(Aus dem physiologischen Institut der Universität Leipzig.)

Zur Kenntniss des „polaren Versagens“ der elektrischen Muskeleerregung.

Von

F. S. Locke und **Z. Szymanowski.**

Biedermann¹⁾ und Engelmann und van Loon²⁾ entdeckten unabhängig von einander, dass die Abtödtung des curarisirten Froschsartorius an einem Ende ihn unfähig macht, auf die Schliessung des constanten Stromes zu reagiren, wenn die physiologische Kathode sich an der Verletzungsstelle befindet. Biedermann fand weiter, dass auch die Oeffnung des constanten Stromes wirkungslos ist, wenn die physiologische Anode an der verletzten Stelle liegt. Nach Engelmann und van Loon sollte in diesem Falle umgekehrt die Oeffnungserregung begünstigt werden. Biedermann ist es später gelungen, die Erklärung dieses Widerspruchs zu finden und endgültig festzustellen, dass die Oeffnungswirkung der Anode durch eine locale Verletzung aufgehoben wird³⁾.

Wie es zu erklären ist, dass ein regelmässig gebauter monomerer Muskel sich so gegen die Längsdurchströmung mit dem constanten Strome verhält, darüber sind die Acten noch nicht geschlossen. Biedermann und auch Engelmann und van Loon schrieben diesen Effect der Unerregbarkeit der absterbenden Muskelsubstanz in der unmittelbaren Nähe der abgetödteten Substanz zu, welche selbst bloss als indifferenter Leiter fungirt.

Einen Beweis für diese Auffassung suchte Biedermann zu führen durch die Anwendung von Kalisalzen, welche die Muskel-

1) W. Biedermann, Sitzungsbericht der Wiener Akademie 1879 Bd. 80 (3), S. 367.

2) J. W. van Loon van Iterson, Over den invloed van plaatselijke belediging op de electriche prikkelbaarheid van hart en gewone spieren. Proefschrift. Utrecht 1881. Th. W. Engelmann, Dieses Archiv 1881 Bd. 26 S. 97.

3) W. Biedermann, Sitzungsber. d. Wiener Akad. 1882 Bd. 85 (3) S. 144.

erregbarkeit herabsetzen. Wenn man einen curarisirten Froschsartorius an einem Ende mit der Lösung eines Kalisalzes behandelt, so beobachtet man gleichfalls ein Ausbleiben resp. eine Abnahme der betreffenden polaren Erregung; ein nachträgliches Auswaschen des Giftes mit physiologischer Kochsalzlösung restituirt die normale Beschaffenheit des Muskelendes und somit die normale Erregbarkeit des Muskels durch den Strom. Eine analoge Erscheinung beobachtete Biedermann, wenn er auf einen Sartorius, der an einem Ende abgetödtet war, an dieser Stelle erregbarkeitsteigernde Mittel wirken liess, wie Lösungen von Na_2CO_3 , Na_2SO_4 , Veratrin. Der Muskel, welcher gegen Schliessung admortueller Ströme vorher vollständig unerregbar war, reagierte jetzt normalerweise, dank (nach Biedermann) der genügenden Erhöhung der Erregbarkeit durch das angewandte Mittel in der Nähe des Querschnitts. Bernstein und Leicher konnten dies hingegen nicht beobachten und vermutheten daher, dass in den Fällen, wo eine Wiederkehr der betreffenden polaren Erregung beim local abgetödteten Muskel vorkam, dies dadurch zu erklären wäre, „dass durch anhängende Reste von Flüssigkeit die Stromfäden einen unregelmässigen Verlauf erhalten hätten“¹⁾.

Neben einer localen Herabsetzung der Muskelerregbarkeit bleibt noch ein anderer Factor, der als Erklärungsgrund für unsere Erscheinung herbeigezogen werden kann, nämlich der durch die Verletzung resp. die locale Behandlung mit Kalisalzen erzeugte Alterationsstrom. Auf dieses Erklärungsmoment hat besonders Hermann Gewicht gelegt, der auch die bequeme Bezeichnung des „polaren Versagens“ für diese Erscheinung einführte²⁾. Freilich hatte schon Biedermann gezeigt, dass das Versagen nicht genügend erklärt werden kann durch eine algebraische Summirung des Reizstromes mit dem Zweige des Demarcationsstromes, welcher sich in den Reizkreis ergiesst, was unter Anderem bewiesen wird durch die einfache Thatsache, dass ein an beiden Enden abgetödteter Sartorius unerregbar für beide Stromesrichtungen ist³⁾; Hermann lenkte aber die

1) J. Bernstein, Untersuchungen aus dem physiol. Institut der Universität Halle, Heft 1 S. 41. Halle 1888.

