

**Ueber die Natur der anisotropen Substanzen
des quergestreiften Muskels und ihre räumliche Vertheilung
im Muskelbündel.**

Von **Catherine Schipiloff** und **A. Danilevsky**.

(Der Redaktion zugegangen am 22. Juni 1881).

Wenn man dem Muskelbündel durch die von einem der Verfasser beschriebene Methode¹⁾, nämlich durch eine zur Sättigung des Myosins unzureichende Menge Salzsäure, alles Myosin entzieht und die gequollene Muskelmasse so lange mit destillirtem Wasser wäscht, bis die Säure fast entfernt ist, so erhält man nach dem Durchsiehen durch ein Sieb, gelatinös gequollene Partikelchen der Muskelbündel. Behandelt man diese auf dem Objectträger mit Alkohol oder mit Wasser, dem eine Spur Soda zugesetzt ist, so werden die sonst äusserst durchsichtigen Gebilde je nach der Grösse ihres Säureverlustes mehr und mehr sichtbar und geben dann einige sonst schwer zu beobachtende Besonderheiten der Muskelstructur zu erkennen.

Betrachtet man diese gequollenen Bündelchen in verschiedenen Stadien ihrer Behandlung mit der erwähnten Sodalösung, so wird man in unverkennbarer Weise von der Existenz der von W. Krause²⁾ angenommenen «Muskelkästchen» sofort überzeugt. Es ist kaum eine bessere Methode möglich, diese Gebilde klar und sicher anschaulich zu machen, als die eben erwähnte.

¹⁾ Diese Zeitschrift 1881, Bd. V, S. 158.

²⁾ W. Krause. Götting. Nachr. 1868 Nr. 17; Zeitschr. f. Biologie, Bd. V, S. 411; Pflügers Arch, Bd. VII, S 508..

Es war nicht unsere Absicht, die feinere Structur dieser Gebilde zu untersuchen, darum setzen wir die nähere Kenntniss dieses von W. Krause entdeckten Baues voraus. Krause's Methode beruht auch auf Säureeinwirkung, nur haben wir keinen Ueberschuss dieses Reagens angewandt, was bei Krause höchst wahrscheinlich geschah. Ueberlässt man die myosin-freien Bündel der Einwirkung einer im Verhältniss zur Sättigungscapacität des Myosins überschüssigen Salzsäuremenge, so findet man, gestützt auf Untersuchungen in verschiedenen Wirkungsstadien, dass die differenten Gebilde, welche die Muskelkästchen componiren, sich nicht in gleicher Weise gegenüber der Säure verhalten, sondern sich in drei gut unterscheidbare Substanzen eintheilen lassen.

- a) Die erste, welche die longitudinalen (in der Richtung der longitudinalen Muskelbündelaxe) Kästchenwände bildet, ist am leichtesten in der verdünnten Säure löslich; quillt zuvor stärker an und wird dadurch ohne Neutralisation der Säure am schwersten sichtbar.
- b) Die zweite ist gegen die Säure viel resistenter, sowohl in Bezug auf Quellung als auch in Bezug auf Löslichkeit, diese bildet die beiden Querswände eines jeden Kästchens.
- c) Die dritte Substanz bildet die Quermembran (Querlinie Krauses), diese wird nur durch sehr lang fortgesetzte Säurewirkung zerstört, eine Resistenz, welche schon Krause hervorhob. Die Zerstörung aber wird nicht von einer starken Quellung, wie dieses für a und b gilt, begleitet. Diese Substanz schien daher von vornherein nicht derselben Natur wie die eigentlichen Kästchenwände zu sein, was sich auch durch weitere Forschung bewährt hat. Vor ihrer Auflösung zeigt dieses Gebilde keinen gleichmässigen Bau, sondern lässt vermuthen, dass diese «Membran» (?) auch im normalen Zustande aus verschmolzenen Abtheilungen besteht. Uebrigens überlassen wir diese Frage den Histologen.

Die sogenannten Bowman'schen Discs, welche sich, wie bekannt, mit sehr verdünnter Salzsäure darstellen lassen, sind nichts weiter als eine den Bündelquerschnitt durch-

laufende doppelte Reihe von Kästchenquerwänden die in ihrer Mitte die Quermembran einschliesst. Sie entstehen nur dann, wenn ein Ueberschuss¹⁾ der Säure vorhanden war, welcher die am leichtesten löslichen Längswandungen zerstört hat. Man kann diesen Process sehr schön verfolgen.

