

## XVII.

# Ueber den feineren Bau der peripherischen Endorgane der motorischen Nerven.

Von Dr. W. Kühne in Berlin.

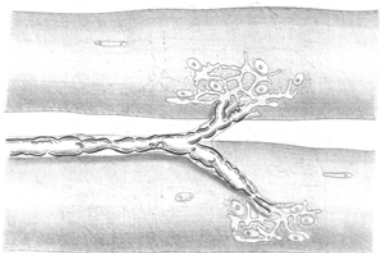
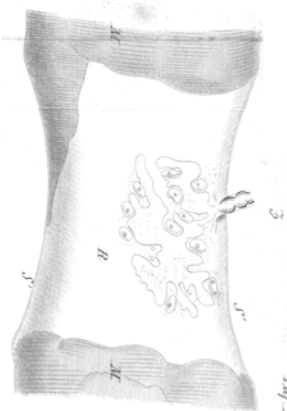
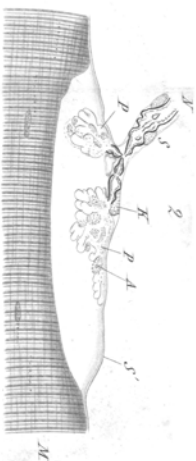
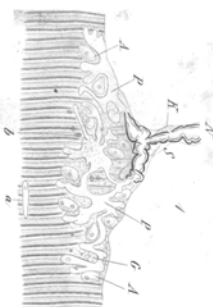
(Hierzu Taf. XIV.)

Bei einer grossen Zahl von Thieren endet die motorische Nervenfaser nach ihrem Durchtritt durch das Sarkolemma in einer zwischen dem letzteren und seinem contractilen Inhalte gelegenen granulirten einfach lichtbrechenden Substanz. Eingesprengt in jene granulirte Masse finden sich in den Muskeln mancher Thiere, z. B. der Insekten, grössere Körperchen mit einem feinkörnigen, trüben Inhalte, während die Muskeln anderer Thiere, der Säuger z. B., dort grössere, von ganz durchsichtigem, nicht körnigen Inhalte erfüllte Körper enthalten, welche als Kerne anzusehen sind. Die granulirte Substanz mit ihren Kernen bildet in der Regel auf der contractilen eine hügelartige Erhebung mit nahezu kreisförmiger Basis, sie breitet sich jedoch häufig auch wie ein ausgewalzter Kuchen flach unter dem Sarkolemma aus, oder bildet selbst lang ausgezogene schmale Stränge, wie dies neuerdings durch die Untersuchungen von Waldeyer \*) für die Muskeln von *Hydrophilus* und *Dytiscus* bestätigt wurde. Nach den Angaben desselben Autors kann jene Masse sich ferner noch weit umfassender unter dem Sarkolemma ausbreiten, so weit selbst, dass sie den contractilen Theil der Muskelfaser überall als ein continuirlicher Cylindermantel umschliesst.

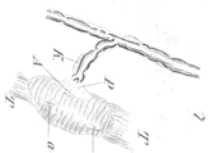
Unstreitig ist Doyère der Entdecker der hügelartigen Erhebungen, welche die Ansatzstelle des Nerven an der Muskelfaser bezeichnen, und es wird trotz der auf das Extremste auseinander-

\*) Zeitschrift f. rat. Med. Dritte Reihe. Bd. XX. S. 193.

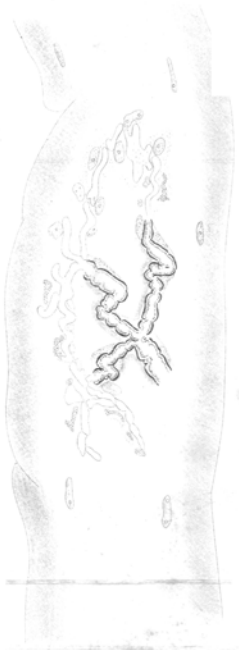
Archiv f. pathol. Anat. Bd. XXIX. Hft. 3 u. 4.



7



8



9



weichenden Deutungen, welche die zahlreichen Untersucher niederer Thiere den dort nach und nach entdeckten Organen beilegen, nicht mehr zu bezweifeln sein, dass die kegel- und trichterförmigen Ansätze, die später von Quatrefages an den Muskeln der Anneliden und Rotatorien, und von G. Meissner bei Mermis aufgefunden wurden, den von Doyère entdeckten Nervenansätzen der Tardigraden entsprachen, und wie diese die wahren Enden der motorischen Nerven enthielten.

Schon früher habe ich bei der Schilderung der Nervenendigung von *Hydrophilus* auf die Schwierigkeit hingewiesen, durch anatomisch-mikroskopische Untersuchungen zu entscheiden, ob ein an den Enden der Nerven vorgefundenes Organ noch als ein nervöser, d. h. als ein den Erregungsvorgang leitender Apparat aufzufassen sei. Aus dem Glauben an die Unmöglichkeit, die Frage durch experimentelle Untersuchungen zu entscheiden, erwächst noch nicht die Nothwendigkeit wohl oder übel aus der blossen Betrachtung der Formen, nach rein anatomischen Untersuchungen, auf die eigentliche physiologische Bedeutung der neuen Organe zu schliessen, und ich wünsche deshalb auch hier mit den weiter unten gebrauchten Darstellungen und Benennungen keine physiologischen Hypothesen zu verknüpfen.

