

sie eine grosse Menge von dichotomischen Theilungen eingegangen, sie zu den Muskelfasern hintreten und ihre Endplatten bilden. Das hängt offenbar mit der Verschiedenheit in dem Baue der Wirbelthiere einerseits und der Gliederthiere andererseits zusammen. Die Krebse mit ihrem äusseren Skelett und ihren vielen Charniergelenken können ohnehin keine so zahlreichen Bewegungen ausführen, brauchen ohnehin keinen solchen Grad von Isolation in der Zusammenziehung der einzelnen Partien ihrer Muskeln, als dies bei den Wirbelthieren der Fall ist, und können sich deshalb mit einer geringeren Anzahl von Nervenfasern für ihre Muskeln begnügen, wenn diese sich hinreichend verzweigen, um alle Muskelfasern mit Endplatten zu versorgen.

Electrische Organe und ihre Nerven.

Von Zitterfischen kennt man erstens den Zitteraal, *Gymnotus*, zweitens die verschiedenen Arten des Zitterwelses, *Malapterurus*, und drittens die Zitterrochen. Von den Zitterrochen kennt man eine Reihe von Genera, nämlich *Narce*, *Narcine*, *Temera*, *Astrape*, *Discopyge*, *Torpedo*. Ausserdem kommen beim Genus *Gymnarchus* und beim Genus *Mormyrus* Organe vor, welche für electrische Organe gehalten werden.

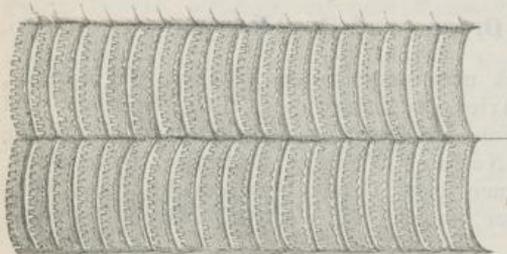
Die electrischen Organe sind im Zustande der Ruhe vollkommen wirkungslos, werden aber plötzlich durch Erregung der zu ihnen gehenden Nerven in kräftig wirkende electrische Batterien verwandelt. Die electrischen Ströme, die sie dann geben, unterscheiden sich in nichts von den Strömen, die man durch physikalische Hilfsmittel hervorrufft. Man hat von diesen Strömen Funken erhalten, man hat mit ihnen chemische Zersetzungen vorgenommen, man hat die Magnetsnadel abgelenkt, man hat Stahlnadeln magnetisirt, kurz alle möglichen Proben mit ihnen gemacht, um zu erweisen, dass sie wirklich eben solche Ströme sind, wie die, welche unsere physikalischen Vorrichtungen geben.

Die Art, wie die electrische Wirkung wachgerufen wird, bietet viel Analogie mit der Art und Weise, in der die motorischen Nerven die Muskelcontractionen auslösen. Erstens unterliegen sie dem Willen des Thieres. Das Thier gibt electrische Schläge nach Willkür und bedient sich derselben, theils um sich gegen seine Feinde zu schützen, theils um seine Beute zu betäuben. Zweitens werden die Ströme durch directe Reizung der zu den electrischen Organen gehenden Nerven ausgelöst. Drittens werden die Ströme auch auf reflectorischem Wege ausgelöst, und endlich zeigt sich das electrische Organ in derselben Weise ermüdbar, wie die Muskeln. Wenn das Thier eine Reihe von Schlägen abgegeben hat, werden dieselben schwächer und schwächer, gerade so, wie ein Muskel, nachdem er eine Reihe von Contractionen gemacht hat, nicht mehr im Stande ist, sich mit der früheren Kraft zusammenzuziehen.