2) L. Hermann, Dieses Archiv 1889 Bd. 45 S. 593. Vergl. auch sein Lehrbuch der Physiologie, 12. Aufl. S. 378. Berlin 1900.

3) Mehrere andere Gründe für diesen Schluss findet man bei Biedermann und Hermann. Als solche können noch hinzugefügt werden, dass die algebraische Summirung voraussichtlich das Versagen der Oeffnungserregung verhindern

Aufmerksamkeit besonders auf die polarisirende Wirkung des Alterationsstromes als eines Bestandstromes, welcher die erregbare Muskelsubstanz am Querschnitt in starken Anelektrotonus versetzen soll, wodurch die Oeffnung gleichgerichteter Reizströme und die Schliessung entgegengerichteter in ihrer Wirkung geschwächt, resp. aufgehoben wird. Nach dieser Auffassung wird das polare Versagen bloss indirect auf den alterirenden Factor zurückgeführt, indem der letztere zunächst einen Demarcationsstrom erzeugt, welcher allein das Versagen verursacht. Um aber möglicherweise zu bestimmen, ob überhaupt ein Versagen ohne Vermittelung eines Alterationsstromes zu Stande kommen kann, wendete Hermann die locale Wasserstarre an. Es ist nämlich von Biedermann gefunden worden, dass eine wasserstarre Stelle des Muskels sich nicht negativ, sondern neutral oder schwach positiv gegen den übrigen normalen Muskel verhält. Wenn also ein solcher Muskel ein Versagen zeigt, sobald sich die wirksame Elektrode an der wasserstarren Stelle befindet, kann dasselbe unmöglich mit einem Alterationsstrom zusammenhängen. Hermann fand nun auch hier das polare Versagen, und somit wäre der Beweis geliefert, dass auch ohne das Bestehen eines Alterationsstromes das polare Versagen eintreten kann, wenn nicht gerade bezüglich der Wirkung der localen Wasserstarre auf die polare Erregung Biedermann¹⁾ das Entgegengesetzte wie

müsste, statt es zu begünstigen, und dass Engelmann und van Loon das Versagen an Muskeln sahen, die in einem Troge umgeben waren von einer grossen Menge leitender Flüssigkeit, die kaum einen in Betracht kommenden Zweig des Demarcationsstromes in den Reizkreis sich ergiessen lassen könnte.

1) „Behandelt man nämlich das tibiale Sartoriusende mit destillirtem Wasser, so lässt sich auch nach lange dauernder Einwirkung ($\frac{1}{2}$ —1 Stunde) und ungeachtet der saueren Reaction des so entstandenen wasserstarren getrüben Wulstes keine irgendwie in Betracht kommende Verminderung der Erregbarkeit für Schliessung absteigender, respective Oeffnung aufsteigender Ströme nachweisen, ja ich habe sogar stets im ersten Stadium der Wassereinwirkung eine ganz unzweifelhafte örtliche Erhöhung der Erregbarkeit gesehen.“ Biedermann, Sitzungsbericht der Wiener Akademie 1879 Bd. 80 (3) S. 382. — „Beschränkt man die Wasserwirkung auf das eine oder andere Ende eines Sartorius, so kann dasselbe durch Quellung hinsichtlich seiner physikalischen Eigenschaften bereits hochgradig verändert erscheinen, ohne sich, wie schon bemerkt wurde, negativ zu dem unversehrten Theile des Präparates zu verhalten. Damit steht im Einklang, dass auch die Erregbarkeit durch den elektrischen Strom zu dieser Zeit nicht merklich beeinträchtigt gefunden wird, wenn man den Muskel derart durchströmt, dass die Stelle der directen Reizung an das veränderte Muskelende zu liegen