In die granulirte Substanz der Nervenbügel und der platteren Nervenansätze der Muskeln von *Hydrophilus* war bereits der Axencylinder des Nerven verfolgt worden. Ich beschrieb kurze Fortsätze des markfreien Nerven, die ich in die granulirte Substanz eintreten und sich darin zu zwei kurzen Aestchen zerspalten sah. Von anderer Seite wurde später behauptet, dass Fortsetzungen des Axencylinders, auch in den Nervenbügel der Säugethiermuskeln hinein zu verfolgen seien, und dass diese blassen Terminalfasern darin mit leichten kolbenförmigen Anschwellungen endeten. Die Beobachtung konnte indessen nicht bestätigt werden, sondern wurde allseitig bestritten.

Unter allen bisher auf ihre Verbindung mit den Nerven untersuchten Muskeln giebt es vielleicht kein schöneres Object als die Muskelfasern der Eidechsen. Bei der Wahl derselben leitete mich die Absicht, die Angaben Rouget's, des ersten Forschers, der

den von den Hydrophilen bekannten Modus der Nervenendigung an den Muskeln anderer Thiere wiederfand, durch die eigene Anschauung zu prüfen. Bei der Eidechse endet nach Rouget der motorische Nerv, indem er das Sarkolemma durchbohrt an einer Stelle des Muskels, welche sich nur durch eine reichliche Ansammlung von Kernen und Granulationen auszeichnet. Was an dieser Stelle aus dem Axencylinder werde, blieb auch nach Rouget's Arbeit unentschieden. Einige nahmen an, der Nerv verbreitere sich zu jener kernhaltigen granulirten Masse, die Nichts sei als sein kegelförmiges Ende, während andererseits durch die ältere Beobachtung eines kurzen in die granulirte Substanz eingelagerten Stumpfes des Axencylinders die Hoffnung nicht ausgeschlossen blieb, das eigentliche Nervenende in jener Masse noch aufzufinden.

Es ist mir geglückt, dieses eigentliche Ende des motorischen Nerven nun in der That darzustellen. Die letzte Ausstrahlung des Axencylinders zeigt sich in überraschender Klarheit und Zierlichkeit in den Muskeln von *Lacerta viridis*, bei denen die Beobachtung ohne besondere Schwierigkeiten anzustellen ist. Isolirt man Muskelfasern aus den noch zuckenden Oberschenkelmuskeln der *Lacerta*, so sieht man bei der Beobachtung derselben in abgekühltem Serum Folgendes:

Zwischen den Muskelfasern breiten sich die Nerven, sehr ähnlich, wie beim Frosch aus. Nachdem die einzelnen Primitivfasern auseinandergetreten, gehen sie alle Arten bekannter Theilungsformen ein, bis endlich die daraus hervorgegangenen Aestchen an der Muskelfaser ihr Ende erreichen. In der Regel erleiden diese schon aus Theilungen hervorgegangenen Fasern hart vor ihren Enden noch eine letzte Theilung, so dass der Nerv schliesslich mit 2—5 sehr kurzen Aestchen an das Sarkolemma herantritt. Wir finden hier also dieselbe Bildung wieder, wie ich sie für die Nervenenden des Frosches unter dem Namen des Endbusches früher beschrieb. Dennoch kommen neben diesen Endigungen, namentlich an schmalen Muskelfasern, auch ungetheilt endende Nervenfasern vor.

Die von den dunklen Contouren angedeutete Markscheide der Nervenfasern hört an der Endigungsstelle ganz plötzlich auf, dagegen überschreiten die Contouren der Schwann'schen Scheide

sowie deren Kerne diese genau bezeichnete Ansatzstelle der Nervenfasern noch um ein Geringes, so dass auf scharfen Profilbildern der dem Nerven zunächst gelegene Abschnitt des Sarkolemmas, häufig noch deutlich kernhaltig erscheint. Auch die hier eingelagerten Kerne sind, wie alle Kerne der Schwann'schen Scheide, ziemlich platt und ohne Ausnahme mit granulirtem Inhalte gefüllt. Der continuirliche Uebergang der Nervenscheide in die des Muskels ist auch bei *Lacerta* so deutlich zu sehen, dass das Bild recht gut dem Uebergange eines Capillargefässes in ein grösseres Blutgefäss verglichen werden kann.

Ohne Mühe erkennt man nun im Umkreise der plötzlich absetzenden markhaltigen Nervenfasern eine Anhäufung sehr blasser Kerne, welche weder Aehnlichkeit mit den Muskelkernen, noch mit denen der Nervenscheide haben. Gewöhnlich wird man auf die Erscheinung dieser Kerne erst geleitet durch ihre schwach glänzenden, verhältnissmässig grossen Kernkörperchen, von welchen aus die Entdeckung der dazu gehörigen Kerncontouren keine Schwierigkeiten mehr bereitet. Der Inhalt dieser Kerne ist ganz durchsichtig, und ihre Begrenzungslinie sehr fein, bei ausreichender Vergrösserung und zweckmässiger Focaleinstellung aber unzweifelhaft doppelt. Die Kerne sind deshalb als von Membranen umkleidete Bläschen anzusehen. In der Nähe dieser blassen Bläschen findet sich ausserdem eine feinkörnige aber immer ziemlich durchsichtige Substanz.

