

XXIV.

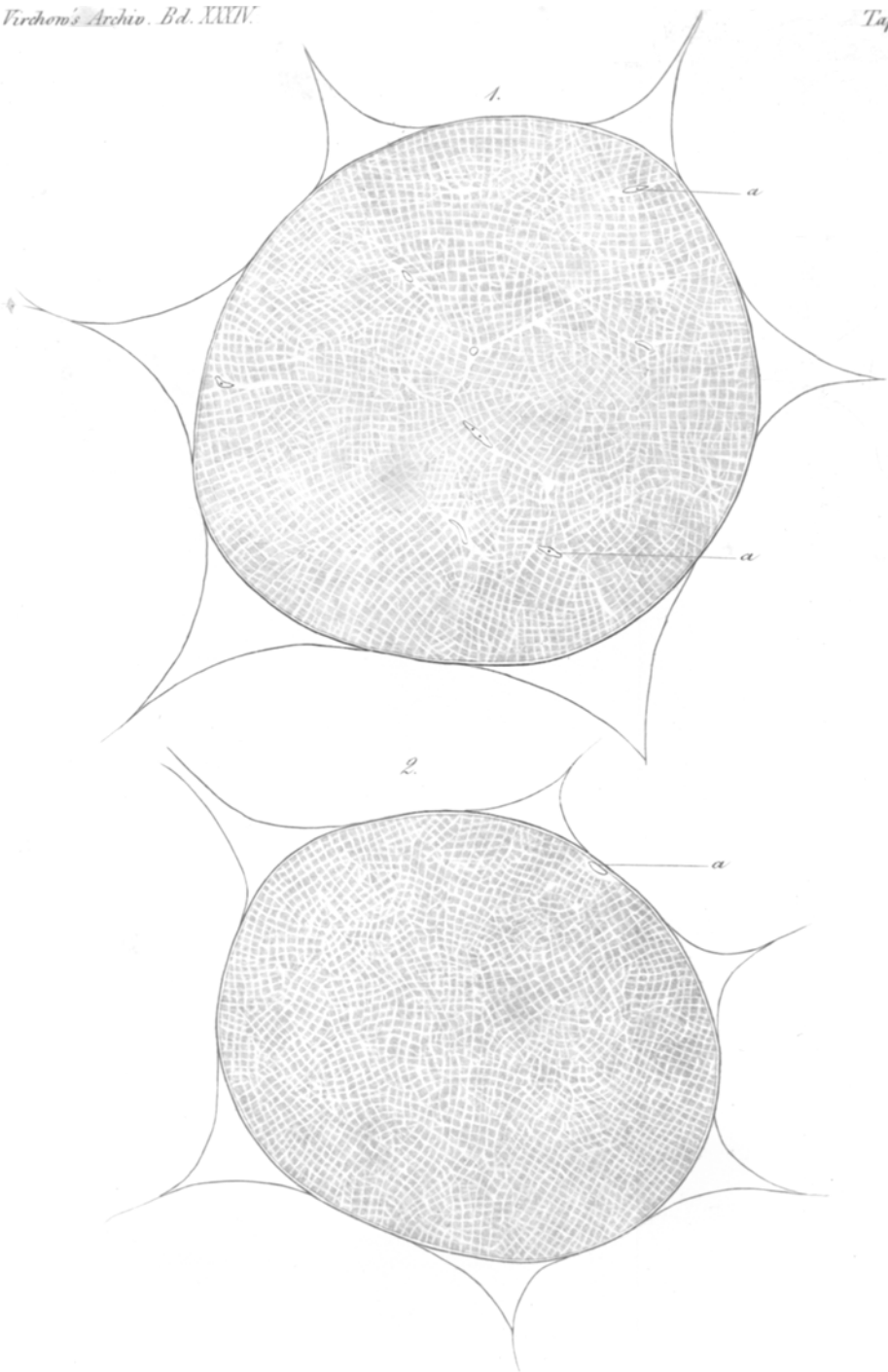
Ueber den feineren Bau der quergestreiften Muskelfaser.

Von Dr. Cohnheim,
Assistenten am pathol. Institut in Berlin.

(Hierzu Taf. XIV.)

Bringt man einen Froschmuskel, am besten in einer Platinschale, in eine Kältemischung, so gefriert er bekanntlich in kurzer Frist zu einer harten, blassrothen Masse. Ist die Temperatur nicht zu niedrig, d. i. nicht unter 6—8° C. gewesen und hat die Kälte Wirkung nur kurze Zeit gewährt, so ist, wie Kühne's Versuche gelehrt haben, nach dem Aufthauen die Erregbarkeit des Muskels ganz wohl erhalten, mithin der Schluss gerechtfertigt, dass die Structur der Muskelfaser keine Veränderung erlitten hat; zum Ueberfluss zeigt das mikroskopische Bild einer aus einem gefrorenen und wieder aufgethauenen Muskel isolirten Faser nicht die geringste Abweichung von dem einer ganz frischen. Den so gefrorenen Muskel, der jetzt die Consistenz einer ziemlich harten Wachsmasse hat, kann man mit einem abgekühlten Rasirmesser ohne alle Mühe nach jeder Richtung schneiden, und es gelingt mit der grössten Leichtigkeit, Querschnitte desselben von untadelhafter Glätte und beliebiger Feinheit herzustellen.

Einen anderen Weg, Querschnitte eines lebenden Muskels zu gewinnen, gewährt das Doppelmesser. Ein mit einem guten Doppelmesser senkrecht auf die Faserrichtung der ein wenig gespannten Oberschenkelmuskelmasse des Frosches, rasch geführter Schnitt gibt ein Präparat, das sich freilich an Gleichmässigkeit und Ausdehnung nicht mit den mittelst der Gefriermethode gewonnenen vergleichen lässt; immerhin aber wird man in jedem solchen Schnitte eine mehr weniger grosse Zahl von Stellen finden, die sich für die detaillirte mikroskopische Prüfung vollkommen eignen. Es sind die mittelst beider Verfahren erhaltenen, guten Bilder vollkommen identisch: ein neuer Beweis, dass das Gefrieren den feineren Bau der Muskelfaser nicht beeinträchtigt; und es gilt dem-



nach Alles, was im Folgenden wird auseinandergesetzt werden, für das Bild des Muskelquerschnittes überhaupt, mag er nun auf diesem oder jenem Wege erhalten sein.

