenfasern besonders starke Stromschleifen erhielten. Um diese Hypothesen zu prüfen, haben wir in verschiedenen Versuchsreihen absichtlich öfters den Nerven gedreht, jedoch nie dadurch eine Aenderung des Verhaltens beobachtet. Nur wenn die äusserst periphere Nervenstrecke auf den Elektroden liegt, wo der Stamm schon in seine beiden Aeste, N. peroneus und tibialis, zerfallen ist, hat man es zuweilen in der Gewalt, bald den Beugern die scheinbar grössere Reizbarkeit zu verschaffen, indem man den N. tibialis über den N. peroneus legt, bald den Steckern, indem man nur den N. tibialis die Elektroden unmittelbar berühren lässt.

R e s u l t a t e.

1. Die *Rollett'schen* Versuche beweisen keineswegs, dass die Beuger des Froschschenkels reizbarer seien, als die Strecker;
2. Ein unverbrüchliches Gesetz besteht nicht, wonach ausnahmslos die erregbarsten Fasern des Nervus ischiadicus vom Frosche zu den Beugemuskeln des Unterschenkels gingen, vielmehr gehen dieselben auch öfters zu den Streckern;
3. Es scheinen besonders im centralen Ende des N. ischiadicus die zu den Flexoren des Unterschenkels gehenden Nervenfasern in der Mehrzahl der Fälle reizbarer zu sein, als die zu den Extensoren gehenden Nervenfasern.

Ueber quere Nervendurchströmung

von

A D O L F F I C K junior.

(Mit Tafel XIV.)

Es ist eine bekannte Thatsache der Physiologie, dass ein Froschmuskul um so leichter in Zuckung geräth, je kleiner der Winkel ist, unter dem sein Nerv von einem als Reiz wirkenden elektrischen Strome durchflossen wird.

du Bois-Reymond hat hieraus den Schluss gezogen, dass die Reizbarkeit des Nerven durch einen elektrischen Strom etwa eine Cosinusfunction des Winkels zwischen Nerv und Stromrichtung sei, d. h. gleich Null werde, wenn der Strom senkrecht auf die Axe des Nerven treffe. Nun ist es freilich wohl noch Niemandem gelungen, eine Versuchsreihe anzustellen, in der ein Nerv auch sehr kräftigen ihn senkrecht treffenden Strömen gegenüber reactionslos geblieben wäre. Aber es lag nahe, gegen einen hieraus zu entnehmenden Einwand wider die Folgerung *du Bois-Reymond's* geltend zu machen, dass es niemals gelingen könne, alle Primitivfasern eines Nervenstammes völlig parallel zu machen und von lauter unter sich parallelen Stromfäden genau senkrecht durchsetzen zu lassen. Man hat desshalb auf den directen Beweis der Unwirksamkeit querrer Durchströmung ganz verzichtet und eine indirecte Bestätigung jenes Satzes dadurch zu gewinnen versucht, dass man Ermittlungen über das Verhalten eines Nerven anstellte, den man bald mehr bald weniger schief durchfliessen liess. Wenn es auf diese Weise gelang, das Gesetz zu finden, dem die Wirkungen der Richtungsänderung des Stromes folgen, so durfte man offenbar durch Interpolation das Gesetz für die Fälle ergänzen, welche

aus irgend einem Grunde sich durch das Experiment nicht erforschen liessen.

In diesem Sinne etwa hat *Bernheim* Versuche angestellt und durch theoretische sowohl als experimentelle Gründe beweisen zu können geglaubt, dass die zur Erzielung des gleichen Effectes nöthigen Stromstärken wirklich genau umgekehrt proportional seien dem Cosinus des Winkels zwischen Stromrichtung und Nervenaxe. Allein eine Kritik von *Hermann* hat mit Bestimmtheit nachgewiesen, dass diese Arbeit den Beweis für „das Cosinusetz“ noch nicht erbracht hat. Es wird daher nicht ganz überflüssig sein, mit der vorliegenden Arbeit auf diese Frage zurückzukommen.

Die Versuche dieser Abhandlung wurden ursprünglich zur Lösung eines andern Problemes begonnen. Da es nemlich von vorneherein doch sehr wunderbar und unwahrscheinlich ist, dass ein auf den Nerven senkrecht treffender Strom ihn ganz ungereizt lassen sollte, er möchte noch so stark sein, so bemühte ich mich, experimentell einen Beweis dafür zu finden, dass die auch bei möglichst querer Durchströmung allerdings erst spät auftretende Zuckung doch nicht bloß durch unvermeidliche Fehler zu erklären sei. Allein ganz wider Erwarten sprachen die Resultate der Versuche entschieden zu Gunsten des „Cosinusetzes“, mithin auch für die Unwirksamkeit der queren Durchströmung. Es wird sich dies am besten mit Hülfe graphischer Darstellung der Versuchsergebnisse zeigen. Aus Gründen der Zweckmässigkeit werde ich nun nicht den Reizzustand des Nerven bei gleicher Stärke und wechselnder Richtung des Stromes, sondern die zur Erzeugung des gleichen Effectes — einer eben noch merklichen Zuckung des Muskels nemlich — nöthigen verschiedenen Stromstärken bei verschiedenen Richtungen durch das Diagramm versinnlichen. Die Einfachheit dieses Verfahrens leuchtet ohne weiteres ein; kann man doch die Stromstärken an einem graduirten Inductionsapparat sofort ablesen und als Ordinaten auf ein Stück Quadratpapier eintragen, während die Messung des Nervenreizes ohne weitere Veranstaltungen nicht möglich und mit beträchtlicheren Fehlerquellen behaftet ist. Die zugehörigen Abscissen sind gemessen durch die Anzahl der Winkelgrade, unter dem die als Ordinate abgemessene Stromstärke eine minime Zuckung auslöst. Bestimmt man nun experimentell eine Anzahl solcher Punkte, so lässt sich durch sie eine Curve legen, deren Ordinaten den physiologischen Leistungen eines in der Richtung variablen Stromes umgekehrt proportional sind. Denn denke man sich einen electrischen Strom von beliebiger Stärke einen mit den Muskeln in Verbindung gelassenen Nerven unter gleichfalls beliebigem Winkel z. B. unter 45^0 durchsetzen, so muss

seine Wirkung auf den Nerven und secundär auf den Muskel um so kräftiger sein, je schwächer der Strom ist, welcher unter 45° auf den Nerven wirkend noch eine sichtbare Muskelzuckung auslösen kann; und umgekehrt, gehört ein starker Schlag dazu, um unter jenem Winkel noch einen merklichen Effect zu erzielen, so wird jener erstgedachte Strom nur eine schwache Wirkung hervorbringen. Uebrigens ist dies Princip in der Nervenphysiologie bereits allgemein anerkannt und haben schon viele Forscher den reciproken Werth der kleinsten eben noch reizenden Stromstärke als Maass der Reizbarkeit benutzt.

Ehe wir jedoch die Versuchsergebnisse selbst betrachten und auf mathematischen Ausdruck zu bringen suchen, wird es sich empfehlen, die Methode des Experimentirens kurz zu besprechen.