In sehr vielen Fällen, namentlich dann, wenn die Nervenfasern mit weit ausstrahlenden Endbüschen auf einer breiteren Muskelfaser enden, hat das eben beschriebene Bild wenig Aehnlichkeit mit den bekannten Nervenbügeln, denn die Nervenendigung tritt bei *Lacerta viridis* nicht in allen Fällen in einem Hügel auf, sondern die Ränder der Muskelfaser verlaufen nicht selten ganz glatt ohne Erhebungen darüber hinweg. Ausserdem ist die granulirte Substanz im Vergleich zu der bis jetzt bekannter und beschriebener Nervenbügel so matt und wenig dunkel, dass nun vollends die Aehnlichkeit noch ganz verloren gehen muss, wenn die darin liegenden hellen Kerne weniger eng zusammengedrängt, sondern in einzelnen Zügen und unregelmässigen Reihen, wie es häufig der

Fall ist, den Weg des intramuskularen Nerven bezeichnen. Neben diesen, scheinbar einen neuen, mit den früheren Beobachtungen unvereinbaren Typus der Nervenendigung darstellenden Bildern, stösst man jedoch auch auf wahre Endhügel: ziemlich dicht gedrängte Kerne, von granulirter Masse umgeben, liegen in einer an Profilbildern leicht kenntlichen, trichterförmigen Ausstülpung des Sarkolemmis, das dort von einer Nervenfaser durchbrochen wird.

Die Querstreifen der Muskelfaser reichen bis dicht an die Kerne und ihre körnige Umgebung heran, allein die Linien, welche gleichsam als Ausschnitte aus der regelmässigen Querstreifung sich darstellen, bilden in ihrem Zusammenhange häufig ein so merkwürdiges Bild, dass man genöthigt wird, auf ein drittes Gebilde zu schliessen, welches bei Weitem den grössten Antheil an der intramuskularen Nervenendigung besitzen müsse. Ich habe mich bemüht, das eigenthümliche Bild in der Zeichnung Fig. 4 wiederzugeben, muss jedoch bemerken, dass dieselbe nicht völlig der dem Objecte eigenen Zartheit entspricht. Die zwischen den Kernen auftretenden, eigenthümlich geschlängelten Linien lassen sich anastomosirend untereinander und zurück bis an die Eintrittsstelle der dunkel contourirten Nerven verfolgen. Um dem Bilde, wenn auch nur für kurze Zeit, eine grössere Deutlichkeit zu verleihen, ist es zweckmässig, eine sehr geringe Menge äusserst verdünnter Essigsäure dem Präparate zuzusetzen, oder die Muskeln von vornherein gleich in angesäuertem Serum zu isoliren. Die Menge der Säure muss gerade ausreichen, die Muskelfasern zu trüben; wird das Serum so sauer, dass die bräunliche Trübung der contractilen Substanz der nachfolgenden Quellung weicht, so tritt auch eine eingreifende Veränderung der Nervenendorgane ein, deren später Erwähnung geschehen wird.

Noch ehe sich nach dem Säurezusatz irgend eine Veränderung an den durchsichtigen Kernen bemerkbar macht, taucht zwischen ihnen ein System geschlängelter und vielfach ausgebuchteter Linien auf, deren mannigfaltige Bilder in den Abbildungen getreu wiedergegeben und dort nachzusehen sind. Die Nervenfaser endet demnach nicht als eine granulirte Masse von flacher kegelförmiger oder platter Gestalt, sondern mit einer eigenthümlich geformten Endausbreitung,

welche in jener aus Kernen und Körnchen zusammengesetzten Masse gleichsam vergraben liegt.

Da die welligen und gewundenen Linien bei ganz frischen Muskelfasern so ausserordentlich zart, und selbst nach vorsichtigem Ansäuern der Präparate äusserst vergänglich sind [denn der Säurezusatz ruft nach längerer Einwirkung endlich Abschnürungen und neue Hervorbuchtungen daran hervor], so könnten sich gegründete Zweifel gegen die reelle Existenz einer diesen Linien entsprechenden Nervensubstanz vorbringen lassen. Ohne eingehendere Untersuchungen könnte man meinen, nur Lücken vor sich zu haben, Theile des Muskelrohres, die statt von contractiler Substanz von irgend einer homogenen Flüssigkeit ausgefüllt wären. Allein es ist möglich, das Organ, das ich von jetzt an die „Nervenendplatte“ nennen werde, im Muskelrohre zu isoliren. Zu dem Ende werden eine Anzahl isolirter Muskelfasern in Serum oder Kochsalzlösung von 0,7 pCt. unter Deckgläsern eingekittet. Nach mehreren Stunden tritt in den eingeschlossenen Fasern die Todtenstarre ein, und während das Gerinnsel in den Sarkolemmröhren zusammenschrumpft, bilden sich, wie es allen Mikroskopikern, welche mit frischen, isolirten Muskelfasern gearbeitet haben, bekannt ist, entleerte Stellen zwischen den cylindrischen Gerinnselstücken. In dieser Weise ist es mir gar nicht schwer geworden, sehr bald solche leere Stellen, in denen sich nur Serum und einige tanzende Molecularkörnchen befanden, zu finden, welche gerade an der Stelle des Nerveneintritts entstanden waren. Hier ragte nun die Nervenplatte frei in das Lumen des Sarkolemm's hinein und präsentirte sich so reell, dass man ihre Ränder beim Drücken auf das Deckglas im Muskellumen flottiren sehen konnte. Indessen sind die Bewegungen, welche man der Platte zu geben vermag, nur beschränkt, und es scheint demnach als wenn sie zum Theil mit der Innenseite des Sarkolemm's etwas verklebt sei. Dies wird um so wahrscheinlicher, weil die an und für sich ganz homogene Platte sowohl an einzelnen Theilen des Randes, wie auch in ihrer Mitte, über grössere Flächen verlaufende dunkler contourirte fein

\*) Eine solche Anheftung der intramuskularen Nervenenden gegen das Sarkolemma scheint mir auch bei anderen Thieren wahrscheinlich. Beim Frosch

gezähnelte Linien besitzt, die aller Wahrscheinlichkeit nach den Anheftungsstellen gegen die innere Sarkolemmafläche entsprechen.

