Electrotropismus und verwandte Erscheinungen.

Von

Dr. phil. **Eugen Blasius** und Dr. med. **Fritz Schweizer.**

Der zuerst von Hermann beschriebene Electrotropismus, das heisst die Eigenschaft gewisser im Wasser lebender Thiere, sich durch einen constanten electrischen Strom in ihrer Stellung und in der Richtung ihrer Bewegung beeinflussen zu lassen, gehört wohl zu den merkwürdigsten Erscheinungen auf electrophysiologischem Gebiete.

Denn, ist schon die Thatsache, dass Thiere den Unterschied in der Richtung der electrischen Kraft nicht nur empfinden, sondern sogar gegen sie bestimmte Stellungen bevorzugen, an sich schon von hohem Interesse, so wird unsere Aufmerksamkeit noch um so mehr diesem Phänomen sich zuwenden müssen, als es bis jetzt unerklärt dasteht, und etwas isolirt von den übrigen electrophysiologischen Erscheinungen.

Die Beobachtungen Hermann's veranlassten eine Reihe von weiteren Untersuchungen; das Verhalten anderer Thierarten — Hermann hatte mit Kaulquappen und Fischembryonen experimentirt — wurde studirt; aber eine Erklärung des Electrotropismus hat bis jetzt niemand gegeben.

Auch wir sind nicht in der Lage, den Electrotropismus zu erklären; aber wir wollen eine Anzahl von Versuchen beschreiben, welche seinen Zusammenhang mit bestimmten anderen electrophysiologischen Erscheinungen erkennen lassen. Freilich ist auch über diese Erscheinungen, wir meinen die krampferregenden und krampfstillenden Wirkungen bestimmt gerichteter galvanischer Ströme, die Untersuchung noch nicht abgeschlossen. Im Gegentheil, es bestehen noch grosse Controversen, und sie haben daher

bis jetzt nicht die Beachtung, wenigstens nicht das Studium gefunden, das aus theoretischen und praktischen Gründen ihnen zukäme.

Dass der Electrotropismus mit diesen erwähnten Phaenomenen nahe Beziehungen habe, konnten wir nicht von vornherein vermuthen. Unsere ersten Versuche wurden einfach in der Absicht unternommen, die relativ hohen constanten electromotorischen Kräfte, über welche wir verfügten, zur Wiederholung der Hermann'schen Versuche zu benützen.

Zu unsern Experimenten standen uns nämlich im physikalischen Institute der Universität zu Berlin electriche Kräfte zu Gebote, wie sie wohl noch nicht häufig zu physiologischen Arbeiten verwendet werden konnten. Wir hatten Anschluss an den constanten Strom von ca. 108 Volt Spannung, welcher von den Berliner allgemeinen Electricitätswerken zu Beleuchtungszwecken geliefert wird.

Hermann beobachtete, dass im Wasser frei schwimmende Kaulquappen (Larven von *Rana temporaria*) und Fischembryonen sich im galvanischen Strome mit der Längsaxe in der Richtung der Stromlinien einstellten und zwar mit dem Kopfe der Anode zugewandt. Dasselbe Verhalten zeigten sogar kleine Fische, wie Neubauer fand.

Verworn¹⁾ hat später auch für Infusorien galvanotropische Erscheinungen nachgewiesen. *Pleuronema chrysalis* schwimmt im galvanischen Strome der Kathode zu, *Opalina ranarum* dagegen kriecht zur Anode. Aus seinen Versuchen schliesst Verworn: In schwächeren Strömen schwimmen Flagellaten zur Anode, Ciliaten zur Kathode.

Nagel²⁾ lieferte einen weiteren Beitrag zu diesen Untersuchungen durch seine Beobachtungen an Wasserschnecken (*Limnaeus* und *Planorbis*) und an kleinen Krebsen, an Cyclopsarten. Bei Meerescopepoden hatte Vosseler bemerkt, dass sie sich um eine der Electroden (des faradischen Stromes) sammeln. Nagel stellte für die von ihm verwendeten Cyclopsarten fest, dass diese Electrode die Anode sei. Auf die empfindlichen Theile der Wasserschnecken übt diese umgekehrt eine abstossende Wirkung aus.

Nachdem wir zuerst die Beobachtungen von Hermann und Neubauer hatten bestätigten und in manchen Punkten, vermöge

1) Pflüger's Archiv f. Physiologie Bd. 45, 1889 u. 46, 1890.

2) Pflüger's Archiv f. Physiologie Bd. 51, p. 624.

der stärkeren Ströme, auch erweitern können, beschlossen wir uns näher zu beschäftigen mit dem Electrotropismus.

Plan und Anordnung der Versuche.

Wir fragten uns in erster Linie: Welche Thiere zeigen electrotropische Erscheinungen, und wie äussern sich dieselben bei verschiedenen Thiergattungen?

Ein erschöpfendes Studium des Electrotropismus verlangt natürlich sehr genaue Untersuchungen. Die schwierige Frage, welche Nerven- und Muskelgruppen hauptsächlich theilhaftig seien, sollte beantwortet werden; wir sind weit davon entfernt, die Bedeutung, ja die Nothwendigkeit derartiger Untersuchungen zu verkennen. Wenn wir es trotzdem vorzogen vorerst nach anderen Gesichtspunkten vorzugehen, so waren dafür wesentlich folgende Erwägungen massgebend: Wir betraten ein noch wenig bekanntes Gebiet und liefen Gefahr, vielleicht die wichtigsten Hilfsmittel einer Orientirung zu übersehen, wenn wir uns durch Detailuntersuchungen zu früh fesseln liessen.

Ob unser Verfahren sich bewähren würde, liess sich schwerlich vor Beginn der Versuche entscheiden. Selbst jetzt, nach deren Abschluss, könnte man darüber zweifelhaft sein, ob es das zweckmässigste war.

Eine Methode, bei der die ganzen Thiere der Wirkung des galvanischen Stromes ausgesetzt werden, hat immer das Bedenkliche, dass die Verhältnisse wegen der durch den complicirten Bau des thierischen Organismus so ungemein verwickelten Strombahnen durchaus nicht einfach sind. Die Vertheilung der Electricität hängt aber nicht bloss von der Körperbeschaffenheit der Versuchsobjecte ab, sondern in hohem Grade auch von der Gestalt des Behälters, der Form und Lage der Electroden. Der Bau ist bei bestimmten zu untersuchenden Thieren ein Gegebenes, dagegen können wir über die anderen Bedingungen des Versuches in der verschiedensten Weise verfügen. Käme es nur darauf an, dass die Beobachtungen mit sicherem Erfolge wiederholt werden könnten, so brauchten wir nur alle Umstände ganz genau anzugeben. Um uns selbst aber nicht durch die Mannigfaltigkeit der möglichen Anordnungen verwirren zu lassen, ist es nothwendig, nach irgendwelchen Grundsätzen zu verfahren und bei der Auswahl dieser Grundsätze leiteten uns folgende Erwägungen.

Wie bei magnetischen Untersuchungen das Verhalten der Körper im homogenen magnetischen Felde als Norm zu betrachten ist, von welcher man bei der Beurtheilung anderer Fälle ausgeht, so könnten auch die Beobachtungen an Thieren in einem electrischen Strom, dessen Stromfäden geradlinig parallel und gleich dicht sind, als Grundlage für die complicirteren Versuche gelten. Die magnetischen Kraftlinien werden zwar durch Einführung des zu untersuchenden Körpers abgelenkt, die Stromlinien desgleichen; für beide bleiben jedoch die Verhältnisse in grösseren Entfernungen vom Körper unverändert und von einer bestimmten Grenze an hat die Erweiterung des Feldes oder der Strombahn keinen wesentlichen Einfluss mehr auf die Vertheilung der Linien im Körper. Ist diese Grenze bei den physiologischen Versuchen erreicht, so bleibt der Theil des Stromes, welcher auf die Thiere kommt, in Bezug auf Stärke und Richtung gleich, wenn man bei Aenderung des Gefässes nur dafür sorgt, dass die Stromdichte an den ausserhalb der Wirkungssphäre des Thieres gelegenen Stellen dieselbe bleibt. Das wird dann der Fall sein, wenn die gesamte Stromintensität dem Querschnitte proportional gehalten wird. Unter solchen Bedingungen würde also schon die Angabe der Stromdichte genügen, um die Versuche bei verschiedener Grösse des Querschnittes in gleicher Weise ausführen zu können. Praktisch lässt sich die Frage, ob die Dimensionen diesen Ansprüchen genügen, dadurch entscheiden, dass man die Reactionen der Thiere bei verschiedenen Querschnitten und Stromstärken beobachtet und feststellt, ob die am meisten charakteristischen Unterschiede im Verhalten für verschiedene Querschnitte bei proportionalen Stromstärken eintreten.

Leider ist es selbst bei Anwendung der Klemmspannung der Beleuchtungsanlage nicht möglich, hinreichend grosse Stromdichten zu erhalten, falls man nicht namentlich den Querschnitt der Flüssigkeit unter einer bestimmten Grenze hält. Andererseits sahen wir, dass ein zu kleiner Querschnitt nicht vortheilhaft ist. Die günstigsten Bedingungen werden abhängig sein von der Art der Thiere, von der verfügbaren Spannung u. s. w. Doch wir wollen nicht auf eine Discussion der für ein Bassin zum Experimentiren geeigneten Dimensionen eingehen, sondern einfach angeben, wie gross die letzteren bei unseren Versuchen waren. Denn im Allgemeinen, und speciell bei der Untersuchung der Fische, haben sich unsere

Einrichtungen ganz gut bewährt. Als Trog diente uns ein oben offener, mit Paraffin getränkter Holzkasten, dessen Innenraum 70 cm lang, 7,4 cm breit und 7,2 cm tief war. Der Strom floss in der Längsrichtung durch und wurde durch ebene Electroden aus Zinkblech zu- und abgeleitet, welche nur wenig kleiner als der Querschnitt waren und durch die ganze Länge des Kastens verschoben werden konnten, so dass sich der Abstand der Electroden innerhalb der Länge des Troges beliebig verändern liess. Am oberen Rande der Zinkplatten liessen wir etwa 12 cm lange Blechstreifen so anlöthen, dass die freien Enden auf den Wänden des Troges ruhend die Polplatten trugen. Den Querschnitt des Wassers variierten wir durch stärkeres oder geringeres Füllen des Troges. Gewöhnlich wählten wir eine Wassertiefe von 4—6 cm.

Die Breite des Troges (7,43 cm) gestattete den meisten Fischen, die wir zum Experimentiren benutzten, gerade ein Umdrehen, machte ihnen aber die genaue Querlage unbequem, so dass sie sich auch ohne Strom mit Vorliebe nahezu in die Längsrichtung des Troges einstellten. Nach verschiedenen Versuchen, z. B. in grossen photographischen Cuvetten, bei welchen den Thieren mehr Freiheit gelassen wurde, sind wir immer auf diese Beschränkung zurückgekommen. Sonst bieten nämlich die spontanen Bewegungen, die in rascher Folge das Thier Strömen der verschiedensten Richtungen aussetzten, wieder eine solche Mannigfaltigkeit von unberechenbaren Bedingungen, dass es schwer sein würde, einen bestimmten Typus der Beeinflussung herauszufinden.

Die Stromstärken wurden mit einem einfachen Galvanoskop gemessen, das für 10 Milliampere einen Ausschlag gab von 36—37° und welches, da bei solchen Instrumenten weder die Ausschläge noch ihre Tangenten den Intensitäten proportional sind, mit Hilfe eines Siemens'schen Torsionsgalvanometers calibriert wurde.

Besondere Schwierigkeiten verursachte uns während längerer Zeit die Vorrichtung zum langsamen und stetigen Anlassen des Stromes. Anfangs suchten wir diesen Zweck zu erreichen, indem wir in den Stromkreis als Widerstände Bindfäden oder Dochte einschalteten¹⁾, welche mit Zinkvitriollösung getränkt waren und deren wirksame Länge dadurch verändert werden konnte, dass

1) Schon im Jahre 1857 (Archiv f. physiol. Heilkunde, p. 442) wandte Heidenhain feuchte Fäden zur Abstufung der Stromstärke an.

man ihre Enden mehr oder weniger tief in Zuleitungsgefässe mit Zinkvitriollösung eintauchen liess. Obwohl wir auf diese Weise eine grosse Reihe von Versuchen mit Erfolg angestellt haben, können wir das Verfahren durchaus nicht empfehlen. Es erfordert so viel Sorgfalt, dass die Aufmerksamkeit des Beobachters zu sehr in Anspruch genommen wird.

Nachdem wir verschiedene andere Vorrichtungen probirt hatten, die sich ebensowenig bewährten, wandten wir schliesslich eine Methode an, die als recht brauchbar sich erwies und dabei nur die einfachsten Mittel erfordert.

Als veränderlichen Widerstand wählten wir auch in diesem Falle eine Lösung von Zinkvitriol und füllten sie in einen (schwarzen) Kautschukschlauch von 4,5 mm innerem Durchmesser und circa 10 cm Länge. Nachdem wir in jedes Ende des Schlauches einen blanken Kupferdraht (oder Zinkstab) etwa 2 cm weit eingeführt hatte, verschlossen wir sie mit Kork. Leiteten wir nun durch den Schlauch unsern Beleuchtungsstrom, so erlitt er fast keine Abschwächung. Drückten wir aber mittelst einer Klemmschraube an einer Stelle langsam den Schlauch zusammen, so konnten wir den Strom bis auf Null herabsetzen und umgekehrt, bei sorgfältigem Aufschrauben, ganz allmählich, ohne sprungförmiges Ansteigen, bis zu voller Höhe anwachsen lassen. Das Princip unseres Compressionsrheostaten¹⁾ ist wohl ohne weitere Erklärung einleuchtend: je enger das Lumen des Schlauches, um so grösser der Leitungswiderstand in der Flüssigkeit, — um so geringer die Stromintensität. — Für ein bequemes Arbeiten ist es wünschenswerth, dass die Schraube an einem soliden Stativ befestigt und nicht zu klein sei. Namentlich muss die Handhabe derselben, welche in unserem Falle aus einem senkrecht zur Axe der Schraube durch diese gesteckten Metallstabe bestand, gross genug sein, damit man kleine Drehungen mit Sicherheit ausführen kann. Die Schraube drückt am besten nicht direkt auf den Schlauch, sondern durch ein zwischengelegtes Holzstückchen. Dieses darf, während es angepresst wird, keine unregelmässigen Bewegungen machen, und wird daher an einer Axe drehbar befestigt. Um den Schlauch zu schonen ist es vortheilhaft, die Schraube zu lösen, wenn der Apparat nicht gebraucht wird.

1) Compressionsrheostaten dieser Art verfertigt W. A. Hirschmann, Berlin N., Johannisstrasse 14/15

Versuche.

Wenn wir nun zur Besprechung unserer Versuche übergehen, so müssen wir uns darauf beschränken, einzelne Beispiele anzuführen. Alle Beobachtungen zu beschreiben würde zu weitläufig sein. Eine Beschränkung in dieser Hinsicht wird uns aber um so mehr gestattet sein, als wir nach unseren Erfahrungen den Satz aussprechen können, dass Thiere, welche aus zoologisch näher verwandten Gattungen stammen, — mit Ausnahmen allerdings, — auch ein ähnliches Verhalten gegenüber galvanischen Strömen zeigen, besonders, wenn sie in Grösse und Ernährungs- resp. Kräftezustand einander gleichen. Die Beispiele, welche wir geben, mögen daher als typisch für die betreffenden Thiergruppen gelten. Wir wenden uns zunächst zu den Versuchen an normalen Thieren. Das Verhalten decapitirter, enthirnter, vergifteter und abgekühlter Thiere beschreiben wir in einem späteren Abschnitt.

Fische.