Myosin, das durch die zuerst angewandte Salzsäure entfernt wird, bildet neben andern Substanzen den Inhalt der Krause'schen Kästchen. Behandelt man unter dem Mikroscope ein Muskelbündel mit höchst verdünnter (0,01 %) Salzsäure und setzt nach dem Aufquellen eine ebenso verdünnte Sodaauslösung hinzu, so bilden sich im Innern des Bündels, sowie in der Umgebung feinkörnige Niederschläge. Myosin füllt aber den Kästchenraum nicht allein aus, denn der Kästcheninhalt ist nicht homogen. Es ist bekannt, dass das lebende, eben so wie das abgestorbene und sogar mit gewissen Agentien behandelte Muskelbündel oder vielmehr derjenige Theil desselben, welcher dem Krause'schen Kästchen entspricht, nicht nur im gewöhnlichen sondern auch im polarisirten Lichte als aus ungleichen Partien oder Substanzen zusammengesetzt erkannt wird. Weiterhin ist auch bekannt, dass das Bündel nach der Behandlung mit viel Wasser dieselbe Doppelbrechung zeigt, wie vorher, was die Verfasser bestätigen können. Man müsste daraus schon schliessen, dass die doppelbrechenden Substanzen durch Wasser dem Bündel nicht entzogen werden. Da aber nicht nur Myosin sondern auch andere Partien in dem gewaschenen Bündel zurückbleiben, so ist die doppelbrechende Eigenschaft nicht sofort und allein dem Myosin zuzuschreiben.

Hält man sich der Bequemlichkeit halber an das in Hermann's Handbuch der Physiologie²⁾ gegebene Schema und berücksichtigt man das oben Gesagte, so sieht man ein, dass die Doppelbrechung auch den nach vollständiger Entfernung des Myosins hinterbleibenden Kästchenwandungen zuertheilt werden muss, da die oben erwähnten Querwände welche ja die Nebenscheibe der Autoren vorstellen, schwach

¹⁾ Im oben bezeichnetem Sinne.

²⁾ L. Hermann's Handbuch der Physiologie, Bd. I, Th. I, S. 21

anisotrop sein sollen. Die Quermembran ist nach Krause auch doppelbrechend, was auch von anderen Forschern bestätigt wurde¹⁾. Wir haben uns darum die Frage gestellt, welcher Natur diejenigen Stoffe sind, welche dem myosinhaltenen und myosinfreien Muskelbündel seine doppelbrechenden Eigenschaften ertheilen. Im Laufe unserer Versuche haben wir uns begnügt, bloss die Anwesenheit oder die Abwesenheit der Doppelbrechung zu constatiren, ohne auf ihren optischen Character näher einzugehen. Wir fangen die Mittheilung unserer Versuche mit dem myosinfreien Muskelbündel an.

Das durch eine Spur Säure stark gequollene myosinfreie Bündel zeigt keine Spur Doppelbrechung.

Das völlig säurefreie oder durch Alkohol- oder Soda-Zusatz sehr wenig zusammengezogene myosinfreie Bündelchen zeigt eine sichere, aber ganz schwache Doppelbrechung. Stärkeres Schrumpfen verstärkt die Doppelbrechung nur wenig, was durch Alkohol, Glycerin oder concentrirte Tanninlösung hergestellt werden kann.

Das mit Wasser gewaschene, aber noch myosinhaltige Muskelbündel zeigt ziemlich starke Doppelbrechung besonders nach Alkoholzusatz und Entfernung des überschüssigen Wassers. Man müsste daraus schliessen, dass der grösste Theil der Doppelbrechung von dem leicht entfernbaren Myosin herrührt. Sollte vielleicht die übrige Doppelbrechung auch von einer Myosinart, welche nicht so leicht dem Bündel entzogen werden kann und welche das Kästchensystem aufbauen hilft, abhängen?

Folgende Thatsachen antworten auf diese Fragen negativ.

Man nehme ganz mageres Fleisch, entferne sorgfältig das Bindegewebe, Fett und die Nervenstämmchen, zerkleinere fein, wasche vollständig mit Wasser aus und seihe durch ein Sieb, dessen Maschen ungefähr die Grösse eines Quadrat-Millimeters besitzen. Die durchgegangene Masse wird nach der angegebenen Methode¹⁾ mit ungenügender Menge Salzsäure in viel Wasser behandelt und hinterher mit Wasser vollständig von der salzsauren Myosinlösung befreit. Man

¹⁾ Krause. Pflügers Archiv, Bd. 7, S. 508, 509.