Die erste Schwierigkeit besteht darin, trotz der veränderten Richtung des Stromes nur unter sich parallele Stromfäden zur Wirksamkeit kommen zu lassen, da bekanntlich ihre Convergenz und Divergenz von ganz wesentlichem Einfluss auf ihre physiologische Wirkung ist. Am besten schien dieser Forderung dadurch genügt zu werden, dass man ein etwa 140 mm. langes und 20 mm. breites deckellooses Glaskästchen mit Flüssigkeit füllte und die Elektroden ganz an den Enden desselben in diese Flüssigkeit, natürlich in der Mittellinie des Glastroges, eintauchen machte. Offenbar gehen dann durch die ganze Flüssigkeitssäule Stromfäden von einer Elektrode zur andern und zwar darf man wegen der relativ grossen Länge des Troges annehmen, dass im mittleren Drittel desselben nur unter sich und mit den Längswänden parallele Stromfäden zur Entstehung kommen. Zugleich wird hierdurch ein Missstand vermieden, der bei den *Bernheim'schen* Versuchen wohl in Betracht kommen dürfte. Dieser Experimentator benutzte nemlich eine durch feine Linien in Winkel eingetheilte Thonplatte als Electricitätsleiter; auf diese Platte legte er den Nerven in verschiedenen Richtungen abwechselnd hin. Nun ist es aber klar, dass man gar nicht übersehen kann, wie der Strom bei seinem Uebertritt aus der Ebene der Platte in den Nerven an Kraft und Richtung sich ändert; dagegen bildet bei der oben geschilderten Methode der Nerv einen integrierenden Bestandtheil des als Electricitätsleiter dienenden Flüssigkeitsprismas. Eine zweite Schwierigkeit liegt darin, beim Uebergang des Stromes aus der Flüssigkeit in den Nerven eine Aenderung der Widerstände zu vermeiden. Hierzu schien eine Füllung des Troges mit der bei physiologischen Arbeiten so häufig verwendeten 6⁰/₀₀ Kochsalzlösung besonders geeignet. Denn der Nerv, dessen feste Bestandtheile Electricität wenig oder gar nicht leiten, ist wie alle thierischen Gewebe mit einer annähernd ebenso zusammengesetzten Flüssigkeit durchtränkt. Man darf

sich also vorstellen, dass der Strom auf seinem Weg von einer Elektrode zur andern ebensolche Widerstände zu überwinden hat, als ob der Trog weiter gar nichts als 6 ‰ Kochsalzlösung enthielte. Eine Vereinfachung der bis jetzt beschriebenen Anordnung wurde in den letzten Versuchen dadurch herbeigeführt, dass die eintauchenden Drahtelektroden wegbliieben, und an ihrer Statt die bisherigen gläsernen Stirnplatten des Troges durch Zinkstreifen ersetzt wurden.

Der Nerv des zu prüfenden Präparates befand sich stets in der mittleren Gegend des Kästchens, und zwar wurde er quer und schräg über dasselbe hingelegt, so dass der über der Lichtung des Troges befindliche Theil durch seine eigene Schwere etwas sank und völlig in die Flüssigkeit eintauchte. An den Stellen seines Ein- und Austritts störte er also den übrigens annähernd geradlinigen Verlauf. Es mindert aber dieser Umstand den Werth der Versuche durchaus nicht, denn, wie eine einfache Ueberlegung zeigt, wird er an diesen Umbiegungsstellen querer getroffen als im übrigen Verlauf; mithin wird an diesen Stellen, wie man ja von früherher schon weiss, ein geringerer Reiz auf den Nerven ausgeübt, als in der unter Wasser befindlichen Strecke. Es bleiben also diese Stellen da, wo es sich um Feststellung der kleinsten eine Muskelzuckung bewirkenden Stromstärke handelt, ganz ausser Function.

Die Richtungsänderung des Stromes wird, wie bereits angedeutet ist, nicht durch Verschiebung der Elektroden, sondern durch Umlagerung des Nerven bewerkstelligt und zwar aus dem einfachen Grunde, weil Verschiebung der Aus- und Eintrittsstelle des Stromes wegen der Schmalheit des Troges nur in engen Grenzen möglich, bei dem später angewandten Glas-Zink-Kästchen überhaupt unmöglich ist und ausserdem den Widerstand in dem Flüssigkeitsprisma unkontrollirbar verändert hätte. Um die Grösse der Verschiebung am Nerven beobachten zu können, ist der gläserne Boden des Troges derart mit Quadratpapier beklebt, dass man, das Auge gerade senkrecht über dem Nerven, diesen über einem bestimmten Punkte des Trogbodens ein- und über einem gleichfalls markirten Punkte austreten lassen kann. Die Mitte der unter Wasser befindlichen Nervenstrecke bewahrt bei jeder Lage ihren Ort, den Durchschnittspunkt nemlich der queren und longitudinalen Halbirungslinie des Kästchens. Es begreift sich leicht, dass eine Anzahl bestimmter Lagen bei allen Versuchen wiederkehrt, indem man leicht kenntliche Punkte des untergeklebten Papierstreifen jedesmal wieder als willkommene Marke benutzt. So ist z. B. die quere Halbirungslinie des Troges mit 70 bezeichnet, d. h. diese Linie ist 70 mm. von jedem Ende des Kästchens entfernt; liegt nun der Nerv ihr parallel, so wird er von den Stromfäden gerade senkrecht durch-

setzt. Soll der Strom unter einem etwas kleineren Winkel seine Wirksamkeit entfalten, so legt man den Nerven etwa so, dass er bei 72,5 ein- und bei 67,5 austritt. Lassen wir auf diese Art den Ein- und Austrittspunkt des Nerven um je 2,5 mm. oder 5,0 mm. auf der Scala des Bodens wandern, so bekommen wir eine Reihe verschiedener Winkel, unter denen der Nerv durchflossen wird. Natürlich muss die Grösse dieser Winkel erst bestimmt werden, eine Aufgabe, die mit Hülfe von Quadratpapier, Lineal und Transporteur leicht zu lösen ist.

Die übrigen Anordnungen unterschieden sich nicht von der bei ähnlichen Versuchen in den physiologischen Laboratorien allgemein gebräuchlichen Methode. Der Unterschenkel des Frosches war selbstverständlich mit dem Nerven in Verbindung gelassen und mit Hülfe einer Stahlnadel so an einem Stativ befestigt, dass man ihn ohne Mühe nach Bedürfniss verschieben konnte. Die Electricitätsquelle bildeten 2 *Grove'sche* Elemente die mit der primären Rolle eines *du Bois-Reymond'schen* Schlittens derart verknüpft waren, dass bei Schliessung eines in den Kreis geschalteten Quecksilberschlüssels ein constanter Strom zu kreisen begann. Von der secundären Rolle gingen 2 Drähte zu den Elektroden des Kästchens, nur unterbrochen von einer *Pohl'schen* Wippe. Durch diese Veranstaltung war es möglich, den Nerven bald in dieser bald in jener Richtung durchströmen zu lassen. Als Reiz wurde der Oeffnungsschlag d. h. der beim Oeffnen des Quecksilberschlüssels in der secundären Spirale inducirte Schlag benutzt und nur, wenn ausnahmsweise der Schliessungsschlag bei grösserem Rollenabstand zu einer Zuckung des Muskels führte, wurde die betreffende Stromstärke mit der besondern Notiz „S. Zuck“ in die Zahlenreihe aufgenommen. Da die Stärke des inducirten Stromes im Schlitteninductorium bekanntlich nicht direct aus dem Rollenabstand abzulesen ist, so wurde der zu unsern Versuchen gebrauchte Apparat nach der *Fick'schen* Methode graduirt. Zur bequemeren Handhabung trägt man in einer Karte die durch Graduierung gefundenen Resultate als Ordinaten auf, deren Abscissen durch die entsprechenden Rollenabstände geliefert werden. Durch Interpolation und Ausziehen einer gebogenen Linie findet man eine Curve, ein treues Abbild von der Wirkung, welche eine Rollenverschiebung auf die Stromstärke im secundären Kreise hat. Man braucht dann während des Versuches nur die Lage des Nerven und den Rollenabstand aufzuzeichnen, bei dem der Oeffnungsschlag eine eben noch merkliche Zuckung auslöste, um bei gelegener Zeit, ohne Zuhülfenahme des benutzten Apparates, nur nach der Karte die Rollenabstände in Stromstärken übersetzen zu können.