Hermann¹⁾ behauptet hätte. Wegen dieses Widerspruches, und weil, selbst wenn er aufgeklärt wäre, eine Vermehrung der Belege für einen so wichtigen Satz nicht unnötig schien, haben wir versucht, ein Agens zu finden, dessen Wirkung eindeutiger wäre, als es die des Wassers zu sein scheint. Zu diesem Zwecke wendeten wir uns der Narkose durch Aether und Chloroform zu, die den früheren Angaben gemäss den Muskel unerregbar oder jedenfalls unbeweglich machen, ohne dass er die Eigenschaft verliert, einen Demarcationsstrom nach localer Verletzung zu geben, gerade wie ein wasserstarrer Muskel es thut²⁾. Wir haben also das eine Ende des curarisirten Froschsartorius der Wirkung der Aether- resp. Chloroformdämpfe ausgesetzt und untersucht, ob auf diese Weise das polare Versagen deutlich zu Stande kommt und ob sich dabei ein Alterationsstrom entwickelt zwischen der normalen und ätherisirten Muskelsubstanz. Wir können sogleich vorausbemerken, dass wir dabei in der That ein Versagen ohne Alterationsstrom beobachtet haben.

Einer von uns hat schon früher bei anderer Gelegenheit gezeigt, dass Aether ein polares Versagen zu erzeugen im Stande ist. Ein curarisirter Froschsartorius wurde in toto der Wirkung der Aetherdämpfe ausgesetzt und mit Inductionsschlägen in zweifacher Weise gereizt: ein Mal ging der Schlag durch den ganzen Muskel von den Knochenstumpfen aus, das andere Mal mittelst feiner angelegter Kupferdrähte bloss durch das mittlere Drittel des Muskels. Man beobachtet nun, dass der Muskel im ersten Falle nicht mehr zuckt zu einer Zeit, wo er im zweiten Falle noch reagirt, was bei der grossen Stärke der benutzten Inductionsschläge nur durch eine schnellere Einwirkung des Aethers auf die dünneren Muskelenden als auf den dickeren Muskelkörper zu erklären ist und darauf hinweist, dass ein Strom, der aus noch erregbarer in schon unerregbare (ätherisirte) Muskelsubstanz übertritt, keine Erregung zu erzeugen im Stande ist³⁾.

kommt. Dies ergibt sich einerseits aus der Vergleichung der Zuckungshöhen, andererseits aus dem Verhalten der secundär elektromotorischen Erscheinungen vor und nach der Wässerung.“ Biedermann, Sitzungsbericht der Wiener Akademie 1888 Bd. 97 (3) S. 101.

1) „Der Erfolg des Versuches ist regelmässig folgender. Nach etwa 20—30 Minuten langem Eintauchen zeigt sich deutlich die Erscheinung des polaren Versagens. Zu dieser Zeit verhält sich der gequollene Abschnitt meist positiv gegen den ungequollenen, zuweilen neutral oder schon schwach negativ.“ Hermann, Dieses Archiv 1889 Bd. 45 S. 600.

2) Siehe besonders die Arbeit von W. Biedermann, Ueber die Einwirkung des Aethers auf einige elektromotorische Erscheinungen an Muskeln und Nerven. Sitzungsbericht der Wiener Akad. 1888 Bd. 97 (3) S. 84, auf welche in der vorliegenden Abhandlung allenthalben Bezug genommen ist.

3) F. S. Locke, Journal of Experimental Medicine 1896 vol. 1. p. 630.

Methodik.