Die Kerne und die granulirte Substanz bilden, wie aus den Abbildungen ersichtlich, einen Ueberzug über die Platte und niemals ist es mir begegnet, eine Auftreibung der Platte durch einen Kern zu erblicken, vielmehr fand ich dieselben vorzugsweise an den Rändern, denen sie nicht einmal immer unmittelbar anlagen. Schon das seltenere Vorkommen der Kerne in den engeren Buchten und Löchern der Platte macht eine nähere histiologische Beziehung zwischen beiden unwahrscheinlich. Dagegen ist es mir andererseits aber doch nicht gelungen, die Kerne von der Platte abfallen zu lassen, und es scheint demnach die granulirte Substanz die Kerne wie eine Art von Kitt an die Platte zu fesseln. Diese Masse mit ihren feinen Körnchen umgiebt, wie es ebenfalls die Abbildungen getreu nach der Natur darstellen, die Platte nicht überall, sondern einzelne Abschnitte zeigen selbst nicht eine Spur von körniger Beschaffenheit, und neben den nur von einem dünnen Schleier feiner Körnchen überzogenen Theilen erscheinen auch, für unsere Mikroskope wenigstens, vollständig homogene Partien.

Ich habe auf diesen Punkt besondere Sorgfalt bei der Untersuchung verwendet, weil ich wenigstens mit unseren jetzigen optischen Hilfsmitteln versuchen wollte zu sehen, ob nicht etwa das Bild eines feinkörnigen Schleiers auf der Platte hervorgerufen werde durch eine sehr feine netzartige Verzweigung der Nervenfaser, wie

sah ich häufig die eine Begrenzungslinie des intramuskularen Axencylinders deutlicher und auch fein gewellt und gezähbelt. Wird eine isolirte Froschmuskelfaser mit HCl (0,1 pCt.) behandelt, bis der contractile Inhalt in eine dünnflüssige Lösung verwandelt ist, so sieht man häufig nur die Spitze des Axencylinders in der Flüssigkeit pendeln. Nach und nach erst löst sich dann der Rest der Nervenfaser so weit los, dass sie vollständig in das Lumen des Sarkolemmaschlauches hineinfallen und dabei auch umknicken kann. Diese Loslösung der Axencylinder von der inneren Sarkolemmafläche geschieht nicht an allen Aesten zu gleicher Zeit, sondern gewöhnlich sind es die kurzen Aeste, welche zuerst zum flottiren kommen. Besonders bei dem Versuche, das Drinliegen der Nervenausbreitung in der Muskelfaser nach dieser Methode zu demonstrieren zeigt sich übrigens die gezähnelte und markirtere Beschaffenheit eines Randes der Axencylinder am besten.



wir sie an den Nervenplatten des elektrischen Organs von Torpedo kennen. Aber selbst ein über alles Lob erhabenes Linsensystem von Spencer hat mir hierüber keine Aufschlüsse gegeben, obgleich ich damit an völlig frischen, noch zuckenden, in Serum liegenden Muskelfasern, die ganze Ausbreitung des intramuskularen Nerven in jeder nur wünschenswerthen Klarheit mit allen Einzelheiten übersah.

Die Form der Nervenplatte ist je nach der Grösse des Querschnittes der Muskelfaser, je nach der mehr oder minder reichen Theilung der extramuskulären Nervenfaser kurz vor der Endigung, und je nach der mehr oder minder ausgesprochenen Ausstülpung des Sarkolemmas an der Eintrittsstelle des Nerven, sehr wechselnd. In breiten Muskelfasern, welche vorzugsweise sehr vielstrahlige Nervenendbüsche erhalten, breitet sich der Axencylinder mehr zu geschlängelten anastomosirenden Bändern aus, deren gelappte Ränder und kolbige Endigungen von einer Garnitur von Kernen und Körnchen begleitet werden. Wenn auch für solche Nervenenden der Name „Platte“ nicht besonders bezeichnend scheint, und nur einzelne breitere, besonders an den Anastomosen vorkommende Anschwellungen der Bänder Anspruch darauf machen können, so ist doch in sehr vielen Fällen der plattenartige Charakter des Endorgans so ausgebildet, dass ich nicht anstehe diesen Namen dafür vorzuschlagen. Man wird leicht verleitet sein zu glauben, dass bei dem ausgeprägten Bilde einer gelappten und faltigen Platte, welches man so häufig wahrnimmt, auch die bandartige Verzweigung des Nerven nur von einer eingreifenderen Faltung der Platte herühre. Die Betrachtung solcher Nervenenden aber in totenstarren Muskeln, an Stellen, wo sich das Muskelgerinnsel zurückgezogen hat und wo Serum dafür eingetreten ist, beseitigt in dieser Beziehung alle Zweifel. Fig. 1, 5 u. 8. mögen als Zeugen für die Mannigfaltigkeit der Formen dienen, unter welchen der Axencylinder schliesslich in direkte Berührung mit der contractilen Substanz geräth. Ausser einigen unzweideutigen Faltungen existiren danach auch wirkliche Nervenbänder. Wo die granulirte Substanz oder die Kerne sich nicht zwischen den Nerven und die contractile Substanz drängen, berührt die Letztere die Platte direkt.

