Einige Bemerkungen

zu der Arbeit von

Dr. K. Bürker: „Ueber die Beziehung zwischen der Richtung reizender Oeffnungs-Inductionsströme und dem elektrotonischen Effect in der infrapolaren Nervenstrecke.“

Von

Professor **Br. Werigo.**

(Mit 2 Textfiguren.)

Unter dem angeführten Titel ist im 81. Bande dieses Archivs (S. 76—102) eine Arbeit von Dr. Bürker erschienen. Da der Autor sich in dieser Abhandlung mit den Fragen beschäftigt, welche von mir vor ungefähr 15—18 Jahren ausführlich behandelt wurden, so scheint es mir erlaubt, hier einige Bemerkungen an diese Arbeit anzuknüpfen und dabei die vom Verfasser gemachten Literaturangaben in mancher Beziehung zu berichtigen resp. zu vervollständigen.

Dr. Bürker beginnt seine Abhandlung mit folgendem Passus:

„In den ,Untersuchungen über die Physiologie des Elektrotonus‘ berücksichtigt E. Pflüger die Richtung der die veränderte Erregbarkeit prüfenden Reizströme nur insofern, als sie für den möglichst einwandfreien Beweis seiner Gesetze zweckdienlich ist. Eine systematische Bearbeitung des Themas finde ich dann, aber nur für den Katelektrotonus, noch bei Br. Werigo; dort wird als Resultat der in dieser Richtung angestellten Versuche ausgesprochen: ,Im Beginne der Polarisation sowohl bei absteigender als bei aufsteigender Richtung derselben, und zwar zu beiden Seiten der Kathode, sind die adpolar gerichteten Reizungsschläge wirksamer als die abpolar gerichteten.‘ In der infrapolaren Nervenstrecke soll dann im weiteren Verlaufe der Polarisation das eben erwähnte Ueberwiegen der adpolaren Richtung in seinen Gegensatz allmählig umschlagen.“

Aus diesen Worten könnte man schliessen, dass die Frage über die relative Wirksamkeit der reizenden Schläge beider Richtungen

im elektrotonisirten Nerven noch sehr wenig bearbeitet ist, und dass dem Verfasser ein breites Feld für weitere Versuche überlassen bleibt. Und in der That hat Dr. Bürker in seiner Untersuchung eine Reihe von Thatsachen gefunden und so beschrieben, als ob dieselben oder wenigstens der grösste Theil davon ganz neu seien. In diesem Sinne hat auch der Referent in dem Centralblatt für Physiologie (Bd. 14, 1900, S. 273) die Auseinandersetzungen des Verfassers verstanden und alle Thatsachen als Dr. Bürker angehörig referirt.

In Wirklichkeit steht aber die Sache ganz anders. Die ganze Untersuchung von Dr. Bürker ist nichts mehr als nur die Bestätigung einiger von denjenigen Thatsachen, die ich in meinen vor 15—18 Jahren ausgeführten Arbeiten gefunden und in derselben Weise wie jetzt Dr. Bürker erklärt habe. Das werde ich nun in dem Nachfolgenden zu beweisen suchen.

Nach der Beschreibung der Versuchsmethode, welche sich von der bei solchen Versuchen üblichen in keiner wesentlichen Beziehung unterscheidet, wendet sich Dr. Bürker zur Lösung der Frage über die relative Wirksamkeit der Oeffnungs-Inductionsschläge verschiedener Richtung in der infrapolaren-anelektrotonischen Nervenstrecke. Dabei „versucht er zunächst dieser Frage auf inductivem (!) Wege näher zu kommen und aus besonderen, bekannten Thatsachen zu erschliessen, was experimentell im Allgemeinen zu erwarten ist“ (S. 85).

Sich auf die Thatsache stützend, dass die Oeffnungs-Inductionsströme den Nerven nur an ihrer Kathode reizen können, kommt der Verfasser zu dem Schlusse, dass der absteigende Reizstrom, dessen Kathode auf eine relativ schwach anelektrotonische Strecke, fern von der Anode des polarisirenden Stromes und nahe an den Muskel zu liegen kommt, wirksamer sein muss, als der aufsteigende Reizstrom, dessen Kathode in ein stärker anelektrotonisches, näher an der Anode des polarisirenden Stromes liegendes Gebiet fällt (S. 87). Die Versuche haben in der That diese Erwartung bestätigt, so dass der Verfasser das Gesetz aufstellt, „dass der specifisch anelektrotonische Effect, bestehend in einer Abschwächung oder Unterdrückung der ursprünglichen Zuckung, unter den gewählten Bedingungen dann besonders deutlich hervortritt, wenn der Reizstrom mit dem anelektrotonischen und polarisirenden Strom die gleiche Richtung hat“ (S. 89).

Es folgen weiter (S. 90—92) die Versuche, welche sich auf die Veränderungen des specifisch anelektrotonischen Effectes und des anelektrotonischen Stromes im Laufe der Zeit beziehen und dabei den schon von E. Pflüger behaupteten und seitdem allgemein anerkannten Parallelismus zwischen beiden bestätigen.