Als Einwände gegen diese Methode, beziehungsweise als Fehlerquellen kann man zunächst die möglicherweise vorhandene Inconstanz des

secundären Stromes bei gleichem Rollenabstand betrachten. Ist es doch hinlänglich bekannt, dass das schnellere oder langsamere Schliessen eines Stromkreises von wesentlichem Einfluss auf die Stärke des secundären Stromes ist. Einer der vollkommensten Apparate, Schluss und Oeffnung einer Kette stets gleichmässig herbeizuführen, ist der bereits erwähnte Quecksilberschlüssel, denn der Kreis ist immer in demselben Moment geschlossen, in welchem die Berührung zwischen Quecksilber und Schlüsselstift stattfindet. Es ist mithin vollkommen gleichgültig, ob der Stift schnell oder langsam in das Metall gedrückt wird. Doch ist nicht zu übersehen, dass sich bei jeder Unterbrechung des Stromes auf der blanken Quecksilberoberfläche ein schwacher mattgrauer Belag bildet, der vermuthlich aus Quecksilberoxyd besteht. Es muss, da dieses Häutchen den genauen Contact erschwert, durch regelmässiges Abpinseln der Oberfläche dafür gesorgt werden, dass immer genau dieselben Substanzen, Quecksilber und Stift, den Contact und Kettenschluss herstellen.

Ein zweites Bedenken wäre die Frage nach der feuchten Kammer, bekanntlich eine Veranstaltung, das Austrocknen des Präparates zu verhindern. An dem Gebrauch dieser umständlichen Anordnung wurde ich durch die Länge des Troges und die häufig nöthige Lageveränderung des Nerven gehindert. Doch wurde stets durch reichliches Betropfen des ganzen Präparates mit 6 $\frac{0}{100}$ Kochsalzlösung dafür Sorge getragen, dass eine Veränderung der Reizbarkeit durch Wasserverlust unmöglich war.

Endlich liesse sich noch einwenden, dass bei den verschiedenen Lagen des Nerven nicht immer die gleiche Strecke den Wirkungen des Stromes ausgesetzt gewesen sei. Dies ist freilich richtig, bei den schiefen Lagen befand sich eine grössere Strecke des Nerven in der Richtung des Troges, als bei den mehr queren. Allein man darf wohl annehmen, dass stets an ein und derselben Stelle, an der empfindlichsten nemlich, der Reiz seine Wirkungen entfalte. Dass nun diese reizbarste Nervenstelle bei allen Lagen dem Strome ausgesetzt gewesen, wird mehr als wahrscheinlich, durch die Regelmässigkeit der sogleich mitzutheilenden Resultate selbst. Ist doch in fast allen Versuchen die dem Winkel 90° entsprechende Ordinate mehr als 10mal, oft 20 und 30 mal so gross, als die der Abscisse 34 zugehörige. Man kann doch unmöglich annehmen, dass solche Unterschiede durch ungleiche Reizbarkeit der einzelnen Nervenstellen bedingt seien.

Gehen wir nun zu den Versuchen selbst über. Im ersten derselben waren die Ein- und Austrittsstellen des Nerven bezogen auf den Boden des Kästchens

für die 1 Lage	55	—	85
" " 2 "	60	—	80

	für die 3 Lage	65	—	75
"	" 4 "	67,5	—	72,5
"	" 5 "	70	—	70
"	" 6 "	72,5	—	67,5
"	" 7 "	75	—	65
"	" 8 "	80	—	60
"	" 9 "	85	—	55

In der oben bereits angedeuteten Art sind nun die Winkel dieser Lagen gegen die Längsaxe des Troges bestimmt und für die ganze folgende Versuchsreihe mit wenigen Ausnahmen beibehalten worden.

Eintrittsstelle	Austrittsstelle	gef. Winkel
55	85	34°
60	80	45°
65	75	63°
67,5	72,5	76°
70	70	90°
72,5	67,5	104°
75	65	117°
80	60	135°
85	55	146°

Die Bestimmung der zur Auslösung einer minimalen Muskelzuckung gebrauchten Stromstärke wurde stets ein- oder mehreremale wiederholt, und das Mittel aus den einzelnen Bestimmungen in die Tabellen geschrieben. Ausserdem wurde durch jeweiliges Umlegen der Wippe eine zweite Zahlenreihe gewonnen, welche das Verhalten des Nerven einem in umgekehrtem Sinne fliessenden Strome gegenüber illustriert. Nach dem Gesagten wird das folgende Täfelchen, das den Versuch Nro. I in übersichtlicher Darstellung zeigt, verständlich sein; allenfalls wäre noch zu erwähnen, dass \nearrow im Nerven aufsteigend, \searrow im Nerven absteigend zu bedeuten hat.

Versuch No. 1.

Mittel aus 2—3 Bestimmungen in Rollenabständen.				Mittel der Stromstärke.			
34°	\nearrow 17,6	\searrow 18,0	.	\nearrow 10,5	\searrow 9,5	.	.
45°	16,9	18,9	.	11,3	8,2	.	.
63°	14,3	16,6	.	15,5	11,5	.	.
76°	12,4	12,7	.	29,2	27	.	.
90°	5,2	7,1	.	420,0	180	.	.
104°	11,7	12,7	.	35	27	.	.
117°	14,6	15,4	.	17,9	15,1	.	.
135°	16,7	19	.	11,8	8,0	.	.
146°	17,2	20,5	.	10,8	6,3	.	.

Von den folgenden Versuchen, die mit ganz geringen Abweichungen nach dem Schema dieses ersten angestellt sind, sollen um der Kürze der Darstellung willen nur die Endresultate, d. h. die jeweils gebrauchten Stromstärken neben die Winkel geschrieben werden, unter denen der betreffende Strom den Versuchsnerv kreuzte.