F o r e l l e n. Unsere ersten Beobachtungen stellten wir an jungen Bachforellen (*Salmo fario*) an, die zum Theil wenige Tage, zum Theil 3—4 Wochen alt waren. Nachdem wir schon in gewöhnlichen Glasschalen beim Durchleiten des electrischen Stromes eine Einstellung der Fischeben gegen den positiven Pol beobachtet hatten, brachten wir einige Forellen in ein mit Wasser gefülltes 60 cm langes Glasrohr von 26 mm Durchmesser. Die beiden Enden der Röhre waren mit Kautschukpfropfen verschlossen, die an ihrer Innenfläche Platinblechscheiben trugen, zu welchen Kupferdrähte den Strom durch die Pfropfen leiteten. Wenn wir nun einen ganz schwachen Strom schlossen, so stellten sich sofort alle Forellen ein, — mit dem Kopf gegen den positiven Pol hin —, blieben dann ruhig liegen, oder schwammen bisweilen vorwärts, immer in der Richtung gegen die Anode. Die Einstellung erfolgte selbst bei Strömen, welche auf dem vorerwähnten Galvanometer kaum einen Ausschlag gaben. Schliesst man einen etwas stärkeren Strom, so geschieht die Einstellung mehr ruckweise und die Fische schiessen darauf mit einigen kräftigen Schwimmbewegungen gegen den positiven Pol hin. Oeffnet man, so bleiben die Thiere erst einige Sekunden ruhig liegen und schwimmen dann wieder durcheinander. Auf mehrmaliges Oeffnen und Schliessen sammeln sich allmählich alle beim positiven Pole mit dem Kopfe dorthin

gewandt. Schliesst man einen noch stärkeren Strom, so drehen sich ebenfalls alle Forellen in die positive Einstellung, bewegen sich hastig noch etwas vorwärts, werden dann ruhig und legen sich bewegungslos auf die Seite. Häufig hört in diesem Zustand absoluter Ruhe auch die Athmung auf, oft wird sie schwach und unregelmässig. Dass wir es hier mit einer Betäubung oder Einschläferung durch den absteigenden Strom zu thun haben, wird uns hauptsächlich dadurch klar, dass die Thiere ohne Reaction sich rollen, kneifen, auf den Rücken legen lassen. Sobald man sie aber quer zur Stromrichtung stellt oder gar völlig umdreht, so dass sie aufsteigenden Strom bekommen, so werden sie sehr erregt; sie schiessen auf, winden und krümmen sich, und drehen sich schliesslich wieder mit dem Kopf gegen die Anode, worauf sie von neuem in den tiefen Schlaf verfallen. Schaltet man den Strom um, so schnellen sie empor, machen erst einige Schwimmbewegungen, Windungen und Krümmungen und stellen sich dann wieder mit dem Kopf gegen die Anode hin ein.

Goldorfe (*Leuciscus idus*). Recht wohl geeignet zu unseren Versuchen erwies sich eine Goldorfe von $7\frac{1}{2}$ cm Länge. (Wir machten nun bei den folgenden Beobachtungen, wenn nichts besonderes erwähnt wird, von dem oben beschriebenen Holztroge Gebrauch.) Bei einer Stromstärke von 3,5 bis 4,7 Milliampere pro Quadratdecimeter [Wassertiefe, $WT = 5,7$ cm, Stromintensität, $J = 1,5 - 2$ Milliampere] konnte man nach ihrem Verhalten den positiven und negativen Pol schon unterscheiden. Ihre Bewegungen sind beim Schwimmen gegen den positiven Pol hin abgerundet und weich, gegen den negativen eckig und brusque.

Auf Schliessung etwas stärkerer Ströme, 15,8 Milliampere pro Quadratdecimeter [$WT = 3,5$ cm, $J = 4,1$ Milliampere] stellt der Fisch sich mit dem Kopfe gegen die Anode ein.

Betrachten wir die Fälle, in denen die Längsrichtung des Fisches sich in der Stromrichtung befindet, so kann er in Kopfstellung entweder gegen die Anode oder gegen die Kathode gerichtet und entweder in Ruhe oder in Bewegung sein.

Schwimmt er im Momente der Schliessung nach der Anode hin, so bleibt er entweder in dieser Stellung in Ruhe (abgesehen von einem leichten Flimmern der Vorderflossen), oder er bewegt sich vorwärts bis zur Anode und bleibt dort liegen, wobei meistens der Kopf etwas tiefer steht als der Schwanz. Schliesst man den

Strom während der Fisch sich nicht bewegt, so bleibt er nach einigen Zuckungen ruhig liegen, falls er mit dem Kopfe gegen die Anode gerichtet ist, dreht sich dagegen sofort um, wenn er sich in der umgekehrten Richtung befindet, sowohl wenn er schwimmt, wie wenn er in Ruhe ist.

Auch aus Querstellungen erfolgt immer bald die Einstellung mit dem Kopfe gegen die Anode, welche wir mit *Verworn* kurz als *positive Einstellung* bezeichnen wollen.

Gehen wir nun zu noch stärkeren Strömen über! Rasch wird die positive Einstellung gewählt. Der Fisch bleibt dann nicht nur wie vorher in Ruhe, sondern er zeigt deutliche Erscheinungen von Betäubung oder Einschläferung, indem er zuerst die Balance verliert, um die Längsaxe schwankt und die Vorderflossen stark abduciert, als wenn er dadurch das Gleichgewicht wieder gewinnen wollte. Darauf tritt immer stärker die Bewusstlosigkeit zu Tage, jede zweckmässige Bewegung hört auf und willenlos fällt der Fisch, blos den Gesetzen der Schwere folgend, auf die Seite oder rollt auf den Rücken, wie todt. Doch die Athmung, welche meist einige Augenblicke ausgesetzt hatte, beginnt allmählich wieder, allerdings häufig schwach und unregelmässig; von Zeit zu Zeit durchziehen Zuckungen den Körper des Fisches. In ihrem Typus erinnert die Athmung an das *Cheyne-Stokes'sche* Phänomen und auch die *Nystagmus-artigen* Bewegungen der Augen deuten auf eine starke Beeinflussung hin von Gehirn und verlängertem Mark.

Höchst eigenthümlich bleibt nun das Verhalten des Fisches gegenüber mechanischen Einwirkungen, solange er unter dem Einfluss des absteigenden Stromes steht. Man kann ihn rollen, rückwärts und vorwärts schieben wie einen leblosen Körper, wenn man nur vermeidet, ihn aus der positiven Einstellung zu bringen. Versucht man dagegen ihn hieraus erheblich zu entfernen, so erwacht er und dreht sich mit wenigen geeigneten Bewegungen in dieselbe zurück. Nur mit Gewalt kann man ihn in der negativen Einstellung halten, in der er sich anscheinend unter Schmerzen windet, und die er sofort mit der positiven vertauscht, sobald ihm die Möglichkeit geboten wird.

Aus dem Zustande der Betäubung schnellt er empor, wenn der Strom umgelegt wird und wirft sich förmlich in die neue Anodeneinstellung.

Wird der Strom nicht umgelegt, sondern nur geöffnet, so

richtet der Fisch unter einigen leichten Zuckungen sich auf und schwimmt anscheinend normal umher. Er wird zwar durch häufige Wiederholung der Versuche ermüdet, wir können aber gleich hier betonen, dass wir einzelne Thiere sehr oft benutzt haben, ohne dass sie darunter zu leiden schienen. Eine Anzahl unserer Fische haben seit vielen Monaten zu den Versuchen gedient und sind noch vollständig munter.

Im Principe erreicht man zwar dasselbe, ob man die Stromrichtung ungeändert lässt und den Fisch umkehrt, oder ob man, ohne den Fisch zu berühren, den Strom umwendet. Praktisch aber ist es nicht möglich, den Fisch so schnell umzulegen, wie den Strom und es besteht daher der bedeutende Unterschied, dass man im ersten Falle den absteigenden Strom allmählich in einen aufsteigenden verwandelt, in letzterem dagegen plötzlich. In ähnlicher Weise unterscheidet sich das blosse schnelle Oeffnen und Schliessen des Stromes von einem langsamen und stetigen An- und Ablassen desselben. Die physiologischen Erscheinungen, welche durch schnelle Stromschwankungen hervorgerufen werden, sind schon so eingehend studirt und verwickelten — nebenbei gesagt — unsere Versuche derart, allein schon durch die Ermüdung der Thiere, dass wir die raschen Aenderungen der Stromstärke möglichst zu vermeiden trachteten. Durch die oben geschilderten Vorrichtungen liessen wir den Strom langsam ansteigen und absinken.

Hierbei stellte sich nun heraus, dass man abzüglich der Schliessungs- und Oeffnungszuckungen im Wesentlichen dieselben Resultate erhält wie beim plötzlichen Schliessen und Oeffnen des Stromes. Sobald nämlich der Strom beim Anwachsen einen bestimmten Grenzwert überschritten hatte, zeigten die Thiere dieselbe Vorliebe für den positiven Pol und bei weiterer Verstärkung nacheinander die Einstellung, Beruhigung, Einschläferung und schliesslich vollständige Betäubung in Seiten- oder Rückenlage, genau so wie früher. Wir haben daher eine *Dauerwirkung* des electrischen Stromes vor uns und nicht eine Folge rascher Schwankungen.

Der Anwendung des langsamen Ablassens im Gegensatz zu der plötzlichen Oeffnung des Stromes verdanken wir die Kenntniss einer neuen höchst bemerkenswerthen Erscheinung. Hatten die Thiere, durch genügende Stromstärken [31—34 MA pro 1 qdm] voll-

ständig betäubt, Cadaverstellung angenommen, und liessen wir dann den Strom möglichst gleichmässig und langsam absinken, so verharren sie manchmal in ihrer Ruhe und blieben noch viele Minuten nach totalem Aufhören des Stromes scheinbar in demselben Zustande wie bei dessen Wirkung. Thatsächlich bestand jedoch der grosse Unterschied, dass die Thiere vorher für mechanische Einflüsse vollständig unempfindlich waren, solange man sie nicht aus der positiven Einstellung entfernte, während jetzt die geringste Berührung, ja, ein leises Geräusch, ein leichtes Zittern des Tisches, sie aus ihrem Schlafe weckte. Sie richteten sich darnach sofort auf und schwammen, als ob nichts geschehen wäre, ruhig umher. Häufig schienen die Thiere auch von selbst zu erwachen, muthmasslich aus Ursachen, die so geringfügig waren, dass sie unserer Wahrnehmung entgingen.

Eine genauere Discussion dieser Zustände sparen wir uns für später auf. Jetzt möchten wir nur, um im Verlaufe der Arbeit Missverständnisse zu vermeiden, feststellen, wie wir sie durch die Bezeichnung unterscheiden wollen. Den Zustand tiefer Narkose oder Betäubung, welcher unter dem direkten Einfluss des Stromes zu Stande kommt, werden wir Galvano-Narkose nennen. Der Zustand nach Aufhören des Stromes unterscheidet sich kaum von den hypnotischen Zuständen, in welche man gewisse Thiere (Krebse, Frösche, Hühner) durch Festhalten versetzen kann, und wir werden ihn daher auch als Hypnose bezeichnen.

Viele von den Thieren, welche wir untersucht haben, namentlich die Fische, in gewissem Grade aber auch Repräsentanten anderer Thierklassen, liessen sich durch den auf- und absteigenden Strom in ähnlicher Weise beeinflussen, wie die Goldorfe. Bei einzelnen Fischen sind die Erscheinungen noch ausgeprägter als bei der Orfe, bei anderen weniger auffällig. Häufig variiren die Nebenerscheinungen in einer für die einzelnen Species charakteristischen Weise. Bei anderen Thierarten, z. B. Amphibien und höheren Wirbelthieren, bedingt natürlich schon der Bau grössere Abweichungen, doch lassen sich auch bei ihnen zuweilen ähnliche Erscheinungen beobachten wie bei den Fischen.

Es würde zu weit führen, wenn wir bei den folgenden Versuchen die übereinstimmenden Phänomene jedesmal mit derselben Ausführlichkeit schildern wollten, und obgleich wir sie für das

Wichtigere halten, werden wir in der Darstellung vielfach den Nebenerscheinungen den grösseren Raum überlassen müssen.

Bleiben wir zunächst bei den Fischen. Untersucht wurden: Stichling, Karpfen (Moor- und Goldkarpfen), Orfen, Goldfisch, Plötze, Ellritze, Schleie, Bitterling, Ukelei, Schlammpeitzger, Forelle (auch grössere), Aal (junge und alte) und Neunauge.

Karpfen (*Cyprinus carpio*). Eine sehr grosse Uebereinstimmung mit der Goldorfe in Bezug auf das electrische Verhalten im Strome und den Zustand der Hypnose beim Aufhören desselben zeigten Goldkarpfen von etwa 8 cm Länge, doch brauchten sie zur sicheren Einstellung und später zur Betäubung etwas stärkere Stromintensitäten. [Ueber 33,6 MA pro qdm zur Betäubung.] Moor-karpfen von 5–6 cm Länge wurden auch bei etwa 32 MA pro 1 qdm betäubt, während sie bei 19 MA pro 1 qdm noch sowohl in der negativen wie in der positiven Einstellung schwimmen konnten.

Goldfische (*Carassius auratus*) waren bei Stromstärken von 14 MA pro 1 qdm in der positiven Einstellung festgebannt und wurden von denselben Strömen betäubt wie die Goldorfe. Bei ihnen nimmt die Athmung in der Narkose besonders leicht einen dem Cheyne-Stokes'schen ähnlichen Typus an, hört öfters sogar für kurze Zeit ganz auf. Es ist unter gewöhnlichen Umständen nicht leicht, die Goldfische durch langsames Ablassen des Stromes in den Zustand der Hypnose überzuführen, doch bleiben sie bis zu ganz minimalen Stromdosen [2–3 MA pro 1 qdm] ganz ruhig. Gerade für die Hypnose-Versuche sind manche andere Fische viel geeigneter. In Bezug auf das Schwimmen gegen die beiden Elektroden liessen die Goldfische ganz dieselben Unterschiede erkennen wie die Goldorfen [5 MA pro 1 qdm]. Am frühesten fällt dieser Unterschied dadurch auf, dass beim Schwimmen gegen den negativen Pol die gleichsam als Kiel dienende Rückenflosse stärker aus ihrer Mittelstellung bewegt wird, als beim Schwimmen im entgegengesetzten Sinn, was wohl mit den stärkeren Schwimmbewegungen im ersten Falle zusammenhängen mag.

Bei den Versuchen über Einstellung hat man besonders darauf zu achten, dass Goldfische, welche durch öftern Stromwechsel oder andere Bedingungen aufgeregt sind, sich sehr empfindlich für plötzlichen Schluss des Stromes zeigen, und dass die Schreckwirkung sich dann häufig durch Umdrehen kundgibt, sei es gegen

den positiven, sei es gegen den negativen Pol. Ganz besonders constant tritt diese Umdrehung ein, wenn der Fisch beim Stromschlusse in Bewegung ist. Immerhin macht sich auch in solchen Fällen eine Vorliebe für die positive Einstellung geltend. Wir schlossen ungefähr 50 Mal den Strom, jeweils dann, wenn der Goldfisch in Bewegung zum positiven Pol begriffen war, 30 Mal verblieb er in seiner Stellung, in den anderen Fällen drehte er sich zuerst schnell in die negative Richtung, welche er dann aber bald mit der positiven vertauschte. Es ist nothwendig, die Ströme nur kurze Zeit jeweils wirken zu lassen bei derartigen Versuchen und durch Pausen von mindestens zwei Minuten zwischen den einzelnen Experimenten den Thieren Zeit zur Erholung zu geben.

Während die Haupterscheinungen der Einstellung und Narkose bei verschiedenen Thieren derselben Gattung eine recht grosse Uebereinstimmung zeigen — es handelt sich bei Individuen von gleicher Beschaffenheit nur um geringe Differenzen in den nothwendigen Stromstärken — so lassen sich begreiflicherweise in Bezug auf die Nebenerscheinungen, wie die Schreckwirkung und dergleichen, ganz beträchtliche Unterschiede in dem Verhalten einzelner Thiere erkennen. Manche Goldfische zeichneten sich dadurch aus, dass sie sich fast jedesmal beim Schluss des Stromes umdrehten, unabhängig von dessen Richtung.

Schleie (*Tinca vulgaris*). Schleihen von 9 cm Länge verhielten sich ähnlich wie Goldorfen, waren aber etwas torpider als diese und mussten, bis sie in Narkose geriethen, stärkeren Strömen ausgesetzt werden.

Ellritze (*Phoxinus laevis*). Kleine lebhafte Gebirgsellritzen dagegen reagierten auf viel geringere Ströme wie Goldfische.