Das Bild des lebenden Muskelquerschnittes weicht nun nicht unerheblich ab von den Darstellungen, welche bisher, soviel ich weiss, von diesem Objecte gegeben sind. Breitet man nämlich den Querschnitt in verdünntem Blutserum oder noch besser in einer Kochsalzlösung von 0,5 pCt., unter Vermeidung jedes Druckes, also am zweckmässigsten nach Kühne's Vorschlag in einer niedrigen feuchten Kammer an der unteren Fläche des Deckgläschens aus, so stellt er sich unter dem Mikroskope dar als eine mehr oder weniger grosse Zahl ungleich dichtgedrängter runder oder elliptischer, leicht glänzender Scheiben, zwischen denen man spärliche Züge faserigen Bindegewebes, hier und da ein Blutgefäss, zuweilen auch einen quer oder schräg getroffenen dunkelrandigen Nerven bemerkt. Jene Scheiben, die Querschnitte der einzelnen Muskelfasern selbst, die hier allein unsere Aufmerksamkeit fesseln sollen, werden umschlossen und nach aussen abgegrenzt von einem sehr prägnanten, doppelten, kreisförmigen oder elliptischen Contour, bekanntermaassen dem optischen Ausdruck der Sarkolemmamembran. Die von diesem Contour eingeschlossene Fläche der Scheiben wird, wie eine schärfere Einstellung sogleich erkennen lässt, zusammengesetzt aus zwei ganz verschiedenen Substanzen, einer von grosser Durchsichtigkeit und starkem Glanz, und einer von geringerer Durchsichtigkeit und mattem Aussehen, die in ungleicher Massenvertheilung, aber in allen Scheiben in vollkommen gleichartiger Weise angeordnet sind. Und zwar bildet die stark glänzende Substanz ein dichtes Gitterwerk schmalen, nur an einzelnen Stellen sich verbreiternder Linien, die unter allen möglichen Winkeln sich durchschneiden: die von ihnen eingeschlossenen, eckigen Maschen des Gitterwerks werden eingenommen von der matten Substanz. Oder umgekehrt ausgedrückt: die matte Substanz ist mosaikartig angeordnet in Gestalt zahlloser kleiner Dreiecke, Vierecke und Fünfecke, die von einander durch die schmalen Säume der durchsichtigeren Substanz geschieden werden; an einzelnen Stellen liegen die Körperchen der Mosaik weiter von einander entfernt, hier ist die glänzende Substanz reichlicher angehäuft, und es markiren sich alsbald mitten in diesen Stellen scharfe Contouren, die keinen

Zweifel darüber lassen, dass man es mit den bekannten Muskelnkernen zu thun hat. Dabei sind die Felder der matten Substanz immer von einem deutlichen Contour eingefasst, der den Säumen der durchsichtigeren fehlt; ersterer ist mithin das stärkere Lichtbrechungsvermögen eigen. Die Fig. 1. Taf. XIV. wird das geschilderte Verhältniss veranschaulichen und, wie ich hoffe, das Mangelhafte der immerhin schwierigen Beschreibung ergänzen.

Was nun die genauere Analyse des eben geschilderten Befundes anlangt, so hebe ich in Betreff der mosaikartigen Felder der matten Substanz zuvörderst hervor, dass dieselben auf allen Seiten von geraden, sich unter verschiedenen Winkeln schneidenden Linien begrenzt sind; wenn schon eine mittlere Vergrößerung genügt, sich in dieser Beziehung eine ausreichende Ueberzeugung zu verschaffen, so gibt doch die Anwendung ganz starker Vergrößerungen (bis $\frac{1800}{1}$) hierüber die ausbündigste Gewissheit: nirgend sieht man ein Segment eines Bogens als Seitencontour, nirgend auch nur eine abgerundete Ecke. — Wie ferner bereits angedeutet, erscheinen die Felder im Wesentlichen in drei verschiedenen Formen, als Dreiecke, Vierecke, Fünfecke; niemals habe ich Polygone von mehr als fünf Seiten wahrgenommen. Soviel ich bei oftmals wiederholter und anhaltender Betrachtung dieser Bilder — deren sorgfältiges Studium allerdings in einer Weise das Auge ermüdet, wie nur wenige, mir bekannte mikroskopische Objecte, — soviel, sage ich, ich habe feststellen können, gibt es hier gleichseitige, gleichschenklige, ungleichseitige und rechtwinklige Dreiecke; die Vierecke kommen vor als Quadrate, Rechtecke, Rhomben, Trapeze und unregelmässige Figuren; die Fünfecke anscheinend nur in letzterer Art. An Zahl überwiegen weitaus die Vierecke und unter diesen die Rechtecke; am sparsamsten beobachtet man Fünfecke; häufiger, als diese, aber doch in weit geringerer Menge, als die Vierecke, begegnen Einem die Dreiecke, wenngleich diese, wie es auch sonst von dreiseitigen Figuren bekannt ist, immer das Auge des Beobachters rasch auf sich lenken. Irgend eine weitere regelmässige Anordnung der kleinen Felder lässt sich nicht constatiren; sowohl im Centrum der Scheibe, als auch an den Randpartien erscheint überall dasselbe Bild, Dreiecke, Vierecke, Fünfecke in anscheinend beliebiger Anordnung mit einander wechselnd. — In der Grösse bieten die matten Felder keine sehr er-

heblichen Differenzen dar. Begreiflicher Weise sind die Dreiecke die kleinsten, die Fünfecke durchschnittlich die grössten; während die Katheten der kleinsten Dreiecke eine Länge von nur 0,002 Mm. haben, wächst die grösste Diagonale der Fünfecke bis auf mehr als das Doppelte zu 0,005 Mm.; zwischen diesen Grenzen schwanken alle vorkommenden Maasse. Die Seiten der Quadrate messen durchschnittlich 0,003 — 0,0035; die Rhomben und Rechtecke in der kurzen Diagonale 0,002 — 0,003, in der langen 0,004 — 0,005 Mm.