Bei allen diesen Ausführungen hat der Verfasser meine Untersuchungen mit keiner Silbe erwähnt. Da er ausserdem in der Einleitung ausdrücklich betont, dass meine Versuche sich nur auf das Katelektrotonusgebiet beziehen, so könnte man diesen Theil der Untersuchung als ausschliessliches Verdienst von Dr. Bürker betrachten. Es ist aber leicht zu zeigen, dass Alles, was Dr. Bürker hier als neu beschreibt, schon in meinen früheren Arbeiten, und zwar in einer viel ausführlicheren, sowohl theoretischen als thatsächlichen Bearbeitung enthalten ist.

Was zunächst den Gedankengang betrifft, der dem Verfasser die relative Wirksamkeit der Reizschläge verschiedener Richtung im Anelektrotonusgebiete schon a priori vorausszusehen gestattete, so ist derselbe in meiner Arbeit: „Die secundären Erregbarkeitsänderungen an der Kathode eines andauernd polarisirten Froschnerven“ (Dieses Archiv Bd. 31, 1883) auf den Seiten 467—475 ausführlich behandelt. Der Unterschied zwischen meiner Untersuchung und der von Dr. Bürker besteht nur darin, dass ich diese theoretischen Betrachtungen zuerst nicht in Bezug auf das Anelektrotonusgebiet, wie es Dr. Bürker thut, sondern in Bezug auf die Reizungseffekte im Katelektrotonus entwickelt habe und dieselben später, bei der Besprechung der im Anelektrotonus gefundenen Thatsachen, schon als erwiesen betrachtete.

In der That, nachdem ich die von mir im Katelektrotonusgebiete constatirten Unterschiede in der relativen Wirksamkeit der Reizschläge beider Richtungen in der oben citirten Arbeit beschrieben hatte, habe ich zunächst gezeigt, dass die damals soeben erschienene Grützner'sche Summirungstheorie, welche die relative Wirksamkeit der Reizschläge in der Nähe des Nervenquerschnittes zu erklären suchte, nicht im Stande ist, die im Katelektrotonusgebiete beobachteten Erscheinungen zu erklären. Weiter sage ich auf S. 467: „Es lässt sich ferner denken, dass, insofern die schwachen Inductionsströme nur an ihren Kathoden reizen, der Reizungsort bei verschiedener Richtung der Schläge verschieden weit von der Kathode des polari-

sirenden Stromes abstehende, mithin mehr oder weniger erregbare Punkte des Nerven trifft.“

Bei der Prüfung dieser Annahme hat es sich in der That erwiesen, dass alle von mir beobachteten Erscheinungen von diesem Standpunkte aus sehr leicht, wenigstens qualitativ, erklärt werden können (S. 467 und 468). Um dieser Erklärung eine weitere Stütze zu geben, habe ich dann durch eine specielle Versuchsreihe bewiesen (S. 469 und 470), dass die Inductionsschläge, welche ich bei meinen Versuchen benutzte, wirklich so schwach waren, dass sie den Nerven nur an ihrer Kathode reizen konnten. Weiter habe ich noch eine Versuchsreihe angestellt, welche den Zweck hatte, zu beweisen, dass das Zusammenfallen der Kathoden der Reizschläge verschiedener Richtung mit verschiedenen Nervenpunkten vollkommen ausreicht, um die Erscheinungen auch quantitativ zu erklären. Ich habe nämlich die Versuche mit Reizung des Nerven im Katelektrotonusgebiete nicht in der allgemein üblichen Form, sondern so angestellt, dass die Kathode der Reizschläge beider Richtungen immer auf einen

Fig. 1.

und denselben Nervenpunkt fiel, wie es die angeführte schematische Fig. 1 veranschaulicht: die aufsteigenden Schläge wurden dem Nerven durch die Elektroden *ab*, die absteigenden durch die Elektroden *cb* zugeleitet. Nur nachdem die Resultate dieser Versuche sich als günstig für meine Erklärung erwiesen hatten, konnte ich schon dieselbe als begründet betrachten und irgendwelche Wirkung des katelektrotonischen Bestandstromes im Sinne der Grützner'schen Summirungstheorie vollständig verwerfen. Ich habe endlich die in der Nähe des Nervenquerschnittes zu beobachtenden Erscheinungen der Untersuchung unterzogen (S. 475—479) und gezeigt, dass dieselben mit den im Katelektrotonusgebiete beobachteten vollkommen identisch sind. Damit habe ich also bewiesen, dass meine Erklärung der verschiedenen Wirksamkeit der Reizschläge beider Richtungen auch auf die in der Nähe des Querschnittes gelegene Nervenstrecke ausgedehnt werden muss, und dass die Grützner'sche Summirungstheorie auch hier keine Anwendung finden kann¹⁾.