Nach dem Gesagten bedarf es keiner besonders künstlicher Methoden um den wundersam feinen Bau der Nervenendigung in den Muskeln von *Lacerta viridis* wahrzunehmen. In der Hoffnung indessen durch Probiren verschiedener Methoden noch weitere Aufschlüsse über den feineren Bau der Nervenendigung zu erhalten habe ich den Einfluss einer grossen Anzahl von Reagentien auf die neuen Organe geprüft. Wie schon erwähnt verändert ein längerer Aufenthalt selbst in schwach angesäuertem Serum nach und nach schon die ursprüngliche Gestalt des Organs und es gelingt mit Hülfe einer solchen Flüssigkeit die Präparate immer nur für einige Wochen zu conserviren. Später gehen sie darin zu Grunde, indem sich Abschnürungen einzelner Theile der Platte, unter Bildung keulenförmiger Anhänge, kernartiger Kugeln und Vacuolen immer mehr ausbreiten. Bei langsamer Einwirkung der Säure sieht man Anfangs in den Kernen eine grobkörnige Trübung eintreten, bei welcher die platten Ränder und die gespannte elliptische Form jedoch erhalten bleiben. Der geringste weitere Zusatz einer sauren Flüssigkeit ruft dann aber plötzlich ein Zusammenfallen der Kerne hervor, und es bleibt nichts als ein ganz unscheinbarer, kleiner, länglich ausgezogener Haufen krümeliger Materien zurück. Die granulirte Substanz des Nervenbügels verändert sich in Säuren sehr wenig, und wird nur, wenn die Kerne schon ganz geschrumpft sind, etwas durchsichtiger. Bemerkenswerth mag es sein, dass die granulirte Substanz den Rändern eines zusammengeshrumpften Kernes nicht nachfolgt, sondern durch einen Hof davon getrennt bleibt. Andeutungen einer Zellmembran oder einer Kernmembran habe ich jedoch in diesem Hofe nicht sicher entdecken können. Setzt man dem so durch Säuren einerlei ob durch verdünnte Essigsäure, Chromsäure oder Salzsäure veränderten Präparate, später eine Kochsalzlösung von 5 pCt. zu, so quellen die geschrumpften Kerne wieder etwas auf, und auch die ganze Masse der Nervenendigung schwillt dabei wieder etwas an, wie man aus der erfolgenden Verschiebung der Kerne sieht. In keiner dieser Flüssigkeiten lässt sich indessen das Nervenendorgan dauernd conserviren. Man kann zwar leicht die Muskelfasern erst in Essigsäure quellen und dann in der H. Müller'schen Erhärtungsflüssigkeit wieder

fester werden lassen, und nach der nun sehr leicht ausführbaren Isolation, die Nervenenden für lange Zeit conserviren, allein man sieht daran eben nur die markhaltigen Nervenfasern und unter ihren Endigungen einen Haufen grösserer und kleinerer Krümel. Von der eigentlichen Nervenplatte bleibt Nichts erkennbar. Gelegentlich dieser Versuche erhielt ich bisweilen nach sehr kurzer Behandlung der in Serum isolirten Muskelfasern mit schwach angesäuertem Serum und später mit  $\text{CrO}_3$  von 0,1 pCt. Präparate, in denen sich die erhärtete contractile Substanz vom Sarkolemma zurückgezogen hatte, und wo dann die Nervenendigung, als ein noch leidlich erkennbarer faltiger Klumpen unter dem abgehobenen Sarkolemma frei lag. Fig. 2. giebt die Illustration dieses abermaligen Beweises von der Endigung der motorischen Nerven unter dem Sarkolemma. Dass Reagentien, wie Alkalien, concentrirtere Säuren, Salzlösungen etc. den feineren Bau der Nervenendigung unkenntlich machen, bedarf schliesslich kaum der Erwähnung.

Für die Nachuntersuchung kann ich trotz der Unmöglichkeit passende Reagentien zur Hervorbringung deutlicherer Bilder zu finden, noch einen Kunstgriff empfehlen, mit Hülfe dessen man die herrlichsten Präparate gewinnen wird. Wenn wir nämlich die Erregbarkeit der Muskelfaser erhalten, aber die der Nerven und besonders wohl ihrer Endorgane vernichten, so erscheint das Bild der Nervenendigung in einer Deutlichkeit, deren Differenz von dem gewöhnlichen Bilde frischer Muskelfasern sich durch eine Beschreibung der Einzelheiten schwer veranschaulichen lässt, aber wie ich hoffe, leicht erkennbar und zur Wiederholung einladend in den Abbildungen Fig. 1, 4 u. 5. hervortreten wird. Zur Erreichung dieses Zweckes kann man entweder die Thiere mit grossen Dosen von Curare vergiften, und einige Stunden nach eingetretener Lähmung die Muskeln untersuchen, oder man tödtet die Thiere durch Verbluten, enthäutet die Schenkel, bewahrt sie 24 Stunden an einem kühlen Orte auf und untersucht sie dann erst. Nach dieser Zeit sind die Muskeln noch erregbar, während von ihren Nerven aus keine Zuckung mehr hervorgerufen werden kann. Der Vorzug solcher Muskeln für die mikroskopische Beobachtung ihrer Nervenenden liegt nicht allein darin, dass sich die Muskeln weni-