Versuch No. II.				Versuch No. III.		
34°	↗ 11,3	↖ 11		↗ 10,1	↖ 14,2	Zu beiden Versuchen ist dasselbe Präparat benutzt worden.
45°	12	13,5		12,6	14,9	
63°	17	21		20,5	23,2	
76°	33	36		39,7	40,5	
90°	335	210		410	360	
104°	36	48		40,5	52,7	
117°	20	25		24	33	
135°	14,5	19		13,4	24	
146°	9,2	14		8,3	20	

Versuch No. IV.				Versuch No. V.		
34°	↗ 3,9	↖ 6,3		↗ 21,4	↖ 10,3	
45°	5,8	7,7		16,0	12,2	
63°	7,3	10,1		20,5	11,5	
76°	13,5	23,5		31	24	
90°	70	90,1		33	28	
104°	18,5	28,0		26,3	14,6	
117°	8,6	12,2		17	11	
135°	4,7	8,4		14,5	12,5	
146°	4,5	9,3		32	8,1	

Versuch No. VI.				Versuch No. VII.		
34°	↗ 8,6	↖ 16,3		↗ 4	↖ 5,7	
45°	13,3	17,1		5,4	7,1	
63°	13,6	22		6,7	8,3	
76°	30	50		8,5	13,6	
90°	240	180		58	52	
104°	20,7	40		16	20,3	
117°	14,6	23		7,6	11	
135°	12,1	18		4,7	7,1	
146°	7,3	16		3,7	5,9	

Versuch No. VIII.				Versuch No. IX.				
34°	↗	0,7	↘	3,2	↗	3,2	↘	3,1
38° ₅		1,02		5,4		3,4		3,7
45°		4,8		8,7		3,8		4,0
53°		5,2		9,8		5,3		4,6
63°		8,6		12,0		9,2		6,4
76°		15,5		15,3		15,7		10,3
90°		50		60		48		60,1
104°		14,6		15,8		15,7		14,4
117°		9,15		11,3		10,1		9,3
127°		6,6		11,1		6,4		6,4
135°		4,55		8,7		4,8		4,6
141° ₅		4,6		8,4		—		—
146°		3,3		8,0		3,8		4,7

Versuch No. X.				Versuch No. XI.			
34°	↗ 32,5	↘ 30		34°	↗ 6,2	↘ 7,9	In No. X. ist am Schluss des Versuches die Bestimmung der Stromstärke bei völlig querer Durchströmung wiederholt. Wieman sieht hat sich im Nerv oder in den Apparaten etwas verändert.
45°	24 S. Zuck.	14		45°	7,9	10,1	
63°	37	22		53°	11,3	13,4	
76°	53	35		63°	14,6	18,1	
90°	160	90		76°	29	27	
104°	70	38		90°	340	190	
117°	53	29		104°	32,5	40	
135°	30	16		117°	14,5	20	
146°	38	50		127°	11,5	16	
90°	600	300		135°	8,7	12,4	
				146°	7,3	10,6	

Versuch No. XII.				
34°	↗	14,9	↘	9,0
45°		16		14,2
53°		16,8		14,4
63°		17,5		20
76°		36		30,2
90°		230		220
104°		21,5		24,0
117°		19,3		17,3
127°		16		12,7
135°		15,2		14,2
146°		18,5		8,7

Fassen wir jetzt das Ergebniss aller vorliegenden Versuche mit einem Blick zusammen, so kann es uns nicht entgehen, dass trotz einzelner Unregelmässigkeiten im Grossen und Ganzen sämtliche Zahlenreihen nach einem Typus aufgebaut sind. Die Zahlen wachsen, so lange der Winkel zwischen 34° und 90° liegt und fangen wieder an abzunehmen, sobald der Winkel grösser als 90° geworden ist. Es heisst dies in andern Worten, die Stromstärke, welche zum Auslösen einer Muskelzuckung genügen soll, muss um so grösser sein, je weniger schräg, je senkrechter er auf den Versuchsnerven auftritt. Schon eingangs ist erwähnt worden, dass dies ein längst bekannter und anerkannter Satz ist. Es wird daher der Leser mit Recht erwarten, dass aus der vorliegenden Arbeit noch etwas anderes gefolgert werden soll. Und in der That, ein genaueres Studium der Zahlenreihen lässt uns noch eine Bemerkung machen. Während der Winkel um so ziemlich dieselbe Grösse, um 11° , 18° , 13° , 14° , wächst, nehmen die Stromstärken höchst ungleichmässig zu, anfangs kaum merklich, z. B. im Versuch Nro. II um 0,7, in Nro. III um 0,3, später dagegen in ganz rapiden Verhältnissen, so dass der Sprung der Stromstärken oft mehr als das 10fache der Summe aller bisherigen Aenderungen beträgt, während sich der Winkel nur um 14° , etwa das Mittel aus den bisherigen Aenderungen, vergrössert hat. Offenbar geht hieraus mit Bestimmtheit hervor, dass ein kleiner Fehler beim Experimentiren, bei der Bestimmung der Nervenlage, ja ein nicht ganz paralleler Verlauf der Nervenfäden untereinander von ganz colossaler Wirkung sein muss, sobald es sich um annähernd quere Durchströmung handelt. Wir sind demnach fast gezwungen, die völlig quere Durchströmung, die freilich practisch niemals ausführbar ist, für unwirksam zu halten, da ja ein solch asymptotischer Verlauf der Zahlenreihen für den idealen Winkel 90° die Ordinate ∞ erwarten liesse.

Durch graphische Darstellung der experimentell gefundenen Punkte und Interpolation der übrigen bekommt man nun, wie leicht ersichtlich, eine Curve, die aus zwei nahezu geradlinigen und einem stark gekrümmten Stück besteht; der Theil der Curve, welcher den Winkeln nahe um 90° entspricht, schmiegt sich der Ordinatenaxe mehr oder weniger an, um sie je nach dem verschiedenen Ausfall der Experimente in verschiedener Höhe zu schneiden.

Der Wunsch, diese regelmässig wiederkehrende Erscheinung auf einen mathematischen Ausdruck zu bringen, würde auch, abgesehen von den früheren Versuchen das „Cosinusetz“ zu beweisen, dazu auffordern, die durch Experimente gewonnenen Curven mit Functionen zu vergleichen, welche für $x = 0$ a und für $x = 90$ ∞ werden. Da in unserem Falle

die variable Grösse ein Winkel ist, so dürfte allerdings die Erörterung der Function $y = \frac{p}{\cos x}$ am nächsten liegen.

Zu dem Ende berechnen wir den Parameter einer Curve $\frac{p}{\cos x}$ oder was dasselbe ist $p \cdot \sec x$, die durch einen der Experimentpunkte geht und construiren, nach Multiplication dieser Grösse p mit den Werthen von $\sec 20^\circ$, $\sec 40^\circ$, $\sec 60^\circ$ u. s. w. und Eintragen der Resultate in eine Karte, im Uebrigen die Curve aus freier Hand. Um jedoch von den Fehlern einer einzigen Beobachtung möglichst unabhängig zu sein, empfiehlt es sich, für jeden der vier Beobachtungspunkte den entsprechenden Curvenparameter zu suchen und das Mittel aus den so gewonnenen vier Werthen zur Berechnung der Vergleichscurve zu benützen. Die Berechnung eines solchen Parameters im Versuch Nro. I z. B. stellt man folgendermassen an.

$$\begin{aligned} p, \quad \sec 34 &= 10,5 = p, \quad 1,2 \\ p_{II}, \quad \sec 45 &= 11,2 = p_{II}, \quad 1,4 \\ p_{III}, \quad \sec 63 &= 15,5 = p_{III}, \quad 2,2 \\ p_{IV}, \quad \sec 76 &= 29,2 = p_{IV}, \quad 4,1 \end{aligned}$$

also ist

$$\left. \begin{aligned} p, &= \frac{10,5}{1,2} = 8,75 \\ p_{II} &= \frac{11,2}{1,4} = 8 \\ p_{III} &= \frac{15,5}{2,2} = 7 \\ p_{IV} &= \frac{29,2}{4,1} = 7,1 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{als Mittel} \\ \text{findet sich} \\ p = 7,7 \end{array}$$

Mit diesem Parameter $p = 7,8$ wird nun eine Secantencurve hingezeichnet, wie auf der beiliegenden Fig. 1 in der ausgezogenen Curve zu sehen ist. Ganz analog wird aus den beobachteten Stromstärken für die Winkel zwischen Nerv und Stromrichtung $90^\circ - 146^\circ$ ein Parameter $= 8,5$ berechnet und mit dessen Hülfe der rechts ersichtliche ausgezogene Ast ausgeführt. Natürlich darf man zur Berechnung der Parameteren den Beobachtungswerth für $x = 90$ nicht benützen, da $p_5 = \frac{420}{\sec 90} = \frac{420}{\infty}$ zu dem unbrauchbaren Resultat $p_5 = 0$ führen würde.

