



(Aus dem physiologischen Institut zu Jena.)

Zur Physiologie der glatten Muskeln.

Inaugural-Dissertation

der

medizinischen Facultät zu Jena

zur

Erlangung der Doctorwürde

in der

Medicin, Chirurgie und Geburtshülfe

vorgelegt

von

Moritz Fürst

aus Hamburg.



Bonn 1889.

Separat-Abdruck aus dem Archiv f. d. ges. Phys. Bd. XLVI.

Verlag von Emil Strauss.

Genehmigt von der medicinischen Facultät auf Antrag des
Herrn Prof. Dr. Biedermann.

Jena, den 11. November 1889.

Prof. Dr. **Riedel**,
d. Z. Decan.

Im Jahre 1887 beschrieb Schillbach¹⁾ die auffallende Thatsache, dass bei Reizung des Darmes mit dem Kettenstrom nicht nur an der Kathode eine auf den Ort der Reizung beschränkt bleibende Kontraktion sich bildet, sondern dass auch an der Anode eine lokale und sogar stärkere Zusammenziehung auftritt, die sich wenige Sekunden später in eine intensive peristaltische Kontraktion nach auf- und abwärts umwandelt.

Diese Beobachtungen wurden neuerdings von Biedermann und Simchowitz²⁾ weiter verfolgt, und es schien sich aus ihren Versuchen die höchst auffallende Thatsache zu ergeben, dass ungeachtet der morphologischen Gleichwerthigkeit der antagonistisch wirkenden Muskelschichten des Darmes von verschiedenen Säugethieren und Vögeln eine ganz auffallende physiologische Verschiedenheit zwischen beiden besteht, indem zwar die Längsmuskeln dem Pflüger'schen Erregungs-Gesetz folgen und bei der Schliessung des Stromes an der Kathode erregt werden, dagegen die Ringmuskeln umgekehrt eine anodische Schliessungserregung bezw. Kathoden-Oeffnungserregung zeigen, die sich regelmässig und in unverkennbarer Weise durch eine mehr oder weniger tiefe Einschnürung an der betreffenden Elektrode verräth. Diese Einschnürung fehlt an der Kathode vollständig, wo bei Schliessung des Stromes nur eine locale Wulstung der Darmwand entsteht, welche Biedermann und Simchowitz ihrem Aussehen

1) Virchow's Archiv Bd. 109.

2) Biedermann, Zur Physiologie der glatten Muskeln. Nach gemeinschaftlich mit Dr. M. Simchowitz angestellten Versuchen. Pflüger's Archiv Bd. XLV.

zufolge auf eine örtliche Kontraktion der Längsmuskeln beziehen zu müssen glaubten.

Die Thatsache der anodischen Ringmuskel-Kontraktion wurde übrigens später auch noch von Hillel Jofé¹⁾ beobachtet, und gründete derselbe darauf zum Theil seine Ansicht, dass an quergestreiften Muskeln und Nerven Anode wie Kathode, wenn auch in ungleicher Weise, erregend wirken.

Es lässt sich nicht verkennen, dass die Annahme einer so durchgreifenden physiologischen Differenz morphologisch so ähnlicher Gebilde, wie es die glatten Muskelzellen der beiden antagonistisch wirkenden Muskelschichten der Darmwand sind, von vornherein gewissen Schwierigkeiten begegnet, welche direkt dazu auffordern müssten, die Untersuchung nicht allein auf den Darm zu beschränken, sondern womöglich auch noch andere Organe, wo ähnliche anatomische Verhältnisse vorliegen, zu berücksichtigen.

Herr Professor Biedermann, mein hochverehrter Lehrer, veranlasste mich daher, an dem Hautmuskelschlauch von Würmern, deren Muskeln ja in ähnlicher Weise angeordnet erscheinen, wie bei dem Darm der Wirbelthiere, elektrische Reizversuche anzustellen, um zu sehen, ob sich nicht vielleicht durch diese vergleichenden Untersuchungen Anhaltspunkte zur Erklärung jener merkwürdigen Darmversuche ergeben würden.

Als Versuchsobjekte dienten ausschliesslich der Regenwurm und der Blutegel. Bezüglich der anatomischen Verhältnisse des Hautmuskelschlauchs dieser Würmer seien nur wenige Bemerkungen gestattet. Im Allgemeinen herrscht bei den verschiedenen Ringelwürmern eine sehr weitgehende Uebereinstimmung des anatomischen Baues des Hautmuskelschlauchs, indem bei allen zwei von einander scharf geschiedene Fasersysteme, eine äussere Ringmuskellage und eine nach Innen gelegene, meist stärker entwickelte Längsmuskelschicht, vorkommen.

Es ist demnach die räumliche Anordnung, wie auch die relative Mächtigkeit der Entwicklung der beiden antagonistisch wirkenden Muskellagen hier gerade entgegengesetzt wie bei dem Darm der Wirbelthiere, ein Umstand, welcher für die vergleichende

1) Hillel Jofé, Recherches physiologiques sur l'action polaire des courants électriques. Thèse inaugurale Genève 1889.