Die tibiale Hälfte des sorgfältig präparirten Sartorius eines tief curarisirten kleineren Wasserfrosches wurde auf folgende Weise der Einwirkung des Aethers ausgesetzt. Ein kurzer Glaszylinder, 18 mm hoch und 25 mm im Durchmesser, mit drei Ansatzröhren versehen, war an seinen beiden Enden mit zwei Gummimembranen geschlossen. Die eine Membran, welche während des Versuchs immer nach oben gekehrt war, bestand aus ziemlich starkem Tambourgummi; die andere, die ungespannt und locker war, aus Condomgummi. Beide hatten ein kleines Loch, und die lang präparirte und gespaltete Tibia wurde durch die zwei Löcher hindurch geführt, so dass die tibiale Sehne in der dickeren Membran sass und weniger als die tibiale Hälfte des Muskels sich in der Kammer befand, während die dünnere Gummimembran sich dicht an den Muskel schmiegte, um einen sicheren Verschluss zu geben, ohne den Muskel durch Druck zu verletzen oder seine Bewegungen zu hindern. Die Kammer wurde in einer Klemme fixirt, sodass die Membranen wagerecht waren und das Beckenende des Muskels vertical herabhing. Vom Muskel wurde zum Galvanometer abgeleitet mittelst Thonpinselelektroden, deren eine die Tibia und Sehne dicht an der oberen Gummimembran berührte, eine zweite, die in einem Ansatzrohr mit einem Gummiring fixirt wurde, der Muskeloberfläche in der Kammer anlag, eine dritte die Muskeloberfläche zwischen Kammer und Beckenende berührte. Von den zwei Reizelektroden berührte die eine, gleich der oberen Ableitungselektrode, die Tibia und Sehne; die andere wurde in eine Schaafe mit physiologischer Kochsalzlösung eingetaucht, in welche zugleich der Beckenknochen tauchte. Bei dieser Methode, den Reizstrom dem Muskel zuzuleiten, konnten selbst minimale Zuckungen beobachtet werden.

Um den Muskel zu ätherisiren, leiteten wir den einen Theil des gezweigten Luftstromes eines kleinen Gebläses durch eine Aetherflasche, den anderen Theil durch eine Wasserflasche und nach Wiedervereinigung beider durch die Muskelkammer. Wollten wir den Muskel sich wieder erholen lassen, so wurde die Aetherflasche abgeklemmt, und feuchte Luft allein durch die Kammer geblasen.

Zur Reizung des Muskels wurde, um eindeutige Resultate zu erhalten, immer der volle Strom eines resp. zweier Daniells ge-

braucht¹⁾. Wir beschränken uns auf die Untersuchung des Schliessungsreizes, da er leichter zu handhaben ist als der Oeffnungsreiz, und da uns dies für die theoretische Seite der Frage, die uns hauptsächlich interessirte, vollständig auszureichen schien. Das elektromotorische Verhalten des Muskels wurde beobachtet mittelst einer Wiedemann'schen Bussole, die entweder mit geringerer Empfindlichkeit ohne Compensator benützt wurde, in welchem Fall der ganze Demarcationsstrom eines Sartorius (thermischer Querschnitt) ungefähr eine Ablenkung der halben Scala gab, oder aperiodisch mit grosser Empfindlichkeit und Compensator.

Weil das Berühren der Oberfläche des nicht ätherisirten Theiles des Muskels mit der unteren Busssolelektrode, selbst wenn der Pinsel fein zugespitzt war, nachweisbaren Anlass gab zur Bildung secundärer Elektrodenstellen, was ein polares Versagen maskiren konnte, war es nöthig, diese Elektrode vor jeder Reizung zu entfernen. Da man aber nicht sicher sein konnte, die Elektrode genau wieder wie vorher anzulegen, und auch um den störenden Einfluss secundär elektromotischer Wirkungen möglichst auszuschliessen, suchten wir die Zahl der Probereizungen möglichst zu beschränken. Als vollkommen gelungen betrachteten wir daher nur jene Versuche, bei denen die Dauer der Aetherisirung und der Desätherisirung so getroffen wurde, dass der Muskel nur in zwei Stadien des Versuchs geprüft zu werden brauchte, erstens, um die Anwesenheit eines vollkommenen Versagens, und zweitens, um die Erholung des Muskels nach der Aetherisirung zu beweisen. In jedem Falle wurde der Muskel mehrere Male abwechselnd in beiden Stromesrichtungen gereizt, um des Reizerfolgs absolut sicher zu sein. Das galvanometrische Verhalten des Muskels wurde während des ganzen Versuchs, mit Ausnahme der Reizzeiten, beobachtet. Am Ende des Versuchs wurde immer das tibiale Ende des Muskels etwas aus der Kammer durch die obere Membran herausgezogen und mit heissem Draht abgetödtet, und der resultirende Demarcationsstrom beobachtet. Dies gab eine wünschenswerthe Controle zu den galvanometrischen Ablesungen während des Versuchs.