Wie die Fig. I zeigt, fallen die vier mit Sternchen bezeichneten Punkte, die den durch Versuch wirklich bestimmten Stromstärken entsprechen, auf

beiden Seiten der Ordinatenaxe sehr annähernd mit der Curve $\frac{p}{\cos x}$ zusammen. Links liegen 2 Punkte ein wenig über, die beiden andern ebenso wenig unter der Vergleichcurve; rechts liegt ein Punkt über und drei unter der Secantenlinie. Der fünfte Punkt des Versuches, der beiden Hälften gemeinsam gehört und bei 420 in die Ordinatenaxe fallen würde, vollendet die überraschende Aehnlichkeit zwischen der bildlichen Darstellung von $\frac{p}{\cos x}$ und den zur Curve ergänzten 5 Punkten des Versuches.

Obwohl wir also, wenigstens für diesen Versuch, kaum hoffen dürfen, eine andere noch ähnlichere Function mit asymptotischem Verlauf aufzufinden, so wird es doch nicht ohne Interesse sein, den Vergleich auf einige andere derartige Functionen auszudehnen.

Am nächsten liegen hier wohl Functionen $\frac{1}{\cos x^2}$ und $\frac{1}{\sqrt{\cos x}}$. Auch zu ihrer Darstellung müssen wir erst die Einheit, d. h. den Parameter und zwar für beide Aeste je einen, also im Ganzen deren viere berechnen. Um nicht zu ermüden, will ich ohne weitere Erläuterung in gedrängter mathematischer Form die Berechnung von p_2 für $\frac{1}{\cos x^2}$ und von p_3 für $\frac{1}{\sqrt{\cos x}}$ je einmal aufführen.

$$\begin{array}{ll} p' \frac{1}{\cos 34^2} = 10,5 & p' = \frac{10,5}{1,2^2} = \frac{10,5}{1,4} = 7,5 \\ p'' \frac{1}{\cos 45^2} = 11,3 & p'' = \frac{11,3}{1,4^2} = \frac{11,3}{1,96} = 5,6 \\ p''' \frac{1}{\cos 63^2} = 15,5 & p''' = \frac{15,5}{2,2^2} = \frac{15,5}{4,84} = 3,2 \\ p'''' \frac{1}{\cos 76^2} = 29,2 & p'''' = \frac{29,2}{4,1^2} = \frac{29,2}{16,8} = 1,7 \end{array}$$

also das Mittel ist $p_2 = 4,5$

und analog als Mittel zwischen den Einzelparameteren, die aus den rechts von der Ordinatenaxe gelegenen Beobachtungspunkten genommen sind,

$$p_2 = 4,8$$

Zur Darstellung der Function $\frac{1}{\sqrt{\cos x}}$ berechnet man die Einheit p_3

$$p' \frac{1}{\sqrt{\cos 34}} = 10,5 \quad p' = \frac{10,5}{\sqrt{1,2}} = \frac{10,5}{1,095} = 9,6$$

$$\begin{aligned}
 p'' \frac{1}{\sqrt{\cos 45}} &= 11,3 & p'' &= \frac{11,3}{\sqrt{1,4}} = \frac{11,3}{1,183} = 9,5 \\
 p''' \frac{1}{\sqrt{\cos 63}} &= 15,5 & p''' &= \frac{15,5}{\sqrt{2,2}} = \frac{15,5}{1,483} = 10,4 \\
 p'''' \frac{1}{\sqrt{\cos 76}} &= 29,2 & p'''' &= \frac{29,2}{\sqrt{4,1}} = \frac{29,2}{2,025} = 14,4
 \end{aligned}$$

das Mittel $p_3 = 10,97$ oder abgerundet $= 11$.

Für den absteigenden Curvenast findet man analog $p_3 = 12,3$.

In der Figur I findet man die mit diesen Parametern als Einheit construirten Curven. Natürlich werden verhältnissmässig nur wenig Punkte durch Multiplication der Constanten mit dem Quadrat respective der Wurzel von $\sec 0^\circ$, $\sec 20^\circ$, $\sec 40^\circ$ u. s. w. festgestellt und dann aus freier Hand die Curven durch diese Punkte hindurchgelegt. Die gestrichelte Linie soll

$\frac{p_2}{\cos x^2}$ die punktirte $\frac{p_3}{\sqrt{\cos x}}$ versinnlichen. Schon auf den ersten Blick

sieht man, dass diese Linien weit weniger Aehnlichkeit mit der Krümmung der durch die Versuchspunkte zu legenden Curve haben, dass mithin die *du Bois-Reymond'sche* Vermuthung bedeutend an Interesse gewinnt. Man könnte natürlich der Vergleichsobjecte noch manche bringen; doch wollen wir uns damit begnügen, hier noch eine hyperbolische Function

$y = c \cdot \frac{90}{90 - x}$ in den Kreis der Besprechung zu ziehen. Wiederum gilt es zunächst, den Werth der Constanten c zu ermitteln und zwar wie oben als Mittelwerth aus mehreren Experimentzahlen.

$$\begin{aligned}
 c, \quad \frac{90}{90-34} &= 10,5 & c, &= 30,5 \frac{56}{90} = 6,5 \\
 c,, \quad \frac{90}{90-45} &= 11,3 & c,, &= 11,3 \frac{45}{90} = 5,65 \\
 c,,, \quad \frac{90}{90-63} &= 15,5 & c,,, &= 15,5 \frac{27}{90} = 4,65 \\
 c,,,, \quad \frac{90}{90-76} &= 29,2 & c,,,, &= 29,2 \frac{14}{90} = 4,54
 \end{aligned}$$

also der Mittelwerth $c = 5,3$.

Zur Berechnung einiger Ordinaten der hyperbolischen Vergleichscurve genügen folgende Gleichungen:

$$5,3 \frac{90}{90-0} = 5,3 \qquad 5,3 \frac{90}{90-70} = 23,8$$

$$5,3 \frac{90}{90-20} = 6,8$$

$$5,3 \frac{90}{90-80} = 47,7$$

$$5,3 \frac{90}{90-40} = 9,5$$

$$5,3 \frac{90}{90-85} = 95,4$$

$$5,3 \frac{90}{90-60} = 15,9$$

Die so erhaltenen Zahlen entsprechen einer Curve, die der $\frac{P}{\cos x}$ Linie zu nahe liegt, um sich ohne Verwirrung der Zeichnung ausführen zu lassen. Es ist selbstverständlich, dass auch dieser hyperbolischen Curve die an der kritischen Stelle, dem Orte stärkster Krümmung, mit der Secantenlinie fast zusammenfällt, die Experimentencurve sehr ähnlich sein muss. Jedoch genügt ein etwas eingehender Vergleich entsprechender Ordinatenwerthe, um wahrzunehmen, dass die Secantencurve im Ganzen sich doch noch inniger den Experimentpunkten anlegt, als ihre nahe Nachbarin.