Untersuchung nicht ohne Belang ist. Bezüglich des feineren Baues der kontraktilen Elemente selbst darf wohl auf die einschlägigen zoologischen Schriften verwiesen werden¹⁾.

Es ist selbstverständlich, dass Reizversuche an Würmern nur dann mit Aussicht auf Erfolg angestellt werden können, wenn vorher die Fähigkeit derselben zu spontanen und Reflexbewegungen beseitigt ist. Dies zu erreichen, lagen offenbar zwei Möglichkeiten vor. Man konnte einerseits daran denken, die ganze Bauchganglienketten herauszupräpariren. Doch schien es vielfach zweckmässiger, durch eines der bekannten Nervengifte eine Lähmung entweder der Centralorgane oder aber der peripheren Nerven herbeizuführen.

Es liegen in der Literatur schon mehrfach Angaben vor in Betreff der Wirkung verschiedener Gifte auf Wirbellose und speziell auf die von mir benutzten beiden Würmer; so besonders von Krukenberg²⁾, sowie von Guillebeau und Luchsinger³⁾.

Da aber meine eigenen Beobachtungen nicht in allen Punkten mit denen der genannten Forscher übereinstimmen, so will ich etwas ausführlicher auf die betreffenden Thatsachen eingehen. Meine Versuche erstrecken sich zunächst auf die Wirkungsweise der Anaesthetica Alkohol und Aether, sowie des Curare. Bekanntlich hat Krukenberg seiner Zeit die auffallende Angabe gemacht, dass durch Alkohol oder Aether vor Allem die Muskeln selbst gelähmt werden, und glaubte dies aus dem Umstand erschliessen zu dürfen, dass bei partieller Vergiftung eines Wurmes — d. h. wenn durch Ligaturen nur die Mitte des Thieres dem Gifte ausgesetzt worden — eine Reizwelle gleichwohl durch das in Ruhe verharrende Mittelstück hindurch von einem Ende zum andern gelangen konnte.

Dagegen haben Guillebeau und Luchsinger wohl mit Recht geltend gemacht, dass gegen eine Anaesthetie der wesent-

1) Vgl. insbesondere: Claparède, Histolog. Unters. über den Regenwurm. Z. f. wiss. Zool. 1869.

2) Krukenberg, Vergleichend-physiolog. Studien an den Küsten d. Adria. I. Heidelberg 1880.

3) A. Guillebeau u. B. Luchsinger, Fortgesetzte Studien zu einer allgemeinen Physiologie der irritablen Substanzen. Pflüger's Archiv Bd. XXVIII, 1882.

lichen, nämlich der gangliösen Theile des Centralnervensystems Krukenberg's Versuch nichts beweisen könne, weil ja die zugehörigen Muskeln, welche dies bezeugen müssten, durch das Gift schon gelähmt waren.

Auch meine eigenen Beobachtungen sprechen in unzweideutiger Weise zu Gunsten der von Guillebeau und Luchsinger vertretenen Anschauung, dass Alkohol und Aether zunächst auf das Centralorgan der Wirbellosen lähmend einwirken. Denn es ergab sich ausnahmslos, dass zu einer Zeit, wo die spontane Beweglichkeit sowie die Reflexerregbarkeit vollständig erloschen war, jede direkte — sei es elektrische, sei es mechanische — Reizung des Hautmuskelschlauchs am Regenwurm sowohl wie am Blutegel zu einer sehr kräftigen Kontraktion der Muskeln an der betreffenden Stelle führte.

Für den beabsichtigten Zweck erwies sich eine etwa 5—7% Lösung von Alkohol in Wasser als am besten geeignet. In einer solchen Lösung erscheint der Wurm nach 5—6 Stunden schlaff und bewegungslos. Stärkere Lösungen wirken zwar rascher, schädigen aber gleichzeitig auch die Muskeleerregbarkeit in nicht unerheblichem Grade.

Im Allgemeinen ist also die Narkose mit verdünntem Alkohol eine für den vorliegenden Zweck ganz brauchbare Methode.

Auch bezüglich der Wirkungsweise des Curare bei Wirbellosen herrschen noch vielfach divergente Anschauungen. Während Krukenberg sich auf Grund seiner Versuche berechtigt hält, eine ganz analoge Wirkung dieses Giftes auf die von ihm untersuchten Würmer anzunehmen, wie sie in so unzweideutiger Weise sich an den quergestreiften Muskeln der Wirbelthiere zeigt, glauben Guillebeau und Luchsinger die zu beobachtenden Folgewirkungen im wesentlichen auf eine centrale Lähmung beziehen zu müssen. Ohne auf diesen Punkt hier näher einzugehen, möge es genügen, hervorzuheben, dass die Vergiftung mit Curare sich in allen Fällen als ein sehr geeignetes Mittel bewährte, um am Regenwurm sowohl wie auch am Blutegel jene Lähmung der Willkür- und Reflexbewegung herbeizuführen, welche unbedingt erforderlich ist, um die beabsichtigten Reizversuche mit Erfolg anstellen zu können. Es erwies sich am vortheilhaftesten, die unversehrten Würmer für längere Zeit in eine ziemlich starke Curarelösung zu legen. In diesem Curarebad mussten sie min-

destens 48 Stunten verweilen; meistens waren sie dann vollkommen gelähmt bei vortrefflich erhaltener direkter Reizbarkeit der Muskeln. Bisweilen aber kam es vor, dass eine mehr als doppelt so lange Zeit nöthig war, um die erwünschte Wirkung zu erzielen, ohne dass ich jedoch die Umstände näher angeben könnte, durch welche diese Verzögerung bedingt war.