Ukelei (*Alburnus lucidus*). Als ganz besonders brauchbar für die Hypnose-Versuche erwiesen sich die Ukelei. Häufig blieben sie, wenn der Strom sie in Narkose versetzt hatte und langsam abgelassen worden war (während wir möglichste Ruhe beobachteten), bis 15 Minuten lang vollständig bewegungslos auf dem Rücken liegen, bis wir sie durch leichte Berührung mit einem Glasstabe aufweckten. In anderen Fällen wachten sie nach etwa 15 Minuten von selbst wieder auf, ohne dass wir den Grund des Erwachens anzugeben wüssten.

Stichling (*Gastrosteus aculeatus*). Noch promptere Ein-

stellung und Narkose wie Ukelei zeigten Stichlinge [Seitenlage bei 15 MA pro 1 qdm].

Bitterling (*Rhodeus amarus*). Auch Bitterlinge liessen sich in ähnlicher Weise von ziemlich schwachen Strömen beeinflussen.

Schwarzorfen (eine Varietät, ähnlich den Goldorfen, aber mit schwärzlichem Rücken), brauchten stärkere Ströme wie Bitterlinge.

Schlammpeitzger (*Cobitis fossilis*). Als äusserst günstiges Versuchsobject erwies sich der Schlammpeitzger und zwar in erster Linie was Einstellung anbelangt, aber auch in Bezug auf den Zustand der Hypnose bei vorsichtiger Abschwächung des Stromes. Es ist bekannt, dass dieser Fisch durch Unruhe das drohende Gewitter anzeigt. Sollte das nicht mit seiner grossen Empfindlichkeit für electriche Einflüsse zusammenhängen?

Forelle (*Salmo fario*). Plötze (*Leuciscus rutilus*). Bis jetzt handelte es sich bei unseren Versuchen um Fische von 6—10 cm Länge; nur einzelne von den verwendeten Schlammpeitzgern erreichten bis 15 cm. Von grösseren Fischen haben wir einige bis 23 cm lange Bachforellen und ungefähr ebenso grosse Plötzen untersucht. Unser Trog gestattete diesen Thieren kein leichtes Umdrehen, so dass wir nur die Hauptthatsache feststellen konnten: Erregung im aufsteigenden, Beruhigung bis Seiten- oder Rückenlage im absteigenden Strom.

Es wird kaum nöthig sein zu erwähnen, dass man auch mit dem aufsteigenden Strome, wenn man ihn ungemein stark anwendet bei Fischen, die sich nicht umdrehen können, Rückenlage erzielen kann. Nach dergleichen Versuchen sterben gerade grössere Fische sehr häufig.

Aal (*Anguilla vulgaris*). Aale zu untersuchen war uns wegen ihres langgestreckten Körpers und der Empfindlichkeit für electriche Reize, welche ihnen zugeschrieben wird, von besonderem Interesse. Die von uns benutzten Thiere waren beinahe eben so lang wie der Trog. Durch den geringsten Reiz wurden sie so erregt, dass wir den Trog mit einer schweren Glasplatte bedecken mussten, um sie im Wasser zu halten. Trotz der Engigkeit des Behälters konnten die Thiere sich in demselben leicht herum-drehen und thaten dies bei schwächeren Strömen öfters. Da hierbei verschiedene Körpertheile auch in verschiedene Stromrichtungen kommen, so erklärt es sich wohl, dass der Fisch dadurch noch

aufgerechter wird, und dass man sonst keine einheitliche Wirkung des Stromes bemerken kann. Ist der Aal sehr ermüdet, oder werden stärkere Ströme angewendet, so sind die Unterschiede zwischen den Wirkungen des auf- und absteigenden Stromes sehr ausgeprägt und in ihrer Art ähnlich wie bei anderen Fischen. Der absteigende Strom versetzt das Thier in Ruhe, wobei es entweder sofort auf die Seite fällt und liegen bleibt, oder erst nach $\frac{1}{4}$ –1 Minute mit einem kleinen Ruck sich in diese Seitenlage begiebt. Der aufsteigende Strom führt uns ein sehr charakteristisches Bild vor Augen. Das Thier macht den Eindruck, als wenn es mit Anspannung aller Muskeln aufs äusserste gegen die Einwirkung einer heftigen Tortur anzukämpfen suchte. Das Maul ist aufgesperrt und die Haltung des Kopfes opisthotonisch. Das harmlose Thier macht in dieser Stellung einen fast erschreckenden Eindruck, so dass es wohl Künstlern als Modell zu fürchterlichen Seeschlangen dienen könnte.

Wir hatten Gelegenheit auch junge Aale von 6–7 cm Länge zu untersuchen. Sie zeigten nur wenig von dem beschriebenen Verhalten der älteren Thiere. Dagegen war bei ihnen in hohem Grade auffallend der Unterschied im Schwimmen gegen und mit dem Strome. Gegen die Anode bewegen sie sich ruhig und leicht, gegen die Kathode wie wenn sie einen grossen Widerstand fänden oder ein bedeutendes Gewicht ziehen müssten.

Neunauge (*Petromyzon fluviatilis*). Ferner verschafften wir uns ein lebendes Neunauge von über 45 cm Länge. Bei den ersten paar Versuchen zeigten sich Windungen und Krümmungen im aufsteigenden Strom, Beruhigung und einigemal Seitenlage im absteigenden. Die Athmung setzt im absteigenden Strom bis $\frac{3}{4}$ Minuten lang aus, während sie im aufsteigenden nur einige Sekunden sistirt. Eine active Einstellung konnten wir nicht mit Sicherheit feststellen. Das Thier saugt sich gewöhnlich an der Wand des Behälters fest, und lässt dann den Strom in beiden Richtungen über sich ergehen, ohne loszulassen. Bisweilen wird es auch durch den Strom so lebhaft, dass wie bei den Aalen im ersten Stadium bloss ein schnelles Hin- und Herfahren beobachtet werden konnte.

Versuche über quere und lothrechte Durchströmung.

Von der Thatsache ausgehend, dass bei Menschen und höheren Thieren quere Galvanisation des Gehirns bestimmte Schwindel-

erscheinungen hervorruft, wobei constante Unterschiede zwischen Anoden- und Kathodenwirkung vorhanden sind, versuchten wir, ob sich auch Fische ähnlich verhielten. Diese Versuche hatten erst Erfolg, als wir uns zum Einschleichen in den Strom des beschriebenen Compressionsrheostaten bedienten. Wir liessen den Strom gleichmässig, aber ziemlich rasch, ansteigen, wenn der Fisch mit dem Kopfe gegen die Anode sich so gestellt hatte, dass sein Körper mit der Stromrichtung einen Winkel von circa 30° bildete. Sobald der Strom die zur Narkose nothwendige Stärke erreicht hatte, die bei schiefer Durchströmung anscheinend etwas höher sein muss, als bei axialer, sank der Fisch langsam auf die Seite und zwar stets auf die der Anode zugewandte. Wenn wir den Fisch nun mittelst eines Glasstabes aufrichteten und ihn so drehten, dass die andere Seite der Anode zugekehrt war, so legte er sich, sobald wir ihn losliessen, auf diese Seite. Versuchten wir die Fische bei Beginn der Narkose auf die Kathodenseite zu legen, so richteten sie sich gewöhnlich wieder auf und fielen dann auf die Anodenseite. Bei lebhaften Fischen hält es schwer, sie durch den stetig wachsenden Strom in der schiefen Lage gegen die Stromrichtung zu überraschen. Viel leichter gelingen diese Versuche daher, wenn die Thiere durch mehrmaliges Galvanisiren ermüdet sind, oder wenn man den Strom nach erreichter Narkose nur soviel abschwächt, dass sie sich eben aufrecht zu halten vermögen. Bei geringen Steigerungen der Stromstärke lässt sich dann Dutzende von Malen nacheinander das Hinfallen auf die Anodenseite constatiren.

Die Versuche gelingen leicht bei fast allen Fischen. Namentlich seien erwähnt Goldorfen, bei denen kaum eine vorherige Ermüdung nothwendig ist, Goldfische, Ukelei und Karpfen.

Eine reine Querdurchströmung des Gehirns ist, wenn der Fisch seine Beweglichkeit bewahren soll, nur in sehr seltenen Fällen möglich, weil das Thier, selbst wenn es erst in Galvanonarkose versetzt und dann mechanisch senkrecht zur Stromrichtung gestellt werden soll, gewöhnlich erwacht und sich in die positive Einstellung zurückwirft. Immerhin genügen die Versuche bei der gegen die Stromrichtung geneigten Lage des Fisches, um von dem specifischen Einfluss einer Querdurchströmung jeden Skeptiker zu überzeugen.

Recht interessant als Beweis für die tiefgreifende Wirkung des

galvanischen Stromes, und nothwendig als Ergänzung zu den Durchströmungen in der Längs- und in der Querrichtung, ist wohl der Fall, dass, wenn der Fisch seine gewöhnliche Lage, nämlich die horizontale, einnimmt, der Strom ihn in der Richtung von oben nach unten durchfließt.

Es wurde für diese Versuche ein rechtwinkliger Behälter benutzt, dessen Seiten aus Glas und dessen Boden aus Metall bestand. Die Länge betrug 16,9 cm, die Breite 2,5 cm und die Höhe 5 cm. In einer Entfernung von $3\frac{1}{2}$ —4 cm über dem Boden konnte ein Zinkblech befestigt werden, welches gerade den horizontalen Querschnitt des Troges ausfüllte und als eine der Elektroden diente, während der metallische Boden die andere bildete.

Durch das Verhalten der Thiere wurde der Plan einer Durchströmung in einer zugleich zu Längs- und Queraxe senkrechten Richtung vereitelt; da sie sich trotz der ganz ungewöhnlichen Lage, in die sie sich dadurch brachten, sofort je nach der Stromrichtung mit dem Kopfe nach oben oder nach unten möglichst in positive Einstellung begaben.

Orfen von 6 cm Länge reagierten in dieser Weise äusserst prompt auf plötzliche Schlüsse von Strömen von etwa 28 MA pro qdm (des jetzt horizontalen Querschnitts).

Ein Schlammpeitzger von $6\frac{1}{2}$ cm Länge wurde bei allmählich anwachsendem Strom schon bei 2 MA pro qdm äusserst aufgeregt und fiel bei weiterem Ansteigen der Stromstärke bei 28 MA pro qdm in positiver Einstellung in Narkose, wobei der Kopf an der Decke, der Schwanz an dem Boden des Glases anstiess. Durch langsames Ablassen des Stromes konnte man ihn sogar in dieser Lage in Hypnose überführen.

Ein sogenannter Moorkarpfen, 5—6 cm lang, wurde bei 16—17 MA pro qdm in der horizontalen Lage nahezu betäubt und rollte etwas um seine Längsaxe, machte dann aber einige brusque Bewegungen und blieb schliesslich längere Zeit mit dem Kopf zur oberen Elektrode (Anode) gewandt. Macht man den Boden des Gefässes zur Anode und wählt einen Strom von 28 MA pro qdm, so sucht der Fisch sich mit dem Kopfe nach unten zu wenden und nimmt darauf meistens, da er sich in dieser Stellung nicht gut lange halten kann, folgende ganz charakteristische Lage an: Er legt sich auf die Seite, biegt sich aber zugleich derart durch, dass nur Kopf und Schwanz den Boden (Anode) berühren.

Diese Versuche lehren also, dass die Fische bei einer Durchströmung in der Richtung ihrer Symmetrieebene und senkrecht zu ihrer Längsaxe wohl einigermaassen betäubt werden können, dass sie aber gewöhnlich erst die positive Einstellung aufsuchen, trotz der anormalen Lagen, welche sie dabei einnehmen müssen. Das heisst, in den meisten Fällen entzieht sich der Fisch einfach der senkrechten Durchströmung und stellt sich selbst unter sehr erschwerenden Umständen so ein, dass der Strom ihn in der Längsrichtung, vom Kopfe nach dem Schwanze hin, durchfliesst.

Nach diesen Ergebnissen ist es nicht mehr so auffällig, dass sich die Fische, wenn man sie in mit Wasser gefüllte enge Röhren einschliesst, in denen sie sich entweder schwierig oder gar nicht umdrehen können und die Röhren vertikal stellt, so dass auch die Längsaxe des Fisches lothrecht steht, bei einer Durchströmung der Röhre, der Länge nach, positiv einstellen, falls die Enge der Röhre sie nicht absolut daran verhindert, sonst aber bei stärkeren absteigenden Strömen Galvanonarkose und Hypnose zeigen. Und dies sowohl, wenn die Anode oben (mit dem Kopfe nach oben), wie wenn sie unten ist (Kopf nach unten).

Die Versuche bestätigen ja eigentlich nur, was wir aus den vorigen schon erfahren haben, dass der Fisch Elektrotropismus und Galvanonarkose selbst dann erkennen lässt, wenn er dabei zu ungewöhnlichen Lagen gezwungen ist. Ehe wir weitere Untersuchungen beschreiben, welche darauf ausgingen, die Wirkungen des galvanischen Stromes zu lokalisiren, wenden wir uns zu dem elektrotropischen Verhalten von einigen anderen Thieren.

Salamander, Frösche, Anneliden, Krebse u. s. w.

Um den Einfluss des Stromes in möglichst vielseitiger Beleuchtung kennen zu lernen, wurden auch Thiere aus verschiedenen anderen Klassen untersucht: Salamander, als Larven und ausgewachsen, Molche, Frösche, Schildkröten, Bluteigel, Krebse, Wasserkäfer, Seepferdchen, Cucumerinen; dann auch Ratten, Mäuse u. s. w.

Salamander. Im direkten Anschluss an die Versuche Hermann's, durch welche er positive Einstellung von Froschlarven nachwies, verwandten wir zunächst fast ausgetragene (per laparotomiam gewonnene) Salamanderlarven, und zwar ohne die Vorsichtsmassregeln des langsamen An- und Ablassens des Stromes. Schwächere Ströme vermochten nur Schliessungs- und Oeff-

nungszuckungen auszulösen, stärkere dagegen [23—24 MA pro qdm] bewirkten schöne positive Einstellung und bei einer Intensität von 47 MA pro qdm Betäubung in Seitenlage. Die Thiere liessen besonders deutlich erkennen, dass die Einstellung in die positive Richtung die wesentliche Reaction, das Wandern nach der Anode nur eine sekundäre Erscheinung ist. Von 16 kleinen Salamandern, welche gleichzeitig in den Holztrog gebracht wurden und sich nach allen Richtungen zerstreuten, stellten sich auf Stromschluss 8 sofort in die positive Richtung ein, 5 quergestellte blieben nach leichter Zuckung liegen und nur 3 verharrten, hin und wieder zuckend, in der negativen Einstellung. Innerhalb 20 cm von der Anode befand sich zufällig kein einziger. Nach einigen Sekunden Stromdauer öffneten wir wieder, worauf die Thiere ihre Stellung nur wenig veränderten. Bei abermaligem Stromschluss wandten sich alle bis auf 2, die quergestellt waren, in die positive Einstellung und anscheinend durch die plötzliche Schliessung angeregt, bewegten sich viele eine kurze Strecke vorwärts. Wir öffneten und schlossen den Strom nun wiederholt und liessen ihn jedesmal 10—20 Sekunden dauern, während die Zwischenpausen $\frac{1}{2}$ —1 Minute betrugen. Nach dem dritten Schluss stand nur noch ein Thier quer, 4 waren schon näher als 20 cm an die Anode vorgerückt. Nach dem vierten Schluss befanden sich 6 innerhalb dieser Entfernung, 2 standen dem negativen Pol noch näher als 20 cm und eines hatte sich wieder verkehrt gestellt. Der siebente Schluss brachte 10 Salamander in das erwähnte Gebiet um die Anode, während 2 noch in der Nähe der Kathode verharrten. Beim zehnten Schluss machten auch diese beiden sich auf den Weg und nach dem elften waren nur noch 2 in der Kathodenhälfte des Troges, während 12 unmittelbar (innerhalb 6 cm) an der Anode sassen. Andere Versuchsreihen ergaben ein ähnliches Resultat. Bisweilen suchten auch einige Thiere hinter der Anode Schutz, ein Verhalten, welches häufig auch die kleinen Forellen zeigten.