1) Die Stromesdichte an der Grenze zwischen ätherisirter und nicht ätherisirter Muskelsubstanz ist kleiner als an den Muskelenden, und der Reizstrom muss stark genug sein, um hier reizen zu können, sonst könnte die Schwäche des Reizes ein polares Versagen vortäuschen.

Resultate.

Ein Sartorius, dessen tibiales Ende vollkommen ätherisirt ist, zeigt gewöhnlich in schönster Weise das polare Versagen, wenn er mit Einschluss des Knochens von dem vollen Strome eines resp. zweier Daniell absteigend (der Muskel im Körper gedacht) durchströmt wird, während er, aufsteigend durchströmt, stark zuckt. Um dieses Resultat zu erhalten, muss die Aetherisirung ziemlich lange (bis 15 Min.) fortgesetzt werden. Doch konnte beinahe immer der Muskel sich aus der Narkose erholen und wieder die normale Erregbarkeit bei beiden Stromesrichtungen zeigen. In einigen Fällen war das Versagen der Erregung bei absteigender Stromesrichtung nicht oder jedenfalls nicht vollkommen herbeizuführen. Gewöhnlich waren jedoch die Schliessungszuckungen in diesen Fällen sehr schwach und gingen häufig augenscheinlich von dem Beckenende des Muskels aus, sicher wegen secundärer Elektrodenstellen, die, dank dem starken Reizstrom, wirksam wurden. Diese Fälle waren sehr selten, wenn wir mit einem statt mit zwei Daniell reizten.

Was das elektromotorische Verhalten des local ätherisirten Muskels anbetrifft, kann einfach gesagt werden, dass die Aetherisirung, falls sie sorgfältig und langsam herbeigeführt ist, überhaupt keine deutliche und regelmässige Wirkung erzeugt. Wenn bei der geringeren Empfindlichkeit der Bussole gearbeitet wird, sieht es so aus, als ob die locale Aetherisirung gar keine Wirkung auf das elektromotorische Verhalten des Muskels habe, obgleich später der durch Abtöden erzeugte Demarcationsstrom zwischen Längsschnitt und thermischem Querschnitt (mittelst der Tibia abgeleitet) eine Ablenkung von mehr als die halbe Scala geben konnte. Bei grosser Empfindlichkeit der Bussole sind geringfügige Wirkungen in variablem Sinne zu beobachten. Die ätherisirte Stelle kann entweder schwach negativ oder positiv werden, und häufig sieht man eine anfängliche Positivität bald in eine Negativität umschlagen. Es muss berücksichtigt werden, dass die Ableitung von der tibialen Sehne und die von der Oberfläche des ätherisirten tibialen Muskelendes nicht ganz genau parallel verlaufende Resultate gaben. Dies kann theilweise davon abhängen, dass die in den zwei Fällen abgeleiteten Stellen kleine relative Unterschiede der Aetherwirkung zeigten. Andererseits wurde in Controlversuchen gefunden, dass die Mitätherisirung der in der Kammer befindlichen Pinselelektrode nicht ganz wirkungslos

war. Wenn statt des Muskels ein langgestreckter mit Kochsalzlösung gefeuchteter Wattebausch in die Kammer theilweise eingeführt und gerade wie in einem Muskelversuch abgeleitet und local ätherisirt wurde, zeigte die Kammerelektrode eine sehr schwache relative Negativität zur unteren („Längschnitt-“)Elektrode, die die obere („Sehnen-“)Elektrode nicht zeigte. Dies gibt wahrscheinlich die Erklärung dafür, dass in den meisten Versuchen durchschnittlich die Muskeloberfläche in der Aetherkammer sich weniger positiv resp. mehr negativ zur nicht ätherisirten Muskeloberfläche zu verhalten schien als die tibiale Sehne. Doch sei ausdrücklich bemerkt, dass es Fälle gab, wo bei grosser Empfindlichkeit des Galvanometers der Effect der Aetherisirung bis zur Zeit, wo es ein entsprechendes vollkommenes polares Versagen gab, bloss eine schwache Positivität der ätherisirten Stelle war, gleichgültig, wie abgeleitet wurde.