Ich habe es ferner auch versucht, die Würmer durch Injection der Curarelösung mittelst einer Pravaz-Spritze zu vergiften, hatte dabei aber nicht immer gute Erfolge zu verzeichnen. Zweckmässiger fand ich es, den Wurm ganz mit Curarelösung auszuspritzen und hierauf noch in ein Curarebad zu legen. Diese Methode erlaubte es sogar meist, das Präparat schon nach 5—6 Stunden zu benutzen.

Kommt es darauf an, den Hautmuskelschlauch nach Längsspaltung flach ausgespannt zu reizen, so schien, wie bereits erwähnt, das Herauspräpariren der Bauchganglienkeite das einfachste Mittel der Immobilisirung. Wider Erwarten zeigte sich jedoch, dass selbst nach vollständiger Entfernung des Centralorgans und aller Eingeweide nicht nur spontan, sondern auch nach Reizung beliebiger Stellen der Innenfläche ausgebreitete Bewegungen auftraten, welche die beabsichtigten electrischen Reizversuche durchaus vereitelten. Ich bin vorläufig nicht in der Lage, die Entstehungsursache der erwähnten Bewegungserscheinungen aufzuklären, doch dürften dieselben — wie auch überhaupt die coordinirten Bewegungen unversehrter Würmer — einer genaueren Untersuchung werth sein.

Was nun die Methodik der Reizversuche betrifft, so ist darüber noch folgendes zu bemerken: Als Stromquelle diente entweder eine Chromsäure-Tauchbatterie von 12 Elementen mit eingeschaltetem Rheochord und Stromwender oder eine entsprechende Zahl Daniell'scher Elemente. Es genügen, um die wesentlichen im Folgenden zu schildernden Erscheinungen zu zeigen, verhältnissmässig schwache Ströme; stärkere wurden nur benutzt, um im gegebenen Fall auch die Oeffnungsreiz-Erfolge zu untersuchen. Wie bei den Versuchen am Darm der Wirbelthiere von Biedermann und Simchowitz wurde sowohl die Methode der „monopolaren“ Reizung, wie auch die gewöhnliche bipolare Reizmethode verwendet. Da, wie gleich hier bemerkt sei, die Resultate in beiden Fällen durchaus übereinstimmten, und die erstere Methode

in mancher Beziehung Vorthail bietet, so wurde derselben gewöhnlich der Vorzug gegeben.

Die Ausführung der Versuche gestaltet sich demnach einfach so, dass der gelähmte Wurm auf eine leitende Unterlage (eine mehrfache Schicht von feuchtem Filtrirpapier oder Kochsalzthon) gelegt wird, welche mit der einen „indifferenten“ Electrode in Verbindung steht, während die andere beliebige Punkte der Oberfläche des Thieres berührt.

Als Elektroden dienten ausschliesslich unpolarisirbare Pinsel-
elektroden; es muss darauf gesehen werden, dass die berührende
Pinselspitze möglichst fein ist. Die Schliessung des Stromes wurde
entweder mit der in der Hand gehaltenen Reizelektrode selbst oder
wenn die letztere dauernd angelegt war, mittelst eines Quecksilber-
schlüssels bewerkstelligt. Im einen wie im andern Falle erscheint es
sehr vortheilhaft, sich bei der Beobachtung des Reizerfolges einer
Lupe zu bedienen, da gewisse feinere, aber doch für die Auffassung
der Erscheinungen sehr wesentliche Details nur dann mit voller
Sicherheit zu erkennen sind. Die Hauptwirkungen treten allerdings
schon bei Beobachtungen mit unbewaffnetem Auge sehr scharf hervor.

Da, wie sich zeigen wird, die Reizerfolge bei *Lumbricus* und
Hirudo — wohl hauptsächlich infolge der Verschiedenheit des
anatomischen Baues — nicht in allen Punkten völlig überein-
stimmen, so soll im Folgenden eine gesonderte Besprechung der
betreffenden Ergebnisse erfolgen.