Bei derselben Beobachtungsmethode wurde ein ausgewachsener Salamander (*Salamandra maculata*) durch den absteigenden Strom beruhigt, durch den aufsteigenden in Zuckung versetzt, wenn er ganz unter Wasser war. Brachten wir ihn dagegen in so seichtes Wasser ($1\frac{1}{2}$ cm tief), dass er mit den Füßen auf dem Boden stehen und die Spitze des Kopfes aus dem Wasser strecken konnte, so reagierte er folgendermaassen. Auf Schluss des absteigenden Stromes

zuckt der Salamander mit dem Oberkörper wie erschreckt zurück und verharret dann in der Stellung, die er dadurch annimmt. Auf Schluss des aufsteigenden Stromes bewegt er im Gegentheil den Kopf und Vorderleib nach vor- und abwärts, wie wenn er sich verbeugte. Es ist schwierig, sich diese Bewegungen zu deuten. Sind sie einfach Schliessungszuckungen, oder haben wir es mit der Combination einer solchen und einer Dauerwirkung des galvanischen Stromes zu thun? Jedenfalls erinnern die relativen Bewegungen des Thierkörpers gegen die Extremitäten an die Bewegungen, welche die Fische mit ihren Brustflossen ausführen: Vorwärtstrecken im absteigenden, Rückwärtstrecken im aufsteigenden Strome. In beiden Fällen, bei Fischen und Salamandern, findet bei gleicher Stromrichtung dieselbe Bewegung der vordern Extremität gegen den Körper statt, nur mit dem Unterschiede, dass bei den Salamandern das distale Ende der Extremitäten fest ist, bei den Fischen frei.

Auch die kleineren Salamander (sogar geköpfte) verhielten sich ähnlich, ebenso enthauptete Peitzger.

Tritonen. Bei Tritonen konnten wir eine spontane Einstellung gegen die positive Elektrode nicht mit Sicherheit constatiren, dagegen fanden wir wieder, dass im absteigenden Strom die Thiere ruhig, im aufsteigenden erregt wurden.

Frösche. Frösche erwiesen sich auch für unsere Art von elektrischen Untersuchungen als recht geeignet. Sie stellten sich allerdings nicht in dem Strome ein, zeigten aber doch durch ihr Verhalten die Stromrichtung aufs deutlichste an. Unsere ersten Experimente führten wir in den Monaten Februar und März aus, mit überwinterten Exemplaren von *Rana esculenta*. Wir müssen dies hervorheben, da die Resultate von der Art und dem Zustande der Frösche ebenso abhängig sind, wie gewisse andere elektrische Erscheinungen.

Bei schwächeren Strömen [7 MA pro qdm] ist die Art des Schwimmens zur positiven und zur negativen Elektrode verschieden. Das normale Schwimmen des Frosches kommt durch kräftige Stossbewegung der Hinterbeine und gleichzeitiges Rudern der Vorderbeine zu Stande. Schwimmt nun der Frosch gegen die Anode hin, so betheiligen sich die Hinterbeine bedeutend weniger. Bei ganz schwachen Strömen scheint nur die Kraft der Schenkel etwas geringer als normal, bei zunehmendem Strom fällt aber die Fort-

bewegung immer mehr den Vorderbeinen zu, während die Hinterbeine schlafe Mitbewegungen machen, die bei noch stärkeren Strömen fast ganz wegfallen. Zuletzt werden die hinteren Extremitäten nachgeschleppt, in halber Streckstellung, anscheinend gelähmt.

In schwachem aufsteigendem Strome werden die Schwimmbewegungen auffallend heftig ausgeführt. Bei wachsendem Strom werden sie eigenthümlich spastisch, so dass sie per analogiam einen an den Gang des Menschen bei spastischer Spinalparalyse erinnern könnten. Wird der Strom weiter verstärkt, so treten klonische Streckzuckungen auf, die manchmal für einige Secunden in Tonus übergehen; zum Schlusse verfällt das Thier in einen Zustand, der sich vom gewöhnlichen Tetanus, wie er z. B. durch Strychnin hervorgerufen wird, nicht unterscheiden lässt.

Betrachten wir nun die Wirkung des Stromes auf den ruhig sitzenden Frosch! Bei geringer Intensität des aufsteigenden Stromes beobachten wir als Dauerwirkung ein leichtes Zittern und Flimmern in vielen Muskeln, bei allmählicher Verstärkung auf 8—12 MA pro qdm oder plötzlichem Schluss von 6—8 MA pro qdm macht das Thier eine Streckbewegung und verfällt dann in ausgesprochenen Tetanus. Die sämtlichen Muskeln der Hintersehenkel sind aufs äusserste gespannt, die Bauchmuskeln sind bretthart contrahirt und drängen den Bauchinhalt derart in die Brusthöhle hinauf, dass der Frosch gleichsam eine schlanke Taille bekommt. Die Vorderbeine werden gewöhnlich über der Brust zusammengelegt. Ist der Strom noch nicht ganz so stark, dass er Tetanus erzeugt, so bringt häufig ein geringer mechanischer Reiz diesen zum Ausbruch.

Oeffnet man den Strom, so kehrt der Frosch in die Normalstellung zurück, wenn er nicht durch zu starken Strom oder zu lange Dauer des Tetanus dermassen ermüdet ist, dass er zu seiner Erholung längerer Zeit bedarf. In letzterem Falle bleibt er zuerst noch in schlaffer Streckstellung und zieht erst später die Beine langsam an.

Im absteigenden Strom, wenn dieser langsam zunimmt, ändert der Frosch kaum seine Stellung. Er sinkt höchstens mit dem Vorderkörper auf den Boden. Bei 25 MA pro qdm reagirt er auf Berührung wenig oder gar nicht mehr, lässt sich in seiner Hockstellung vorwärts und rückwärts schieben und häufig sogar

auf den Rücken drehen. Schliesst man einen mittelstarken absteigenden Strom plötzlich, so reagirt der Frosch auf den Schluss mit einer Streckzuckung und kehrt bei andauerndem Strom dann oft nicht mehr ganz in die Hockstellung zurück. Es ist aber auch dann keine Spur von Tetanus vorhanden. Die Beine lassen sich mittelst eines Stabes unter den Körper bringen, ohne dass man irgend einen Widerstand fühlen kann. Der Ruhezustand, in welchen ein kräftiger absteigender Strom den Frosch versetzt hatte und der lebhaft an die Galvanonarkose der Fische erinnerte, liess sich zuweilen, wie bei jenen, durch langsames Ablassen des Stromes über dessen Dauer hinaus erhalten. Der Frosch verharrte dabei in der Stellung, welche er, während der Strom wirkte, angenommen hatte, oder in der Lage, in welche wir ihn gebracht (selbst wenn wir ihn auf den Rücken gelegt hatten), bis er, durch einen äusseren Reiz geweckt, zu normalem Verhalten zurückkehrte.

Der beschriebene Verlauf der Erscheinungen ist zwar bei *Rana esculenta* ein sehr gewöhnlicher; doch zeigten einzelne Exemplare unter Umständen gewisse Modificationen. Sie geriethen im aufsteigenden Strom ganz wie die übrigen in ausgeprägten Tetanus, liessen aber im absteigenden Strom, auch wenn er langsam und stetig zunahm, bisweilen von der beruhigenden Wirkung wenig erkennen. Sie bewegten im Gegentheil die Vorderbeine, als wenn sie sich aus einer schmerzhaften Lage befreien wollten, während die Hinterbeine offenbar den Dienst versagten. In anderen Fällen kam es sogar zu einer dauernden Streckung der hinteren Extremitäten, wobei diese entweder halbgestreckt waren, wie während der Schwimmbewegung, oder auch ganz gerade und parallel gestellt.

Der letztere Zustand erinnert zunächst sehr an den des Tetanus, ist aber leicht von demselben zu unterscheiden durch die grössere Biegsamkeit der Glieder und eine Eigenthümlichkeit in der Haltung des Thieres. Während nämlich beim Tetanus der Frosch von der Seite gesehen fast ganz gerade gestreckt ist, so weicht hier der Rumpf von der Verlängerung der Beinaxe um etwa 30° gegen die Bauchseite ab. Wir wollen diesen Typus des Verhaltens, um ihn von demjenigen zu unterscheiden, bei dem der aufsteigende Strom zwar auch Tetanus, der absteigende aber (bei stetigem Anlassen) weder eine entscheidende Aenderung der Stellung noch Unruhe hervorruft, den zweiten Typus nennen. Wir beobach-

teten ihn namentlich bei Fröschen, welche in den Monaten Juni und Juli eingefangen und untersucht wurden.

Als dritten Typus endlich könnten wir einen solchen bezeichnen, bei dem selbst die stärksten von uns angewandten aufsteigenden Ströme keinen Tetanus mehr erzeugen.

Obwohl derselbe öfters beobachtet wurde, sind wir doch nicht sicher, ob wir ihn als normal oder pathologisch anzusehen haben.

Diese Frage ist überhaupt öfters nicht leicht zu lösen, namentlich wenn man Frösche untersucht, die von anderer Art sind als die einheimischen Wasserfrösche. Man kann dann schwer entscheiden, wie viel bei dem abweichenden Verhalten dem Zustande, wie viel der Art zugeschrieben werden muss. Beispielsweise beobachteten wir starke Unterschiede und überhaupt ein ziemlich unregelmässiges Verhalten bei Exemplaren von *Rana platyrhina*, welche in den Sommermonaten gefangen und untersucht wurden.

Ähnliche Erfahrungen machten wir mit einigen grösseren „ungarischen“ Fröschen. Diese zeichneten sich dadurch aus, dass der aufsteigende Strom geringe oder gar keine Streckzuckung hervorrief, während der absteigende sie in hohem Grade veranlasste, so dass wir fast einen vollkommenen Tetanus vor uns zu haben glaubten. Als wir diese Versuche mehrmals wiederholten, kehrte sich auf einmal das Verhältniss um: Ruhe im absteigenden Strome trat ein und starke Streckung im aufsteigenden. Nachdem die Thiere etwa 24 Stunden ausgeruht hatten, stellten wir bei 12 MA pro qdm eine methodische Versuchsreihe mit ihnen an, indem wir je 20 Sekunden lang den Strom herstellten. Bei den ersten 6—10 Versuchen zeigte sich Tetanus im absteigenden oder in beiden Strömen. Dann wurde allmählich die Streckung im absteigenden Strome schlaffer, im aufsteigenden stärker und etwa vom 15. Versuche an entsprach das Verhalten dem gewöhnlichen Typus.

Auf die Schlussfolgerungen aus diesen Versuchen und auf ihre Beziehung zu Beobachtungen von Nobile, Matteucci, Ranke, Onimus, Legros, Uspensky wollen wir im folgenden Kapitel zu sprechen kommen, wo auch die Erscheinungen bei niedrigen Temperaturen und die Einwirkung des Stromes auf vergiftete und operirte Thiere behandelt werden.

Schildkröten. Mit Schildkröten (*Cistudo lurtaria*) hatten wir sehr wenig Resultate. Sie ziehen beim Stromschluss stets den

Kopf, in stärkeren Strömen auch die Extremitäten ein. Bei einer Schildkröte von 6—7 cm Schalenlänge liess sich ein Unterschied des auf- und absteigenden Stromes daran erkennen, dass sie zwar beim Stromschluss immer den Kopf zuerst einzog, dann aber während der Dauer des absteigenden Stromes wieder weiter herausstreckte, als im aufsteigenden. Bei anderen kleineren Exemplaren war auch dieser Unterschied nicht zu erkennen.

In der Absicht, weitere Anhaltspunkte für eine Theorie der Erscheinungen zu finden, zogen wir auch niedere Thiere zur Untersuchung heran.

Blutegel (*Hirudo medicinalis*). Blutegel verhielten sich bei verschiedenen Stromstärken verschieden. Als besonders charakteristisch wollen wir den Fall erwähnen, bei dem sie im grossen Troge und mit einer Stromstärke von 8 MA pro qdm untersucht wurden. Im vollständigen Gegensatz zu den bisher untersuchten Thieren wenden die Blutegel bei Stromschluss sofort ihren Kopf der *Kathode* zu, allerdings ohne zugleich auch den Leib umzudrehen.

Wurde ein Blutegel in der schon erwähnten Glasröhre stärkeren Stromdichten ausgesetzt, und hatte er sich mit dem hinteren Saugnapf festgesogen, so liess er in einer grösseren Serie von Versuchen im aufsteigenden Strome los und fiel schlaff auf den Rücken, während er im absteigenden Strom sich contrahirte und haften blieb.

Krebsparasit. Ganz denselben Elektrotropismus wie Blutegel zeigten auch einige etwa 5 mm lange zu den Egeln gehörige Krebsparasiten (*Branchiobdella parasitica*). Sie blieben mit dem hinteren Ende fest angesogen, während sie das vordere nach der negativen Elektrode hin ausstreckten.

Regenwürmer (*Lumbricus*). Aehnlich verhielten sich auch Regenwürmer. Wurden sie (im Troge) vom absteigenden Strom getroffen so contrahierten sie den vorderen Theil, wendeten die Spitze um und streckten dann den Kopf wieder etwas hervor, gegen die Kathode hin. Die hintere Hälfte des Leibes blieb ziemlich unbetheiligt.

Obwohl die untersuchten Anneliden einige übereinstimmende Züge aufwiesen, geht es doch nicht an, daraus allgemeine Gesetze für sie abzuleiten. Dazu sind einerseits nicht genug Arten untersucht, und andererseits ist das Benehmen der Thiere zu sehr von der Stromstärke und den sonstigen Versuchsbedingungen abhängig.

Flusskrebs (*Astacus fluviatilis*). Von den Arthropoden untersuchten wir nur *Astacus fluviatilis*. Wird ein solcher in dem Holztroge elektrisirt, so zeigt er folgenden charakteristischen Unterschied des Verhaltens im auf- und absteigenden Strome.

Im absteigenden Strom (bei plötzlichem Schlusse und beispielsweise 15 MA pro qdm) bleibt er nach einer heftigen Schliessungszuckung ruhig sitzen und streckt seinen Schwanz fächerförmig aus. Trifft ihn dagegen der aufsteigende Strom, so schwimmt er mit Aufbietung aller Kräfte rückwärts, wobei er manchmal in wenigen Sekunden die ganze Länge (an 70 cm) des Troges durchheilt. Um zu entscheiden, ob das Rückwärtsschwimmen nicht bloss eine Folge der Schliessung des aufsteigenden Stromes sei stellten wir folgende Versuchsreihe an. Wir hielten den Krebs mit der Hand am Boden des Troges noch einige Sekunden über Schluss des Stromes (7—9 MA pro qdm) fest und liessen ihn dann sachte los. Er bewegte sich sogleich rückwärts, bei schwächeren Strömen nur kriechend, bei stärkeren schnell und mit heftigen Schwimmbewegungen des Schwanzes. Zur Controle machten wir noch einmal denselben Versuch, öffneten den Strom aber wieder, bevor wir das Thier losliessen, dann blieb in der Regel der Krebs ruhig, bewegte sich aber zuweilen auch rückwärts. Hielten wir den Krebs im absteigenden Strom zuerst fest und liessen ihn dann los, so blieb er gewöhnlich sitzen oder machte bei schwächeren Strömen einige Bewegungen nach vorwärts. Zugleich konnte man mit der ihn haltenden Hand den Unterschied zwischen auf- und absteigendem Strom ungemein deutlich daran erkennen, dass der Krebs sich bei letzterem das Festhalten ruhig gefallen liess, bei ersterem dagegen sich sträubte.

Auch durch Anwendung unserer Vorrichtung zum stetigen Anlassen des Stromes liess sich nachweisen, dass die beobachteten Wirkungen im wesentlichen nicht die Folge des Stromschlusses sind. Gewöhnlich reagirt der Krebs schon auf ganz schwache aufsteigende Ströme [2—4 MA pro qdm] durch Rückwärtsbewegung, welche beim weiteren Anwachsen des Stromes beschleunigt wird. Bei absteigenden Strömen von derselben Grösse bleibt das Thier entweder in Ruhe oder es geht vorwärts; bei stärkeren aufsteigenden Strömen wird ihm die Bewegung immer schwerer bis unmöglich.