Von der zweiten, das Licht schwächer brechenden Substanz ist nur wenig Detail hinzuzufügen. Die schmalen gitterartigen Linien, welche sie bildet, sind durchgehends von gleicher Breite, unter 0,001 Mm., d. i. weniger, als halb so breit, als die Seite der kleinsten matten Dreiecke, und es erhellt hieraus leicht, dass die Massenvertheilung beider Substanzen gar sehr zu Ungunsten der glänzenden ausfällt. Ein Wenig freilich wird diess Verhältniss aufgewogen durch die oben erwähnten stellenweisen grösseren Anhäufungen, welche dieselbe bildet. Hier und da nämlich werden die schmalen, glänzenden Säume ganz allmählig breiter, einem langen und niedrigen Keile vergleichbar, der zwischen die matte Mosaik eingetrieben ist: und meistens führen diese sich verbreiternden Säume schliesslich auf relativ breite, unregelmässig gestaltete, bald mehr dreiseitige, bald mehr elliptische Stellen, die ganz von der glänzenden Substanz eingenommen scheinen. An Ausdehnung entsprechen diese Stellen (s. Fig. 1 u. 2 bei a) bald nur weniger, bald bis zwölf und mehr matten Feldern, so dass ich die grösste Länge dieser Stellen bis zu 0,02 Mm. gemessen habe. Freilich nur anscheinend werden diese Stellen ganz von der stark glänzenden Substanz ausgefüllt: denn, wie schon oben erwähnt und wie weiter unten noch des Genaueren soll berührt werden, man bemerkt mit Leichtigkeit innerhalb der Mehrzahl dieser Felder scharfe Contouren, die bald eine kreisförmige, bald eine mehr schmal-elliptische, bald ziemlich unregelmässige Figur beschreiben und eben nichts Anderes als der Ausdruck der Muskelkerne sind.

Das bis hierher beschriebene Bild des Querschnittes ist aber nicht bloss dem Froschmuskel eigenthümlich, sondern kehrt mit geringen, in den einzelnen Klassen charakteristischen und constanten Modificationen, wahrscheinlich in der ganzen Thierreihe überall,

wo sich quergestreifte Muskeln finden, wieder. Es erstrecken sich meine Untersuchungen in dieser Beziehung auf Säugethiere, Reptilien und Amphibien, Insecten und Crustaceen. Bei den Säugethieren zuerst sind die kreisförmigen oder elliptischen Figuren, als welche die durchschnittenen Muskelfasern sich darstellen, gemäss der durchgehends geringeren Dicke der letzteren, von erheblich kleinerem Durchmesser, als die des Frosches; die Mosaik aber erscheint mit sehr grosser Prägnanz in einer beim Hund, Kaninchen, Meerschweinchen und Katze vollkommen identischen Form, so dass der Schluss erlaubt scheint, dass sie in allen Säugethierarten die gleiche ist. In äusserst überwiegender Zahl nämlich erscheinen die Felder der mattglänzenden Substanz als kleine Quadrate und Rechtecke, dabei durchgehends nur von der halben Grösse der analogen Felder des Froschmuskels; die Länge einer Seite misst von 0,0015 — 0,0018 Mm. Das Gitterwerk der starkglänzenden Substanz ist daher ein ausserordentlich regelmässiges, vielfach rechtwinklige Maschen bildend. Worin das Bild aber ganz wesentlich von dem beim Frosche abweicht, ist der Umstand, dass hier jene keilförmigen Verbreiterungen und Anhäufungen der starkglänzenden Substanz, von denen beim Frosche die regelmässige Mosaik unterbrochen wird, gänzlich vermisst werden; ein Verhältniss, das in vollkommenstem Einklange mit der längsbekannten Thatsache steht, dass im Innern der Muskelfaser der Säugethiere es Kerne nicht gibt, diese vielmehr stets dicht unter dem Sarkolemma gelagert sind, wo sie auch auf dem Querschnitte sich häufig genug präsentiren.

Der Querschnitt der lebenden Muskelfaser des Menschen, den ich wiederholt an amputirten Extremitäten der mikroskopischen Prüfung habe unterziehen können, unterscheidet sich in keiner Weise von dem der Säugethiere, es möchten denn die Felder der matten Substanz vielleicht noch etwas kleiner sein.

Das Vorkommen von Kernen und den durch sie bedingten Verbreiterungen der starkglänzenden Substanz mitten in der Fläche nähert das Bild des Muskelfaserquerschnittes der Reptilien ganz dem der Frösche. Die Felder der Mosaik dagegen gleichen mehr denen der Säugethiere; es sind überwiegend kleine Vierecke, deren Seitenlänge zwischen 0,00125—0,0018 Mm. schwankt.

Von den Insecten kann ich genaue Angaben über die Muskeln

von *Hydrophilus pic.* beibringen. Man sieht hier auf dem Querschnitte neben zahlreichen Vierecken auffallend viele Fünfecke, während der Dreiecke sich nur wenige finden. Die Grösse dieser Felder hält etwa die Mitte zwischen Säugethier und Frosch, indem die Länge der einzelnen Seiten zwischen 0,0018 — 0,004 Mm. wechselt. Kerne glaube ich nur ganz vereinzelt und sparsam im Centrum der Scheiben wahrgenommen zu haben, in nahezu regelmässigen Abständen dagegen an der Peripherie unter dem Sarkolemma, ganz entsprechend den oberflächlichen Kernreihen der Käfermuskeln, die Jedermann geläufig sind.