Bei *Lumbricus* ist es nicht ganz gleichgiltig, an welcher
Stelle des Hautmuskelschlauchs gereizt wird, da nicht alle Seg-
mente unter einander völlig gleich sind, wie wenigstens annähernd
bei dem Egel, sondern insbesondere in Bezug auf ihre Breite sehr
erheblich differiren. Die breitesten und daher für die beabsich-
tigten Versuche am besten geeigneten Segmente sind die am Vorder-
ende des Wurmes bis etwa zum Clitellum gelegenen. An ihnen
lassen sich die im Folgenden zu schildernden Erscheinungen am
deutlichsten wahrnehmen, und ich werde mich daher im Wesent-
lichen auf die Beschreibung der Veränderungen beschränken, welche
durch die elektrische Reizung an dem erwähnten Abschnitt des
Wurmes bewirkt werden. Berührt man (bei monopolarer Reizung)
mit der anodischen Pinselspitze die Mitte der braun pigmen-
tirtten Rückenfläche eines Segmentes, so sieht man bei genügender
Stromstärke und unter Voraussetzung einer möglichst vollständigen

Lähmung der Willkürbewegungen und Reflexe das direkt berührte Segment, und zwar nur dieses allein, sich ringförmig einschnüren und in diesem Zustand verharren, so lange der Strom geschlossen bleibt. War der Strom stark und die Erregbarkeit der Muskeln eine hohe, so kann diese durch Kontraktion der Ringmuskeln bewirkte Einschnürung fast bis zum Verschwinden des Lumens der Körperhöhle gehen, wodurch dann natürlich die umgebenden Theile, insbesondere die nächst angrenzenden Segmente passiv mehr oder weniger verzogen werden. Immer jedoch bleibt der Reizerfolg auf das direkt berührte Segment beschränkt, und es findet keine Fortpflanzung der Kontraktion etwa in Form einer peristaltischen Welle statt. Nebst der erwähnten passiven Verziehung der angrenzenden Theile des Hautmuskelschlauchs fehlt aber kaum jemals eine zweifelsohne activ durch Kontraktion der Längsmuskeln bewirkte Abnahme der Höhe der benachbarten Segmente, die am stärksten in unmittelbarer Nähe der Einschnürung weiterhin allmählich abnimmt und sich auch niemals an der ganzen Peripherie der betreffenden Segmente, sondern nur an der der Reizstelle entsprechenden Seite geltend macht. Es handelt sich daher um eine wohl zum grössten Theil activ, theilweise aber auch passiv bewirkte einseitige Verziehung der dem anodisch gereizten Segment benachbarten Körperringe. Dass hier nun wirklich eine Verkürzung der Längsmuskeln vorliegt, geht — abgesehen von der oft sehr beträchtlichen räumlichen Ausbreitung der betreffenden Veränderungen zu beiden Seiten der Ringmuskelnkontraktion — ganz unzweifelhaft aus der schon erwähnten meist sehr bedeutenden Abnahme der Höhendimension der betreffenden Segmente hervor, und es bleibt nur fraglich, wie sich in dieser Beziehung das direkt gereizte Segment selbst verhält. Ich glaube mich nun auf Grund meiner Beobachtungen dafür entscheiden zu müssen, dass hier zwar — wie ohne weiteres ersichtlich — eine oft maximale Erregung der Ringmuskeln vorhanden ist, dass dagegen eine merkliche Verkürzung der Längsmuskeln durchaus fehlt. Es lässt sich dies allerdings vielleicht nicht mit voller Bestimmtheit aus dem Umstand allein erschliessen, dass keine merkliche Abnahme der Höhe des betreffenden Segmentes eintritt, da ja beide Muskelschichten antagonistisch sowohl in Bezug auf Veränderungen der Länge (Höhe) des Segmentes, als der Breite (des Lumens) wirken, doch scheint

mir auf der anderen Seite der Umstand ausschlaggebend zu sein, dass Fälle beobachtet werden, wo die Kontraktion der Ringmuskeln vergleichsweise schwächer entwickelt ist, als die Zusammenziehung der Längsmuskeln beiderseits von dem mit der Anode berührten Ringe, so dass dieser letztere sich nur in geringem Maasse zusammenschnürt; gleichwohl nimmt die Höhe dieses Segmentes nicht ab, während dies bei den Nachbarsegmenten in hohem Grade der Fall ist. Jedes Mal aber lässt sich hier auch noch eine andere Thatsache feststellen, welche für die Auffassung der anodischen Reizerfolge von Bedeutung zu sein scheint.

Ist die Kontraktion der Ringmuskeln eine starke, so gewinnt es den Anschein, als sei die Erregung an allen Stellen des Muskelringes in annähernd gleicher Weise entwickelt, als habe sich von der Anode ausgehend der Erregungs- bzw. Kontraktionsvorgang nach beiden Seiten hin von Querschnitt zu Querschnitt fortgepflanzt. Diese Vorstellung scheint aus einer unbefangenen Betrachtung des Reizerfolges sich unmittelbar zu ergeben. Ist jedoch die ringförmige Einziehung nicht eine maximale, so dass die von der Anode berührte Stelle des Segmentes stets deutlich sichtbar bleibt, so lässt sich meist ohne Schwierigkeit (besonders bei Lupenvergrößerung) erkennen, dass an der Eintrittsstelle des Stromes selbst, sowie in deren allernächster Umgebung nicht nur die Kontraktion der Längsmuskeln fehlt, sondern dass daselbst auch keine irgend merkliche Zusammenziehung der Ringmuskeln erfolgt. Besonders deutlich lässt sich dieses erkennen, wenn durch Verdunstung die Oberfläche des Wurmes etwas trocken und infolge davon auch minder elastisch geworden ist. Dann sieht man sehr schön, wie durch Faltung der Epidermis an der Oberfläche des kontrahierten Ringes zarte Querrunzeln entstehen, welche sich beiderseits von der Electrode sehr deutlich ausprägen, in der nächsten Umgebung der anodischen Pinselspitze aber durchaus fehlen. Die letztere muss bei diesem Versuch nur eben feucht sein, um eine Benetzung der Reizstelle zu vermeiden. Man kann sogar in jedem solchen Falle eine direkt erschlaffende (hemmende) Wirkung der Anode nachweisen, wenn man die Pinselspitze, während der Strom geschlossen bleibt, nach einer Stelle desselben gereizten Segmentes verschiebt, wo infolge der Kontraktion bereits deutliche Querrunzeln ausgebildet sind. So-