1) Eine vollständige Analyse der Grützner'schen Theorie wurde von mir nicht in der citirten Arbeit, sondern viel später gegeben. Br. Werigo: Effecte

Auf Grund des Gesagten kann man schon leicht schliessen, ob die theoretischen Betrachtungen von Dr. Bürker viel Neues enthalten.

Jetzt gehe ich zu den von Dr. Bürker in Bezug auf das Anelektrotonusgebiet constatirten Thatsachen über.

In meiner Arbeit: „Ueber die gleichzeitige Reizung des Nerven an zwei Orten mit Inductionsschlägen“ (Dieses Archiv Bd. 36, 1885) habe ich die Erscheinungen des physiologischen Elektrotonus, welche ein schwacher (inframinimaler) Inductionsschlag im Nerven hervorruft, ausführlich studirt und dabei die verschiedene Wirksamkeit der reizenden Schläge verschiedener Richtung sowohl im Katelektrotonus als auch im Anelektrotonusgebiete constatirt.

Die Erscheinungen im Katelektrotonusgebiete konnte ich schon sogleich mit den von mir früher im Katelektrotonus des constanten polarisirenden Stromes beobachteten identificiren und auf die oben erörterte Weise erklären. Was aber das Anelektrotonusgebiet betrifft, so war es mir auch hier nicht nöthig, irgendwelche andere Erklärung zu suchen, da die von mir damals erzielten Resultate denjenigen vollkommen gleich waren, welche Dr. Bürker jetzt in Bezug auf Anelektrotonus des constanten Stromes beschrieben hat. Auf Grund dieser Beobachtungen musste ich selbstverständlich die Ueberzeugung gewinnen, dass die entsprechenden Unterschiede in der Wirksamkeit der Reizschläge beider Richtungen auch im Anelektrotonus des constanten Stromes vorhanden sein müssen. Da ich damals keine diesbezüglichen Beobachtungen in der physiologischen Literatur auffinden konnte, so entschloss ich mich, diese Lücke auszufüllen und die relative Wirksamkeit der Reizschläge beider Richtungen im Anelektrotonusgebiete des constanten polarisirenden Stromes zu prüfen.

Eine derartige Prüfung habe ich im absteigenden sowohl extra- als intrapolaren Anelektrotonus vorgenommen und die dabei erhaltenen Resultate mit zwei Tabellen erläutert (S. 539 und 540). Was die Versuchsergebnisse betrifft, so habe ich dieselben folgendermaassen beschrieben: „So wie im Gebiete des Katelektrotonus die verschiedene relative Wirksamkeit der Schläge beider Richtungen dadurch bedingt ist, dass die Kathode des reizenden Schlages die

der Nervenreizung durch intermittirende Kettenströme. Ein Beitrag zur Theorie des Elektrotonus und der Nervenerregung. S. 164 u. 165 und 209 u. 210. Berlin 1891. Verlag von August Hirschwald.

der Kathode des polarisirenden Stromes näheren oder entfernteren Nervenpunkte trifft, so ist auch hier die Wirkung auf analoge Weise zu erklären. Die Versuche ergeben, dass die von Pflüger für Reizschläge beider Richtung bewiesene Herabsetzung der Erregbarkeit im Gebiete des Anelektrotonus für die adpolaren Schläge stets stärker als für die abpolaren ausgeprägt ist, — augenscheinlich, weil im ersten Falle die Kathode des reizenden Schlages die der Anode des polarisirenden Stromes näheren resp. weniger erregbaren Punkte trifft“ (S. 539—540).

Wenn wir diesen Satz mit dem oben angeführten, von Dr. Bürker aufgestellten Gesetz vergleichen, so finden wir, dass der einzige Unterschied zwischen beiden in der verschiedenen Ausdrucksweise besteht: Dr. Bürker behauptet, dass der specifisch anelektrotonische Effect dann besonders deutlich hervortritt, wenn der Reizstrom mit dem anelektrotonischen und polarisirenden Strome die gleiche Richtung hat, während ich dasselbe für die adpolare Richtung des Reizstromes finde, d. h. für die Richtung, welche in dem infrapolaren (dem einzigen von Dr. Bürker untersuchten) Anelektrotonus mit der von Dr. Bürker angegebenen zusammenfällt. Von diesen beiden Ausdrucksweisen kann ich die Bürker'sche nicht als glücklichere bezeichnen, weil sie nur für den absteigenden extrapolaren Anelektrotonus gilt, während meine Formulirung sich ganz gleich sowohl auf den extrapolaren als auf den intrapolaren Anelektrotonus anwenden lässt.

Es kann somit keinem Zweifel unterliegen, dass Dr. Bürker im Anelektrotonusgebiete keine neuen Thatsachen gefunden und nur meine viel früher gemachten Angaben bestätigt hat.