Bei Weitem das prachtvollste Bild aber gewährt der Querschnitt der Muskelfaser des Flusskrebses. Wie schon die einzelnen Fasern selbst eine enorme Dicke erreichen, der Art, dass bei starker Vergrösserung die Querschnittsscheibe das Gesichtsfeld des Mikroskopes nach allen Seiten überragt, so sind auch die einzelnen Felder der Mosaik von colossalen Dimensionen. Die Seiten dieser Felder, unter denen man, wie beim *Hydrophilus*, auffallend viele Fünfecke constatirt, messen von 0,0035 — 0,007 Mm. Länge, der Art, dass die grössten Pentagone die Grösse kleiner Plattenepithelien erreichen. Die glänzende Substanz dagegen ist keinesweges dem entsprechend reichlicher; ihre Säume sind eher schmaler, als die des Frosches und der Käfer, und sie treten begreiflicher Weise neben den gewaltigen Feldern der matten Substanz um so mehr zurück. Der Verbreiterungen derselben gibt es nur wenige, jedoch in ziemlich regelmässiger Anordnung durch die Scheibe zerstreut; wie immer, liegen auch hier in denselben Kerne, von denen man ferner einzelne auch dicht unter dem Sarkolemma findet. Wo die letzteren, umschlossen von der mehrerwähnten Anhäufung der glänzenden Substanz, gelegen sind, erreichen selbstverständlich die Felder der Mosaik das Sarkolemma nicht, an das sie überall sonst, wie bei den anderen Thierklassen, unmittelbar anstossen.

Das Bild des Muskelquerschnittes, dessen Details ich im Vorstehenden entwickelt, und von dem ich kaum noch hinzuzufügen brauche, dass es bei allen Thierklassen nach den Eingangs erwähnten Methoden gewonnen ist, bietet nun gegen Reagentien eine Resistenz, die zwar nicht gerade sehr beträchtlich, aber doch viel erheblicher ist, als die der meisten lebenden Gewebselemente, ins-

besondere z. B. der Blut- und Bindegewebkörperchen. Wie oben bemerkt, ist die Schilderung nach Präparaten entworfen, die in verdünntem Blutserum oder einer halbprocentigen Kochsalzlösung untersucht sind; so zweckmässig an sich nämlich auch die eiweisshaltigen Medien sind, so ziehe ich doch im vorliegenden Falle die Chlornatriumlösung vor, weil die Differenz des Lichtbrechungsvermögens zwischen der letzteren und der durchsichtigeren Substanz des Querschnittes stärker ist, als die dieser und des Blutserums, das Bild also viel prägnanter hervortritt. In der Kochsalzlösung hält sich ein solches Object, sofern man Druck und jede Verdunstung fern hält, in ungeminderter Klarheit durch mehrere Tage. Nicht weniger zweckmässig erscheint als Untersuchungsflüssigkeit phosphorsaures Natron, auch Zuckerwasser; und es ist für unser Object keinesweges erforderlich, den Procentgehalt der Flüssigkeiten so streng innezuhalten; denn selbst Lösungen, die bis 4 pCt. des Salzes enthalten, beeinträchtigen kaum die Sauberkeit des Bildes. Andererseits verträgt dasselbe durch geraume Zeit, eine Stunde und mehr, die Einwirkung des destillirten Wassers, ehe es an Deutlichkeit einbüsst. Sehr eigenthümlich aber wirken die verdünnten Säuren, voran die Salzsäure und Essigsäure. Wie fast alle Gewebe, so quillt auch die Querschnittsscheibe der Muskelfaser zuvörderst beim Zutritt der Säure auf; aber während so die Scheibe selbst im Ganzen breiter zu werden scheint, verschwindet die starkglänzende Substanz alsbald vollständig; die matten Felder der Mosaik, welche selbst ganz wenig verbreitert und etwas durchsichtiger erscheinen, rücken unmittelbar von einander, lediglich durch die eigenen Contouren von einander getrennt: aus den Säumen sind Linien geworden; auch die Kerne, deren Contouren selbstverständlich äusserst scharf hervortreten, werden jetzt unmittelbar von den Mosaikfeldern berührt. Weniger verändernd ist der Einfluss der verdünnten Chromsäure; wie an allen eiweissartigen Gewebstheilen, so werden auch hier durch dieselbe die Contouren gut fixirt, so dass man, besonders unter Zuhülfenahme der Carminfärbung, Präparate herstellen kann, die durch ziemlich lange Zeit ganz anschauliche Bilder gewähren. Freilich, das Plastische fehlt ihnen stets, und überdiess werden auch sie nach einiger Frist allmählig undeutlich und verwaschen. So würden wir denn auch hier, wie so oft bei histologischen Gegenständen, in der immerhin un-

befriedigenden Lage sein, auf eine dauernde Conservirung des Objectes, die jederzeit eine Demonstration gestattete, verzichten zu müssen, wenn es nicht eine Methode gäbe, mit Hülfe deren es möglich ist, das Bild des Querschnittes in der grössten Präcision auf unbegrenzte Zeit hin zu fixiren. Es ist diess die Recklinghausen'sche Silbermethode, deren Anwendung ich sogleich des Genaueren schildern will, selbst auf die Gefahr hin, dadurch einen Witz des Hrn. Frey *) zu provociren.

Das Verfahren, welches ganz in Uebereinstimmung ist mit dem von mir für die Darstellung der motorischen Nervenendigung (in d. Arch. Bd. XXXIV. S. 194) beschriebenen, besteht darin, dass man einen, in der Eingangs angegebenen Weise dargestellten Muskelquerschnitt durch einige Minuten in verdünntes Serum taucht, sodann durch wenige Secunden in die Silberlösung von 0,2—0,25 pCt. bringt, in destillirtem Wasser wäscht und der Lichtwirkung aussetzt; sobald der Schnitt eine braune Farbe angenommen, wird er unter Zusatz von ein wenig verdünnter Essigsäure unter das Mikroskop gebracht. Es erscheinen jetzt alle die runden oder elliptischen Scheiben, welche den durchschnittenen Fasern entsprechen, mehr oder weniger tiefbraun: mit der denkbar grössten Schärfe aber hebt sich von dem braunen Grunde ein dichtes Netzwerk schmalen weisser Linien ab, welche unter allen möglichen Winkeln auf einander treffen und sich durchschneiden. Doch wozu eine ausführliche Beschreibung? Nach dem oben Auseinandergesetzten kann nicht der geringste Zweifel obwalten über die Erklärung des Bildes: die Felder der mattglänzenden Substanz sind braun gefärbt, während das Gitterwerk der starkglänzenden vollkommen weiss erscheint. Ganz dem entsprechend sind auch, wo sie vorkommen, beim Frosche, der Eidechse u. s. w., die keilförmigen Verbreiterungen und Anhäufungen, welche die glänzende Substanz bildet, durchaus ungefärbt, und treten in diesen unregelmässigen Lücken die Muskelkerne mit der grössten Deutlichkeit zu Tage. Ueberall, bei allen Thieren, bei allen Körpermuskeln, markirt sich diess Bild mit derselben Reinheit; denn kleine Abweichungen, wie dass zuweilen ein weisser Saum zwischen zwei braunen Feldern oder umgekehrt ein ganzes braunes Feld ausgefallen ist, werden für jeden mit der Silbermethode Vertrauten nichts Be-

*) Vgl. Canstatt's Jahresbericht d. phys. Wiss. 1864. S. 70.

fremdendes haben. Ich habe mir es nicht versagen mögen, von diesen Bildern, mit denen sich nur wenige aus der gesammten Histologie an Zierlichkeit messen dürften, eines in Fig. 2. Taf. XIV. wiederzugeben; es ist ein Querschnitt einer Muskelfaser aus dem *M. psoas* eines Kaninchens.