Viel leichter als Aether erzeugt das Chloroform eine Negativität der mit seinen Dämpfen behandelten Muskelstelle. Diese Wirkung kann leicht sehr ausgeprägt werden, und dies erschwert die Anwendung des Chloroforms für den Hauptzweck der Untersuchung. Doch wenn die Chloroformdämpfe stark verdünnt und sehr behutsam angewendet wurden, konnte auch ein entsprechendes vollkommenes polares Versagen der Reizwirkung bei einer nur sehr schwachen Negativität der chloroformirten Stelle erzielt werden.

Discussion.

Es steht also fest, dass normale Muskelsubstanz nicht erregt wird durch einen Strom, der aus ihr in genügend tief ätherisirte Muskelsubstanz übertritt, und zwar auch dann nicht, wenn sich noch kein Potentialunterschied zwischen der narkotisirten und der normalen Muskelsubstanz entwickelt hat, welcher als Erklärungsmoment für das Versagen herbeigezogen werden könnte. Es ist nicht schwer, dieses Ergebniss zu deuten¹⁾.

Das beschriebene Versagen der Erregung beweist zunächst, dass die Erregung der Muskelsubstanz durch den Strom wirklich eine

1) In Folgendem gebrauchen wir der Kürze halber den Ausdruck Muskelsubstanz ohne Rücksicht darauf, ob beim normalen Muskel die physiologische „Polarisation“ wirklich an der Oberfläche der vom Sarkolemm umschlossenen Substanz oder eigentlich an der Grenze der Substanz der Primitivfibrillen stattfindet. In beiden Fällen behalten die folgenden Ueberlegungen ihre Gültigkeit.

polare ist. Das blosse Hindurchgehen des Stromes durch die Muskelsubstanz erregt diese nicht. Warum aber wird sie nicht dort erregt, wo der Strom aus normaler Muskelsubstanz in ätherisirte Muskelsubstanz übertritt? Warum kann diese Stelle nicht die Rolle einer physiologischen Kathode spielen? Die Antwort kann nur darin gefunden werden, dass durch die Aetherisirung die Eigenschaften der Muskelsubstanz zu wenig derart verändert werden, dass der Uebergang des Stromes aus der normalen Substanz in die ätherisirte gleichwerthig werden könnte mit dem Austritt des Stromes aus der Muskelsubstanz überhaupt. Wir wissen ja, wie wenig trotz dem Verluste der Contractilität und dem Ausbleiben der damit verbundenen Actionsströme der Muskel durch Aetherisirung beeinflusst wird: das Aussehen und die Consistenz bleiben ganz normal; die locale Verletzung bedingt noch einen Demarcationsstrom von normaler Grösse; die locale Behandlung mit Kalisalzen erzeugt noch einen Alterationsstrom. Die sicher festgestellten secundär elektromotorischen Wirkungen des Muskels, d. h. die positive, resp. negative anodische und die negative kathodische Polarisirung zeigen sich in unverminderter Grösse. Endlich ist der richtig behandelte Muskel vollkommen restitutionfähig. Wenn also ätherisirte Muskelsubstanz in physiologischem Zusammenhang mit normaler Muskelsubstanz sich befindet, ist es nicht überraschend, dass sie trotz dem grossen Unterschied zwischen beiden bezüglich der Contractilität dennoch, was die Wirkung der elektrischen Durchströmung betrifft, ein Continuum bilden. Die Grenze zwischen normaler und ätherisirter Muskelsubstanz ist, um diese Terminologie zu benützen, keine physiologisch „polarisirbare“ Fläche. Wenn aber Erregung nicht stattfinden kann an der Grenze zwischen ätherisirter und nicht ätherisirter Muskelsubstanz, muss die letztere in Ruhe bleiben, entweder, weil die ätherisirte Muskelsubstanz überhaupt nicht erregbar ist, oder weil, wenn sie, wie Biedermann meint, noch rein local erregbar wäre, die erregte Stelle durch leitungsunfähige Muskelsubstanz von der normalen Substanz getrennt wäre. Biedermann hat nämlich das Fortbestehen der secundär elektromotorischen Wirksamkeit des Stromes bei dem in toto ätherisirten Muskel dahin gedeutet, dass der Aether nicht die locale polare Erregbarkeit, sondern nur die Leitungsfähigkeit des Muskels aufhebe.