Nachdem Dr. Bürker die Resultate seiner Untersuchung im Anelektrotonusgebiete dargestellt hat, wendet er sich zur Beschreibung der Erscheinungen im Katelektrotonus. Indem er die früher erörterten Betrachtungen auch auf diesen Fall anwendet, kommt er zu dem Schlusse, dass „eine intensivere Verstärkung der Zuckungen bei aufsteigender Richtung des Reizstromes zu erwarten ist“. „Der Versuch,“ fährt Dr. Bürker fort, „bestätigt die a priori gemachte Annahme vollständig, aber, und das sei hier besonders betont, nur für den Beginn schwacher Polarisation. Im Laufe derselben und bei stärkerer Polarisation gleich von vornherein tritt nicht nur das Gegentheil ein, also eine geringere Wirksamkeit des aufsteigenden Reizstromes gegenüber dem absteigenden, sondern es macht sich sogar eine depressive Wirkung geltend, bestehend in einer Verkleine-

„rung und schliesslich Auslöschung ursprünglicher Zuckungen“ (S. 93). Auf Grund dieser Versuche spricht er das Gesetz aus, „dass **im Beginne schwacher Polarisation** der specifisch katelektrotonische Effect, bestehend in einer Verstärkung der ursprünglichen Zuckung, dann besonders deutlich hervortritt, wenn der Reizstrom dem katelektrotonischen und polarisirenden Strome entgegengesetzt gerichtet ist. **Im Verlaufe der Polarisation** überwiegt allmählig der absteigende Reizstrom, indem die überlegene Wirkung des aufsteigenden Reizstromes zurückgeht, um schliesslich sogar einer depressiven Wirkung auf die Zuckungen gegenüber der Norm Platz zu machen“ (S. 95).

Die Beschreibung der Versuche schliesst der Verfasser mit der Bemerkung: „Meine Resultate stimmen also, was den Katelektrotonus betrifft, vollkommen mit denen Br. Werigo's überein.“ Auf Grund dieser Bemerkung kann der Leser nicht leicht verstehen, worin diese Uebereinstimmung besteht, ob dieselbe nur die thatsächlichen Angaben oder auch die theoretischen Betrachtungen betrifft, und was der Verfasser Neues gegenüber seinem Vorgänger ermittelt hat.

Auf diese Frage finden wir in der Arbeit von Dr. Bürker keine Antwort. Desshalb bin ich genöthigt, zu sagen, dass diese Uebereinstimmung ebenso vollkommen ist wie die oben in Bezug auf die Erscheinungen im Anelektrotonusgebiete erörterte, d. h. absolut Alles, was er beschreibt, kann er schon in meiner vor 18 Jahren ausgeführten Arbeit finden, und zwar bildet dies Alles nur einen kleinen Theil der von mir damals untersuchten Erscheinungen. Der ganze Unterschied zwischen dem oben angeführten Bürker'schen Gesetze und den von mir gemachten Schlüssen besteht auch hier nur in der verschiedenen Ausdrucksweise, da ich überall die Richtung der Reizschläge als ad- resp. abpolar (in Bezug auf den Pol des polarisirenden Stromes) bezeichne, während Dr. Bürker das Zusammen- oder Nichtzusammenfallen ihrer Richtung mit der des polarisirenden Stromes besonders betont. Auch hier ist die Ausdrucksweise von Dr. Bürker nicht glücklich gewählt, da dieselbe nur für extrapolaren Katelektrotonus passt.

Somit kann ich behaupten, dass Alles, was uns Dr. Bürker in Bezug auf die Frage über die relative Wirksamkeit der Reiz-

schläge beider Richtungen im Anelektrotonus und im Katelektrotonus vorlegt, die Resultate meiner früheren Untersuchungen vollkommen bestätigt, ohne ihnen etwas Neues hinzuzufügen.

Von diesem Punkte an beginnt der Theil der Arbeit von Dr. Bürker, welcher sich in vielen Beziehungen von meinen früheren Untersuchungen unterscheidet, allerdings nicht in Bezug auf die thatsächlichen Befunde, sondern nur in Bezug auf die theoretische Auffassung derselben. Es ist nämlich derjenige Theil der Arbeit, wo Dr. Bürker sich eine Vorstellung von der Ursache der depressiven Wirkung der Kathode des polarisirenden Stromes zu bilden sucht. Diese depressive Kathodenwirkung war der Hauptgegenstand meiner oben citirten Arbeit (Die secundären Erregbarkeitsänderungen u. s. w.), wo die relative Wirksamkeit der Schläge beider Richtungen nur nebenbei behandelt wurde. Da ich die Absicht habe, mich in kurzer Zeit mit der Frage über die Ursachen dieser Erscheinung ausführlich zu beschäftigen, so halte ich es für angemessen, die Anschauungen von Dr. Bürker schon jetzt zu analysiren.

Nachdem Dr. Bürker die schon oben erörterten Stadien in der Wirkung des aufsteigenden Reizschlages, nämlich das Stadium des gesteigerten Effectes und das Stadium der depressiven Wirkung, beschrieben hat, stellt er sich die Frage auf: „In welcher Beziehung stehen diese einer strengen Gesetzmässigkeit folgenden Thatsachen zu dem Verlaufe des extrapolaren katelektrotonischen Stromes?“ Und er antwortet: „Nun, in einer ganz analogen wie beim Anelektrotonus; solange nämlich

1. der katelektrotonische Strom ansteigt, wächst wohl auch für beide Richtungen des Reizstromes der specifisch katelektrotonische Effect, bestehend in der Verstärkung einer Reizwirkung gegenüber der Norm.