Wenden wir uns jetzt zu der Deutung des gewonnenen Befundes, so ist vor Allem es zweifellos, dass es wirklich der Querschnitt der Muskelfaser ist, mit dem wir es hier zu thun haben. Schon die Methode an sich gibt eine hinreichende Garantie dafür; was aber geeignet ist, auch das letzte Bedenken in dieser Beziehung zu beseitigen, ist der Umstand, dass alle guten Querschnitts-scheiben und ich nenne nur diejenigen gute, die in vollkommen gleichmässiger Weise dem Deckgläschen sich anschmiegen und in denen die Mosaik in grosser Schärfe hervortritt, dass alle diese Scheiben, sage ich, an der zwischen gekreuzten Nicols durch eine Glimmerplatte erzeugten Farbe des Grundes keine Veränderung bewirken.

Dasjenige nun, was die Betrachtung des Querschnittes, wie er im Obigen geschildert ist, lehrt, ist zunächst die einfache Thatsache, dass der Inhalt der Muskelfaser, abgesehen von den Kernen, aus zwei verschiedenen Substanzen gebildet wird, die in bestimmter Weise zu einander angeordnet sind. Die beiden Substanzen zeigen eine sehr auffallende Differenz ihres optischen Verhaltens: denn die eine ist matt, von schwachem Glanz, stärker lichtbrechend, die andere sehr durchsichtig, stark glänzend, von schwächerem Lichtbrechungsvermögen; sie verhalten sich ferner ganz abweichend gegen gewisse chemische Einwirkungen: die eine Substanz wird von verdünnten Säuren gelöst, die auf die andere lange Zeit ohne erheblichen Einfluss bleiben, und vor Allem wird die eine Substanz von der Silberlösung gefärbt, während die andere ganz ungefärbt bleibt. Gibt es, so fragt es sich jetzt, in der gewöhnlichen und allbekannten Längsansicht der Muskelfaser Anhaltspunkte, welche mit der Thatsache im Einklang stehen, die der Querschnitt darthut? Sicher wird einem Jeden, welcher der Auseinandersetzung bis hierher gefolgt ist, die Darstellung in Erinnerung gekommen sein, welche zuerst Brücke und Rollett *)

*) Rollett, Untersuchungen zur näheren Kenntniss des Baues der quergestreiften Muskelfaser. Sitzungsberichte d. Wien. Akad. Bd. XXIV. 1857.

von der regelmässigen Vertheilung zweierlei verschiedener Substanzen in der Längsrichtung der Muskelfaser gegeben haben. Nichts kann in der That näher liegen, als einestheils die matte und dunklere, stärker lichtbrechende Substanz, welche auf dem Querschnitt die Mosaik erzeugt, mit der anisotropen Brücke's, der Hauptsubstanz Rollett's zu identificiren, die in der Längsrichtung der Faser die dunklere, stärker lichtbrechende Mantelzone bewirkt, andernteils die durchsichtige, glänzende, gitterförmige Zwischensubstanz des Querschnittes der isotropen Brücke's, der Zwischensubstanz Rollett's an die Seite zu stellen, die in der Längsrichtung die helleren und schwächer lichtbrechenden Zonen erzeugt. Die Identität des optischen Verhaltens ist soeben angedeutet; das Verhalten gegen verdünnte Salz- und Essigsäure ist nicht weniger übereinstimmend: Rollett konnte mit verdünnten Säuren die Zonen der dunkleren Substanz isoliren, weil jene die hellere Zwischensubstanz auflösten, und auf dem Querschnitte entschwindet alsbald auf Zusatz der Säure die glänzende Zwischensubstanz dem beobachtenden Auge. Unter Zugrundelegung dieser Annahme aber erscheint es leicht und drängend, noch einen weiteren Schritt zu thun. Nachdem Brücke gelehrt hat, dass die anisotrope Zone aus einer Anzahl parallel gestellter Körperchen, den Disdiaklastengruppen, zusammengesetzt ist, so scheint sich mit zwingender Nothwendigkeit der Schluss darzubieten, dass die matten Felder der Mosaik eben nichts Anderes sind, als die Querschnitte jener Disdiaklastengruppen oder, um mich eines bequemen und wohl allgemein dafür acceptirten Ausdrucks zu bedienen, der Sarcous elements Bowman. In Wirklichkeit wüsste ich kaum zwei Dinge, die vollkommener einander decken könnten, als das Bild des Querschnittes mit der regelmässigen Abwechselung der Mosaik und des Gitters, und jenes prachtvolle Bild der Muskelfaser im Polarisationsmikroskop, das gar Viele schon an einen Bau von Ziegelsteinen erinnert hat, die ihre schmale Seite dem Beschauer zukehren.