Der mächtigste unter den Zitterfischen ist der Zitteraal, *Gymnotus electricus*, ein Süsswasserfisch Südamerikas, wo er namentlich in den Landseen von Surinam vorkommt. Schon Alexander von Humboldt beschrieb die Art und Weise, wie diese Thiere hier gefangen werden. Da man sie nicht ohne weiteres angreifen kann, wegen der gefährlichen electrischen Schläge, die sie ertheilen; so treibt man Pferde, die sich

dort im halbwilden Zustande befinden, in einen solchen See hinein, ehe man an den eigentlichen Fischfang geht. Diesen Pferden ertheilen die Zitteraale electrische Schläge, und mit solcher Kraft, dass häufig ein oder mehrere Pferde dabei zu Grunde gehen, indem sie betäubt werden und ertrinken. Endlich werden die Schläge der Fische immer schwächer und schwächer, und wenn man dies an der Haltung der Pferde merkt, lässt man die Pferde heraus und fängt die Thiere mit Netzen, wie andere harmlose Fische. Von den Zitteraalen sind mehrere Exemplare nach Europa gebracht worden, so nach Neapel, ferner auch nach London, wo sie in der dortigen Adelaidengallerie gezeigt wurden. Wenn man die

Fig. 8.



Haut des Zitteraales auf der Seite öffnet, so findet man, dass jederseits den ganzen Körper entlang das electrische Organ gelagert ist, so dass es oben an die Muskeln der Wirbelsäule anstößt und unten durch die Muskeln, welche die lange, die Mittellinie des Bauchs entlang laufende Flosse bewegen, begrenzt wird. Wenn man das Organ näher betrachtet, so findet man an demselben eine Menge von Längsstreifen, die ebenso vielen Septis, ebenso vielen bindegewebigen Scheidewänden, entsprechen. Auf diesen senkrecht und noch dichter gestellt, findet man zartere Querwände, so dass also das Ganze in lauter Kästchen (siehe Figur 8*) getheilt ist. In jedem dieser Kästchen liegt eine gallertartige Platte, an die von rückwärts her ein Endast einer Nervenfasern herantritt und daselbst endigt, indem er in ein feines Netzwerk oder Gitterwerk übergeht. Diese Plättchen sind in der beistehenden Figur durch Punktirung kenntlich gemacht.

Wenn man die Wirkungen des Zitteraals untersucht, so findet man, dass der Strom in der Weise verläuft, dass er vom Kopfende zum Schwanzende des Thieres in dem umgebenden Leiter, im Wasser, geht. Das Kopfende wird also positiv, das Schwanzende negativ. Da das Thier einem Gebilde zu vergleichen ist, an welchem seitlich Reihen von Volta'schen Säulen angelegt sind, so wird auch die Seite des Elementes der Volta'schen Säule positiv sein, die dem Kopfende entspricht, und die Seite, die dem Schwanzende entspricht, wird negativ sein. Man hat beobachtet, dass der Zitteraal, wenn er einen Fisch erschlagen will, sich kreisförmig um denselben herumbeugt und nun eine Entladung durch ihn gehen lässt. Du Bois hat nachgewiesen, dass bei dieser Stellung des Fisches kein dichter Strom durch sein Opfer hindurchgeht, als bei der zu den Enden des Organs symmetrischen ausserhalb des Kreises, und dass er also diese Stellung nicht annimmt, um seine Beute auf möglichst wirksame Weise zu treffen, sondern damit sie ihm nicht entrinne.

Der Zitterwels des Nils, *Malapterurus electricus*, wurde von Bilharz, der längere Zeit Professor der Anatomie und Physiologie in Cairo

*) Fig. 8, 9 und 10 nach Max Schultze.

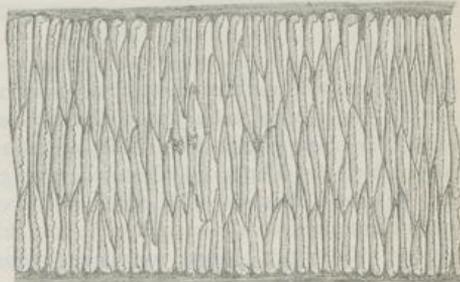
war,
das el
Gebild
massen
an die
Nerven
kugel.
electri
tomisc
versorg
grosser
geweb
ähnlich
Zittera
haben
Kästch
Zittera
sonder
Figur
dieser
eine G
trische
der Fi
tirung
zu die
Da be
sich d
dass a
negati
Schwa
erklär
die el
ihrer
und w
die. E
vorn
neuest
Max
artige
Zitter
unters
im Be
um ab