2. Der Gipfel der katelektrotonischen Stromcurve stellt wohl auch das Maximum des specifisch katelektrotonischen Effects dar, gleichfalls für beide Richtungen des Reizstromes.

3. Mit der Abnahme des katelektrotonischen Stromes sinkt auch der specifisch katelektrotonische Effect, aber für den aufsteigenden Reizstrom rascher als für den absteigenden, bis zur depressiven Wirkung auf ersteren“ (S. 96).

Auf Grund dieser Sätze glaubt Dr. Bürker annehmen zu müssen, dass die Grösse der katelektrotonischen Steigerung des Reizungseffects in jedem Momente der Stärke des zu dieser Zeit im Nerven vorhandenen katelektrotonischen Stromes proportional sei, und dass also die sich allmählig im Katelektrotonusgebiete entwickelnde Erregbarkeitsherabsetzung mit der ebenso allmählichen Abschwächung der katelektrotonischen Ströme im Zusammenhange stehe. Es entging Dr. Bürker nicht, dass eine solche Erklärung im besten Falle nur das Zurückkehren des im Katelektrotonus gesteigerten Reizungseffectes zur Norm verständlich machen könnte, und dass sie für die wirklich vorhandene Erregbarkeitsherabsetzung gegenüber der Norm nicht anwendbar ist.

Um dieser Schwierigkeit zu entgehen, stellt Dr. Bürker eine besondere Theorie auf. Bei ihrer Aufstellung stützt er sich auf die Thatsache, „dass nach Unterbrechung des polarisirenden Stromes die physiologischen Zustände an der Anode und Kathode in ihr Gegentheil umschlagen, indem jetzt, was vorher Anode war, Kathodenwirkung äussert und umgekehrt“ (S. 99). Die polarisatorischen Wirkungen, welche diesem Umschlage zu Grunde liegen, werden durch den polarisirenden Strom selbst erweckt und müssen sich deshalb schon während der Stromwirkung entwickeln. Es liegt dann, nach Dr. Bürker, der Gedanke nahe, dass im Katelektrotonusgebiete, und namentlich in der der Kathode des polarisirenden Stromes nahe gelegenen Nervenstrecke, eine sich unter dem Einflusse der Polarisation entwickelnde secundäre Anode entsteht. Dann muss der Nerv in der Umgebung der Kathode sich in einem Anelektrotonuszustande befinden und folglich eine Erregbarkeitsdepression zeigen. „Man wird einwenden,“ fährt Dr. Bürker fort, „dass die secundäre polarisatorische Kathode unter der Anode des polarisirenden Stromes doch niemals Erhöhung der Erregbarkeit statt Herabsetzung derselben bedingt. Darauf ist zu erwidern, dass eben der anodische Zustand an sich dem kathodischen überlegen ist, gleichwie auch der anelektrotonische Strom den katelektrotonischen an Stärke weit übertrifft, daher, wenn anodischer und kathodischer Zustand mit einander interferiren, unter sonst gleichen Bedingungen ersterer den Sieg davonträgt. Und dass gerade für die Kathode sehr rasch polarisatorische Gegenwirkungen sich geltend machen, beweist der rasche und intensivere Rückgang des katelektrotonischen Stromes ganz im Gegensatze zum anelektrotonischen.“ (S. 100.)

Um diese Theorie der depressiven Wirkung der Kathode des polarisirenden Stromes besser zu begründen, hat Dr. Bürker noch einen Versuch an Kernleiter angestellt. Da dieser Versuch uns weiter ausführlich beschäftigen wird, so führe ich hier die entsprechende Stelle aus der Arbeit von Dr. Bürker buchstäblich an:

„Ein Platindraht von 0,8 mm Dicke und 10 cm Länge wurde mit Jodkaliumstärkekleisterpapier, das zur elektrolytischen Stromaufzeichnung Verwendung findet, umwunden. Das Papier legte sich als etwa 2 mm dicke Hülle fest um den Platindraht herum als Kern an und wurde nun mit Wasser befeuchtet. Dem so hergestellten Kernleiter, der in der That alle Eigenschaften eines solchen aufweist (die extrapolar abgeleiteten Ströme waren auf der Seite der Anode stärker als auf der der Kathode), wurde nun durch Platinelektroden, die etwa 3 cm von einander abstanden, der Strom eines Accumulators zugeleitet. Sofort entstand an der der Hülle aufliegenden Anode ein blauschwarzer Fleck; an der Kathode war äusserlich nichts zu sehen. Sowie aber das Papier unter derselben nach dem Platindrahte zu weggeschabt wurde, kam auch dort an der Grenze zwischen Hülle und Kern Jodstärke zum Vorschein. Der Platindraht unter der Anode aber war frei von dieser.“