ger bei der Isolation contrahiren und krümmen, sondern auch darin, dass sich an ihnen das Bild der Nervenplatte deutlicher ausprägt. Man erhält im Vergleich mit dem Bilde einer noch ganz frischen mit noch erregbarem Nerven versehenen Faser, etwa das Bild, wie wenn man diese soeben mit der ersten Spur sauren Serums versetzt habe. Je wünschenswerther es sein muss, die Wirkung der Gifte auf anatomisch erkennbare Veränderungen zurückführen zu können, und je grösser die Entdeckung wäre, welche zuerst den Beweis für solche sichtbare Störungen lieferte, um so mehr nehme ich Anstand in der genannten Differenz absterbender oder mit Curare vergifteter Muskeln die Ursachen der Functionsunfähigkeit des motorischen Nerven und seiner Endplatte zu sehen. Um mich vor zufälligen individuellen Unterschieden, die ja an den Eidechsen vorkommen konnten, zu schützen, und diese Vorsicht war hier gewiss geboten, weil die genannte Differenz der Bilder kaum prägnant in einer Beschreibung auszudrücken ist, habe ich das letzte Exemplar meiner *Lacerta* noch einem vergleichenden Versuche geopfert. Die Untersuchung der Muskelfasern aus einem dem unvergifteten Thiere abgeschnittenen Beine zeigte mir ganz dasselbe Bild, wie das jedes anderen Exemplars. 5 Stunden später untersuchte ich die entsprechenden Muskeln des anderen Beines, nachdem das Thier gleich nach der Amputation mit einer grossen Dosis Curare vergiftet worden war. Die Differenz im Aussehen der Präparate war unverkennbar. Wenn ich deshalb über die Richtigkeit des Factums nicht in Zweifel sein konnte, so scheint mir andererseits doch eine sehr einfache Erklärung desselben möglich, mit Umgehung der Annahme, dass das Curare schliesslich eine sichtbare Veränderung an den Nervenplatten erzeuge. An der Stelle des Nerven-eintritts ist eine Muskelfaser natürlich nicht ohne Zerrung von anderen Fasern zu isoliren. Der markhaltige Nerv muss zerrissen oder zerschnitten werden, und ausser den hierdurch erzeugten Reizen ist wohl in Anschlag zu bringen, dass auch die Nervenplatte den erregbarsten Punkt in der Muskelfaser bilde, und dass folglich auch nach dem Abreissen des extramuskularen Nerven noch Gelegenheiten zu Reizungen der Muskelfaser übrig bleiben, die bei stark vergifteten Muskeln wegfallen. Eine absolute Ruhe

der contractilen Substanz nun, wird für die deutliche Sichtbarkeit ihrer Nervenendigung vermuthlich von einigem Werthe sein, und so würde sich die elegantere Darstellung derselben an vergifteten Muskeln vielleicht sehr einfach erklären. Für Muskeln, welche längere Zeit bis zum Verluste der Nervenirregbarkeit der Blutcirculation entzogen wurden, würde natürlich derselbe Erklärungsversuch statthaft sein.

Als ein zweites besonders schönes Object für das Studium der Nervenendigungen kann ich die Schwanzmuskeln von *Lacerta viridis* empfehlen. Zerreisst man den Schwanz einer Eidechse, so ragen über die Rissstelle des centralen Stumpfes eine Anzahl kleiner, kegelförmiger Muskelchen empor, während sich die Rissstelle der Schwanzspitze von eben so vielen entleerten aufwärtsstehenden Sehnen verziert zeigt. An den letzten Schwanzgliedern sind diese Muskeln so klein, dass man sie bequem nach dem Abtragen mit der Scheere in toto unter das Mikroskop bringen kann. Sie zeigen sich dort zusammengesetzt aus ganz kleinen, federförmig vereinigten, kurzen Muskelfasern, zwischen denen die Nerven sich baumartig verzweigen. Schon an solchen ganzen Muskeln, besser aber noch an zerpulften Präparaten sind einzelne Nervenendigungen recht gut zu entdecken. Es gelingt auch wohl einen grösseren, baumartig verzweigten Nerven frei heraus zu präpariren, und an seinen Aesten einzelne jener winzigen Muskelfasern befestigt zu finden. Die Nerven erscheinen hier als wahre Riesen im Vergleich zu den von ihnen versorgten Muskelfasern. An jedes dieser Fäserchen, über deren Grösse die Abbildungen Aufschluss geben, ist es leicht die Art und Weise der Verknüpfung mit der Nervenfasern zu sehen, denn man bemerkt an jeder eine kleine hügelartige Erhebung, oder doch eine besonders ausgezeichnete Stelle, wo das charakteristische Bild der Plattenausstrahlung mit ihrer kernhaltigen, granulirten Bedeckung sichtbar ist. Nur ist die Platte entsprechend der Kleinheit der von ihr versorgten Muskelfaser oft von äusserst geringen Dimensionen, und ich habe selbst solche gesehen, die nur einen einzigen klaren Kern trugen. Die Bilder sind besonders lehrreich für die Beurtheilung der Lage der Nervenansatzstellen, da man aus einem und demselben Muskel gleich-

zeitig viele Muskelfasern in ihrer ganzen Ausdehnung übersieht. Anscheinend sind die Nervenendigungen ganz gesetzlos am Umfange der Fasern gelagert, denn man sieht sie sowohl ganz nahe an den Enden der Fasern, wie in der Mitte zwischen den beiden sehnigen Ansätzen. Obwohl die kleinen Muskeln der Schwanzglieder, namentlich die der allerletzten, welche man nach dem Abschneiden mit der Scheere einfach mit Nadeln zu zerzupfen vermag, kleiner sind, als viele thierische Zellen, so erkennt man an ihnen doch alle Eigenthümlichkeiten der grösseren Muskelfasern. Sie stellen eben Nichts dar als ein äusserst kleines Muskelrohr: sie besitzen ein deutliches Sarkolemma, mit abgerundeten, und noch öfter fingerförmig verzweigten Enden, und enthalten in der quergestreiften Substanz mehrere kleine Muskelkerne, welche wie bei allen Muskeln der Eidechse nicht ausschliesslich dicht unter dem Sarkolemma, sondern theilweise auch in verschiedenen Tiefen der contractilen Substanz zerstreut liegen.