Auch in der zweiten Figur, welche die Resultate der zweiten Zahlenreihe aus Versuch Nr. II, also die Wirkungen eines im Nerven absteigenden Stromes versinnlicht, ist auf der linken Hälfte die hyperbolische Curve c. $\frac{90}{90-x}$ zum Vergleich benutzt. Auch diesmal stimmt sie — kenntlich gemacht durch Striche, die mit Punkten abwechseln — mit der Experimentallinie sehr genau, jedoch nicht so vollständig überein, wie die ihr ausserordentlich ähnliche Secantencurve. Selbst wenn übrigens in einzelnen Fällen die hyperbolische Curve sich den Versuchsdaten am genauesten anschliesse, würde doch die Function $\frac{P}{\cos x}$ eine sehr genaue Darstellung der Reizbarkeit des Nerven mittels eines ihn schräg durchfliessenden Stromes sein; denn, wie wir sahen, fällt ja die hyperbolische Curve zwischen den im Versuch allein in Betracht kommenden Abscissenwerthen (34—76) fast genau mit der Secantencurve zusammen. Man könnte also wohl sagen: Ein den Nerven schräg durchfliessender Strom wirkt auf ihn reizend so, als ob ihn der Länge nach ein Strom durchflösse, dessen Stärke diejenige der in die Richtung des Nerven fallenden Componente des wirklich vorhandenen schrägen Stromes wäre. Es wäre das, wenigstens soweit die Genauigkeit in physiologischen Messungen überhaupt reicht, der vollständige Ausdruck des Sachverhaltes. Es soll damit aber keineswegs gesagt sein, dass der Zerlegung des Stromes in zwei Componenten nach dem Schema des Kräfteparallelogramms bei der Nervenerregung eine reelle Bedeutung zukomme.

Zum Schluss noch eine kurze Betrachtung! Wir haben im Laufe dieses Aufsatzes uns durchschnittlich auf die Erörterung der günstig ausgefallenen Versuche beschränkt. Sind nun, so müssen wir uns jetzt fragen, die Abweichungen in den weniger gelungenen Versuchen nicht so gross, dass die Annahme unvermeidlicher Beobachtungsfehler zur Erklärung unzureichend wird? Zur Beantwortung dieser Frage wollen wir den ersten aufsteigenden Curvenast des Versuches Nro. IV darstellen. Die Berechnung liefert:

p. sec 0	=	3,5
p. sec 20	=	3,7
p. sec 40	=	4,5
p. sec 60	=	7
p. sec 70	=	10,2
p. sec 80	=	20,1
p. sec 85	=	40
p. sec 87	=	66,8
p. sec 87,5	=	80,1

In Figur III ist diese Zahlenreihe in Form einer Curve (punktirt) sichtbar gemacht. Die Versuchsdata sind als Ordinaten 3,9; 5,8; 7,3; 13,5; 70, auf die Abscissen 34, 45, 63, 79, 90 aufgetragen. Legen wir uns jetzt folgende Frage vor: Welcher Abscisse würde die Ordinate 70 entsprechen, wenn die immerhin noch beträchtliche Aehnlichkeit zwischen Secanten- und Experimentencurve vollkommen wäre, oder anders ausgedrückt, wie gross müsste der Fehler sein, um statt des Werthes ∞ den kleinen Werth 70 zu liefern? Die Zeichnung und Berechnung antworten hierauf übereinstimmend, die fragliche Abscisse ist 87, also der der Winkelfehler 30° . Nun wäre freilich ein Fehler von 30° ganz exorbitant gross, wenn es sich z. B. um Ablesung eines Nonius handelte. Vergessen wir aber nicht, dass davon hier gar keine Rede ist, dass ein immerhin 1mm. Durchmesser besitzender Strang aus freier Hand über eine durch Glas und Wasser abzulesende Scala gelegt, endlich dass beträchtliche Fehlerquellen im uncontrolierbaren Verlauf der Einzelfäden innerhalb des Nerven selbst zu suchen sind, so wird man sich leicht überzeugen, dass Fehler bis zu 30° sich nicht immer vermeiden lassen. Einen handgreiflichen Beweis dieser Behauptung kann man sich auf folgende Weise verschaffen. Man zeichnet sich mit möglichst feinen Linien ein rechtwinkliges Dreieck, dessen eine Kathete = 9mm, dessen andere = 200mm. ist; man hat dann der kleineren Seite gegenüber einen Winkel von $2,05^\circ$. Nimmt man jetzt den Nervus ischiadicus eines Frosches und versucht ihn nur mit Hülfe von 20mm. auseinander stehenden Punkten

auf die eine der *verdeckten* Linien zu legen, so wird man selbst bei einiger Uebung Fehlern bis zu 1 und 2 Grad nicht immer entgehen können. Berücksichtigen wir nun noch, dass im Nerven selbst sehr wohl Con- und Divergenzen der einzelnen Fäden unter Winkeln von 1 und 2 Grad möglich sind und dass immer die schiefer getroffenen Fäden eine Zuckung auslösen, eine Ausgleichung der Fehler gegenseitig also unmöglich ist, berücksichtigen wir dies Alles, so verlieren die scheinbar störenden Versuche den grössten Theil ihres Gewichts. Den Rest davon, hoffe ich, durch fernere Versuche und vervollkommnete Methoden vernichten zu können.

Zur Erläuterung der Zeichnungen.

Figur I.

Die Ordinatenaxe (DC) ist der grösseren Anschaulichkeit wegen in die Mitte der Figur gezeichnet. Die gesterntten Punkte sind die experimentell gefundenen. Der fünfte würde bei 420 in die Axe CD fallen. Die schwarz ausgezogenen Curven rechts und links stellen die Function $\frac{p}{\cos x}$ dar. Die gestrichelten $\frac{p_2}{\cos x^2}$ die punktirten gezeichneten $\sqrt{\frac{p_3}{\cos x}}$. Das Ganze zur Darstellung des Versuches Nr. I erste Zahlenreihe.

Figur II.

Versuch Nro. II. Zweite Zahlenreihe. Die Sternpunkte sind Versuchsdata. Die schwarzen Curven, $\frac{p}{\cos x}$, die gestrichelten, $\frac{p_2}{\cos x^2}$ die punktirten $\frac{p_3}{\sqrt{\cos x}}$ und endlich die aus Strichen und Punkten zusammengesetzte c. $\frac{90}{90-x}$.

Figur III.

Versuch Nr. IV, erste Columne. Die gesterntten Punkte sind wie gewöhnlich Versuchsdata. Die punktirt gezeichnete Curve stellt $\frac{p}{\cos x}$ dar.

Figur IV.

Versuch Nr. XI, beide Columnen combinirt und je das Mittel aus zwei sich entsprechenden Zahlen als Ordinate aufgetragen. Die gesterntten Punkte sind Versuchsdaten. Der fünfte würde bei 265,0 in die Axe der Ordinaten fallen. Die gestrichelte Curve illustriert $\frac{p}{\cos x}$ und die punktirte c. $\frac{90}{90-x}$.

Nachtrag.