Wie weit lässt sich nun das durch locale Aetherisirung bedingte polare Versagen mit den anderen festgestellten Fällen solchen Ver-

sagens vergleichen? Die letzteren stimmen sämmtlich darin überein, dass die alterirte Stelle elektrisch negativ ist gegen die normale Muskelsubstanz; desswegen könnte es versucht werden, auf dieselben die Erklärung Hermann's anzuwenden. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass der vermuthete Anelektrotonus der normalen Muskelsubstanz an der Grenze der alterirten seine Rolle nur unter der Voraussetzung spielen könnte, dass in jedem Fall die physiologische Kathode resp. Anode bis an diese Grenze verschoben wäre, sonst könnte die Erregung nicht im Gebiete der durch den Anelektrotonus herabgesetzten Erregbarkeit stattfinden. Nach Analogie mit dem Aetherversagen wäre dies kaum anzunehmen für den Fall der localen Behandlung des Muskels mit Kaliumsalzen, welche wie der Aether normale Consistenz und Aussehen nicht verändern, den Muskel noch restitutionstüchtig lassen und die locale Contraction bei Reizung mit starken Inductionsschlägen nicht aufheben¹⁾. Hier ist es jedenfalls, ähnlich wie beim Aetherversagen, viel wahrscheinlicher, dass die physiologische Kathode resp. Anode nicht verschoben ist, und dass das Versagen bedingt wird durch die Gegenwart der durch die Kaliumwirkung leitungsunfähig gemachten Strecke, welche die normale Muskelsubstanz von der Erregungsstelle trennt.

Wie Hermann zuerst hervorhob, kann es kaum bezweifelt werden, dass in der unmittelbaren Nähe einer abgetödteten Stelle eines Muskels eine Schicht nicht abgestorbener, aber doch alterirter Muskelsubstanz existirt, welche er für den Sitz der negativen Spannung am Querschnitt hielt. Durch die Anwesenheit dieser Schicht, die alle Stufen der Erregbarkeit besitzen soll, haben Biedermann und Engelmann, unter der stillschweigenden Voraussetzung, dass keine Verschiebung der physiologischen Elektrode bis an die Grenze zwischen dieser alterirten und der normalen Muskelsubstanz stattfindet, das polare Versagen erklärt. Diese Schicht wäre also das Analogon der durch die Aether- oder Kaliumwirkung alterirten Strecke und wäre sicher nicht nur leitungsunfähig, sondern auch nicht einmal local erregbar, die Richtigkeit der obigen

1) F. S. Locke, Journal of Physiol. 1894 vol. 17 p. 293. Wir haben Versuche gemacht, um zu sehen, ob es etwas Aehnliches bei ätherisirten Muskeln gibt. Wir fanden aber, dass eine solche locale Contractilität für starke Inductionsschläge bei genügender Aetherisirung nicht mehr nachzuweisen war, obwohl die spätere Erholung des Muskels noch möglich war.

Prämissen vorausgesetzt; denn die locale polare Abtödtung bedingt das Ausbleiben der betreffenden elektrischen Aeusserungen der polaren Erregung (secundär elektromotorischen Erscheinungen), was die Aetherisirung nicht thut¹⁾. Im Falle des Versagens, wenn die wirk-same Elektrode unmittelbar auf einem idiomusculären Wulst liegt (Biedermann, Hermann), darf wohl der Wulst als Analogon der Aether- oder Kaliumstrecke angesehen werden. Es ist sehr wahrscheinlich, dass die schon in Erregung begriffene Muskelsubstanz sich nicht weiter erregen lässt oder jedenfalls nicht in genügendem Grade, um eine Fortpflanzung der Erregung zu ermöglichen. Jedoch könnte auch eine blossc Leitungsunfähigkeit das Versagen verursachen. Eine ähnliche Unmöglichkeit genügender Erregung oder eine locale Leitungsunfähigkeit kann wohl auch in dem Fall bestehen, wo nach wiederholten Schliessungen des Reizstromes in derselben Richtung die Kathode unwirksam wird, obwohl die übrigen Muskelabschnitte gut erregbar bleiben (Biedermann). Die Erklärung Hermann's würde also auch in allen diesen Fällen unnöthig scheinen, wenn sie überhaupt angewendet werden darf; denn der Beweis ist noch zu bringen, dass die zur Verwirklichung seiner Erklärung nöthige Verschiebung der wirksamen physiologischen Elektrode bis an die Grenze zwischen alterirter und normaler Muskelsubstanz möglich sei, während gegen diese Möglichkeit die Abwesenheit einer solchen Verschiebung am local ätherisirten Muskel vorläufig spricht.