²⁾ Diese Zeitschrift, 1881, Bd. V, S. 158.

erhält auf diese Weise das Kästchensystem des Bündels mit einer Beimischung anderer Gewebe, wie Gefässe und Nerven. Der bei weitem grössere Theil der Masse wird aber durch die Muskelbündel selbst repräsentirt. Wäre in diesem schwach doppelbrechendem Bündelrest noch schwerlösliches Myosin vorhanden, so müssten sich in ihm wenigstens einige der charakteristischen Myosineigenschaften wiederfinden. Reines Myosin¹⁾ hinterlässt eine schwach alkalische Asche, welches freies Calciumoxyd enthält. Ein Theil des Calciums ist im Myosin an organische Atomgruppen gebunden. Verbrennt man aber die myosinfreie Bündelmasse und glüht stark die Asche, so liefert sie mit wenig Wasser aufgeköcht eine saure Lösung, die nicht nur Lakmus röthet, sondern sogar Tropäolin OO so verändert, wie es nur durch freie Mineralsäuren geschieht. Diese wässrige Lösung enthält in der That eine verhältnissmässig grosse Menge Phosphorsäure. Der in Wasser unlösliche Aschenthail löst sich in verdünnter Salpetersäure oder Salzsäure auf und besteht aus Calcium, Magnesium und wiederum Phosphorsäure. Die Substanz enthält also eine grosse Menge an organische Atomgruppen gebundene Phosphorsäure. Dieses Verhältniss erinnert sogleich an Lecithin, welches ja als solches von Diaconow²⁾ und in seinem Zersetzungsproduct — der Glycerinphosphorsäure — von Valenciennes und Fremy³⁾ als Bestandtheil des Muskels aufgefunden wurde.

In der That zieht warmer Alkohol oder besser Aetheralkohol aus den völlig myosin- und säurefreien Muskelbündeln eine verhältnissmässig sehr grosse Menge eines fettähnlichen Körpers aus, welcher sich nach dem Verhalten gegen heisse Kalilauge (Entwicklung stark alkalischer Dämpfe), nach seinem grossen Phosphorsäuregehalt, nach der Zersetzlichkeit (Bräunung) beim Erhitzen als Lecithin kennzeichnet. Erschöpft man die Muskelmasse möglichst vollständig mit warmen Aetheralkohol, so liefert die rückständige Substanz beim Veraschen nur noch Spuren von freier Phosphorsäure, aber

1) Diese Zeitschrift, 1881, Bd. V, S. 158.

2) Centralblatt für die medicinischen Wissenschaften 1867, S. 674.

3) L. Hermann's Handbuch der Physiologie, Bd. I, S. 276.

viel mehr von derselben in Verbindung mit Calcium und Magnesium. Man kann also annehmen, dass sämtliche in der Asche frei erscheinende Phosphorsäure in dem myosinfreien Muskelbündel als Lecithin vorhanden ist. Unser Befund dient nicht nur zur Bestätigung der Behauptungen der oben genannten Autoren, sondern auch zum Nachweis, dass Lecithin nicht im Inhalte, sondern an den Wandungen der Krause'schen Kästchen seinen Sitz hat.

Den Einwurf, dass das Lecithin des mit Wasser und Säure ausgelaugten Muskels aus den Nerven stamme, können wir dadurch widerlegen, dass die Hauptmasse des auf die beschriebene Weise dargestellten Lecithin unmöglich aus dieser Quelle seinen Ursprung nehmen kann. Wir haben nämlich aus 700 gr. Fleisch, aus welchem Fett und Nerven sorgfältig entfernt waren, einmal 1,5 gr. ein andermal bis 2,0 gr. Lecithin¹⁾, darstellen können.

Es war schon erwähnt, dass das mit Wasser ausgewaschene aber myosinhaltige Muskelbündel starke Doppelbrechung zeigt, dass aber das myosinfreie, aber noch lecithinhaltige Bündel nur schwach doppelbrechend ist.

Wird aber Lecithin durch Aetheralkohol bei 40° entfernt, so bleibt die Doppelbrechung, wenn auch die Substanz compacter geworden ist, vollständig aus.

Die Entfernung des Lecithins bewirkt noch eine andere wichtige Veränderung im Bündel. Es verliert nämlich seine Querstreifung und seinen Kästchenbau und ist dann nichts mehr als ein die Bündelform behaltendes Aggregat von rundlich-ovalen, grossen, ziemlich stark lichtbrechenden Körnern. Je mehr Lecithin extrahirt ist, desto mehr Bündelchen trifft man mit dieser körnigen Beschaffenheit. Die doppelbrechende Eigenschaft ist nur an denjenigen Bündelchen, welche noch die Querstreifen zeigen, bemerkbar; niemals aber an diesen körnigen, desorganisirten Muskelstückchen.

Behandelt man die myosinfreien Bündel statt mit Aetheralkohol nur mit Alkohol oder 60% Weingeist, und wird die Mischung behufs der Lecithinextraction einige Stunden im

¹⁾ Vielleicht nicht ganz fettfrei.

Sieden erhalten, so geht mit dem Lecithin auch die Doppelbrechung und die Organisation verloren, aber die Bündel sind durch Wirkung der Wärme stark geschrumpft und müssen für die Untersuchung in höchst verdünnter Soda-lösung langsam aufquellen.