Endlich sei hier noch eigenthümlicher, zuweilen in ziemlicher Menge bei den Eidechsen gefundener Bildungen erwähnt, welche an die Muskelspindeln der Frösche erinnern. Fig. 6. giebt ein Bild dieser sehr schmalen mit breiten Querstreifen versehenen Muskelfasern. Dieselben sind in ihrer grössten Ausdehnung umgeben von einer mindestens doppelten, kernhaltigen, stellenweise weit abstehenden Scheide, deren eine immer verfolgt werden kann bis zu ähnlichen Nervenscheiden, die in mächtigen Falten markhaltige dicke Nervenfasern umschliessen. Unter Umständen stösst man auf diese eigenthümlichen (jungen?) Muskelfasern bei der Verfolgung irgend eines besonders breiten, oder durch mächtigere Entwicklung seiner Scheide ausgezeichneten Nerven, und man erhält dann häufig das Bild eines Nerven, der sich ganz continuirlich zur Muskelfaser umgestaltet. So sieht man nicht allein Nervenfasern, welche nach einer dichotomischen Theilung in entgegengesetzten Richtungen auseinanderweichen und sich kurz darauf nach der Umgestaltung zu einem schmalen Muskelfaden förmlich wieder verbinden, sondern auch wirkliche, schmale Muskelfasern, die nichts sind, als die Fortsetzung einer breiten Nervenfasers. Zwischen dem Orte, wo die doppelten, dunklen Conturen des Ner-

venmarkes aufhören und dem Beginne der ersten ganz ausgesprochenen Querstreifung finden sich in der Regel mehrere Kerne in einer schwer zu beschreibenden Grundsubstanz. Es macht den Eindruck, wie wenn die Kerne und das übrige Gewebe Nervenmark enthalten müssten; man erhält mit einem Worte das täuschendste Bild einer allmählig zur Muskelfaser sich umgestaltenden Nervenfaser. Die Abbildung stellt keins der eclanteren Präparate dar, da ich durch Zufälligkeiten verhindert wurde von jenen exacte Copien anzufertigen. Sollte mir wieder eine Anzahl Lacerten zugänglich werden, so hoffe ich diesen Mangel ersetzen zu können.

---

Seit einigen Jahren hat sich unter den Histologen die Vorstellung entwickelt, dass der Muskel ein Analogon des elektrischen Organs der Zitterfische sei. Aber niemals ist dieser Gedanke mit aller der Energie verfolgt worden, welche die Kühnheit der ihm zu Grunde liegenden Anschauungen verdient hätte und nothwendig provocirt haben würde, wenn seine Urheber selbst den rechten hingebenden Glauben an die eigene Hypothese besessen hätten. Nach der Auffindung der Nervenenden in den Muskeln lag es dann nahe die trotz ihrer augenscheinlichen Wichtigkeit wieder todtgeschwiegene Hypothese von Neuem in Erwägung zu ziehen, und das Analogon der von Bilharz entdeckten elektrischen Platte des Malapterurus im Endorgane des motorischen Nerven zu suchen. Es ist mir auch noch sehr wohl erinnerlich, wie dieser Vergleich einem mit der Histiologie sehr vertrauten Physiologen sofort einfiel, als ich ihm zum ersten Male das Nervenendorgan in den Muskeln von *Hydrophilus piceus* zeigte. Ich habe indessen bisher, und wie ich glaube mit Recht Anstand genommen, die Nervenendigung in den Muskeln mit derjenigen in den elektrischen Organen zu vergleichen. Nach den hier mitgetheilten Beobachtungen über das Verhalten der letzten Ausbreitung des Axencylinders bei *Lacerta viridis* aber, wird es gerechtfertigt sein, eine ziemlich weitgreifende Analogie zwischen dem Endorgan des motorischen Nerven und der elektrischen Platte zu behaupten. Ein Vergleich der contractilen Substanz mit dem Gallertgewebe in den Kästchen der elektrischen

Organe, oder gar mit den elektrischen Platten selbst liegt mir dabei natürlich fern.

Wir wissen durch die Arbeiten M. Schultze's, wie die elektrischen Organe sämtlicher elektrischen Fische, trotz ihres für den ersten Anblick immerhin verschiedenen Aussehens leicht als Modificationen eines und desselben im Wesentlichen immer gleichen Organs zu deuten sind. Wie in den elektrischen Organen haben wir nun im Innern der Muskelfasern, umhüllt vom Sarkom, eine plattenartige, vielfach gefaltete und verzweigte Endigung des Axencylinders kennen gelernt, die sich ziemlich ähnlich verhält, wie die eigentliche Substanz der elektrischen Platte. Bemerkenswerth ist es jedoch, dass in der motorischen Nervenplatte niemals Kerne oder Zellen (denen M. Schultze übrigens auch nur eine embryologische Bedeutung zuschreibt) liegen, sondern dass die Platte an und für sich ganz durchsichtig und homogen ist. Die Kerne und die Körnchen des Nervenbügels, das sei hier nochmals besonders betont, liegen niemals in der Platte, sondern immer nur zwischen ihren Windungen und Falten.

Durch den Nerven eilt der Erregungsvorgang ohne Hinderniss zur Muskelfaser, wo er die Verschiebung der Theilchen in der contractilen Substanz zunächst an der Stelle der Berührung hervorruft. Von diesem Orte aus verläuft dann die Contraction ohne weiteres Zuthun des Nerven weiter, bis an die Enden des Muskelrohres, und so vermag eine Erregung, von irgend einem Punkte des Nervenstammes aus, den Contractionszustand selbst in den entferntesten den Sehnen nahen Punkten der Muskelfaser hervorzurufen. Damit ist nun ohne Zweifel noch nicht gesagt, dass der Vorgang auf der ganzen zu durchlaufenden Strecke derselbe sei, vielmehr ist es ungemein wahrscheinlich, dass der Prozess, welcher stattfindet, wenn die Erregung eines Nervenquerschnitts dem folgenden sich mittheilt, ein anderer sei, als der, welcher erfolgt, wenn die Erregung von der Nervenausbreitung auf die Muskelfaser übertritt, und vollends ist der Vorgang der sich fortpflanzenden Erregung ein anderer in der contractilen Substanz. Man wird zu der Annahme gedrängt, dass die erregte Nervenfasern in ihrem Endorgane zunächst einen neuen Vorgang anrege