Es kann ähnlicher Weise bezweifelt werden, ob der von Hermann vorausgesetzte Anelektrotonus am Querschnitt überhaupt existirt. Aller Anelektrotonus, den wir thatsächlich kennen, ist eine polare Erscheinung, bedingt durch den Eintritt eines Stromes von Aussen in die erregbare Substanz. Wenn, wie von Hermann selbst angenommen wird, die den Demarcationsstrom erzeugende elektromotorische Stelle nicht zwischen todter und lebender Muskelsubstanz, sondern zwischen alterirter, aber noch lebender einerseits und normaler Muskelsubstanz andererseits liegt, so ist nicht ohne Weiteres auch anzunehmen, dass der Uebergang des Demarcationsstromes aus alterirter in normale Muskelsubstanz dieselbe Wirkung ausübt wie der Eintritt des Stromes von Aussen. Für eine solche Auffassung liegt wenigstens kein experimenteller Grund vor, und das

1) Wenn am local abgetödteten Muskel, dank einer Verschiebung der physiologischen Elektrode, an der Grenze zwischen normaler und alterirter Muskelsubstanz (die der Sitz der Negativität ist) eine locale polare Erregung möglich wäre, so könnte diese Erregung sich nicht durch eine sogenannte secundärelektromotorische Erscheinung verrathen; sie würde bloss eine Verlängerung der negativen Strecke am Querschnitt bewerkstelligen.

Aetherversagen spricht, wenn auch nicht absolut zwingend, gegen sie, denn es wird damit gezeigt, dass die Grenze zwischen normaler und durch Aether alterirter Muskelsubstanz nicht physiologisch „polarisirbar“ ist. Es könnte zwar behauptet werden, dass der fragliche Anelektrotonus nicht einer der normalen Muskelsubstanz an der Grenze der alterirten, sondern einer der alterirten Muskelsubstanz selbst sei, nämlich an der Stelle, wo der Demarcationsstrom in sie aus indifferenten Substanz eintritt. Damit aber wäre für Hermann's Ansicht viel gewonnen nur im Falle einer Alteration der Muskelsubstanz, die sie elektrisch negativ machte, ohne ihre Erregbarkeit herabzusetzen, ein Fall, der wenigstens bei den nicht physiologischen Alterationen ein rein hypothetischer wäre. Es braucht kaum hinzugefügt zu werden, dass der Katelektrotonus der Muskelsubstanz in der Nahe des Querschnittes, den Hermann mehrfach urgirt hat, nicht durch diese Argumentation berührt ist. Dieser soll eben bedingt werden durch die Austrittsstellen des Demarcationsstromes aus der Muskelsubstanz in die indifferente Zwischensubstanz.

Nach allem dem sehen wir also, dass überhaupt die Möglichkeit eines polaren Versagens gegeben ist durch die Leichtigkeit, mit welcher auf verschiedene Weise die Muskelsubstanz ihre Leitungsfähigkeit, wenn nicht immer zugleich auch ihre Erregbarkeit, local verlieren kann, ohne ihre anderen wesentlichen Eigenschaften so weit zu verändern, dass die Grenze zwischen normaler und alterirter Substanz physiologisch „polarisirbar“ werde. Es muss als ein grosser Vortheil des durch locale Aetherisirung erzeugten polaren Versagens betrachtet werden, dass es die wesentlichen Bedingungen für das Auftreten des Versagens in so übersichtlicher Weise hervortreten lässt. Die alterirte Strecke ist, so zu sagen, in die Länge gezogen, was die Deutung ihres Einflusses vereinfacht, und dabei tritt weder ein Wulst auf, der eine Störung des Stromverlaufs herbeiführen könnte, noch ein Alterationsstrom, der auf irgend eine Weise mit dem Reizstrom interferiren könnte.