Gern hätte ich als ein ferneres beweiskräftiges Moment für meine Anschauung die Silberfärbung des natürlichen Längsschnittes der Muskelfaser zu Hülfe genommen; indess meine Bemühungen in dieser Hinsicht sind vergeblich gewesen, wenigstens, was die Constanz des Resultates betrifft. Versilbert man in der von mir

a. a. O. beschriebenen Weise die frische Muskelfaser des Frosches oder eines Säugethieres, so erhält man, nach Zusatz von etwas Essigsäure, allerdings zuweilen ein Bild, das so wenig an Schönheit, als an überzeugender Klarheit zu wünschen übrig lässt; es präsentiren sich nämlich mit der grössten Regelmässigkeit, vollkommen entsprechend den Sarcous elements, kleine braune Rechtecke, deren längere Seite constant in der Richtung der Muskelfaser liegt, von einander ebenso regelmässig getrennt durch schmale, der Längsaxe parallele weisse Linien und durch etwas breitere, senkrecht auf diese gestellte weisse Säume; die von mir gleichfalls a. a. O. beschriebenen Kernlücken machen denn auch hier lediglich den Eindruck von Verbreiterungen der weissen Linien. Indess, wie gesagt, ein solches Bild erhält man keinesweges immer; im Gegentheil, in der grossen Mehrzahl der Versuche sieht die ganze Faser, abgesehen natürlich von den Kernlücken und der Nervenendigung, einfach braun aus, und wenn hier die Zonen der anisotropen Substanz dunkler erscheinen, so erklärt sich diess einfach daraus, dass durch die so ausserordentlich dünne braune Lage hindurch, die die Silberschicht bildet, die an sich dunklere Substanz sich geltend macht. So war denn die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass an der Oberfläche der Muskelfaser noch ganz besondere Verhältnisse obwalteten, die nur unter Umständen, die zu eruiren mir nicht gelang, nicht zur Geltung kamen. Ich versuchte es daher mit dem künstlichen Längsschnitte, jedoch mit noch geringerem Erfolge. Nicht, als ob die allerdings recht erhebliche Schwierigkeit einen längeren Schnitt durch die Faser, ganz parallel der Längsrichtung, zu führen, nicht wäre an gefrorenen Muskeln zu überwinden gewesen; vielmehr tritt der Umstand hier absolut hindernd entgegen, dass jeder Längsschnitt nach dem Aufthauen sofort eine ganz unregelmässige Gestalt annimmt: es wälzen sich aus der Fläche Substanztheile hervor, andere schieben sich durch einander, kurz man sieht bald nichts, als eine glänzende, vielfach gewulstete Masse; ein Verhalten, das freilich nicht erstaunen kann, wenn man erwägt, dass durch die völlige Längsdurchschneidung des Sarkolemma der Muskelinhalt allen Halt verloren hat. Den einzigen Ersatz für einen Längsschnitt können demnach Schrägschnitte bieten, die man selbst in sehr schiefer Richtung zur Muskelfaser bequem und mit gutem Erfolge führen

kann. Das Bild des Schrägschnittes, mag nun die lange Axe der so gewonnenen elliptischen Scheiben die kurze um wenig oder um sehr Vieles übertreffen, unterscheidet sich aber in keiner Beziehung von dem des Querschnittes; auch hier die Mosaik der matten Polygone, auch hier das Gitter der glänzenden Zwischensubstanz mit den kernhaltigen Verbreiterungen. Ganz dem entsprechend das Silberbild: die Mosaik braun, die Zwischensubstanz weiss. Bedarf es noch einer ausführlicheren Auseinandersetzung, wie sehr solche Bilder zu Gunsten der von mir entwickelten Anschauung sprechen?

Dass man den Versuch machen werde, das Bild des Muskelquerschnittes, wie es oben geschildert ist, in Einklang zu setzen mit der Lehre von der Zusammensetzung der Muskelfaser aus sogenannten Fibrillen, das fürchte ich nicht. Ich will hier nicht noch einmal die Frage aufwerfen, die schon so oft und mit so viel Recht den Anhängern der Fibrillentheorie entgegengehalten ist, wem es nämlich bis heute gelungen, aus einer lebenden Muskelfaser eine Fibrille darzustellen; halten wir uns lediglich an den Querschnitt! Vergeblich sucht man hier die Punkte oder Ringe, die doch immer folgerecht als der Ausdruck der querdurchschnittenen Fibrillen angesehen und behauptet worden sind. Oder will man mir etwa entgegenhalten, dass die Fibrillen durch gegenseitigen Druck einander die eckige Form erzeugt hätten, als deren Ausdruck auf dem Querschnitt die von so scharfen Linien und so reinen Winkeln eingeschlossenen Polygone erscheinen? Nun, ich habe gerade im Vorstehenden des Ausführlicheren zu beweisen mich bemüht, dass die Polygone keinesweges einander berühren, dass sie vielmehr überall durch eine andersgeartete Substanz geschieden werden, deren Breite überall messbar, an einzelnen Stellen selbst recht ansehnlich ist.

So wären wir also bis hierher zu dem Resultate gelangt, dass der Querschnitt der lebenden Muskelfaser der Längsansicht vollkommen entspricht, dass auch auf ihm die Sarcous elements, umschlossen von einer zweiten differenten Substanz sich präsentiren. Sehen wir uns jetzt von diesem Gesichtspunkte aus jene etwas näher an! Sind diese Theilchen von einer constanten, regelmässigen Gestalt? Wäre es erlaubt, die Zeichnung des Querschnittes ohne Weiteres für die Construction dieser Körperchen zu