„Wurde der Strom durch Zinkdrähte zugeleitet, dann war nur eine Spur von Jod äusserlich an der Anode zu constatiren; unter der Kathode am Platindraht war wieder reichlich Jodstärke vorhanden. Man sieht also in beiden Fällen unter der Kathode eine secundäre Anode liegen; wurden drei solche Kernleitermodelle zusammengebunden, so zeigte jedes die secundär-polarisatorischen Anoden. — Man wird aber bei den vielen Analogien, welche die Verhältnisse am Kernleiter mit den Zuständen im polarisirten Nerven zeigen, an die Möglichkeit ähnlicher secundärer Polarisation auch im Nerven denken und ihr Bestehen für die Erklärung der depressiven Wirkung an der Kathode herbeiziehen dürfen.“ (S. 101.)

Diese Erklärung der Erregbarkeitsherabsetzung an der Kathode steht im schroffsten Widerspruche zu den Ergebnissen meiner früheren Untersuchungen, wo ich diese Depression als eine spezifische Kathodenwirkung betrachten musste. Es ist mir desshalb nothwendig, die von Dr. Bürker ausgesprochene Auffassung etwas näher zu analysiren.

Was zunächst die drei oben auf der Seite 267 angeführten Sätze von Dr. Bürker betrifft, so stehen sie schon in einem Widerspruche zu meiner Auffassung, insofern damit eine strenge Proportionalität

zwischen der Stärke der katelektrotonischen Ströme und der Höhe der katelektrotonischen Steigerung des Reizungseffects behauptet wird: wenn der Katelektrotonus im Stande ist, wie ich es glaube, an und für sich die Nervenirregbarkeit im Laufe der Zeit herabzusetzen, so kann eine solche Proportionalität nicht bestehen.

In Bezug auf die beiden ersten Sätze, welche behaupten, dass der specifisch katelektrotonische Effect (Pflüger'sche Steigerung des Reizungseffects) mit dem Ansteigen des katelektrotonischen Stromes parallel wächst und sein Maximum erreicht, finden wir schon bei dem Verfasser das Zugeständniss, dass dieselben von ihm ohne irgendwelche experimentelle Begründung aufgestellt sind. Auf Seite 98 seiner Abhandlung lesen wir nämlich:

„Für die in 1 und 2 (S. 96) aufgestellten Behauptungen, denen nicht ohne Absicht das Wörtchen ‚wohl‘ beigefügt ist, einen strikten graphischen Beweis beizubringen, fällt schwer, der Flüchtigkeit der Erscheinungen wegen. Bis man nur den passenden Spulenabstand ausprobiert hat und das Galvanometer zur definitiven Ablenkung kommt, hat der katelektrotonische Strom schon seinen Rückzug angetreten. Man ist daher in der Hauptsache auf Analogieschlüsse angewiesen, kann sich aber auch auf die leicht zu machende Beobachtung berufen, dass man im Beginne des Katelektrotonus bei schwach polarisirendem Strome, um minimale Zuckungen auszulösen, mit der secundären Spule zuerst immer weiter abrücken muss.“

Dr. Bürker musste aber schon auf Grund seiner eigenen Versuche zu dem Schlusse kommen, dass diese beiden Sätze ganz unrichtig sind. Wer weiss nicht, dass die elektrotonischen Ströme überhaupt desto stärker sind, je stärker der polarisirende Strom. Wenn wir folglich den von Dr. Bürker behaupteten Parallelismus annehmen, so müssten wir erwarten, dass die stärkeren Ströme auch die stärker ausgesprochene katelektrotonische Steigerung des Reizungseffects zeigen werden. Dr. Bürker selbst betont aber besonders, in Uebereinstimmung mit dem, was ich früher gefunden habe, dass die depressive Kathodenwirkung bei der starken Polarisation besonders stark und schnell zum Vorschein kommt, so dass hier das Stadium des gesteigerten Reizungseffects sehr flüchtig und sehr schwer nachzuweisen ist.

Somit bleibt von den drei uns jetzt beschäftigenden Sätzen von Dr. Bürker nur der dritte bestehen, welcher besagt, dass das

Sinken des specifisch katelektrotonischen Effectes und die Abnahme des katelektrotonischen Stromes gleichzeitig beobachtet werden. Daraus kann man aber keine Schlüsse im Sinne der Bürker'schen Theorie machen. Wir wissen in der That, dass die depressive Kathodenwirkung, wie ich es bewiesen habe, eine secundäre Erregbarkeitsänderung darstellt und sich im Laufe der Zeit immer schärfer und schärfer entwickelt. Wir wissen ferner, dass die katelektrotonischen Ströme mit der Zeit an Stärke abnehmen. Es ist deshalb selbstverständlich, dass diese beiden Vorgänge gleichzeitig beobachtet werden müssen.