Auf Seite 275 des vorstehenden Aufsatzes wurde des misslichen Umstandes Erwähnung gethan, dass bei den verschiedenen Lagen der Nerven verschieden lange Strecken der electricischen Reizung ausgesetzt seien. Es schien daher nicht unwichtig, durch Versuche festzustellen, ob dieser Uebelstand den Gang der Curven beeinflusst habe. Solche Versuche wurden während des Druckes der Abhandlung noch angestellt und will ich hier kurz über dieselben berichten. Es wurde eines der bis jetzt gebrauchten Glas-Zink-Kästchen von 10 mm. Breite mit einem wasserdicht aufgekitteten Glasdeckel versehen, in dessen Mitte sich ein Loch von 10 mm. Durchmesser befand. Der Rand dieses Loches trug eine mit Diamant eingeritzte Eintheilung von 15 zu 15 Grad. Durch diese Oeffnung tauchte der Nerv in die Flüssigkeit, wie man sieht immer in derselben Länge und bei einiger Aufmerksamkeit auch mit dem nämlichen Stück. Die Winkel zwischen Stromrichtung und Nervenaxe waren jetzt 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°, gleichfalls ein Vorthail vor der früheren Anordnung, die eine Durchströmung in der Richtung der Nerven selbst nicht gestattet hatte. Um durch den Froschschenkel beim Verschieben des Nerven nicht behindert zu sein, wurde derselbe im Fussgelenk mit einer Fadenschlinge gefangen und an einem Arm desselben Statios aufgehängt, welches das ganze Präparat zu tragen hatte. Wie sich erwarten liess, war der Erfolg nicht wesentlich anders als in den früheren Versuchen, was aus den beispielsweise hier angeführten Zahlenreihen hinlänglich erhellt.

Winkel zwischen Stromrichtung und Nervenaxe.	Stromstärke, die nöthig um eine Zuckung auszulösen.	Ordinaten der berechneten Vergleichs- curve. $\frac{p}{\cos x}$	Winkel zwischen Stromrichtung und Nervenaxe.	Stromstärke, die nöthig, um eine Zuckung auszulösen.	Ordinaten der berechneten Vergleichs- curve. $\frac{p}{\cos x}$
0°	11,7	14,0	0°	15,0	13,5
15°	14,6	14,4	15°	14,1	14,0
30°	15,5	16,2	30°	15,2	15,7
45°	21,4	19,6	45°	20,8	19,0
60°	31,0	28,0	60°	28,5	27,0
75°	54,0	54,0	75°	40,0	52,0
90°	490,0	∞	90°	145,0	∞
90°	300,0	∞			

Man sieht auf den ersten Blick, dass die entsprechenden Zahlen sich bis auf eine Ausnahme — die Ordinaten 40,0 und 52,0 für die Abscisse 75 in der zweiten Tabelle — sämtlich sehr nahe liegen. Man darf also das Bedenken, die Resultate unserer früheren Versuche könnten durch die verschiedene Länge der gereizten Nervenstrecke beeinflusst sein, als erledigt betrachten. Dafür drängt sich freilich jetzt ein neues Bedenken auf. Bisher hatten wir es stets mit einem durch ebene Flächen begrenzten Flüssigkeitsprisma zu thun. Bei der zuletzt benutzten Versuchsanordnung dagegen tauchte der Nerv in einem dem Prisma aufgesetzten concaven Meniscus von Flüssigkeit; denn infolge der Capillarität stieg am Rand des Kreisloches die Flüssigkeit in die Höhe. Allerdings liess sich dies leicht umgehen, wenn man so viel Flüssigkeit hinzutropfte, dass das Niveau der Flüssigkeit der oberen Fläche des Deckels entsprach. Allein hierdurch wurde die einfache Figur eines Parallelipipeds erst recht geändert; denn jetzt tauchte der Nerv in einen Cylinder, der auf das Prisma aufgesetzt und dessen Höhe gleich der Dicke des Glasdeckels war.

Um auch von diesen Fehlerquellen unabhängig zu sein, wurde ein Kästchen mit einem durchlöchernten Deckel versehen, welcher statt aus Glas aus einem papierdünnen Glimmerblättchen gefertigt war. Auch diese Vervollkommnung des Apparates änderte durchaus nichts an den Ergebnissen der Versuche, und so darf man wohl die früheren Versuche auch als experimentell geschützt gegen das besprochene Bedenken betrachten.

Fig. 1.

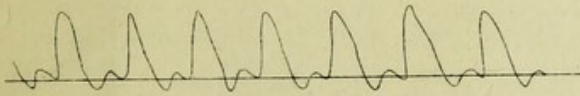
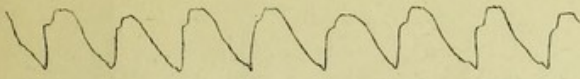


Fig. 2.

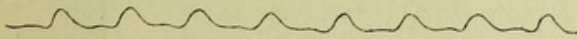
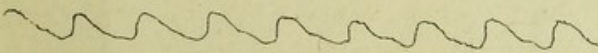


Fig. 3. a.

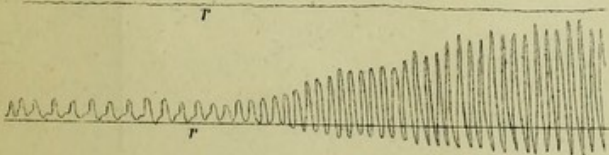
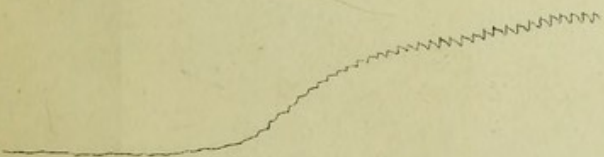


Fig. 4.

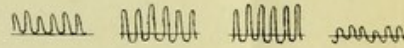
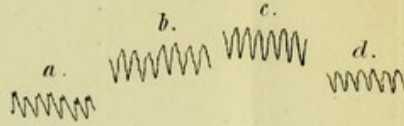


Fig. 3. b.

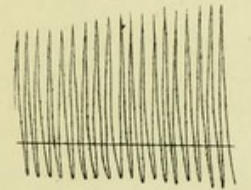
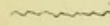
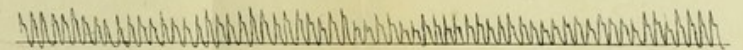
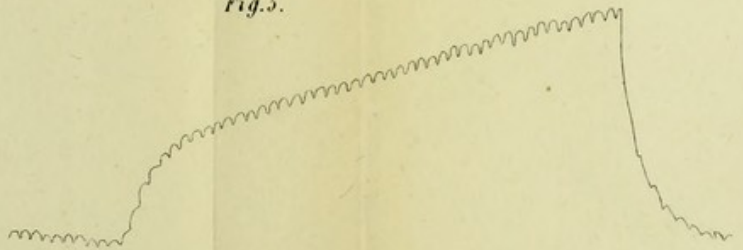


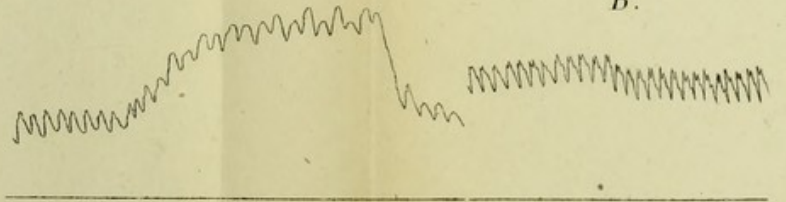
Fig. 5.



A.

Fig. 6.

B.