Sogar blosses Erhitzen des myosinfreien Bündels in zugeschmolzenem Rohr, mit Wasser auf 100° während einer Stunde, wodurch ein Theil des Lecithins zerstört wird, ruft auch in vielen Bündeln die körnige Beschaffenheit hervor, indem es ihre Organisation zerstört.

Daraus ergibt sich, dass diejenigen Agentien, welche wohl das Lecithin, nicht aber die eiweissartigen Stoffe lösen, auch die Organisation des Kästchenbaues zerstören und einen Zerfall ihrer Wandungen in regelmässig gestaltete, grosse Körner bewirken. Die Dimensionen dieser Körner sind kaum grösser als die Dimensionen der Kästchen selbst. Das Lecithin ist also kein bedeutungsloser Bestandtheil des Bündels, sondern zusammen mit einer in verdünnter Salzsäure schwer löslichen Eiweissart dient es zum Aufbau der das Bündel zusammensetzenden Fächer oder Kästchen.

Ausserdem muss aus dem Angeführten geschlossen werden, dass die Doppelbrechung des myosinfreien Bündels lediglich vom Lecithin abhängt, denn der Eiweissrest des Bündels zeigt keine Spur Doppelbrechung. Diese Behauptung wird dadurch bekräftigt, dass Lecithin aus Eidotter, so wie auch das bräunliche von uns aus Muskeln extrahirte Lecithin nach dem Verdampfen des Aethers, sei es krystallisirt, sei es amorph, sehr stark doppelbrechend ist.

Die oben über Lecithin und seine Rolle im Muskelbündel angeführten Thatsachen dienen zur Aufklärung einer längst bekannten Erscheinung, welche man an Muskelbündeln beobachtete. Man weiss nämlich, dass ein solches durch Einwirkung verschiedener Agentien in doppelter Art in feinere Theile zerlegt werden kann. Eine Gruppe von Reagentien zerlegen das Bündel in sogenannte Discs, die andere Gruppe zerspaltet es in Fibrillen. Betrachtet man beide Agentien-

gruppen in ihren Verhältnissen zu denjenigen zwei Hauptbestandtheilen des Bündels, welche seine Fächer oder Kästchen bilden, d. h. zu der schwerlöslichen Eiweissart und zum Lecithin, so findet man, dass alle diejenigen Agentien, die Lecithin mehr oder weniger leicht auflösen können, (Alkohol, Aetheralkohol) oder es leicht zerstören (verdünnte Chromsäure) das Muskelbündel in Fibrillen spalten, dass dagegen diejenigen Substanzen, welche mehr Neigung haben die Eiweissstoffe aufzulösen (sehr verdünnte Säuren, verdünnte Sodalösung, Magensaft etc.) das Bündel in die Discs zerlegen. Im letzteren Falle werden, wie schon oben bemerkt wurde, die longitudinalen Kästchenwände sammt Myosin aufgelöst, die Kästchenquerwände aber eines und desselben Bündelquerschnitts bleiben im Zusammenhange und ein Paar derselben durch die Querlinie Krause's geschieden, bilden den Disc. Im ersteren Falle dagegen bleiben die longitudinalen Kästchenwände intact, es wird aber das Lecithin des Discs entfernt und dadurch die Kästchenquerwände eines Bündelquerschnitts von einander losgetrennt. Da durch die erste Agentiengruppe zugleich mit der Auflösung des Lecithins die Eiweissstoffe stark coagulirt und resistenter gemacht werden, so muss der Inhalt im festen Zusammenhange mit den Kästchenwänden bleiben. Diese beiden Wirkungen, die Lostrennung der Querwände in der Richtung des Bündelquerschnittes und die grössere Resistenz in der longitudinalen Reihe der Kästchen muss zum Zerfall in Fibrillen führen.

Diese Erklärung führt aber zu der Voraussetzung, dass das Lecithin, wenn es wirklich eine Art Kittsubstanz im Bündel darstellt, (im anatomischen Sinne) nicht gleichmässig im myosinfreien Bündel vertheilt sein kann, sondern stellenweise angehäuft sein muss, dass demgemäss, laut oben gezogenem Schluss auch die Doppelbrechung eines solchen Bündels ungleichartig über seine feinere Partien vertheilt sein muss. Leider konnten wir wegen Mangel an sehr starken Vergrösserungen, welche hier unbedingt nothwendig sind, diese Frage nicht zur einer sicheren Entscheidung bringen.

Es war oben erwähnt, dass das mit Wasser gewaschene

aber noch myosinhaltige Muskelbündel bei Weitem stärkere Doppelbrechung zeigt, als das mit Salzsäure behandelte. Es war daraus zu schliessen, dass entweder Myosin selbst oder eine andere mit ihm zusammen verschwindende Substanz die Ursache dieser Erscheinung ist. Allein in dem salzsauren Auszug des gewaschenen Muskelbreies findet man neben Myosin keine anderen Substanzen. Um aber die Sicherheit zu gewinnen, dass eben Myosin die starke Doppelbrechung bedingt, musste man diese letztere Erscheinung am isolirten Myosin nachweisen. Dies ist uns auch in folgenden Versuchen gelungen.