bald eine solche Stelle mit der Anode berührt wird, sieht man, wie sich dieselbe sofort glättet und hat ganz den Eindruck, als ob ungeachtet der Kontraktion benachbarte Theile des Muskelringes an der berührten Stelle selbst eine Erschlaffung bezw. Verlängerung eintrete.

Gar nicht selten hat man Gelegenheit, dieses Ausbleiben der Kontraktion sowohl der Längs- wie der Ringmuskeln an der Anode selbst dadurch noch deutlicher markirt zu sehen, dass sich um die Pinselspitze herum eine kleine flache Delle oder Vertiefung bildet, deren Entstehung sich leicht erklären lässt. Offenbar wird, wenn an zwei sich rechtwinklig kreuzenden, etwa gleich breiten Muskelfaserzügen an der Kreuzungsstelle keine Erregung erfolgt, während sich dagegen die jenseits der Deckfläche gelegenen Arme des Kreuzes und zwar um so stärker verkürzen, je näher der betreffende Querschnitt der Kreuzungsfläche liegt, eine von vier gleich grossen Wülsten umgrenzte Vertiefung von quadratischer Form entstehen. Ohne dass nun die Erscheinung an dem gereizten Wurmsegmente wirklich in dieser schematischen Form sich zeigte, was ja schon durch die anatomischen Verhältnisse ausgeschlossen ist, kann man doch oft genug sehen, dass das mit der Anode berührte Segment an dieser Stelle eingezogen und von etwas gewulsteten Rändern umgeben erscheint, welche letztere theils auf die sich kontrahirenden Theile des Ringmuskels an demselben Segmente, theils auf die ebenfalls verkürzten Längsmuskeln der nächst benachbarten Segmente zu beziehen sind.

Noch deutlicher lässt sich die ganze Erscheinung oft machen, wenn man bei geschlossenem Strom mit der Pinselspitze wiederholt leicht über zwei benachbarte Segmente senkrecht zur Faserichtung der Ringmuskeln hinstreift, da dann sowohl der unerregt bleibende Flächenraum, wie auch das Gebiet der Kontraktion grösser werden und sich daher schärfer von einander abheben.

Am überzeugendsten tritt übrigens die erwähnte lokal hemmende Wirkung der Anode an solchen Stellen hervor, wo entweder die Längs- oder die Ringmuskeln oder beide aus irgend welchem Grunde dauernd contrahirt erscheinen. An dem direkt berührten Segmente lässt sich die örtliche Erschlaffung beider Fasersysteme dann immer sehr deutlich und in ganz unverkennbarer Weise wahrnehmen.

Das, was also auf den ersten Blick einfach als eine Kon-

traktion der Ringmuskeln des anodisch gereizten Segmentes sich darbot, scheint nach den eben beschriebenen Beobachtungen ein sehr komplizirtes Phänomen zu sein, welches nach allen Richtungen näher zu erforschen Aufgabe weiterer Untersuchungen sein wird. Hier soll vor Allem nur die Thatsache hervorgehoben werden, dass die Veränderungen, welche bei elektrischer Reizung des Hautmuskelschlauches von *Lumbricus* an der Anode hervortreten, sich — wie es zunächst den Anschein hat — nicht unwesentlich von denen unterscheiden, welche nach den Versuchen von Biedermann und Simchowitz unter gleichen Verhältnissen am Darm der Wirbelthiere hervortreten.

Während hier bei anodischer Reizung eine Kontraktion der Längsmuskeln nicht oder wenigstens nicht mit Sicherheit nachgewiesen werden konnte, tritt eine solche fast regelmässig am Hautmuskelschlauch hervor. Nun könnte man ja allerdings der Meinung sein, dass diese Verkürzung der Segmente beiderseits von der ringförmigen Einschnürung eine nicht durch direkte Muskelexerregung bewirkte Erscheinung darstellt, sondern in irgend einer Weise durch Nerven oder Ganglien verursacht sei; indessen wäre dann nicht recht einzusehen, weshalb diese Erregung sich in so gesetzmässiger Weise immer nur an den Längsmuskeln und nicht auch an den Ringmuskeln äussert. Ueberhaupt ist aber gar nicht zu verkennen, dass die vorstehend geschilderten Wirkungen der anodischen Reizung an Längs- und Ringmuskeln in ihrem ganzen Verhalten eine sehr auffallende Uebereinstimmung darbieten. In beiden sich rechtwinklig kreuzenden Fasersystemen haben wir es zu thun mit einer örtlich auf die Berührungstelle der positiven Elektrode bezw. deren nächster Umgebung beschränkten Hemmung oder mindestens mit einem Fehlen der Erregung daselbst, während beiderseits von der Anode eine mehr oder weniger starke Kontraktion derselben Faserzüge hervortritt.