der seinerseits wieder die Muskelsubstanz in Thätigkeit versetzt. So wird es denn auch begreiflich, warum eine Erregung wohl vom Nervenstamme aus zur Muskelfaser fortschreiten kann, warum dieselbe Erregung auch von den Enden der Nerven rückwärts in die Nervenstämme gelangen kann, und namentlich endlich, warum die Erregung, wenn sie nur die Muskelfaser trifft, auf diese beschränkt bleibt, und nicht den daran haftenden Nerven in Mittheilenschaft zieht. Der letztere Satz ist keine Hypothese, sondern eine durch Versuche constatirte Thatsache. Du Bois entdeckte, dass die Erregung der Muskelfaser keine negative Schwankung des Nervenstromes in dem zu dem erregten Muskel gehörigen Nerven erzeugte und ich habe schon vor langer Zeit den Beweis geführt, dass keine Erregung der Muskelfaser sich auf ihren eigenen Nerven fortpflanzt. Man braucht das obere Ende eines Frosch-Sartorius nur in zwei Zipfel zu zerspalten, und zu versuchen, ob sich bei Reizung des äussersten Endes der Muskelfasern des einen Zipfels, eine Contraction im anderen bemerkbar macht. Es ist das nie der Fall. Von zwei Muskelfasern, die durch einen gemeinsamen sich dichotomisch theilenden Nerven versorgt werden, zuckt immer nur eine, wenn nur die Muskelsubstanz gereizt wird, und nur dann zucken beide, wenn der Nerv selbst an irgend einem Punkte, sei es an der Stammfaser oder an einem der aus den Theilungen hervorgegangenen Aestchen gereizt wird. Da es sicher bewiesen ist, dass der Erregungsvorgang in jeder Richtung die Nervenfaser durchläuft, so muss es auffallen, wenn wir von der erregten Muskelfaser keinen Effect zurück auf ihre eigenen Nerven übertreten sehen. Hieraus erwächst die nothwendige Annahme, dass kein continuirlicher Uebergang des nervösen Apparates in den contractilen stattfindet. Diese Annahme ist durch die mitgetheilte Untersuchung, die eine solche ventilartige Vorrichtung nachweist, zur Gewissheit erhoben. Der Nerv tritt zwar mit dem Muskelinhalt in directe Berührung, allein der Axencylinder geht nicht continuirlich in die ausgebildete Muskelfaser über, sondern er verzweigt sich nur darin, und greift endlich mit eigenthümlich geformten Oberflächen in die contractile Substanz hinein.

Experimentelle Untersuchungen müssen jetzt lehren, welchen

neuen Vorgang die Erregung der motorischen Nervenfasern in ihrem Endorgane auslöst. Vielleicht ist dieser Act identisch mit dem der Nervenplatten der elektrischen Fische.

### Erklärung der Abbildungen.

Sämmtliche Abbildungen sind bei einer Vergrößerung von  $\frac{400}{1}$  mit dem Zeichnenprisma genau nach der Natur copirt.

Alle Figuren beziehen sich auf die Muskeln von *Lacerta viridis*.

- Fig. 1. Muskelfaser aus dem Oberschenkel 2 Stunden nach der Vergiftung des Thieres mit Curare isolirt und in Serum untersucht. N Markhaltiger Nerv. S Nervenscheide (Schwann). K Kerne dieser Scheide. P Motorische Nervenplatte. G Granulirte Substanz. A Deren Kerne. b Grössere Körnchen in der granulirten Substanz. a Muskelkerne.
- Fig. 2. Mit angesäuertem Serum und später mit  $\text{CrO}_3$  0,1 pCt. behandelt. Die contractile Substanz hat sich vom Sarkolemma ( $S'$ ) zurückgezogen, so dass die zusammengeschrunppte Endplatte frei in einem mit Flüssigkeit erfüllten Raume liegt.
- Fig. 3. Motorische Nervenplatte in einer Muskelfaser nach dem Eintritt der Todtenstarre. MM Geschrunpftes Muskelgerinnsel. R Nur mit Serum gefüllter Raum vom Sarkolemma umschlossen.
- Fig. 4. Motorische Nervenplatte aus einem noch zuckenden unvergifteten Muskel.
- Fig. 5. Zwei schmale Muskelfasern mit ihren Nervenplatten. 24 Stunden nach der Amputation aus den Oberschenkelmuskeln isolirt und in Serum untersucht. Die Querstreifen der contractilen Substanz sind nicht mit abgebildet.
- Fig. 6. Sehr schmale Muskelfaser mit doppelter weit abstehender Umhüllungs-membran.
- Fig. 7. Sehr kleine Muskelfaser aus einem der letzten Schwanzglieder. Frisch in Serum. TT Sehnenfasern.
- Fig. 8. Muskelfaser mit Nervenendigung nach der Behandlung mit sehr schwach angesäuertem Serum. Auf der rechten Seite der Abbildung ist die Veränderung der Nervenplatte so wie die der granulirten Substanz mit ihren Kernen nach etwas längerer Einwirkung der sauren Flüssigkeit dargestellt. Die Querstreifen der contractilen Substanz sind weggelassen.
- Fig. 9. Muskelfasern aus den letzten Schwanzgliedern. A mit  $\overline{\text{Ac}}$  und  $\text{CrO}_3$ , B mit der v. Wittich'schen Mischung isolirt. Bei A sind die Querstreifen nicht mit abgebildet. PP Nervenplatten.