Das Bild der bei den Krebsen beobachteten Erscheinungen

würde sehr unvollständig sein, wenn wir nur diese auffallendsten und wie wir meinen, wichtigsten Züge ihres Verhaltens erwähnten.

Liegt der Krebs im absteigenden Strom etwas schräg gegen dessen Richtung, so unterscheiden sich die Extremitäten der der Anode zugewandten Seite ziemlich beträchtlich in ihrem Verhalten von denen der anderen. Die der positiven Elektrode nähere Scheere wird stärker adducirt und der ganze Krebs neigt sich meistens etwas auf diese Seite. Zugleich wird das entsprechende Auge völlig eingezogen, während das andere oft erst bei bedeutend stärkeren Strömen nachfolgt. Im aufsteigenden Strom bleiben beide Augen bei noch höheren Stromintensitäten ausgestreckt.

Experimentirt man mit grosser Vorsicht, so zeigen auch die Krebse deutliche Erscheinungen von Electrotropismus. Man muss dazu den aufsteigenden Strom sehr schwach [bei oder unter 4 MA pro qdm] verwenden und langsam ansteigen lassen. Dann gehen die Thiere häufig nicht wie bei stärkeren Strömen rückwärts, sondern drehen sich langsam um und bleiben im absteigenden Strom liegen, oder kriechen vorwärts. Man kann den Eindruck bekommen, als wenn die Thiere im aufsteigenden Strom Unbehagen empfänden, dem sie sich bei geringerer Wirkung nur durch Umdrehen, bei stärkerer durch schleunige Flucht zu entziehen suchten.

Die Krebse sind dafür bekannt, dass sie sich durch Festhalten in Hypnose bringen lassen. Es ist also leicht begreiflich, dass wir sie öfters in diesen Zustand versetzen konnten, indem wir sie erst der Wirkung eines absteigenden Stromes aussetzten und dann den Strom durch die erwähnte Vorrichtung langsam absinken liessen.

Obwohl gerade bei den Krebsen die Versuche im allgemeinen ganz übereinstimmend verlaufen, können doch auch bei ihnen geringe Abweichungen vorkommen. So bewegte sich z. B. ein Weibchen, welches sehr viele Eier unter dem Schwanze trug, wohl in Folge dieser Behinderung viel weniger prompt nach rückwärts, wie andere Thiere.

Wasserkäfer. Wir haben verschiedene Beispiele erwähnt, bei denen entweder Thiere derselben oder nahe verwandter Arten bedeutende Unterschiede im Verhalten zeigten. Besonders auffallend waren in dieser Beziehung noch Versuche an zweierlei Wasserkäfern die einen entgegengesetzten Electrotropismus erkennen liessen.

Der etwas schwerfälligere, grössere Käfer¹⁾ schwamm (z. B. bei 19 MA pro qdm) meistens an der Oberfläche und wandte ziemlich prompt seinen Kopf der Kathode zu. In dieser Stellung bearbeitete er unausgesetzt und unter hörbarem Geräusch mit den Hinterbeinen die Seitentheile seines Rückens.

Es machte fast den Eindruck, als ob er in dieser Stellung einzig darauf bedacht sei, durch das Kratzen eine unangenehme Empfindung an seinem Hintertheile zu entfernen und so in dieser Lage verharrete, weil die Glieder, welche er vorzugsweise bei starken Translationen und Rotationen benutzt, nämlich die Hinterbeine, in dieser Weise beschäftigt sind.

Bei ganz denselben äusseren Verhältnissen zeigte der behendere kleinere Käfer²⁾ eine ausgesprochene Vorliebe für die Anode, derart, dass er sich nicht nur mit dem Kopfe ihr zuwandte, sondern auch weil er in seiner Beweglichkeit durch den Strom nicht wesentlich behindert war, unter dem Wasser nach ihr hinschwamm.

Wir haben nun noch über einige Versuche zu berichten, die noch weniger befriedigende Resultate ergaben als die zuletzt erwähnten. Bei den Thieren, deren Verhalten uns bis jetzt beschäftigte, wurden meist sehr viele Exemplare benutzt, oder wenigstens die Versuche sehr häufig wiederholt. Bei den Folgenden geschah dies nicht; wir können daher weder den Ergebnissen grossen Werth beilegen, noch behaupten, dass sich nicht bei einer gründlichen Behandlung interessantere Erscheinungen herausstellen werden. Gerade in Bezug auf Versuche mit Ratten und Mäusen sind wir sogar der festen Ueberzeugung, dass eine eingehendere Untersuchung ausserordentlich lohnend sein wird.

Ratte. Eine grosse weisse Ratte wurde in den Holztrog gebracht und dieser mit Wasser von 35°C bis 1 cm vom oberen Rande angefüllt und mit einer Glasplatte zugedeckt (es blieb dem Thiere gerade genug Luftraum zum athmen).

Ströme von 9 MA pro qdm haben noch kaum einen Einfluss. Die Ratte ist so wie so sehr erregt und fährt wild in dem Troge hin und her. Bei stärkeren Strömen scheinen die Bewegungen, besonders die der vorderen Extremitäten im aufsteigenden Strome lebhafter als im absteigenden zu sein.

1) *Hydrophilus piceus*, L.

2) *Dytiscus marginalis*, L.

Bei Schluss von Strömen, die über 45 MA pro qdm betrugen, zeigte sich folgendes Verhalten ziemlich typisch.

Im absteigenden Strom duckt die Ratte bei der Schliessung zusammen. Der Kopf kommt dabei tief unter Wasser; nach 1—5 Sekunden legt das Thier sich mit geschlossenen Augen auf die Seite, von Zeit zu Zeit krampfhaft zuckend. Bei der Oeffnung des Stromes steht die Ratte sofort wieder auf, streckt den Kopf aus dem Wasser und athmet wieder frei und hastig.

Bei Schliessung des aufsteigenden Stromes duckt sie sich auch sofort nieder, aber in entschieden anderer Stellung. Die Nase ist aus dem Wasser herausgestreckt und nach einigen Sekunden, in denen das Thier fortwährend zittert und zuckt, beginnt es mit den Vorderbeinen unausgesetzt schnell zu schlagen, wie wenn es sich ein Loch in die Erde scharren wollte. Diese Bewegung hört erst auf, wenn der Strom unterbrochen, oder wenn das Thier vollständig erschöpft ist (was in 1—2 Minuten der Fall zu sein pflegt).

Mäuse haben wir ausnahmsweise ausserhalb des elektrischen Bades untersucht, indem wir den Strom mittelst Bäuschen, welche mit Flüssigkeit getränkt waren, zuleiteten. Eine dieser Electroden wurde auf den Scheitel oder das Genick, die andere dicht oberhalb des Schwanzansatzes aufgedrückt. Aufsteigende Ströme von 7—12 MA riefen Tetanus, wenigstens heftige klonische Zuckungen mit starker Streckung hervor, während absteigende Ströme von derselben Intensität das Thier ruhiger liessen. Dabei schienen aber die Extremitäten in letzterem Fall steifer zu sein als im ersteren.

Seepferdchen, Cucumerinen, Schnecken, Muscheln, Tubularien. Eine Reihe von Thieren, namentlich Seepferdchen, Cucumerinen, Süßwasserschnecken, Tubularien und Meermuscheln zeigten zwar Wirkungen des Stromes, aber so wenig ausgeprägt, dass man kaum Schlussfolgerungen daraus ziehen kann. Am dankbarsten erwies sich noch das Seepferdchen, welches wenigstens durch schnelles Hin- und Herschwimmen andeutete, dass es für den Strom Empfindung hatte.

Die Anderen reagierten so langsam und so wenig regelmässig, dass uns vorläufig die Geduld ausging, weiter mit ihnen zu experimentiren. Seewasser ist ein viel besserer Leiter als Süßwasser, daher sind jedenfalls auch die Versuchsbedingungen total andere.

Ueber die Berechtigung, den Maschinenstrom bei diesen Versuchen als constanten Strom anzusehen.

Obwohl man den Maschinenstrom, welcher von den elektrischen Centralen geliefert wird, als einen constanten Strom anzusehen gewohnt ist, so könnten doch namentlich mit Rücksicht auf Erscheinungen wie der Tetanus, den er in Fröschen erzeugt, Bedenken gegen die Richtigkeit dieser Annahme auftauchen.

Wir stellten verschiedene Versuche an, um etwaige schnelle Stromschwankungen nachzuweisen. Zunächst wurde ein Telephon in die Bahn des — durch die auch sonst angewandten grossen Wasserwiderstände geschlossenen — Stromes eingeschaltet. Man hörte dann ein leises Summen, welches ähnlich klang wie das Geräusch einer sehr entfernten Maschine. Es ist kaum anzunehmen, dass die so angedeuteten Schwankungen von irgendwelchem Einfluss sein sollten. Es lässt sich aber nicht in Abrede stellen, dass Veränderungen der Stromstärke vorhanden sein könnten, die zu schnell erfolgen, als dass das Telephon darauf anspräche.

Ausserordentlich unwahrscheinlich wird der Einfluss von Stromschwankungen, wenn man berücksichtigt, wie der Strom auf den Menschen selbst wirkt. Man kann dies untersuchen, indem man einen Finger der einen Hand in der Nähe der Anode, einen Finger der anderen in der Nähe der Kathode ins Wasser eintaucht. Beim Anwachsen des Stromes, und auch wenn derselbe schon eine bedeutende Stärke erreicht hat, fühlt man nicht die geringste Schwankung. Der Strom macht sich aber je nach seiner Stärke durch ein mehr oder weniger unangenehmes Brennen in den eingetauchten Fingern bemerkbar. Taucht man nur einen Finger in den vom constanten Strome durchflossenen Trog, so fühlt man nichts, und auch dann nur ein ganz leichtes Brennen, wenn man eine Hand in der Längsrichtung hineinhält.

Wir achteten auch zugleich darauf, an welchem Finger man zuerst den anwachsenden Strom fühlt. Wir kamen, obwohl wir auch andere Menschen darauf untersuchten, nicht zu übereinstimmenden Resultaten. Die einen hatten die erste Empfindung auf der Anoden-, die andern auf der Kathodenseite. Zwei Versuchsfehler sind eben sehr schwer zu vermeiden: Wenn die Finger nicht absolut gleich tief eingetaucht werden, so wird die Stromdichte an ihnen verschieden sein und davon wird in erster Linie

das Resultat abhängen. Wenn der eine Finger eine Verletzung aufweist, — und sei dieselbe noch so geringfügig, — so wird immer dieser Finger zuerst empfinden und bei stärkerem Strome auch schmerzen. Die Richtungsunterschiede der constanten Ströme sind beim Menschen ja schon häufig bestimmt worden, — bei unserer Versuchsanordnung ist dies schwierig auszuführen.

Was nun die uns hauptsächlich interessirende Frage anlangt, ob wir bei den Versuchen mit dem Maschinenstrome wirklich die Wirkungen eines **constanten** Stromes vor uns haben, so brauchen wir uns glücklicherweise nicht blos auf die Beobachtungen mit dem Telephon und unsere eigenen Empfindungen, wenn wir den Strom durch uns gehen lassen, zu stützen. Wir waren nämlich durch eine Batterie von 40 Accumulatoren (77,6 Volt Spannung) in den Stand gesetzt, direkt zu untersuchen, ob wir mit einem zweifellos constanten Strom dieselben Wirkungen erhielten, wie mit dem Maschinenstrom. Wir wandten im übrigen dieselbe Anordnung an wie früher, nur näherten wir wegen der geringeren Spannung die Elektroden auf 30 cm. Es wäre überflüssig die Versuche ausführlich zu beschreiben, da wir in keinem Falle die geringste Abweichung der Wirkung des Accumulatorstromes von der des Maschinenstromes gefunden haben. Wir stellten namentlich fest, dass bei Goldorfen, Goldfischen, Moorkarpfen, Goldkarpfen der Electrotropismus und bei stärkeren Strömen die Galvanonarkose, ferner das Fallen auf die Anodenseite und bei den Silberfischen auch die Hypnose, wenn der Strom langsam und stetig zum Verschwinden gebracht wurde, ganz in derselben Weise und bei denselben Stromstärken zu beobachten waren, wie bei Anwendung des Maschinenstromes. Die gleiche Uebereinstimmung im Verhalten zeigten auch Krebse, bei denen nicht nur die Ruhe im absteigenden Strom, das Einziehen des der Anode zugewandten Auges und die Adduction der entsprechenden Scheere bei Schiefstellung, sondern auch, was als Wirkung des constanten Stromes noch auffälliger ist, die schnelle Rückwärtsbewegung im aufsteigenden Strom beobachtet wurde. Ebenso war es uns von Werth beim Frosch die bekannten Erscheinungen wiederzufinden und vor allem den Tetanus im aufsteigenden Strom zu constatiren, weil man dabei noch am ehesten an eine Wirkung schneller Stromschwankungen denken könnte. Von den übrigen Thieren haben

wir nur noch den oben erwähnten Wasserkäfer, welcher positiven Electrotropismus zeigte, mit der Accumulatorenbatterie untersucht und gleichfalls dieselbe Wirkung gefunden wie beim Maschinenstrom.

Wir sind also zu dem Schlusse berechtigt:

Bei unseren Untersuchungen wirkt der Strom der elektrischen Anlage wirklich als constanter Strom und nicht durch etwaige Schwankungen.

Versuche bei theilweiser Durchströmung und an abgekühlten, operirten, vergifteten Thieren.

Wir wenden uns jetzt zu denjenigen Versuchen, bei welchen entweder die Anordnung der experimentellen Hilfsmittel oder der Zustand der Thiere abgeändert wurde, um auf diese Weise weiteren Aufschluss über die Natur der beobachteten Wirkungen zu erlangen.

Zuerst suchten wir ausfindig zu machen, inwieweit die nervösen Centralorgane bei den Erscheinungen betheiligt sind. Wir zerstörten 3—6 Wochen alten Forellen das Gehirn durch Einstecken von Nadeln oder von glühendem Platindraht. Auf Schliessung eines starken absteigenden Stromes zuckten die Thiere zusammen und blieben dann ruhig liegen. Hatte der Strom dagegen aufsteigende Richtung, so zeigten sich dauernde Zuckungen und Windungen, ja, in einzelnen Fällen warfen die Forellen sich sogar in die positive Einstellung herum und blieben dann sofort bewegungslos liegen ¹⁾. Decapitirte oder enthirnte Peitzger reagirten gleichfalls durch Flimmern, Zucken und Windungen auf den aufsteigenden Strom, während sie im absteigenden ganz ruhig blieben. Zerstörten wir aber auch das Rückenmark, so wurde dadurch die Dauerwirkung des Stromes inhibirt, es wurden nur noch Schliessungs- und Oeffnungszuckungen beobachtet. Bei den blos enthaupteten Fischen fiel uns noch auf, dass sie im absteigenden Strom die Brustflossen abducirten, eine Bewegung, die wir als Balancirbewegung aufgefasst haben würden, wenn wir sie nur bei normalen Thieren gesehen hätten; im aufsteigenden Strom wurden die Flossen adducirt, mehr an den Körper angelegt.

Neugeborene Salamander verhielten sich ähnlich, wie die jungen Forellen. Wurde ihnen das Gehirn zerstört, wonach einige sich noch aufrecht auf den vier Füßen hielten, während andere

1) Wir können aber nicht leugnen, dass möglicherweise das Gehirn derjenigen Forellen, welche sich noch umdrehten, nicht völlig zerstört gewesen sei.

auf die Seite fielen und liegen blieben, so zeigten auch sie im absteigenden Strome Ruhe und Abduction der Vorderbeine, dagegen Adduction der Vorderbeine, Zucken und Flimmern im aufsteigenden Strom (Anlegen derselben an den Leib, mit dem distalen Ende nach rückwärts).