Wenn wir jetzt zu der Analyse der Theorie der depressiven Kathodenwirkung übergehen, so können wir zunächst sagen, dass Dr. Bürker seine Theorie nicht aufgestellt haben würde, wenn er die von mir früher in Bezug auf diese Erscheinung gefundenen That-sachen beachtet hätte. In meiner schon oft citirten Arbeit (Die secundären Erregbarkeitsänderungen etc.) finden wir nämlich die Thatsachen, welche ganz klar zeigen, dass die depressive Kathodenwirkung sich von der depressiven Anodenwirkung in vielen Beziehungen ganz scharf unterscheidet und deshalb als eine für die Kathode specifische Erscheinung betrachtet werden muss. So habe ich da für schwache und mittelstarke (im Pflüger'schen Sinne) polarisirende Ströme gefunden, dass der Katelektrotonus zur Zeit, wo die depressive Kathodenwirkung sich stark entwickelt hat, für die Erregung undurchdringlich wird, während das Anelektrotonusgebiet immer fortfährt, die Erregungen zu leiten, und zwar ohne merkliche Schwächung. Ich habe ferner constatirt, dass die depressive Kathodenwirkung mit der Polarisationsdauer an Stärke immer zunimmt, so dass sie sogar bei schwacher Polarisation solche Stärke erreichen kann, die man nie im Anelektrotonusgebiete der viel stärkeren polarisirenden Ströme beobachten kann. Endlich habe ich gezeigt, dass die an der Kathode entwickelte Erregbarkeitsherabsetzung durch die nachfolgende Anodenwirkung (Schliessung des polarisirenden Stromes in entgegengesetzter Richtung) schnell und leicht beseitigt werden kann. Diese Thatsachen machen es unmöglich, die depressive Kathodenwirkung durch den sich an der Kathode des polarisirenden Stromes entwickelnden secundären anelektrotonischen Zustand zu erklären.

Nehmen wir aber an, dass Dr. Bürker, nachdem er die von mir in Bezug auf die relative Wirksamkeit der Reizschläge ver-

schiedener Richtung im Elektrotonus gefundenen Thatsachen vollkommen bestätigt hat, die anderen in derselben Arbeit enthaltenen Resultate unglaublich findet und bei seinen Betrachtungen nicht beachten will. Auch kann bleibt seine Theorie unbegründet, weil sie physikalisch unmöglich ist.

Es ist in der That allgemein bekannt, dass der Polarisationsstrom immer schwächer als der polarisirende sein muss, und dass ihre Stärken nur in dem Grenzfall einander gleich sein können, wo die Polarisation den polarisirenden Strom vollständig annullirt. Es ist deshalb ganz unmöglich, anzunehmen, dass die Kathode des polarisirenden Stromes unter der Wirkung der Polarisation allein in die Anode umgewandelt werden könnte. Das könnte nur dann geschehen, wenn der polarisirende Strom durch irgendwelche von der Polarisation unabhängige Einflüsse in seiner elektromotorischen Kraft abgeschwächt werden könnte (wie z. B. bei einer unvollständigen Oeffnung des Stromes). Wir kennen aber keine Einflüsse, welche im Nerven während der Polarisation in diesem Sinne wirksam sein könnten, und Dr. Bürker hat uns keine solche gezeigt.

Wenn wir aber auch diese ganz unwahrscheinliche Annahme machen, dass eine secundäre Anode sich im Bereiche des Katelektrotonus bildet, dann bleibt es uns jedenfalls unbegreiflich, warum die entsprechende Kathode sich nicht im Anektrotonus gebildet hat. Die Antwort auf diese Frage, die uns Dr. Bürker vorlegt, kann nicht als befriedigend betrachtet werden. Eine einfache Ueberlegung genügt schon vollständig, um sich davon zu überzeugen, besonders wenn man sich, wie es auch Dr. Bürker thut, auf die Hermann'sche Kernleitertheorie des Elektrotonus festhält. Nehmen wir in der That an, dass die nachstehende Fig. 2 einen Kernleiter darstellt, dem man den Strom in AK zugeleitet hat: A ist die Anode und K die Kathode des Stromes. Nun mögen die Linien, welche sich aus A und K nach allen Richtungen hin ausbreiten und im Kerne des Leiters ihr Ende finden, die anelektrotonischen (in den Kern eintretenden) und die katelektrotonischen (aus dem Kerne austretenden) Stromfäden darstellen¹⁾. Es ist augenscheinlich, dass

1) Es muss noch ein Antheil des Stromes ganz direct durch die Hülle hindurch von A nach K fließen; dieser Strom nimmt aber keinen Theil in den Elektrotonuserscheinungen und kann deshalb von uns unberücksichtigt bleiben.