Zuerst haben wir uns überzeugt, dass sehr concentrirte, dickliche Myosinlösungen (in Salzsäure oder in Salmiak) in Tropfenform oder in einer bis 8 mm. hohen Schicht keine sicher nachweisbare Doppelbrechung erzeugen. Dies stimmt mit der bekannten Erfahrung überein, nach welcher durch Säure oder Alkali stark gequollene Muskelbündel ihre Doppelbrechung einbüßen.¹⁾ Es war daraus klar, dass im doppelbrechenden Muskelbündel Myosin weder stark gequollen, noch gelöst zugegen ist. Jedenfalls aber muss es sich dort stark mit Wasser, oder wässerigen Salzlösungen imprägnirt vorfinden. Wir haben uns also bemüht, das isolirte Myosin in einem analogen Zustand überzuführen.

Wird auf einem Objectträger ein Tropfen einer möglichst concentrirten ein oder mehrere Male filtrirten salzsauren Myosinlösung (welche mit zur Sättigung ungenügender Menge Salzsäure dargestellt ist) sehr vorsichtig eingetrocknet, so erhält man einen durchsichtigen, muscheligen Fleck, welchem man verschiedene Dicke geben kann. Dieser Myosinfleck zeigt nun sehr schöne Doppelbrechung, mag er im ganz trockenen oder durch Hauchen feucht gemachten oder durch wenig Wasser zur Gelatine gequollenen Zustande mit dem Polarisationsapparate untersucht werden.

Wird eine salzsaure Myosinlösung durch Sodazusatz neutralisirt und der Niederschlag durch einen minimalen

¹⁾ Valentin. Die Untersuchung der Pflanzen- und Thiergewebe in polarisirtem Lichte, 1861, S. 278.

Ueberschuss des Alkali wieder gelöst und wird mit dieser frischen alkalischen Lösung ein trockener Fleck wie oben erzeugt, so findet man ihn trocken oder feucht, auch doppelbrechend.

Wird Myosin durch vorsichtige Neutralisation seiner sauren Lösung gefällt, durch Fliesspapier rasch vom meisten Wasser befreit, so zeigt der Niederschlag sicher nachweisbare, wenn auch schwache Doppelbrechung. Je mehr Wasser dem Niederschlage durch Fliesspapier oder durch Alkoholzusatz entzogen wird, desto stärker wird die Doppelbrechung.

Aus seiner Salmiaklösung wird Myosin durch äusserst wenig Säure in grossen durchscheinenden Klumpen ausgeschieden. Dieser Niederschlag ist unter denselben Bedingungen sogar etwas stärker doppelbrechend als der in salzsaurer Lösung erzeugte.

Dieselben Eigenschaften besitzt das durch Alkohol aus Salmiaklösung ausgeschiedene Myosin, nachdem es, wie oben erwähnt, mit Wasser mehrere Male rasch nach einander abgespült war.

Der Controle wegen haben wir vollkommen dieselben Versuche mit sauren und alkalischen Lösungen von Serumalbumin, Eieralbumin und Casein ausgeführt, aber unter keiner Bedingung konnten wir in den trockenen, feuchten und nassen Körpern eine Spur Doppelbrechung auffinden. (Eine Ausnahme macht eine dicke, scharf getrocknete Schicht dieser Stoffe, welche stellenweise, besonders an Rissen Doppelbrechung zeigt, doch ist dieser Sachverhalt für unsere Frage nicht massgebend). Die Doppelbrechung ist für Myosin so charakteristisch, dass man zwischen vielen Trockenflecken oder feuchten Niederschlägen die dem Myosin angehörigen sofort erkennen kann.

Die angeführten Beobachtungen zwingen zu der Annahme, dass die Doppelbrechung des mit Wasser ausgewaschenen, aber myosinhaltigen Muskelbündels (resp. des Kästcheninhaltes) von Myosin herrührt. Mit diesem Ergebniss unserer Versuche sind eigentlich die Hauptfragen über die Natur der anisotropen Substanzen des Muskel-

bündels, sowie auch ihre räumliche Vertheilung genügend beantwortet, denn es bleibt nichts übrig als anzunehmen, dass die die Mitte der Muskelfächer einnehmenden, von den Histologen schon lange als stark doppelbrechend angesprochenen Querscheiben, Myosinlager darstellen. Man könnte sie am besten als Myosinscheibchen des Faches oder des Kästchens bezeichnen.