Um auch ohne die Thiere zu verstümmeln [was immer die Versuchsbedingungen schon dadurch bedeutend ändert, dass an der verletzten Stelle die Electricität anderen Widerstand findet als an der unverletzten Körperoberfläche] nur Theile derselben der Wirkung des Stromes auszusetzen, machten wir noch folgende Versuche. Wir brachten eine Schleibe in den mässig gefüllten Holztrog mit dem Kopfe so gerichtet, dass sie absteigenden Strom bekommen musste. Wir schlossen aber den Strom erst, nachdem wir die Anode über den Fisch weg gehoben und hinter seinem Schwanzende ins Wasser gesenkt hatten. Wir stellten nun den Strom her und schoben die Anode nahe über dem Fisch vor, über dessen Schwanz und Rücken. Auf diese Weise wurde das Rückenmark allmählich in die Bahn des absteigenden Stromes gebracht und schliesslich auch das Gehirn. Gelang es bei genügend starkem Strome die Elektrode bis über die Kiemen nach vorne zu bringen, ohne dass das Thier Fluchtversuche machte, so zeigte sich folgendes Verhalten: Der Fisch fing an zu schwanken und ab und zu auf die Seite zu rollen. Einschläferung und dauernde Seitenlage wurde aber erst erreicht, wenn die Anode bis über die hinteren Augenwinkel vorgeschoben worden war. Bei den Fischen (wir haben Goldfische, Hechte, Plötzen, Peitzger und Aale darauf untersucht) liegt schon der Bulbus olfactorius hinter der Querlinie durch die hinteren Augenwinkel. Die Schleibe zeigte also erst dann Einschläferung, wenn auch das Gehirn unter dem Einfluss des absteigenden Stromes stand.

Ganz einwandfrei sind diese Versuche freilich nicht, weil wir nicht genau angeben können, wie der Strom durch den Fisch hindurchgeht. Möglicherweise würde die Narkose früher eintreten, wenn nicht Stromschleifen aufsteigender Richtung das Gehirn treffen und reizen könnten. Wir wandten die Methode daher nur noch auf den Aal an, weil bei dessen langem Körper Stromschleifen vermuthlich noch am wenigsten in Betracht kommen. Nachdem wir zuerst die Stromstärke so geregelt hatten, dass der Aal, wenn

die Anode sich vor dem Kopfe, die Kathode hinter dem Schwanze befand, sofort Seitenlage annahm, variirten wir die Stellung der Elektroden so, wie es zugleich, — mit dem entsprechenden Verhalten des Thieres — aus dem folgenden Schema zu ersehen ist:

Absteigender Strom, jeweils kurze Stromdauer.

Anode	Kathode	Verhalten des Aales
vor dem Kopfe fest	fest { 1. hinter dem Schwanzende 2. 15 cm vom Schwanzende ($\frac{3}{4}$ Aal in dem Strom), 3. über Mitte des Aales ($\frac{1}{2}$ Aallänge durchströmt), 4. 15 cm von der Anode (vorderes Viertel durchströmt),	Seitenlage. ab und zu Seitenlage, oft Windungen. keine Seitenlage, Windungen. keine Seitenlage, Windungen.
vor dem Kopfe fest	beweglich (von der Anode weg gegen Schwanz- ende hin bewegt) { 1. Mitte des Körpers erreicht, 2. $\frac{3}{4}$ Körperlänge durchströmt, 3. $\frac{5}{6}$ Körperlänge durchströmt,	Windungen. Windungen. Seitenlage.
fest, 1 cm hinter den Augen	fest, am Schwanzende	Seitenlage.
fest, über den Kiemen	fest, am Schwanzende	zuweilen Seitenlage.
fest, 15 cm vom Kopfe	fest, am Schwanzende	keine Seitenlage.
beweglich, von der Mitte des Körpers gegen Kopf vorgeschoben	fest	Seitenlage, sobald Anode über den Kiemen.
beweglich, von den Kiemen gegen Schwanz bewegt	fest	richtet sich auf, sobald vorderes Viertel ausgeschaltet.

Als Nebebefund bei diesen Versuchen haben wir noch Folgendes zu notiren. Bringt man die Anode zu der am Schwanzende des Aales befindlichen Kathode und bewegt sie, nachdem man den Strom geschlossen hat, allmählich über das Thier gegen den Kopf hin, so sieht man, wie der Schwanz des Aales sich nach und nach streckt. In 10—20 cm Distanz folgt diese Streckung dem positiven Pole nach und wird erst vollständig, wenn der Kopf in

den Bereich des absteigenden Stromes gelangt ist. — Manchmal tritt die Seitenlage nicht sofort ein, nachdem die Anode über das Kopfende vorgeschoben worden ist, sondern der Aal verharrt einige Sekunden ruhig in der Bauchlage, bis er sich mit einem Ruck auf die Seite legt.

Auch bei unseren Froschversuchen konnten wir sehen, wie gross die Rolle ist, welche das Gehirn spielt beim Zustandekommen des Tetanus. Hoben wir einen tetanisirten Frosch mit dem Kopfe etwas aus dem Wasser, so löste sich sofort der Starrkrampf.

Einfluss von Giften und niedrigen Temperaturgraden auf das Verhalten der Thiere gegenüber dem constanten Strome.

Es war von Interesse zu sehen, wie sich vergiftete Thiere im constanten Strome verhielten. Bei Fischen ist die Application von Strychnin und Curare desshalb nicht so angenehm, weil subcutane Injectionen fast immer auch die Muskeln verletzen und dadurch störend wirken.

Geeigneter für solche Experimente sind die Frösche und auf deren Reactionen unter der combinirten Wirkung von Gift und Strom werden wir noch zu sprechen kommen. Ehe wir indessen die Fische verlassen, wollen wir kurz noch einige Resultate hinsichtlich ihres Verhaltens bei niedrigen Temperaturen erwähnen.

Wir kamen durch folgende Erwägungen zu diesen Experimenten: Die Winterfrösche werden fast ausnahmslos durch absteigenden Strom beruhigt, durch aufsteigenden erregt. Sommerfrösche dagegen zeigen oft einen umgekehrten Typus. Ist nun vielleicht die sogenannte typische Reaction des Winterfrosches bedingt durch den schlafartigen Zustand, in welchem das Thier sich befindet? Wäre demnach der Tetanus im aufsteigenden Strome zu vergleichen mit der Entartungsreaction? Lässt sich wohl künstlich, durch Mittel, welche die Energie des Centralnervensystems und der Innervation herabsetzen, bei Sommerfröschen ein gleiches Verhalten wie bei den Winterfröschen erreichen? Zu diesen Mitteln gehört vor allem die Abkühlung; ferner die Narcotisirung. Auch bei Fischen lassen sich durch Abkühlung Aenderungen in der Stromwirkung erwarten.

Galvanisation bei niedrigen Temperaturen.

Wir liessen Eisstücke in dem Wasser des Troges unter fleissigem Umrühren schmelzen und erhielten so leicht recht gleichmässige Temperaturen. Die Fische waren nun, wenn sie in Wasser von 3—7° C. gebracht wurden, viel weniger lebhaft als normal und neigten sich häufig auf eine Seite, als wenn sie unter der Wirkung des absteigenden Stromes ständen. Man könnte darnach erwarten, dass die Galvanonarkose bei geringeren Stromstärken einsetzen würde. In der That liess sich dies auch öfters beobachten. Zugleich schien die Kälte sehr förderlich zu wirken, wenn die Narkose durch langsames Ablassen des Stromes in Hypnose übergeführt werden sollte. So gelang es uns ganz leicht, den letzteren Zustand bei Goldfischen zu erreichen, bei denen der Versuch bei gewöhnlichen Temperaturen meistens misslang. Der Einfluss der Kälte war bei dem aufsteigenden Strom zuweilen noch auffallender als bei absteigendem. Statt dass sich die geringere Beweglichkeit dadurch geäussert hätte, dass grössere Stromintensitäten nöthig wären, um eine Wirkung hervorzubringen, fand häufig gerade das Gegentheil statt, die Fische drehten sich schon bei sehr geringen Strömen sofort in die positive Einstellung.

Auch Frösche (*Rana esculenta*), welche zuerst kürzere Zeit zwischen Eisstücken gegessen hatten und dann in das auf unter 3° C. abgekühlte Wasser des Troges gebracht wurden, zeichneten sich besonders dadurch aus, dass der aufsteigende Strom (langsam angelassen) bei viel geringeren Stromdichtigkeiten wie gewöhnlich, nämlich schon bei 4,6 MA pro Quadratdecimeter, gemein kräftigen Tetanus veranlasste. Im absteigenden Strom beobachteten wir mit Fröschen, die im Sommer eingefangen und untersucht wurden, sowohl das Verhalten, welches wir früher beim ersten Typus fanden, wie auch dasjenige des zweiten Typus, und auch hier fiel uns auf, dass die Bewegungen der vorderen Extremitäten, durch welche sich häufig zuerst die Wirkung des absteigenden Stromes äussert, regelmässiger und bei geringeren Stromdichten vorkamen, wie bei den früheren Versuchen.

Wir fanden also bei abgekühlten Thieren raschere Narkotisirung durch den galvanischen Strom, aber zugleich auch schein-

bar erhöhte Erregbarkeit im aufsteigenden Strome. Wir werden unten auf dieses Verhältniss zurückkommen.

Versuche an operirten und mit Strychnin und Curare vergifteten Fröschen.

Auch bei den Fröschen lässt sich leicht feststellen, dass die Erscheinungen bei der Galvanisation im Wesentlichen von einer Wirkung auf Gehirn und Rückenmark herrühren. Curarisirte Frösche zeigen keinen Tetanus im aufsteigenden Strom, sie reagiren auf plötzliche Stromschwankungen nur durch Zuckungen. Erhielten sie sehr wenig Curare oder wurden sie untersucht, ehe das Gift zu voller Wirkung gelangt war, so blieben sie im absteigenden Strom ruhig und zeigten im aufsteigenden clonische Zuckungen oder bei stärkerer Wirkung des Curare nur geringes Flimmern, besonders in den Muskeln der Hinterbeine. Durch die leichte Lähmung der motorischen Nervenendplatten wurde also der Nervenimpuls so weit reducirt, dass die Muskeln nicht mehr in Tetanus geriethen.

Frösche, denen wir die Nervi ischiadici durchtrennt hatten, zeigten ebenfalls bloss noch Zuckungen beim Schliessen und Oeffnen des Stromes.

Wir durchtrennten nun Fröschen das Rückenmark, zuerst bei einigen in der Lendengegend. Im absteigenden Strom blieben sie ruhig und schlaff, im aufsteigenden traten ab und zu tetanische Streckungen der Hinterbeine auf, und während der Dauer dieses Stromes waren die Hinterschenkel bedeutend steifer als im absteigenden. Anderen Fröschen wurde das Halsmark durchtrennt. Sie verhielten sich ähnlich wie die vorigen, doch wohl mit dem Unterschiede, dass im aufsteigenden Strome die Hinterbeine etwas mehr Erregung zeigten. Ein Froschpräparat, bestehend aus dem unteren Theile der Wirbelsäule und den beiden Hinterbeinen liess gleichfalls noch eine verschiedene Beeinflussung durch den auf- und absteigenden Strom erkennen. Im aufsteigenden Strome wurden die Beine mehr gestreckt, steifer, die Kniee einander genähert, im absteigenden dagegen erschlafften die Schenkel und die Kniee wurden von einander entfernt.

In allen drei Fällen, besonders aber im letzten, erlischt die Differenz sehr rasch, das Lendenmarkpräparat z. B. zeigt nach 2—3 Minuten nur noch Schliessungs- und Oeffnungszuckungen.

Durch diese Versuche können wir also ebenso wie durch die

früheren an operirten Thieren den Satz als erwiesen betrachten, dass Hirn und Rückenmark die Hauptangriffspunkte der beobachteten Wirkungen des Stromes sind.

Bei den Experimenten mit curarisirten Fröschen haben wir gesehen, dass man die Curarewirkung zu der beruhigenden Wirkung des Stromes förmlich addiren, von der erregenden abziehen kann. Es war daher interessant zu sehen, ob sich ähnliche Verhältnisse herausstellen, wenn das Gift selbst erregt. Strychnin schien uns als mächtiges Reizmittel des Centralnervensystems zu diesen Versuchen besonders geeignet. Obwohl wir unmittelbar durch unsere eigenen Beobachtungen und ohne die Arbeiten Anderer über denselben Gegenstand zu kennen, auf die Experimente geführt wurden, die wir noch zu beschreiben haben, so wollen wir doch gleich hier erwähnen, dass wir damit das Gebiet von der krampfstillenden Wirkung des Stromes betreten, welches verschiedentlich, wenn auch nicht mit übereinstimmenden Ergebnissen, bearbeitet worden ist. Durch diese Bemerkung möchten wir verhindern, dass wir den Verdiensten unserer Vorgänger zu nahe zu treten scheinen.

Es möge uns gestattet sein, zunächst die Resultate unserer Versuche wiederzugeben und erst darauf die Ergebnisse anderer Autoren zu discutiren.

Wir brachten durch subcutane Strychnininjection ($\frac{1}{2}$ mg) einen Frosch in Tetanus und liessen ihn in diesem Zustande so in unseren Trog hineinfallen, dass er in den absteigenden Strom zu liegen kam. Sofort löste sich der Krampf, die Beine wurden schlaff; allmählich zog der Frosch sie an und blieb dann absolut ruhig liegen. Sobald wir den Strom öffneten, fiel das Thier auf's Neue in Tetanus; schlossen wir ihn wieder, so trat sofort Beruhigung ein. Brachten wir aber einen tetanisirten Frosch in den aufsteigenden Strom, so erhöhte sich der Krampf womöglich noch, bald trat jedoch auch hier Erschlaffung ein (nach 1—3 Minuten), der Frosch wurde unerregbar und meistens erholten sich auf diese Weise behandelte Frösche nicht mehr. Im ersten Falle haben wir also gewissermaassen eine Subtraction der Wirkungen, im zweiten dagegen eine Addition; im ersteren paralysirte der absteigende Strom die Wirkung des Giftes, im zweiten verstärkte er sie, und das Resultat war oft der schnelle Tod der Versuchsthiere.

Der beruhigende Einfluss des absteigenden Stromes über-

dauert auch beim Strychninfrosch die Dauer des galvanischen Stromes, wenn dieser stetig abgelassen wird. Es gelang uns so öfters, Frösche bis 15 Minuten und länger in absoluter Ruhe zu halten. Ein leises Geräusch, ein Zittern des Bodens oder sonst irgend ein kleiner Anstoss genügte dann, um von neuem Tetanus auszulösen.

Nachdem wir im Vorhergehenden eine kurze Darstellung unserer Versuche gegeben haben, bliebe uns noch übrig, unsere Schlussfolgerungen zu ziehen, nach Erklärungen der beschriebenen Phänomene zu suchen und zugleich festzustellen, wie sich unsere Resultate zu den einschlägigen Arbeiten anderer Autoren verhalten.

Umfangreiche Betrachtungen lassen sich anstellen über diese mannigfaltigen Erscheinungen, den verschiedensten Vermuthungen ist weiter Spielraum gewährt; und mit Bedauern müssen wir zugeben, dass durch unsere Arbeit die Lehre von dem Electrotropismus nicht sehr viel weiter gedeihen wird, wenn wir auch neue Thatsachen bekannt machen können. Wir müssen zugeben, dass unsere Arbeit unvollständig ist, — wir haben die Ueberzeugung, dass auf dem von uns eingeschlagenen Wege, der electricen Untersuchung lebender Thiere im Wasserbade, noch sehr vieles, was in das Gebiet des Electrotropismus und verwandter Erscheinungen gehört, entdeckt werden kann, aber gerade deshalb betrachten wir es als unsere Pflicht, auch weitere Kreise auf unsere Methode aufmerksam zu machen.

Wir haben unsere Untersuchungen vorerst ausgeführt, ohne die Literatur über die richtende und „krampfstillende“ Wirkung des konstanten galvanischen Stromes vollständig zu kennen. Erst als wir diese und jene merkwürdige Beobachtung machen konnten, begannen wir auch nach Publikationen zu suchen, welche unser Gebiet betrafen.

Ueber den eigentlichen Electrotropismus ist bis heute ziemlich wenig geschrieben worden, einige Autoren haben wir zu Anfang dieses Aufsatzes erwähnt. Da wir aber, wie unten noch näher gezeigt wird, die richtende sowie die beruhigende und erregende Wirkung des konstanten Stromes zusammenfassen, so sehen wir uns veranlasst, auch der Forscher zu gedenken, welche über die sogenannten krampfstillenden Wirkungen des galvanischen Stromes und ähnliches geschrieben haben.