Nicht minder charakteristisch als an der Anode erscheinen bei elektrischer Reizung des Hautmuskelschlauches von *Lumbricus* auch die an der Kathode bei der Schliessung hervortretenden Veränderungen. Man könnte sich eigentlich begnügen, zu sagen, dass sie sich in gerade gegentheiliger Weise äussern, doch dürfte es immerhin nicht überflüssig sein, etwas näher darauf einzugehen.

Richtet man seine Aufmerksamkeit bloß auf das mit der Elektrode berührte Segment, so tritt der Gegensatz des anodischen und des kathodischen Reizerfolges in auffallendster Weise hervor, und man könnte sich — wenigstens bei nicht sehr aufmerksamer Untersuchung — veranlasst sehen, den Sachverhalt einfach so auszudrücken, dass bei Schliessung des Stromes an der Anode ausschliesslich die Ringmuskeln, an der Kathode ausschliesslich die Längsmuskeln erregt werden.

Es wurde jedoch bereits gezeigt, dass die Verhältnisse bei anodischer Reizung keineswegs so einfache sind, und ebenso wenig ist dies bei kathodischer Erregung der Fall. Darüber, dass die Längsmuskeln des direkt gereizten Segmentes erregt werden, kann nun allerdings nicht der geringste Zweifel bestehen, fraglich bleibt aber aus gleich zu erörternden Gründen doch, ob nicht auch die Ringmuskeln, wenigstens örtlich, an der Berührungsstelle selbst miterregt werden.

Für eine genauere Untersuchung empfiehlt es sich zunächst, nicht allzu starke Ströme zu verwenden, da die Beurtheilung sonst nicht unwesentlich erschwert wird. Es sei auch hier wieder bemerkt, dass die Resultate der bipolaren Reizung genau mit denen der monopolaren übereinstimmen. Die auffälligste Veränderung ist, wie schon erwähnt, die Verkürzung des betreffenden Körperringes. Dieselbe macht sich jedoch in der Regel nicht in der ganzen Peripherie gleichmässig geltend, sondern erscheint im wesentlichen auf die nächste Umgebung der Kathode beschränkt. Hier erscheint infolge der Längsmuskel-Kontraktion das betreffende Segment wulstförmig gewölbt und reliefartig zwischen den benachbarten Theilen hervortretend. Diese letzteren nehmen bei Anwendung stärkerer Ströme ebenfalls und in gleicher Weise an der Erregung theil, so dass dann bei Schliessung des Stromes durch die über mehrere Segmente sich erstreckende Längsmuskel-Kontraktion ein mehr oder weniger stark hervorspringender, im wesentlichen auf die direkt gereizte Stelle beschränkter Wulst entsteht, der sich unter der Kathode selbst am steilsten erhebt und beiderseits ziemlich rasch abfällt. Untersucht man bei geeigneter Stromstärke das kathodische Erregungsgebiet mit der Lupe und achtet besonders auf das Entstehen der Reizwirkung im Momente der Schliessung an dem direkt mit der Elektrode berührten Segmente, so ist es in der Regel nicht schwer, sich mit voller Bestimmtheit davon zu über-

zeugen, dass daselbst auch eine örtlich auf die kathodische Stelle beschränkte Kontraktion der Ringmuskeln erfolgt, die bei minder aufmerksamer Beobachtung nur deshalb unbemerkt bleibt, weil sie ihrer räumlichen Beschränktheit wegen zu keiner merklichen Verkleinerung des Durchmessers des Muskelringes führt. Diese Wirkung ist bei Anwendung nicht übermässig starker Ströme auf das direkt gereizte Segment beschränkt, und man sieht infolge dessen an der Berührungsstelle oft ganz deutlich eine stärkere höckerförmige Hervorragung entstehen, welche ohne Zweifel auf die sich deckende lokale Kontraktion der Längs- und Ringmuskeln zurückzuführen ist. Für den sicheren Nachweis der letzteren ist der Umstand von wesentlicher Bedeutung, dass am Hautmuskelschlauch die Ringmuskelschicht umgekehrt wie am Darne der Wirbelthiere nach aussen gelegen und daher der Beobachtung direkt zugänglich ist. Andernfalls würde es schwer sein, über die Veränderungen der Ringmuskeln, insbesondere bei kathodischer Reizung, sicheren Aufschluss zu erhalten.