verwenden, so würde die einfache Folgerung sich ergeben, dass die Sarcous elements dreiseitige, vierseitige oder fünfseitige Prismen bilden, von einer überall gleichen Höhe, die eben durch die Höhe der Mantelzone der anisotropen Substanz dargestellt wird. Indessen, es hiesse Ueberflüssiges sagen, wollte ich noch ausdrücklich die ungemeine Schwierigkeit, fast Unmöglichkeit hervorheben, alle Sarcous elements einer Zone durch den Schnitt genau in der gleichen Ebene zu treffen; und es ist ja ohne Weiteres klar, dass durch eine Schnittführung, die einen, wenn auch noch so kleinen Winkel mit der Horizontalebene der Mantelzone macht, verschiedene Prismen schräg durchschnitten werden, mithin zwar nicht aus einem dreiseitigen Prisma ein vier oder fünfseitiges Polygon, wohl aber aus fünf- oder selbst mehrseitigen Prismen drei- und viereckige Felder entstehen können; ist doch der beabsichtigte Schrägschnitt, wie oben bemerkt, die beste Bestätigung hierfür. Demnach scheint es gerathen, sich auf die einfache Aussage zu beschränken, dass die Sarcous elements rechtwinklige Prismen sind, deren Grundflächen mehrseitige Polygone bilden. Was aber bei Vergleichung des Querschnittes mit der Längsansicht der Muskelfaser sich sofort einem Jeden aufdrängt, ist, dass die Höhe der Prismen bei allen Thieren erheblich niedriger ist, als wenigstens die grösseren Diagonalen der Basispolygone. Schwieriger zu deuten halte ich dagegen den Umstand, dass anscheinend die dicht unter dem Sarkolemma gelegenen Sarcous elements, die wir ja bei der Längsansicht direct vor Augen haben, eine geringere Breite zeigen, als wenigstens die längeren Seiten der Mosaikfelder des Querschnittes messen; indessen ist gerade bei den Thieren, deren Querschnittsmosaik die grösste Regelmässigkeit bietet, wie bei den Säugethieren, die scheinbare Differenz in Wirklichkeit kaum vorhanden, und überdiess habe ich ja schon oben noch die Möglichkeit eines ganz besonderen Verhaltens der oberflächlichsten Schicht offen gelassen, von dem freilich der Querschnitt keine Andeutungen gewährt. — Betonen aber möchte ich noch Eines: in allen Muskelfasern desselben Muskels, mögen sie in ihrer Dicke noch so erheblich differiren, ist die Grösse der Sarcous elements auf dem Querschnitte eben dieselbe; noch mehr, ich habe mich auch wiederholt bei Hunden und Kaninchen überzeugt, dass schon in ganz jungen Thieren, neugeborenen, selbst Embryonen aus der letzten

Trächtigkeitszeit, die Breite der Sarcous elements nicht abweicht von der bei ausgewachsenen Thieren. Der Schluss, den ich hieraus ziehe, liegt auf der Hand: das Dickenwachsthum der Muskelfaser geschieht durch Vermehrung der Sarcous elements, nicht durch Vergrösserung. Dass in Uebereinstimmung hiermit beim Dickenwachsthum der Faser auch die Säume der Zwischensubstanz zahlreicher, aber nicht breiter werden, brauche ich wohl kaum noch zu erwähnen.

In Betreff dieser zweiten Substanz glaube ich im Obigen Alles berichtet zu haben, was sich über ihr optisches Verhalten in der lebenden, normalen Muskelfaser aussagen lässt. Denn eine bemerkenswerthe Erscheinung, die recht oft in ihr Einem begegnet, glaube ich mit Sicherheit in das pathologische Gebiet verweisen zu können; es ist diess das Auftreten mehr weniger kleiner Körnchen oder Tröpfchen in ihr, die durch das sehr starke Lichtbrechungsvermögen, sowie ihre Unveränderlichkeit in Säuren lebhaft an Fettkörnchen erinnern. Wo dieser nur erst sehr wenige, ganz vereinzelt sich finden, da liegen sie auf dem Querschnitt gewöhnlich an den Stellen, wo mehrere der gitterartigen Säume der Zwischensubstanz auf einander stossen; bei stärkerer Entwicklung häufen dieselben sich besonders gerne in den Verbreiterungen an, hier allmählig die Grösse messbarer Tröpfchen erreichend; ist die Körnchendegeneration der Faser aber eine sehr ausgedehnte, so wird der Querschnitt der Art von glänzenden Körnchen und Tropfen eingenommen, dass eben vollkommenes Vertrautsein mit dem normalen Bilde dazu gehört, um hier überhaupt noch die Mosaik herauszufinden; in den extremsten Fällen ist diess natürlich ganz unmöglich. Es sind diess eben ohne Zweifel dieselben Körnchen, die auch in der Längsansicht der Faser Jedermann bekannt sind, und als interstitielle Körnchen oder mit welchem Ausdruck auch immer bezeichnet werden.

Ueber die Consistenz und den Aggregatzustand der glänzenden Zwischensubstanz kann unter den vorliegenden Verhältnissen eine verschiedene Meinung wohl nicht obwalten. Sieht man auch ganz ab von den mannigfachen und so beweiskräftigen Thatsachen, welche in den letzten Jahren, insbesondere durch Kühne, in dem chemischen Verhalten der Muskelsubstanz aufgedeckt sind, so kann doch schon für den, wer einmal die Sarcous elements als feste

Körper acceptirt — und ihre doppelbrechende Eigenschaft zwingt ja dazu —, die Zwischensubstanz, wohl oder übel, nur den flüssigen Aggregatzustand haben, will er anders sich überhaupt eine physikalische Vorstellung von dem Vorgange der Contraction einer Muskelfaser bilden. Dass die optischen Eigenschaften der Substanz hiermit in vollkommenstem Einklange stehen, brauche ich nicht erst zu erwähnen; nicht minder spricht dafür das Verhalten des künstlichen Längsschnittes, wie ich es oben beschrieben. Es gibt aber noch einige andere Momente, die nur mit dieser Annahme sich zu vertragen scheinen. Zuerst der Umstand, dass in den Muskelquerschnitten, mögen sie nur mittelst des Rasirmessers vom gefrorenen oder mittelst des Doppelmessers vom frischen Muskel entnommen sein, es fast immer eine Anzahl Faserquerschnitte gibt, die keine vollständige Scheiben, sondern mehr oder weniger breite Ringe bilden, deren centrale Partien complett fehlen: auf welche andere Weise will man versuchen diess zu erklären, als durch die Annahme, dass hier ein Tropfen der flüssigen Substanz, der natürlich eine grosse Menge von Sarcous elements einschliesst, ausgefallen oder besser ausgeflossen ist? Von annähernd derselben Beweiskraft scheint mir die Gestalt der Querschnittsscheiben der einzelnen Fasern. Im Eingang habe ich dieselben als rund oder elliptisch bezeichnet, indem ich die Muskelfaser als einen Cylinder auffasste, dessen Querschnitt, wenn er senkrecht zur Axe gefallen, einen Kreis, wenn in einem anderen Winkel, eine Ellipse bilde. In der That sind vorerst alle Scheiben von geringem Durchmesser, die also den dünnen Fasern angehören, immer von einer Kreis- oder elliptischen Linie begrenzt; ganz annähernd ebenso verhalten sich in den Doppelmesserschnitten auch die Scheiben von grösserem Diameter. Anders freilich in den mittelst der Gefriermethode erhaltenen Präparaten; während hier nämlich die Querschnittsscheiben der dünnen Fasern ebenfalls grösstentheils rund sind, zeigen nicht wenige unter denen von grossem Durchmesser die mannigfachsten Ecken und verzerrten Winkelbegrenzungen. Aber darf man etwa die mechanischen Momente unterschätzen, die hier auf die Fasern einwirken, den Druck der Platinschale, der der Muskel aufliegt, und vor Allem den Druck, den das Rasirmesser auf die immerhin biegsame, nur wachsharte Masse ausübt? Beweisend scheinen mir eben nur die zuerst angeführten Thatsachen, und