Nobili¹⁾ löste bei einem von idiopathischem Tetanus befallenen Frosch den Tetanus auf durch einen „bestimmt gerichteten Strom“, während der Strom von entgegengesetzter Richtung nicht wirkte. Später fand er dasselbe Resultat bei noch zwei weiteren Fröschen, nachdem ihm inzwischen der Versuch verschiedentlich missglückt war. Er unterliess übrigens die Angabe der wirklichen Stromrichtung, und Matteucci, der durch einen vom Kreuzbein zum Nacken aufsteigenden Strom den Tetanus traumaticus eines Menschen aufhob und auch bei Fröschen, die er mit Strychnin vergiftete, den Tetanus durch Galvanisation verschwinden sah, empfiehlt sogar (*afin de rendre moins forte la contraction qui a lieu au commencement du courant*) den aufsteigenden Strom²⁾. Johannes Ranke³⁾ schliesst aus seinen Untersuchungen über die Wirkung des Stromes auf Frösche, die mit Strychnin vergiftet wurden:

„So wahrscheinlich es scheinen mochte, dass sich am Rückenmark ein ähnliches Verhalten, wie es bei den Nerven Pflüger an den Electroden des konstanten Stromes nachgewiesen hat, geltend machen könnte, so dass etwa auch hier an der Anode Verminderung, an der Kathode Erhöhung der Erregbarkeit zu beobachten wäre, so sicher lässt es sich im Gegensatze dazu erweisen, dass die Richtung des Stromes, ob er auf- oder absteigend das Rückenmark durchfließt, ganz in gleicher Weise krampfstillend wirkt.“

Auch Mendel⁴⁾, der einen Fall von Tetanus traumaticus und einen solchen von Tetanus idiopathicus mit dem konstanten aufsteigenden Strom (und zwar nur durch Anwendung auf den peripherischen Nerven selbst) mit Erfolg behandelte, spricht sich folgendermassen aus: „Unterschiede in der Wirkung von ab- oder aufsteigend

1) Nobili, Analyse expérimentale et théorique des phénomènes physiologiques produits par l'électricité sur la grenouille; avec un appendice sur la nature du tétanos et de la paralysie, et sur les moyens de traiter ces deux maladies par l'électricité. Ann. de chim. et de phys., t. 44, p. 60. 1830.

2) Matteucci, Traité des phénomènes électro-physiologiques des animaux, 1844, p. 270. Bibliothèque universelle, Mai 1838. Comptes Rendus 1864.

3) J. Ranke, Ueber die krampfstillende Wirkung des electrischen Stromes. Zeitschr. f. Biol. II, p. 398, 1866.

4) Mendel, Der galvanische Strom als Heilmittel des Tetanus. Berl. klin. Wochenschr. 1868, No. 38.

gerichteten Strömen konnten in unseren Fällen nicht konstatirt werden; der hypothetischen Annahme der Wirkungsweise des konstanten Stromes überhaupt folgend und im Hinblick auf den Eintritt des Anelectrotonus an der positiven Electrode wurde fast ausschliesslich übrigens mit aufsteigenden Strömen galvanisirt.“

Ganz anders lauten nun die Resultate der Forscher, die sich weiter mit diesen Fragen beschäftigen.

Uspensky¹⁾ berichtet über seine Versuche, bei denen er den Strom durch Nadeln zuleitete, welche neben dem Rückenmark der Frösche oben und unten eingestochen wurden:

„1. Kurz andauernde Ströme sowohl in auf- wie absteigender Richtung haben keine merkbaren Veränderungen zur Folge.

2. Sehr lange andauernde Ströme ungefähr 20—25 Minuten sowohl in auf- wie absteigender Richtung paralysiren das Rückenmark und dabei in absteigender Richtung schneller wie in der aufsteigenden.

3. Bei der Wirkung von Strömen, die 5—10 Minuten andauern, zeigt sich ein grosser Unterschied und nämlich:

a) Bei Wirkung des aufsteigenden Stromes werden die Athembewegungen sehr energisch, und die Reflexbewegungen in den unteren Extremitäten verschwinden oder werden wenigstens viel schwächer. Wenn man die Frösche losmacht, springen sie normal, oder wenigstens bewegen sie sich willkürlich.

b) Bei Wirkung aber des absteigenden Stromes werden die Athembewegungen immer schwächer und verschwinden zuletzt ganz, die Reflexbewegungen aber der unteren Extremitäten erhalten sich sehr lange. Wenn man die Frösche losmacht, machen sie keine willkürlichen Bewegungen, obgleich die Reflexbewegungen, wie oben gesagt, sich erhalten.

Nach der Wirkung des absteigenden Stromes sterben die Frösche gewöhnlich innerhalb einiger Stunden, während beim aufsteigenden sie ganze Tage leben, obwohl die Reflexe in den unteren Extremitäten viel schwächer sind als im normalen Zustande.

Dieser Unterschied in der Wirkung des aufsteigenden und absteigenden Stromes wird noch deutlicher, wenn man die Wirkung der Picrotoxinvergiftung dabei beobachtet. Bei Wirkung des auf-

1) P. Uspensky, Ueber den Einfluss des constanten Stromes auf das Rückenmark. Centralblatt f. d. med. Wiss. 1869, 7. p. 577.

steigenden Stromes auf mit Picrotoxin vergiftete Frösche entsteht sogleich Tetanus, und besonders im Anfang des Versuches; bei der Wirkung aber des absteigenden Stromes verschwinden die Krämpfe bei Vergiftung mit Picrotoxin sogleich, aber nach Aufhören des Stromes kommen sie nach einigen Augenblicken zurück.

Aus diesen Versuchen folgt, dass sowohl für die Leitung der Erregungsvorgänge durch das Rückenmark hindurch, als auch für die im Rückenmark selbst entstehenden Reflexe das Rückenmark sich ganz wie ein peripherischer Nerv verhält, d. h. in der Gegend der Anode wird die Erregbarkeit und Leitungsfähigkeit vermindert, in der Gegend der Kathode erhöht.“

Schon vor Uspensky veröffentlichten Legros und Onimus¹⁾ einige hierher gehörige Erfahrungen. Sie fanden ausgezeichnete Wirkungen des absteigenden Stromes in zwei klinischen Fällen und erwähnen bei der Beschreibung einiger Thierversuche ausdrücklich den erregenden Charakter des aufsteigenden Stromes. Später dehnten sie ihre Versuche weiter aus, entdeckten auch bestimmte pathologische Zustände, bei denen umgekehrt der aufsteigende Strom den Vorzug verdient. Man findet ihre Resultate mit vielen anderen einschlägigen Bemerkungen in dem Werke: *Traité d'électricité médicale*²⁾ ausführlich wiedergegeben. Dort (p. 411) ist auch ein älterer, vielfach übersehener Versuch von Eckhard erwähnt, der auch schon bei Fröschen, welche mit Strychnin vergiftet waren, den Tetanus durch einen aufsteigenden Strom aufhob. Die französischen Forscher haben diesen Versuch aber mit dem entgegengesetzten Resultat wiederholt und fassen ihre Schlussfolgerungen zusammen in den Sätzen:

„Que le courant descendant, appliqué sur la moelle, agit directement sur les nerfs moteurs et non par action réflexe.

Que le courant ascendant augmente l'excitabilité de la moelle, qu'il agit sur les nerfs moteurs par action réflexe, que les contractions qu'il détermine sont d'autant plus fortes que l'excitabilité des nerfs sensitifs et du centre spinal est plus grande, et enfin que son action sur les nerfs moteurs devient moindre lorsque les nerfs sensitifs ou la moelle ont perdu leur excitabilité.“

1) Legros et Onimus. *Gaz. Méd. de Paris*, 1868, p. 547.

2) E. Onimus et Ch. Legros, *Traité d'électricité médicale. Recherches physiologiques et cliniques. Deuxième édition, revue et considérablement augmenté par E. Onimus.* Paris 1888.

Oder kürzer und allgemeiner unter Mitberücksichtigung der klinischen Fälle:

„Le courant ascendant excite la moelle et augmente les actions réflexes, tandis que le courant descendant empêche les actions réflexes et diminue l'excitabilité de la moelle.“

Unsere eigenen Versuche, welche, wie wir ausschliesslich im Interesse der Sache erwähnen, ohne Kenntniss derjenigen von Onimus und Legros angestellt wurden, bilden namentlich, soweit sie sich auf Frösche und Fische beziehen, im Ganzen eine vorzügliche Bestätigung der Ergebnisse der französischen Forscher. (Wir wollen aber, um Missverständnissen vorzubeugen, hier hervorheben, dass wir Polwirkung und Wirkung der Richtung eines constanten Stromes nicht so scharf trennen, wie Onimus und Legros es thun.)

Allerdings sind noch genug Punkte vorhanden, wo das allgemeine Gesetz mehr oder weniger wichtige Ausnahmen zu erleiden oder wenigstens der Ergänzungen zu bedürfen scheint. Das ist bei der Complication der Verhältnisse, welche es ungemein erschwert, selbst die wesentlichsten Grundsätze einwurfsfrei festzustellen, nicht merkwürdig.

Fassen wir nun kurz das zusammen, was uns von unseren Resultaten am wesentlichsten zu sein scheint.

1. Electrotropismus lässt sich bei vielen Thieren nachweisen, besonders leicht bei Fischen.

Gewisse Erscheinungen aber, welche mit den electotropischen nahe verwandt sind, finden sich bei so vielen Thieren, dass man ein allgemeines Gesetz vermuthen muss, aus welchem alle diese Vorgänge sich ableiten. Wir kennen ein solches Gesetz noch nicht; einen Anklang daran enthält wohl die folgende Regel, (wenn sie auch nur bedingungsweise gilt):

2. Die Wirkung des constanten Stromes auf lebende Organismen ist abhängig in erster Linie von dessen Richtung (wobei wir aber auch die locale Polwirkung nicht vergessen dürfen!).

Bei Wirbelthieren und auch bei vielen niederen Thieren wirkt der absteigende Strom meistens beruhigend, der aufsteigende erregend.

Der zur Vereinfachung von uns so benannte Zustand der „Galvanonarcose“ ist hervorgerufen durch die beruhigende Wirkung

des absteigenden Stromes (näheres darüber folgt unten); mit dem aufsteigenden Strome konnten wir ähnliches nie erreichen. Dagegen zeigt sich bei vielen Thieren als höchster Ausdruck der Erregung durch den absteigenden Strom Krampf bis Tetanus. Ausnahmsweise kommt aber auch durch den absteigenden Strom ein ähnlicher Zustand zur Beobachtung.

3. Electrotropismus und verwandte Erscheinungen, wie Galvanonarcose, galvanischer Schwindel (fallen auf die Seite der Anode etc.) sind bewirkt durch die **Dauer** des constanten Stromes sie sind nicht das Resultat der plötzlichen Stromschliessung.

4. Bei den von uns untersuchten Wirbelthieren wirkt der galvanische Strom, — sei er nun beruhigend resp. erregend, oder sei er wirklich richtend, — vor allem auf das Centralnervensystem; wie weit daneben noch andere Factoren in Betracht kommen, bleibt noch zu untersuchen.

Dass die Resultate der electrotropischen (im allgemeinsten Sinne) Versuche nicht immer mit einander übereinstimmen, wird den nicht wundern, welcher weiss, wie ungemein complicirt sie in ihrem Wesen sind. Wenn man ein ganzes Thier im Wasser dem galvanischen Strome aussetzt, so steht man vor einer unübersehbaren Zahl von Factoren, die entscheidend den Erfolg des Versuches bestimmen. Schon die Beschaffenheit der Haut des Versuchsthieres, ob sie glatt und feucht sei wie beim Aal, oder ob Schuppen oder gar ein Panzer sie bekleidet; — dann der Wassergehalt der Muskeln und des ganzen Körpers, — die Grösse des Thieres, sein Ernährungszustand, — alle diese Momente sind ausschlaggebend. Oft spielen auch, besonders bei Versuchen mit Säugethieren, psychische Aeusserungen eine gewisse Rolle; sogar bei Fischen scheint die Einstellung in den absteigenden Strom ein Willensact zu sein; ist das psychische Moment auf irgend eine Weise ausgeschaltet, z. B. durch narcotische Mittel, so macht sich nur noch der beruhigende resp. erregende Einfluss des Stromes geltend.

Oftmals konnten wir bei Thieren derselben Species förmliche „Characterunterschiede“ beobachten. Jedenfalls spielt auch Reizung der Sinnesorgane beim Zustandekommen des Electrotropismus

mit und erklärt gewiss z. B. das oft so sonderbare Verhalten der Fische, wenn sie im Schwimmen vom Strome überrascht werden.

Endlich ist das Medium, in welchem die Thiere bei den Versuchen sich befinden, von grossem Einflusse: Regenwasser bietet dem galvanischen Strome einen ungemein viel grösseren Widerstand als Meerwasser; ein Fisch wird daher in reinem Wasser relativ andere Bedingungen der Leitung bieten als im Salzwasser. Natürlich kommt auch der Temperatur des Wassers eine grosse Bedeutung zu (vergl. p. 527 unten).

Wenn wir unsere Versuchsreihen überblicken, so finden wir als auffälligste Erscheinung notirt: Electrotropismus, Beruhigung bis Betäubung (Galvanonarcose) durch den absteigenden, Erregung bis Tetanus durch den aufsteigenden Strom. Haben diese Erscheinungen nicht alle dieselbe Ursache? — In der That gewinnt man bei den Beobachtungen den Eindruck, der positive Electrotropismus sei nur eine Folge der erregenden Wirkung des aufsteigenden Stromes. So lange der Fisch in negativer Einstellung sich befindet, so lange zucken seine Muskeln und windet sich sein Leib. Sobald er aber, vielleicht um zu fliehen, sich umgewendet hat, kommt er zur Ruhe, die, wenn der Strom genügende Stärke hat, sogar in tiefsten Schlaf übergehen kann. Wir können nicht entscheiden, auf welche Weise der aufsteigende Strom — oder die Kathodennähe das Thier angreift, — sind es schmerzhaftes Sensationen in der Haut, ist es Erregung der Sinnesorgane, oder eine directe Beeinflussung des Gehirnes.

Beruhigung durch den absteigenden Strom zeigt sich fast bei allen von uns untersuchten Fischen, ebenso bei vielen anderen Thieren, Electrotropismus nur bei einer kleineren Zahl von Wirbelthieren. (Dem Electrotropismus der niederen Thiere müssen wir einen besonderen Abschnitt widmen.)

Jedes electrotropische Wirbelthier zeigt deutliche Beruhigung durch den absteigenden Strom, woraus wir schliessen möchten: Der Electrotropismus ist nur ein Specialfall der Grundregel, dass der galvanische Strom auf Wirbelthiere verschieden wirkt, je nach seiner Richtung. Die Nähe der Electrode scheint keine Bedeutung zu haben, wir können aber doch die Polwirkung nicht ausschliessen, denn bei einem Fisch z. B. ist das Wasser, welches die vordere Hälfte umhüllt, als der eine, dasjenige, welches die hintere Hälfte umgibt, als der andere Pol zu betrachten.

Einige Nebenerscheinungen möchten wir noch kurz besprechen. Die Art des Schwimmens lässt schon bei ganz schwachem Strome dessen Richtung erkennen, der Fisch schwimmt gegen die Kathode etwas lebhafter als gegen die Anode, — bei stärkerem Strome werden die Bewegungen beim Schwimmen zur Kathode aufgeregt, hastig, wir möchten sagen uncoordinirt — wie wenn das Thier eine kleine Dosis Strychnin bekommen hätte; — auch hier Erregung durch den aufsteigenden Strom!

Das active Wandern nach der Anode hin, welches wir bei vielen Thieren gesehen haben, halten wir für eine secundäre Erscheinung: Wenn ein Fisch durch den Strom sich veranlasst fühlt, eine bestimmte Stellung einzunehmen, so wird er sich auch in dieser Richtung vorwärts bewegen, so lange er nicht in Narcose geräth. Eine specielle Anziehungskraft der Anode können wir nicht annehmen, trotz jenes Versuches, bei welchem ein Fisch, der im Rückwärtsschwimmen begriffen war, jeweils auf Stromschluss wieder vorwärts, zur Anode schwamm.