Im Vorstehenden wurden bisher nur die Erscheinungen der Schliessungs-Erregung näher berücksichtigt. Es erübrigt nun noch einige Worte über die bei Oeffnung des Stromkreises hervortretenden polaren Veränderungen zu sagen. Wie fast immer, so lässt sich auch hier konstatiren, dass zur Auslösung wirksamer Oeffnungserregung im Allgemeinen stärkere Ströme und eine längere Schliessungsdauer erforderlich sind. Dass auch individuelle Verschiedenheiten der Erregbarkeit der Präparate wesentlich mit in Betracht kommen, bedarf kaum besonderer Erwähnung. Im Allgemeinen sind jedoch die Oeffnungsreizerfolge — wenigstens bei *Lumbricus* — niemals so scharf ausgeprägt wie die Folgewirkungen der Schliessung des Stromes. Am sichersten lässt sich noch das Auftreten einer der anodischen Schliessungswirkung ähnlichen Ringmuskelnkontraktion an dem vorher kathodisch gereizten Segment bei Oeffnung des Kreises feststellen; doch gelingt es kaum mit voller Sicherheit zu entscheiden, ob sich auch in diesem Falle wie bei der anodischen Schliessungsreizung die Kontraktion zu beiden Seiten einer erschlafften Stelle ausbreitet. Noch schwieriger lässt sich über die Art der Betheiligung der Längsmuskeln bei der Oeffnungswirkung Aufschluss erlangen, welche unter Umständen nach starker

anodischer Reizung eines Segmentes eintritt. Es ist dies hier zum Theil mit bedingt durch die verhältnissmässig langsame Ausgleichung des Schliessungsreizerfolges, wodurch — wenigstens zeitweise — sozusagen eine Uebereinanderlagerung der, wie man wohl annehmen darf, antagonistischen Folgewirkungen der Schliessung und Oeffnung des Stromes eintritt, was wieder die Beurtheilung des Sachverhaltes wesentlich erschwert.

Ebenso charakteristisch wie am Hantmuskelschlauch des Regenwurmes gestalten sich die Erfolge der elektrischen Reizung auch am Blutegel. Auch hier sind die am meisten hervortretenden Erscheinungen bei der Schliessung des Stromes einerseits (an der Anode) die Kontraktion der Ringmuskeln des direkt mit der Elektrode berührten Segmentes, andererseits (an der Kathode) die starke Verkürzung desselben infolge der Kontraktion der Längsmuskeln. Der geringe Abstand der den Wurmkörper umgreifenden Querfurchen bedingt es, dass insbesondere der kathodische Reizerfolg sich über eine grössere Anzahl von Segmenten erstreckt, während an einem langen Körperring, wie beispielsweise gerade am Vorderende von *Lumbricus* die kathodische Kontraktion der Längsmuskeln, wenigstens bei schwacher Reizung, oft nur segmental entwickelt erscheint. Die platte Körperform des Egels lässt ferner die lokale Beschränktheit des kathodischen Reizerfolges auf die gereizte Rückenfläche des Wurmes besonders deutlich hervortreten. Niemals sieht man auch hier eine wellenförmige Fortpflanzung der Kontraktion über grössere Abschnitte des Wurmleibes. Vielmehr bleibt dieselbe in der bei der Schliessung vorhandenen Ausdehnung während der ganzen Schliessungsdauer bestehen, und es gilt dies in gleicher Weise für die anodische Ring- wie für die kathodische Längsmuskel-Kontraktion. Dass die letztere auch bei dem Egel nicht allein vorhanden, sondern von einer gleichzeitigen örtlichen Verkürzung der Ringmuskeln an der Berührungsstelle der Elektrode begleitet ist, lässt sich in jedem Falle mit Sicherheit erkennen. Es entsteht infolge derselben gerade unter der Pinselspitze ein kleiner, aber deutlicher, quer zur Faserung der Ringmuskeln verlaufender Wulst, welcher der durch die Kontraktion der Längsmuskeln erzeugten Verdickung gewissermaassen aufgesetzt erscheint. Zu beiden Seiten des kleinen, ziemlich scharf begrenzten Ringmuskel-Wulstes lässt sich an demselben Ringfaserzuge keine Spur von Erregungs-



erscheinungen erkennen. Wenn bereits vor der Schliessung eine merkliche („tonische“) Kontraktion daselbst bestand, so sieht man dieselbe allerdings an der Austrittsstelle selbst zu jenem lokalen Wulst sich steigern. Zu beiden Seiten desselben macht sich dann jedoch ganz deutlich eine Erschlaffung der Ringmuskeln geltend, so dass bisweilen die seitlichen Theile des betreffenden Segmentes sich konvex fast blasenförmig nach aussen wölben, wodurch eine ganz eigenthümliche, ziemlich komplizierte Gestaltsveränderung des Hautmuskelschlauchs in der Umgebung der Elektrode herbeigeführt wird. Auch der durch die örtliche Zusammenziehung der Längsmuskeln bedingte Wulst erscheint, obschon er sich, wie erwähnt, stets über mehrere Körpersegmente erstreckt, nach beiden Seiten hin ziemlich scharf begrenzt.