das Elektrizitätsquantum, welches von A aus in den Kern eintritt, dem aus dem Kerne nach dem K austretenden ganz gleich sein muss. Desshalb muss die allgemein bekannte Thatsache, dass die anelektrotonischen Ströme stärker als die katelektrotonischen sind, nur so gedeutet werden, dass diese beiden Ströme sich im Nerven auf verschiedene Weise vertheilen: Die anelektrotonischen Stromfäden breiten sich verhältnissmässig sehr weit in die extrapolare Strecke aus, während die katelektrotonischen zum grössten Theil schon in der unmittelbaren Nähe der Kathode aus dem Kerne austreten. Die Identität der Elektrizitätsquanta, welche in den Kern hinein- und aus demselben heraustreten, kann selbstverständlich nicht durch die Polarisation gestört werden. Die Polarisation kann nur zu einer ganz gleichen Abnahme der beiden führen. Wenn wir desshalb mit Dr. Bürker annehmen, dass der Polarisationsstrom im Katelektrotonusgebiete die katelektrotonischen Stromfäden des

Fig. 2.

polarisirenden Stromes übercompensirt und zur Entstehung der secundären Anode führt, so muss derselbe Polarisationsstrom im Anelektrotonusgebiete die anelektrotonischen Stromfäden in ganz gleichem Maasse übercompensiren und die Entstehung der secundären Kathode hervorrufen. Das findet aber nicht statt, wie es Dr. Bürker selbst zugestehen muss, und folglich kann die Existenz der secundären Anode im Katelektrotonusgebiete auch nicht angenommen werden.

Dr. Bürker fühlte augenscheinlich selbst, dass seine Theorie keinen genügend festen Grund besitzt, und suchte sie desshalb durch experimentelle Thatsachen zu stützen. Ich habe schon oben die Beschreibung des Versuches wiedergegeben, wodurch Dr. Bürker bewiesen zu haben glaubt, dass die von seiner Theorie verlangten Erscheinungen an dem Kernleiter wirklich beobachtet werden. Man kann aber sehr leicht zeigen, dass dieser Glaube nur auf der wörtlichen Verwechslung der Bezeichnungen von Kathode und Anode beruht. Da der Strom immer in einem geschlossenen Kreise fliesst, so müssen die Bezeichnungen von Anode und Kathode nur den

relativen Sinn haben: was für einen Theil des Stromkreises die Anode ist, dass muss für den anderen Theil desselben Stromkreises als Kathode gelten und umgekehrt. Dr. Bürker hat nun diesen relativen Sinn der Elektrodenbezeichnung bei der Erklärung seines Versuches verkannt.

Zur Erläuterung des Gesagten kann die oben angeführte Fig. 2 uns auch hier dienen. *A* und *K* mögen die Stellen bedeuten, wo Dr. Bürker dem von ihm hergestellten Kernleiter den Strom durch Platinelektroden zuleitete. Bei der Schliessung des Stromes entwickeln sich die elektrolytischen Processe im Kernleiter, und zwar sowohl an den äusseren Elektroden *A* und *K*, als auch an den inneren, längs des Kerndrahtes vertheilten Ein- und Austrittsstellen des Stromes, welche als die inneren Anoden und Kathoden betrachtet werden können.

Was nun die äusseren Elektroden *A* und *K* betrifft, so fliesst hier der Strom im Elektrolyt (mit Wasser befeuchtetes Jodkaliumstärkekleisterpapier) in der Richtung von *A* nach *K* und zerlegt dabei *KJ* in *K*- und *J*-Ionen. Das Kalium, wie überhaupt alle metallischen Ionen, muss sich in der Richtung des Stromes, das *J* aber in der entgegengesetzten Richtung bewegen. An der Elektrode *A* (äussere Anode, wo der Strom aus dem äusseren Drahte in das Elektrolyt hineinfliesst) muss desshalb das Papier durch das sich abscheidende Jod blau gefärbt erscheinen, während das in *K* (äussere Kathode, wo der Strom aus dem Elektrolyt in den Draht herausfliesst) sich abscheidende Kalium keinen Anlass zu der Papierfärbung geben kann. Das hat Dr. Bürker auch wirklich beobachtet.

Das Aehnliche muss auch an den inneren Anoden und Kathoden statthaben; nur ist die physikalische Bedeutung dieser Anoden und Kathoden eine ganz andere, indem die inneren Anoden mit der äusseren Kathode und die inneren Kathoden mit der äusseren Anode physikalisch gleichzusetzen sind. In der That fliesst der Strom an der äusseren Anode aus dem Elektrodendraht in die Hülle hinein, während er an den inneren Anoden aus dem Elektrolyt herausfliesst, um sich in den Drahtkern zu begeben; ebenso tritt der Strom an der äusseren Kathode aus der Hülle heraus, während er an den inneren Kathoden aus dem Kerne in die Hülle hineintritt. Desshalb müssen wir erwarten, dass die elektrolytischen Processe an den äusseren und inneren Anoden und Kathoden einander entgegengesetzt sein müssen. Dr. Bürker hat das, wie wir oben gesehen, wirklich

beobachtet und damit unsere Experimentaltechnik mit einem schönen Vorlesungsversuche bereichert, welcher uns die Hermannsche Elektrotonustheorie sehr gut veranschaulicht. Ueber die Bildung der secundären Anode und Kathode im Bürker'schen Sinne kann aber dabei keine Rede sein.