Die Drehung in Rückenlage ist nur aus den statischen Verhältnissen der Fische zu erklären und nicht einmal ein absolutes Maass für die Tiefe der Narcose. Ukelei z. B. kippen — wenn sie etwas betäubt sind, viel leichter um, vermöge ihres schmalen Körpers, als z. B. Goldfische. Unsere Angaben betreffend die Stromdichte, welche zur Erreichung der Narcose nöthig ist, sind also keine genauen Vergleichszahlen; man müsste zur Prüfung der Resistenzfähigkeit gegen den galvanischen Strom ein anderes Verfahren anwenden. Bei Strychninfröschen verfahren wir folgendermassen: Wir brachten einige in den nur halb gefüllten Trog (so dass die Rücken etwa an der Oberfläche des Wassers sich befanden) und constatirten nun, dass ein Tropfen Wasser, der aus einer gewissen Höhe auf das Thier hinabfiel, einen Clonus auszulösen im Stande war. Nun schlossen wir einen ganz schwachen, absteigenden Strom. Es bedurfte nun einiger Tropfen aus gleicher Höhe oder eines aus grösserer Fallhöhe, um einen Krampf auszulösen. Schliesslich, bei stärkerem Strome, antworteten die Frösche bei Fallhöhe von 1 Meter nur noch durch leise Zuckung, dann gar nicht mehr.

Eine Theorie der electotropischen Erscheinungen kann erst dann aufgestellt werden, wenn man über ein

viel grösseres Material verfügt, als es heute der Fall ist. Es sei uns aber gestattet, wenigstens auf eine Hypothese hinzuweisen.

Wer einen Fisch im absteigenden Strome wie leblos auf dem Rücken liegen, bei Umwendung des Stromes aber sich winden, krümmen und in die neue positive Einstellung herumwerfen sieht, wer, bei schwächeren Strömen, einen Fisch hastig und zuckend gegen die Kathode hinschwimmen sieht, mit dem Kopfe bedeutend höher als mit dem Schwanze, während er in der anderen Richtung ruhige und weiche Bewegungen zeigt und den Kopf schräg nach unten gestellt hat, — der wird mit uns übereinstimmend annehmen: im absteigenden Strome scheint besonders der vordere Theil des Thieres seiner Function beraubt (damit das Gehirn), im aufsteigenden dagegen heftig erregt.

Wem würde da nicht die Analogie auffallen mit einem vom constanten Strome durchflossenen Nerven, wer müsste nicht an das Pflüger'sche Gesetz denken? Wir denken uns den Fisch im absteigenden Strome in zwei Theile zerlegt, in einen vorderen, anelectrotonischen und in einen hinteren, katelectrotonischen. In der positiven Hälfte wird die Erregbarkeit vermindert, in der andern wird sie vermehrt sein. Das Gehirn und der obere Theil des Rückenmarkes befänden sich — bei absteigendem Strome — im Anelectrotonus, im Zustande verminderter Erregbarkeit. Wir müssen ferner folgendes hervorheben: Die motorischen Nerven, sprechen wir jetzt vom Schwanz der Fische, werden vom constanten Strome nur einmal gereizt, bei dessen Schliessung — dann bei der Oeffnung; wenn aber ein Thier während der ganzen Stromdauer sich windet, so kann das nur eine Folge sensibler Reizung sein. In der That muss der constante Strom diesen Effect ausüben, denn erstens ist es bekannt, dass die sensorischen Nerven, wenn sie von einem stärkeren Strome durchflossen werden, Schmerzempfindung auslösen und zweitens sahen wir bei unsern Experimenten so deutliche Spuren der Hautreizung, dass wir eine starke Beeinflussung der Gefühlsnervenendigungen annehmen müssen. (Wir beobachteten häufig, wie Aale, dann auch viele andere Fische, ferner Frösche, Blutegel etc. mit Schleim sich bedeckten, oder wie ganze Fetzen von Epidermis sich ablösten.) Wir wollen nicht einmal so weit gehen wie Onimus und Legros, welche der Richtung des Stromes auch insofern eine grosse Bedeutung zuschreiben, als sie den positiven Strom für wirksamer halten als den negativen und für besonders wirksam, wenn

seine Richtung mit derjenigen des Nervenimpulses zusammenfällt (— also für motorische Nerven beim absteigenden, für sensorische beim aufsteigenden Strome —). Wir nehmen leichte Reizung der Haut während der Stromdauer an, sei er nun auf- oder absteigend. Aber, einen Ausdruck kann das Thier dieser Reizung nur durch Bewegung geben, der sensorische Reiz muss auf die motorischen Centren reizend wirken. Da aber nun im absteigenden Strome Hirn und oberes Rückenmark in ihrer Erregbarkeit dermassen herabgesetzt sind, dass nicht nur die psychische Function, sondern überhaupt fast jede Lebensäusserung aufgehoben ist, so dürfen wir behaupten, auch die Reflexübertragung wird unterbrochen; — in Galvanonarcose sind ja die Reflexe aufgehoben, nur Athmung und Herzschlag dauern noch an, wenn auch beeinträchtigt.

Im aufsteigenden Strome dagegen ist Hirn und Rückenmark im Zustande erhöhter Erregbarkeit, die sensorischen Reize haben grössere Wirkung und bewirken starke motorische Reize, — die dann freilich wieder abgeschwächt werden mögen durch den Anelectrotonus, welcher in dem unteren Verlaufe der motorischen Nerven (wir sprechen z. B. von den Fischen) besteht. Auch das psychische Moment wird in dem gereizten Gehirn mehr hervortreten, das Thier empfindet Schmerz und antwortet darauf mit Bewegung, die ganz wohl eine zweckmässige Fluchtbewegung sein kann.

„Der absteigende Strom lähmt die Hirnfunction und unterbricht die Reflexbogen, der aufsteigende erhöht die Function des Hirns und des oberen Rückenmarks und erleichtert die Reflexübertragung.“

Wir können natürlich nicht genau sagen, wo in einem durchströmten Fische der Anelectrotonus aufhört und wo der Katelectrotonus beginnt, doch wird ein sorgfältiges Experimentiren in diesem Punkte zu einiger Klarheit führen. Wir wollen aber darauf noch speciell aufmerksam machen, dass von der Lage des Indifferenzpunktes (der Grenze zwischen den beiden electrotonischen Zuständen) der Erfolg der Versuche beeinflusst wird. Oft sahen wir auch im absteigenden Strome einzelne Muskelgruppen fortwährend flimmern, — vielleicht hatten diese Muskeln ein Centrum mit Reflexübertragung im untersten, katelectrotonischen Theile des Rückenmarks. Bekanntlich variirt ja die Lage des Indifferenzpunktes je nach der Stromstärke, je stärker der Strom, um so

näher rückt der Punkt an die Kathode. So wird es auch leicht begreiflich, dass der Ernährungszustand eines Thieres grossen Einfluss haben muss auf die Versuche. Gewöhnlich leiten die Muskeln etwa 4 Mal besser als das Nervengewebe¹⁾. Wenn nun die Muskeln wasserärmer werden, (sie schwanken bekanntlich in ihrem Wassergehalt viel mehr als das Nervengewebe), so wird relativ mehr Strom auf Hirn und Rückenmark kommen, der Indifferenzpunkt wird sich gegen die Kathode hin verschieben²⁾. Wir können aber bei ganz gleicher Stromstärke und gleichen übrigen Bedingungen nur dann absolut dieselben electotropischen Erscheinungen wiederzufinden hoffen, wenn wir dasselbe Thier im gleichen Zustande wieder vornehmen.

Nach unserer Hypothese erklärt sich die Beruhigung der Strychninfrösche folgendermaassen: Das überempfindliche Centralnervensystem wird unempfindlich gemacht, die Reflexe werden unterbrochen. Wenn der aufsteigende Strom den Tetanus aufhebt, so erklärt sich dies wahrscheinlich durch rasche Erschöpfung des Nervensystemes. Auch Onimus und Legros geben für das letztere eine ähnliche Erklärung.

Müssten wir nicht so viele Ausnahmen constatiren, so wäre unsere Erklärung des Electrotropismus ganz annehmbar, aber so dürfen wir sie nur bescheiden als Hypothese erwähnen. Für Fische allerdings könnte man sie fast als Theorie aufstellen, Frösche aber kehren sich manchmal gar nicht an unsere Regel. Die „Versuchsfrosche“ sind sicher häufig pathologisch verändert, idiopathischer Tetanus kommt bei ihnen nicht so selten vor. Derselbe Frosch kann uns aber nacheinander beide Typen der Reaction zeigen, erst Erregung durch den absteigenden Strom, dann Beruhigung. Nur die Complicirtheit der Verhältnisse kann derartige Verschiedenheiten erklären³⁾.

Unsere Hypothese könnte sich auch auf eine Bemerkung von

1) Matteucci, *Traité des phénomènes électro-physiologiques des animaux*.

2) Nach Eckhard ist die Leitungsfähigkeit eines Gewebes so ziemlich proportional seinem Gehalt an Flüssigkeit.

3) Nach Onimus und Legros hat auch die Temperatur einen entscheidenden Einfluss auf den Erfolg der Versuche. Ein auf 39° erwärmter Frosch reagirt auf den aufsteigenden Strom fast nicht, wohl aber durch heftige Contractionen auf den absteigenden, durch Abkühlung kehrt die Reaction sich wieder um. (*Traité d'électricité médicale*, p. 412.)

Erb (Electrotherapie in Ziemssen's Handbuch, p. 126) stützen. Erb erklärt dort die Schwindelercheinungen bei Querdurchströmung des Kopfes auf ähnliche Weise:

„Die eine Hirnhälfte wird anelectrotonisch und somit unempfindlich für die centripetalen Eindrücke, welche durch ihre gleiche Wirkung von beiden Seiten sonst das Gefühl des Gleichgewichtes erzeugen, die andere in ihrer Erregbarkeit erhöht.“

Um unsere Hypothese auch auf den Electrotropismus niederer Thiere auszudehnen, fehlt es uns noch an Material. Krebse zeigen positiven Electrotropismus¹⁾. Wasserkäfer scheinen unsicher, Flagellaten (nach Verworn) positiven, Ciliaten negativen. Wasserschnecken, Blutegel, Branchiobdella, Lumbricus scheinen die negative Einstellung zu bevorzugen. Die Krebse bieten gute Leitungsbedingungen, ihre Kalkschale ist porös und durchfeuchtet, die Chitinhüllen der Wasserkäfer dagegen lassen wohl kaum die Electricität passiren. Dass Würmer und Mollusken ein anderes electrotropisches Verhalten zeigen als Wirbelthiere, kann uns nicht wundern, ist doch ihr Nervensystem in seiner ganzen Anordnung grundverschieden von demjenigen höherer Thiere.

Bei Protozoen kommt aber ein Nervensystem überhaupt nicht vor. Wir möchten den negativen Electrotropismus der Flagellaten erklären wie folgt: Nach Bütschli, Verworn und anderen Autoren bewegen sich die Flagellaten mit der Geißel voran. Ist nun im galvanischen Bade die Geißel gegen die Anode gerichtet, so wird das Thier ruhig bleiben, da die Bewegungsorgane in die anelectrotonische Hälfte fallen. Umgekehrt, ist die Geißel gegen die Kathode gerichtet, dann wird sie rasch ihre korkzieherartigen Schwimmbewegungen ausführen, in Folge der erhöhten Erregbarkeit des Plasmas im Katelectrotonus. Amöben dagegen und andere kriechende Protozoen würden einen positiven Electrotropismus erwarten lassen: Contractionen auf der negativen Seite, — Erschlaffung auf der positiven.

Die bei den Versuchen mit Fischen beobachteten Nebenerscheinungen widersprechen unserer Hypothese nicht. Das Hin- und herrollen im absteigenden Strome erklärt sich als Zeichen

1) Die Krebse zeigen sogar bei der schiefen Durchströmung ein ähnliches Verhalten wie die Wirbelthiere, auch sie neigen sich etwas auf die Seite der Anode.

beginnender Narkose, die eigenthümliche Veränderung der Athmung ist auf ähnliche Ursachen zurückzuführen, wie das Cheyne-Stokes'sche Phänomen — Beeinträchtigung der Function von Hirn und Medulla oblongata. Inwiefern der Nervus sympathicus an den Veränderungen der Athmung und der Circulation theilhaftig ist, vermögen wir nicht anzugeben. Eben so wenig können wir uns die bei Fischen und Amphibien beobachteten Bewegungen der vorderen Extremität im Beginn der Galvanonarkose erklären. Ob endlich die nystagmusartigen Bewegungen der Augen bei den Fischen mit Opticusreizung zusammenhängen, oder wie sie sonst aufzufassen seien, wissen wir nicht zu entscheiden.

Das Fallen auf die Seite der Anode bei schiefer Durchströmung ist wohl als Ausfall der Balancebewegung der betreffenden Seite zu deuten, eine „Gegenbewegung“ scheint es uns nicht zu sein; — wahrscheinlich müssen wir es als Folge electrotonischer Veränderungen auffassen.

Dem „Hypnosezustand“ haben wir noch einige Worte zu widmen. Mit Hypnotismus des Menschen, einem Ausfall der psychischen Functionen, hat der von uns beobachtete Schlafzustand nach der Wirkung des absteigenden Stromes wenig gemeinsames. Die „Hypnose“ entsteht aus der „Galvanonarkose“ durch allmähliche Abnahme des Stromes bis auf 0, und ist im Gegensatz zu dieser ein Schlafzustand mit Erhaltung der Reflexerregbarkeit, der nur andauert, so lange kein Reiz die Centralorgane des Thieres trifft, so lange die Grosshirnrinde (deren Hemmung nach Heidenhain den Hypnotismus bedingt) nicht functionirt.

Jeder, der einen Fisch in Hypnose sieht, wird es begreiflich finden, wenn man das Thier mit der Maschine vergleicht, nur ein Anstoss von aussen vermag Function auszulösen.

Therapeutische Anmerkung. Wer unsere electrotropischen Fischversuche mit angesehen hat, der musste zugeben, welch gewaltiger Einfluss auf den Körper dem galvanischen Strome zukommt. Man fühlt sich versucht, auch am Menschen die „beruhigende“ Wirkung des absteigenden Stromes zu probiren, wenn man sieht, wie die Fische, ohne weiter davon zu leiden, betäubt werden, — um so mehr noch, wenn man als Nachwirkung (oder Ermüdung?) noch einige Zeit nachher die Erregbarkeit etwas vermindert sieht. Wie angenehm wäre jene Addition von medicamentöser und electricischer Beeinflussung, z. B. Chloral und absteigendem

Strom als Beruhigungsmittel, Strychnin und aufsteigendem Strom, wo eine Reizung nöthig ist! Man mache sich nicht zu grosse Hoffnungen!

Onimus und Legros werfen der deutschen Schule vor, zu viel auf die locale Polwirkung zu geben. Wir wollen, nach ihrem Rathe, mehr auf die Stromrichtung achten, jedoch trotzdem die Polwirkung im Auge behalten. Die richtige Direction des Stromes ist aber schwer zu wählen, ein Probiren am Menschen verantwortungsvoll.

Tetaniker würden wir im Vollbade electricisiren, mit absteigendem Strome, in einem über 2 m langen hölzernen Badekasten, dessen Kopf- und Fussende aus Metall bestehen könnte, um als Electroden zu dienen. Am besten wären vielleicht solche Patienten und besonders auch Eclamtische in einem derartigen permanenten Bade von 37° C. versorgt, möglichste Ausschaltung äusserer Reize wäre dadurch garantirt, bei den Eclamtischen würde die Hautthätigkeit erhöht, und jeden Moment könnte man den absteigenden Strom herstellen. Man sollte annehmen, es liessen sich auf diese Weise unter gleichzeitiger Anwendung von kleineren Chloraldosen die Anfälle vermeiden.

Weiter zu gehen in unseren Schlussfolgerungen wagen wir nicht; Skepsis ist entschieden sehr angezeigt in der Electrotherapie, und methodische Experimentaluntersuchungen, nicht nur an Fischen und Fröschen, sondern auch an höheren Thieren, besonders an Warmblütern, sind sehr nothwendig.