Allein wir haben in unseren Bestrebungen die Natur der anisotropen Substanzen des Muskels besser zu erkennen, einen Schritt weiter gemacht und wir wollen auch diese nicht uninteressanten Beobachtungen hier niederlegen.

Wird gut mit Wasser ausgewaschener Muskelbrei behufs der Myosinextraction mit ungenügender Salzsäuremenge oder mit Salmiak bearbeitet, so quellen sofort die Muskelstückchen auf, werden durchsichtig und bilden durch Verklebung ein zusammenhängendes Magma, über dem sich eine dickliche trübe Flüssigkeit ansammelt. Bringt man die ganze Mischung auf ein Filter aus dickem Filtrirpapier, so läuft (abgesehen von den ersten Paar Cubiccentimetern, welche man auf's Filter zurückgiesst) eine schwach trübe, (salzsaure Lösung) oder stark opalescirende (Salmiaklösung) Flüssigkeit durch. Giesst man den grössten Theil des Filtrats auf's Filter zurück, so bemerkt man, dass die trübe Flüssigkeit, je öfter sie die zusammengeklebte, gequollene Masse passiren muss, desto klarer und dünnflüssiger wird. Alle Lösungen aber enthalten nichts als Myosin. Ja wenn man das zuerst erhaltene trübe Filtrat für sich durch sehr dichtes Filtrirpapier vielmal durchgehen lässt, so beobachtet man dieselbe Erscheinung. Man kann also sagen, dass ein Theil des Myosins aus den erwähnten Lösungen sich allmählig in den Poren des Papiers absetzt und sie verstopft. Dieses kann aber nur bei einem Körper, der sich nicht in wahrer Lösung, sondern in suspendirtem Zustande in der Flüssigkeit vorfindet, der Fall sein. Beachten wir ferner noch, dass je klarer und dünnflüssiger die salzsaure Myosinlösung durch wiederholte Filtration geworden ist, desto schwächer die Doppelbrechung wird, welche ihre Trockenflecken und Ausscheidungen erzeugt, so

sehen wir, dass hauptsächlich die vom Papier abgehaltenen feinen Myosinpartikelchen es sind, welche die Doppelbrechung bedingen.

Sehr unerwartet war für uns folgender Befund: Myosin, welches durch gelindes ($40-50^{\circ}$) Erwärmen mit einem gegenüber seiner Sättigungscapazität schwachen Ueberschuss von verdünnter Salzsäure, vollständig in Syntonin übergeführt ward, zeigte seine Doppelbrechung unter denselben Bedingungen wie vorher. Eine solche salzsaure Syntoninlösung ist nur wenig klarer als die ursprüngliche Myosinlösung. Auch sie wird durch öfteres Filtriren durch dasselbe Stück dichten Filtrirpapier klarer, dünnflüssiger und schwächer doppelbrechend.

Erhitzt man dagegen Myosin oder Syntonin, welche gute Doppelbrechung zeigten mit stärkerer (etwa 2%) Salzsäure oder mit nur einem kleinen Säureüberschuss, aber mit viel Wasser, längere Zeit auf $70-90^{\circ}$, so beobachtet man, dass die Lösungen sich klären und die Substanz ihre Doppelbrechung allmählig ganz und gar verliert. Solche optisch inactiven Syntoninlösungen sind wahre Lösungen und zeigen nach oftmaligen Filtriren stets dieselbe Concentration, obwohl sie auch ganz schwache Opalescenz aufweisen. Durch diese Behandlung werden also die vermutheten Myosin- (und auch die optisch-activen Syntonin-) Partikelchen zerstört und in wahre Lösung übergeführt. Das was die Salzsäure im Ueberschuss und in der Hitze ziemlich schnell herbeiführt, wird höchst wahrscheinlich von nicht überschüssiger Salzsäure auch in der Kälte, aber nur zum kleinen Theil und unvollständig bewirkt. Darin muss wahrscheinlich die Thatsache, dass Myosin aus der Salmiaklösung stärkere Doppelbrechung zeigt als aus sauren Lösungen, ihre Erklärung finden. Zu allem dem muss aber die wichtige Bemerkung hinzugefügt werden, dass der chemische Character des Syntonins nach dem Verlust seiner Doppelbrechung und seinem Uebergang in wahre Lösung nicht verändert wird.

Man muss daraus schliessen, dass in beiden optisch

verschiedenen Zuständen Syntonin chemisch gleich, physikalisch aber verschieden gestaltet ist. Wir konnten kein Mittel finden durch welches man dem Myosin unter Erhaltung seines chemischen Charakters, seine Doppelbrechung nehmen könnte, doch werden weiter unten Versuche, welche dieses Resultat auf einem Umwege erreichten, angeführt werden. Wir können also jetzt gleich die Behauptung aufstellen, dass Myosin und Syntonin in zwei physikalisch verschiedenen Zuständen existiren können: erstens in äusserst feinen, mit dem Mikroscope unsichtbaren Partikelchen und zugleich doppelbrechend, zweitens ohne diese beiden Eigenschaften.