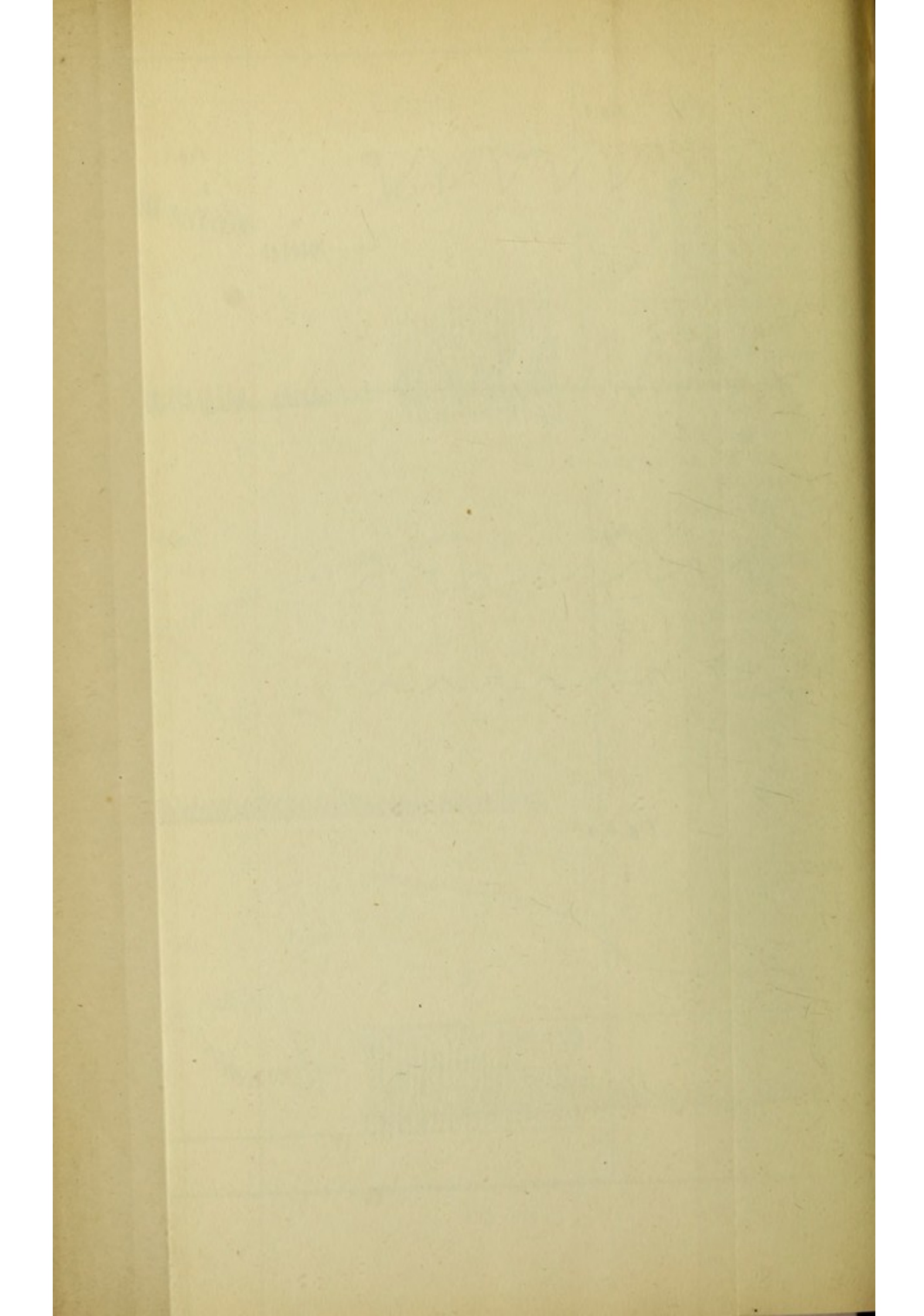


Fig. I.

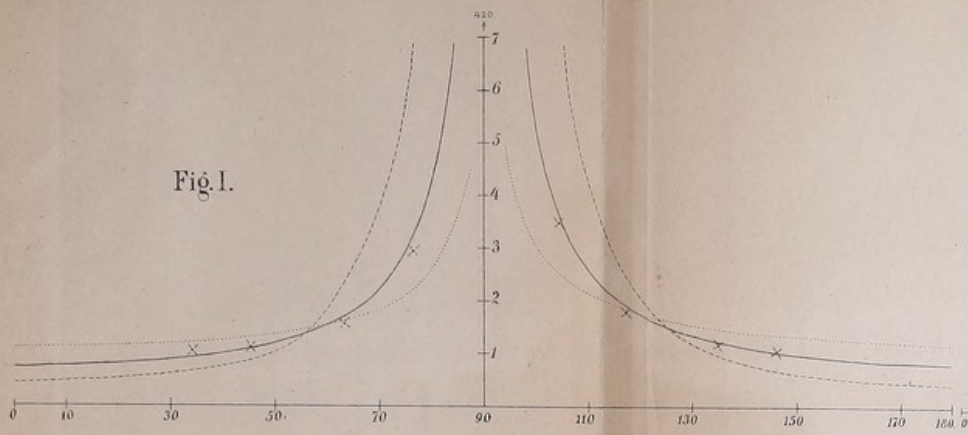


Fig. III.

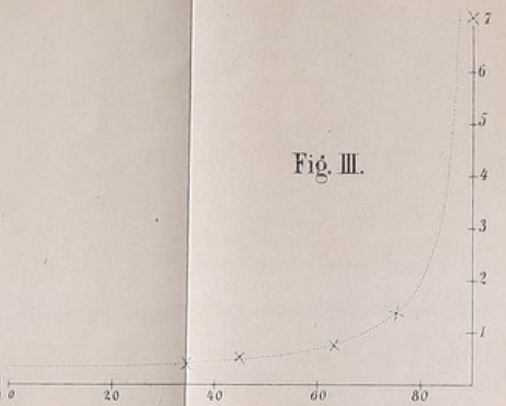


Fig. II.

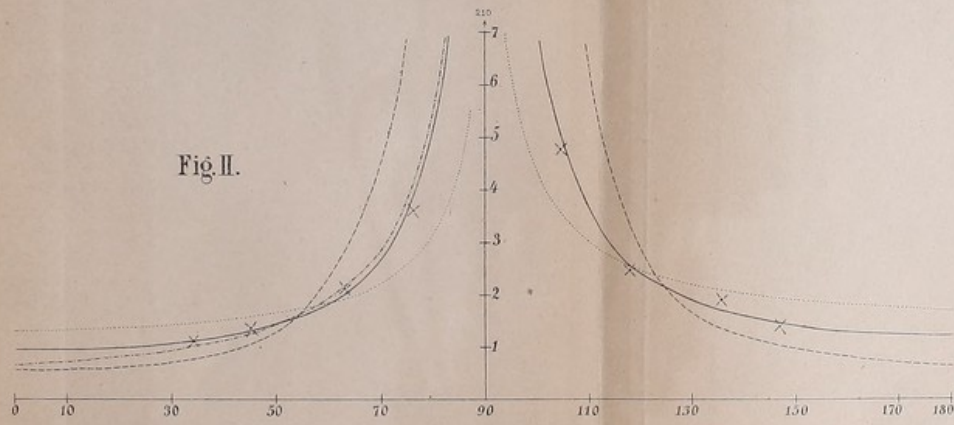


Fig. IV.