Bei Oeffnung des Stromkreises gleichen sich die geschilderten Veränderungen entweder einfach aus, oder es macht sich (bei stärkeren Strömen und längerer Schliessungsdauer) eine Oeffnungserregung in ähnlicher Weise geltend wie beim Regenwurm, indem eine über grössere Abschnitte des vorher gereizten Segmentes sich erstreckende Verkürzung der Ringmuskeln zu einer mehr oder weniger starken segmentalen Einschnürung führt, eine Veränderung, deren Aehnlichkeit mit dem Erfolg der anodischen Schliessungs-Reizung sofort in die Augen springt, obschon es schwer ist, eine vollkommene Uebereinstimmung in beiden Fällen nachzuweisen. Während bei Berührung beliebiger Punkte der Oberfläche des Hautmuskelschlauchs von *Hirudo* mit der Kathode infolge der gleichzeitigen Verkürzung der Längs- und Ringmuskeln sozusagen ein Herandrängen der Muskelsubstanz nach der Austrittsstelle des Stromes von allen Seiten her erfolgt, beobachtet man bei der anodischen Reizung ein gerade gegentheiliges Verhalten. Fast deutlicher noch als bei *Lumbrius* sieht man bei *Hirudo* im Momente der Schliessung das mit der Anode berührte Segment an der Berührungsstelle selbst unerregt bleiben oder, wenn ein merklicher Tonus vorhanden war, erschlaffen. Für die Kontraktion bezw. Erschlaffung der Ringmuskeln hat man in diesem Falle ein gutes Merkzeichen in dem gegenseitigen Abstände der zarten Querlinien der Haut, durch welche jedes Segment senkrecht zur Faserichtung der Ringmuskeln parallel gestreift erscheint. Bei jeder Verkürzung der Ringmuskeln nähern sich an den verkürzten Stellen diese Querstreifen, bei jeder Verlängerung wird ihr Abstand grösser.

Das letztere ist nun in ganz unverkennbarer Weise bei Schliessung des Stromes in der nächsten Umgebung der anodischen Pinselspitze der Fall, während weiterhin eine starke Kontraktion und infolge dessen eine ringförmige Einziehung des betreffenden Segmentes erfolgt.

Dasselbe gilt nun an gleicher Stelle auch von den Längsmuskeln. Auch diese bleiben an der Elektrode selbst unverkürzt, die Höhe des Segmentes ändert sich nicht. Dagegen macht sich, wie am Regenwurm, beiderseits von der ringförmigen Einschnürringung eine je nach der Stromstärke mehr oder weniger ausgebreitete Kontraktion der Längsmuskeln an den betreffenden Segmenten geltend, welche am stärksten in unmittelbarer Nähe des mit der Anode berührten Körperringes entwickelt nach aussen hin allmählich abnimmt.

Bis auf unwesentliche Nebenumstände herrscht, wie man sieht, volle Uebereinstimmung zwischen dem Verhalten der beiden von mir untersuchten Würmer bei elektrischer Reizung des Hautmuskelschlauchs, und es dürfte die Vermuthung gerechtfertigt scheinen, dass es sich hier um eine weit verbreitete Eigenthümlichkeit der Reaktion glatter Muskeln handelt. Doch erscheint ungeachtet der auf den ersten Blick hervortretenden Aehnlichkeit der von mir beobachteten Reizerfolge mit denen, welche Biedermann und Simchowitz bei elektrischer Reizung des Wirbelthierdarmes feststellten, eine weitere Verallgemeinerung so lange nicht statthaft, als ähnliche Verhältnisse nicht auch durch Versuche an Objekten sichergestellt sind, bei welchen die anatomische Lagerung der Muskelelemente und daher auch die Bedingungen der elektrischen Reizung minder verwickelte sind.

Die Hauptresultate der vorliegenden Untersuchung lassen sich in folgende Sätze zusammenfassen:

1. Die elektrische Reizung des Hautmuskelschlauchs der von mir untersuchten Würmer ergab keine durchgreifende physiologische Verschiedenheit zwischen Längs- und Ringmuskeln, wie sich eine solche nach den Versuchen von Biedermann und Simchowitz an den antagonistisch wirkenden Muskelschichten des Wirbelthierdarmes herauszustellen schien.

2. An der Eintrittsstelle des Stromes selbst tritt in Uebereinstimmung mit dem Pflüger'schen Erregungsgesetze bei elek-

trischer Reizung des Hautmuskelschlauchs keine Erregung, unter Umständen sogar eine deutliche Hemmung eines bestehenden Erregungszustandes ein, während in der Umgebung dieser Stelle eine noch genauer zu untersuchende Erregung bezw. Kontraktion hervortritt.

3. An der Austrittsstelle des Stromes entwickelt sich sowohl bei den Längsmuskeln wie auch bei den Ringmuskeln stets nur eine lokale Kontraktion (Schliessungsdauerkontraktion).

4. Eine Fortpflanzung der örtlichen Erregung in Form einer über grössere Strecken sich verbreitenden Kontraktionswelle lässt sich nicht beobachten.

Herrn Prof. Biedermann, meinem hochverehrten Lehrer, wünsche ich, auch an dieser Stelle meinen herzlichen Dank für seine freundliche Unterstützung bei der vorliegenden Arbeit auszusprechen.

10972