Ist die Doppelbrechung im Allgemeinen die Function eines krystalloiden Zustandes, was doch für die meisten Fälle richtig sein muss, so wird man durch die hier niedergelegten Beobachtungen zu der höchst wahrscheinlichen Annahme geführt, dass die doppelbrechenden Myosin- und Syntoninmodificationen in krystalloiden Partikelchen existiren. Da die Myosinscheibchen (Querscheibe) des Muskelfaches doppelbrechend sind, so muss man den krystalloiden Zustand auch für das Myosin des Muskelbündels annehmen.

Sehr bemerkenswerth ist die Thatsache, dass Myosin in Syntonin übergehen kann unter Beibehaltung seiner Doppelbrechung, d. h. seiner krystalloiden Gestalt. Das beweist nur, dass diese krystalloide Gestalt nicht in jeder Hinsicht den gewöhnlichen festen Krystallen analog ist. Unter Erhaltung ihrer krystalloiden Gestalt müssen die Myosinpartikelchen so weit nachgiebig und mit Wasser imprägnirt (Krystallisationswasser?) sein, dass dadurch eine leichte Atomverschiebung in einzelnen Molecülen des Krystalloids ermöglicht ist.

Die oben erwähnte Beobachtung, nach welcher frische möglichst concentrirte Myosin- und Syntoninlösungen keine Doppelbrechung selbst in dicken Schichten zeigen, steht in scheinbaren Widerspruche mit den eben erzielten Resultaten über den krystalloiden Zustand dieser Stoffe. Dieser Wider-

spruch ist aber wahrscheinlich so zu erklären, dass in einer Lösung die krystalloiden Partikelchen so verschiedenartig gelagert oder sich gegenseitig bewegen, dass sie niemals in der Schrichtung des Auges in optisch gleichsinniger Lagerung zu stehen kommen und dadurch ihre optischen Effecte gegenseitig neutralisiren. Dagegen beim Eintrocknen ihrer Lösungen oder bei Ausscheidung aus dieser Lösung verschmelzen die Partikelchen in den Niederschlägen unter Behaltung gleicher Axenrichtungen, wodurch der optische Effect des krystalloiden Zustandes zum Vorschein kommen kann. Dieselbe optisch gleichsinnige Lagerung müssen die krystalloiden Myosinpartikelchen auch im Muskelbündel im Verhältniss zu der Muskelbündelaxe einnehmen.

Unsere Ansicht über den Myosinzustand im Muskelbündel ist wie man sieht, eine mehr thatsächliche Entwicklung der Brücke'schen Hypothese über die Existenz der doppelbrechenden Elemente oder Disdiaklasten¹⁾.

Es war von Interesse zu erfahren, ob durch irgend welche Mittel Myosin dazu gebracht werden kann, dass es als chemischer Körper unverändert fortbestehen kann ohne den krystalloiden Zustand (resp. Doppelbrechung) zu zeigen. Zur Entscheidung dieser Frage haben wir folgende Gruppe von Versuchen angestellt.

Eine salzsaure Myosinlösung wurde in drei Theile geschieden. Der erste Theil hat nach Ausweis der Tropäolinreaktion einen ganz kleinen Säureüberschuss erhalten und wurde durch gelindes Erhitzen vollständig in doppelbrechendes Syntonin verwandelt.

Der zweite Theil wurde mit viel Wasser und einem grösseren Ueberschuss der Salzsäure so lange auf dem Wasserbade stark erhitzt, bis ein Trockenfleck und das Neutralisationspräcipitat einer Probe dieser Flüssigkeit keine Doppelbrechung mehr zeigte, die Lösung aber alle Syntoninreactionen gab. Es war auf diese Weise ein einfach brechendes Syntonin dargestellt. Aus beiden Syntoninarten wurde nach der in

¹⁾ E. Brücke. Untersuchungen über den Bau der Muskelfaser mit Hilfe des polarisirten Lichtes, Wien 1858.

dieser Zeitschrift angegebenen Methode¹⁾ Myosin regenerirt und auf sein optisches Verhalten wie oben untersucht.

Aus mehreren Versuchen ergab sich, 1) dass aus doppelbrechendem Syntonin Myosin leichter und vollständiger regenerirt wird und das Produkt auch doppelbrechend ist; 2) dass das einfachbrechende Syntonin unvollständiger in Myosin übergeführt wird und das entstandene Product keine Doppelbrechung zeigt. Das letzterhaltene Myosin zeigt alle chemischen Haupteigenschaften des Myosins. Man kann also sagen, dass dieser letzte Körper wie Syntonin auch in zwei physikalisch verschiedenen Modificationen existiren kann.