denen
ist un
rocher
einers
Areal
als e

war, anatomisch genau und gründlich untersucht. Auch bei diesem liegt das electrische Organ zu beiden Seiten des Körpers, als ein paariges Gebilde. Es ist aber hier mehr mantelförmig, so dass das Thier gewissermassen in dasselbe eingehüllt ist. Jederseits entspringt aus dem vordern an die Medulla oblongata grenzenden Theile des Rückenmarks eine colossale Nervenfasern als nackter Axencylinder von einer sehr grossen Ganglienkugel. Dieser Axencylinder tritt in eine Nervenscheide ein und geht als electrischer Nerv zu dem Organe hin, vertheilt sich in demselben dichotomisch und zwar so lange, bis er alle Elemente desselben mit Endigungen versorgt hat. Das electrische Organ besteht hier wiederum aus einer

grossen Menge von bindegewebigen Kästchen, ganz ähnlich, wie wir dies beim Zitteraale kennen gelernt haben, nur liegen hier die Kästchen nicht wie beim Zitteraale in Längsreihen, sondern alternirend (siehe Figur 9). In jedem einzelnen dieser Kästchen liegt wiederum eine Gallertscheibe, die electrische Endplatte (sie ist in der Figur wieder durch Punktirung kenntlich gemacht), und

Fig. 9.

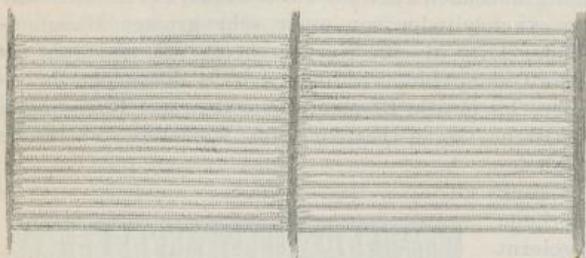


zu dieser tritt jedesmal von hinten her der Endast einer Nervenfasern. Da bei den übrigen bekannten Zitterfischen die Seite der Platte, auf der sich die Nervenendigung befindet, negativ wird, so könnte man meinen, dass auch hier das Kopfende des Thieres positiv und das Schwanzende negativ werde. Ranzi hat aber nachgewiesen, dass umgekehrt das Schwanzende positiv und das Kopfende negativ wird. Max Schultze erklärt diesen scheinbaren Widerspruch in folgender Weise: Wenn man die electrische Endplatte näher untersucht, so findet man, dass sie an ihrer vorderen Seite in der Mitte eine nabelförmige Hervorragung hat, und wenn man den Endast des Nerven verfolgt, so sieht man, dass dieser die Endplatte durchbohrt und nicht an ihrer hinteren Fläche, sondern vorn in dieser nabelförmigen Hervorragung endigt. Boll ist indessen in neuester Zeit dieser Auffassung entgegengetreten, indem er das, was Max Schultze als den durchbohrenden Nerven deutete, als einen stielartigen Fortsatz der Platte ansieht, in den der Nerv übergeht. Auch Zitterwelse sind nach Europa gekommen und ausführlich von du Bois untersucht worden, der mehrere Exemplare durch Goodsir erhielt und im Berliner Museum in einem Troge mit gewärmtem Wasser aufbewahrte, um alle ihre Gewohnheiten zu studiren.

Die dritte Art der electrischen Fische sind die Zitterrochen, von denen das Genus *Torpedo* in mehreren Species im Mittelmeere verbreitet ist und deshalb vielfach und frühzeitig untersucht wurde. Bei den Zitterrochen liegt das electrische Organ zwischen dem Kiemengerüst des Thieres einerseits und der Brustflosse andererseits und nimmt ein ausgedehntes Areal ein, das sich an der Bauchseite schon durch die Haut hindurch als eine Menge kleiner sechseckiger Felder auszeichnet. Diese ent-

sprechen ebenso vielen Säulen von electrischen Elementen, die von der Bauchseite des Thieres nach der Rückenseite hindurchgehen. Wenn man sich also den Rochen der Quere nach durchschnitten denkt, so liegt in

Fig. 10.