für was spräche eben die cylindrische Gestalt der von dem Sarkolemma eingeschlossenen Muskelfaser mehr, als dafür, dass eine Flüssigkeit im Inhalt des Rohres sich befindet?

Wenige Worte noch über die Kerne. Ist es erlaubt, aus dem auf dem Querschnitte sich darbietenden Bilde bestimmte Schlüsse auf die Gestalt und die Consistenz der Muskelkerne zu ziehen, wie es eben für die Lage derselben möglich war? Die Figuren, welche die stets sehr harten Contouren der Kerne auf dem Querschnitte beschreiben, sind sehr mannigfaltiger Art: bald ein kleiner Kreis, bald eine mehr weniger schmale oder lange Ellipse, bald endlich eine mehr sichelförmige Gestalt; kurz, man sieht alle möglichen Figuren, welche man erhalten würde, wenn man Schnitte durch biconvexe oder convex-concave Linsen von wechselndem Krümmungsradius legte. Es stimmt diess durchaus damit überein, dass man auch in der Längsansicht der Muskelfaser, wie ich diess schon an einem anderen Orte hervorgehoben, die Kerne in verschiedenen Lagerungsverhältnissen (besonders charakteristisch in den Silberpräparaten) sieht, die überwiegende Zahl als der Längsaxe der Faser parallel gestellte stäbchenartige Bildungen, nicht wenige aber auch schräg, selbst quergestellt. Ein Mehreres aber aus den Bildern des Querschnittes für die Kerne abzuleiten und zu folgern, wage ich nicht; nur das Eine dürfte vielleicht nicht überflüssig sein, hervorzuheben, dass ich, genau wie bei der Längsansicht, auch auf dem Querschnitt zwar häufig Körner (Kernkörperchen) in den Kernen, nie aber im ganz normalen Muskel um dieselben, in den Verbreiterungen der Zwischensubstanz, gesehen habe, sowie dass die Kerne, bei der sorgfältigsten und anhaltendsten Beobachtung, weder bei der gewöhnlichen noch erhöhten Temperatur jemals irgend welche Formveränderung wahrnehmen lassen.

Soll ich zum Schluss noch die Angaben besprechen, die bisher in der Literatur über den Querschnitt der Muskelfaser beigebracht sind, so glaube ich, dass ich, ohne anmaassend zu sein, mich kurz fassen darf. Es ist eben, wie ich meine, die grössere Zuverlässigkeit der Methode, welche den mittelst ihrer gewonnenen Bildern den Vorzug verleiht vor denen, welche auf anderem Wege erhalten waren. Denn eben nur die lebende Muskelfaser zeigt auf dem Querschnitt das oben beschriebene Verhalten, und schon die

eingetretene Todtenstarre, die den Muskelinhalt, wie bekannt, trübe und viel undurchsichtiger macht, beeinträchtigt auf's Aeusserste die Schönheit und Klarheit des Bildes; auf dem Querschnitte der getrockneten Faser vollends und wieder aufgeweichten kann man alles Mögliche sehen, nur nicht die Mosaik des lebenden Muskels. Ich zweifle daher nicht im Geringsten an der Richtigkeit der Beobachtung und der Treue der Darstellung in den Angaben, welche so viele und so bewährte Autoren über den in Rede stehenden Gegenstand gemacht haben: ich behaupte eben nur, dass diese Bilder nicht die des lebenden Muskels sind *). Jene scharf contourirten Ringelchen, dunklen Punkte und Körnchen, welche Leydig **) und in noch grösserer Anzahl Kölliker ***) und Welcker †) in dem Querschnitt der Muskelfaser gesehen und wiedergegeben, nimmt man lediglich in den Fasern wahr, welche in mehr weniger vorgeschrittenem Grade die körnige und fettige Metamorphose erlitten haben: wobei ich mich übrigens ausdrücklich dagegen verwahren möchte, als wollte ich diesen Forschern eine Verwechselung der so veränderten Muskelfasern mit normalen unter-schieben.

*) In der mir bekannten Literatur wüsste ich nur eine Abbildung, die dem wirklichen Verhalten einigermaassen nahe kommt, nämlich die, welche Stefan in Taf. III. Fig. 4 v. Henle u. Pfeufer's Arch. Bd. X gegeben hat. Freilich entspricht diese Figur, die übrigens der Verf. mit grosser Lebhaftigkeit als sogenanntes Kunstprodukt behandelt, dem wirklichen Bilde des Querschnittes nur eben so sehr, wie es in der Längsansicht eine Darstellung thun würde, in der die Querstreifung durch Linien statt durch Zonen ausgedrückt wäre.

**) Leydig, Ueber Tastkörperchen und Muskelstructur. Müller's Arch. 1856.

**) Kölliker, Einige Bemerkungen über die Endigungen der Hautnerven und den Bau der Muskeln. Siebold's u. Kölliker's Zeitschr. Bd. VIII. 1836.

†) Welcker, Die kernähnlichen Gebilde der quergestreiften Muskelfaser etc. Henle u. Pfeufer Bd. X. 1861.

Erklärung der Abbildungen.

Tafel XIV.

Fig. 1. Querschnitt einer Muskelfaser von *Rana escul.*, frisch in Kochsalzlösung untersucht.

Fig. 2. Querschnitt einer Muskelfaser aus dem *M. psoas* vom Kaninchen, durch Silberlösung gefärbt. a Die Verbreiterungen der Zwischensubstanz mit den Muskelkernen.