Wir haben bis jetzt die doppelbrechende Eigenschaft des Myosins studirt, so lange es Myosin oder Syntonin bleibt. Myosin kann aber noch einer chemischen Umwandlung unterliegen, in Folge deren es weder Myosin- noch Syntonin ist, sondern einen in sehr verdünnten Säuren, Salzen und selbst Alkalien wenig löslichen Körper vorstellt. Diese Veränderungen werden am besten durch Erhitzen oder durch Behandlung der Myosinsalmiaklösung mit viel Wasser hervorgerufen.²⁾ Dieses wenig lösliche Umwandlungsproduct zeigt keine Spur einer Doppelbrechung.

Die beobachtete doppelbrechende Eigenschaft des Myosins ist bis jetzt von uns als Product der Organisation aufgefunden worden. Ob man die einfachbrechende Myosinmodification durch irgend welche Mittel in den krystalloiden, doppelbrechenden Zustand wird überführen können, diese Frage bleibt den künftigen Forschungen überlassen.

Die doppelbrechenden Myosin- und auch Syntoninmodificationen werden aus ihren Lösungen in Form klumpen-

¹⁾ Loc. cit.

²⁾ Dieser Körper, welchen ich oberflächlich schon beschrieben habe, (diese Zeitschrift 1881, Bd. V, S. 158) hat im Laufe dieser Untersuchung deswegen meine Aufmerksamkeit auf sich gezogen, weil seine chemischen und physikalischen Eigenschaften denen des Eiweissstoffes der Kästchenwandungen sehr ähnlich sind. Er ist darum von mir einem eingehenderen Studium unterzogen worden, worüber ich besonders berichten werde.

artiger, mehr oder weniger durchscheinender, ziemlich grosser Massen gefällt. Ja sogar die aus verdünnteren Lösungen ausgefallten Flöckchen zeigen die Neigung grosse zusammenhängende Flocken zu bilden. Dagegen scheiden sich die einfachbrechenden Modificationen dieser Körper stets in kleinen, nicht durchscheinenden, mattweisen Flocken aus.

Die Salmiaklösung des Myosins (doppelbrechend) ist stets nicht nur opalescirend, sondern auch ziemlich fluorescirend wovon man sich leicht mittelst eines Nicols überzeugen kann. In der salzsauren Myosinlösung ist die Fluorescenz bedeutend schwächer ausgesprochen, vielleicht deshalb, weil die krystalloiden Myosinpartikelchen in saurer Lösung sich in einem etwas gequollenen Zustand befinden. Dasselbe gilt auch für eine saure Syntoninlösung. Die einfachbrechenden Modificationen beider Körper zeigen zwar Opalescenz, aber nur Spuren von Fluorescenz.

Fassen wir die Ergebnisse unserer Beobachtungen zusammen, so halten wir uns für berechtigt, Folgendes behaupten zu können:

I. Wir bestätigen im Allgemeinen die Angabe von W. Krause, dass das Muskelbündel ein festeres Gerüst, welches als Kästchensystem erscheinen kann, enthält.

II. Dieses isolirte Kästchensystem ist schwach doppelbrechend. Die Doppelbrechung hängt lediglich vom Lecithin ab.

III. Das Lecithin ist an der Organisation dieses Kästchensystems so weit betheilig, dass ohne seine Gegenwart diese Organisation zu Grunde geht und das Eiweisssubstrat der Kästchenwandungen wie einzelne Grundsteine eines Gebäudes zum Vorschein kommen.

IV. Die anisotrope Substanz des Kästcheninhaltes besteht aus Myosin, welches die beiden Querscheiben (Myosinscheiben) bildet.

V. Die doppelbrechende Eigenschaft dieser Myosinscheiben hängt von einem krystalloiden Zustand des Myosins, in welchem eine gewisse Zahl seiner Moleküle zusammengelagert sind, ab.

VI. Myosin geht in Lösung über und kann sogar manche chemische und physikalische Veränderungen erleiden (Verwandlung in Syntonin, Ausscheidung, Wiederlösung etc.) ohne diese krystalloide Gestalt zu verlieren.¹⁾

VII. Die von E. Brücke hypothetisch angenommenen doppelbrechenden Elemente — Disdiaklasten — finden in unseren krystalloiden Myosinpartikelchen ihre thatsächliche Grundlage.

¹⁾ Diese elastischen, mit Wasser mehr oder weniger imprägnirten, ihre Form hartnäckig behaltenden, für Atomverschiebung in den Molekülen, also für chemische Reactionen im Innern zugänglichen Myosinpartikelchen sind bis jetzt die einzigen Objecte, welche geeignet sind als Repräsentanten der von C. von Nägeli (Theorie der Gährung, München 1879) hypothetisch angenommenen «Micellen» zu dienen. D.

Genf, im Juni 1881.