der Mitte desselben der Körper, zu beiden Seiten die vorderen Extremitäten und der Raum zwischen beiden ist durch die Säulen des electrischen Organes erfüllt, deren sechseckige Basen man an der Bauchseite des Thieres sehen kann. Betrachtet man eine einzelne solche Säule, so findet man, dass sie der Quere nach durch lauter Septa getheilt ist, dass dadurch flache Kästchen (siehe Figur 10) entstehen, und in jedem dieser sich eine electrische Platte in Gestalt einer gallertigen Scheibe befindet, zu der von unten her der Endast einer Nervenfasern herantritt und sich nach mehrfachen dichotomischen Theilungen mit einem feinen Endnetze, oder richtiger Endgitter, hier verzweigt. Die untere Seite wird hier also negativ, die obere positiv. Der Strom geht somit im Wasser von der Rückenseite um das Thier herum zur Bauchseite. Da die Säulen, die der Axe des Thieres näher liegen, höher sind und mehr Platten enthalten als die entfernter liegenden, so werden an der Rückenseite die Partien in der Nähe des Rumpfes mehr positiv sein, als die Partien in der Nähe der Brustflosse, und an der Bauchseite werden die Partien in der Nähe des Rumpfes mehr negativ sein, als die in der Nähe der Flossen. An der Rückenseite des Thieres kann man also schwächere Ströme erhalten, welche von einem der Axe nähergelegenen zu einem dem Rande nähergelegenen Punkte verlaufen, und an der Bauchseite kann man Ströme erhalten von einem dem Rande nähergelegenen Theile des Organes zu einem Theile desselben, der der Axe des Körpers näher liegt.

Wenn es uns nun in Erstaunen setzen muss, dass durch die Impulse, die von einem Nerven ausgehen, ein anscheinend ganz harmloses Organ in eine kräftig wirkende electrische Batterie verwandelt werden kann, so ist dies im Grunde doch nicht wunderbarer, als dass durch ähnliche Impulse in einem Muskel eine solche Veränderung eintreten kann, dass er plötzlich einer ganz neuen Gleichgewichtsfigur zustrebt, und dass durch ähnliche Impulse in einer Drüse eine solche Veränderung eintreten kann, dass sie plötzlich aus der umgebenden Gewebsflüssigkeit und aus dem Blute eine grosse Menge von Flüssigkeit aufnimmt und ein Secret abzusondern anfängt, endlich dass durch solche Impulse eine Bewegung gehindert werden kann, welche sonst auf alle Fälle ausgelöst worden wäre. Das, was an diesen Erscheinungen durchaus nicht in den Kreis unserer Vorstellungen hineinpasst, ist, dass die Fische sich nicht selbst erschlagen. Denn da der electrische Strom bekanntermassen in allen Abschnitten des Stromkreises mit gleicher Gesamtstärke circulirt, so muss er auch mit dieser selben Gesamtstärke durch den Fisch, der ihn hervorbringt,

durch
von di
an sei
Fische
unemp
fachen
dem s
dem K
kräftig
Schläg
wende
hielten
den St
an, als
densel
ferner
ist die
andere
mark
wie di
Schläg

durch
von di
an sei
Fische
unemp
fachen
dem s
dem K
kräftig
Schläg
wende
hielten
den St
an, als
densel
ferner
ist die
andere
mark
wie di
Schläg

in ne
Organ
Ansieh
in dem
rische
das el
fasern
andere
bilde
würde
gelang
ziehung
des M
annim
Strom
stante
wirkt.
die Ex
sie gel

für sie
der iso
Impuls
indem
einen
offenba

durchgehen. Es fragt sich also, warum werden die electrischen Fische von diesen Strömen nicht beschädigt? Die Antwort darauf hat du Bois an seinen Zitterwelsen gefunden. Sie lautet einfach: Die electrischen Fische sind gegen electrische Schläge in ganz ausserordentlicher Weise unempfindlich. Du Bois machte, um dies zu erweisen, folgenden einfachen Versuch, den er oft wiederholt hat. Er setzte in das Wasser, in dem seine Zitterwelse sich befanden, gewöhnliche Flussfische und ausserdem Frösche. Nun senkte er von beiden Seiten die Electroden eines kräftig wirkenden Inductionsapparates in das Wasser hinein und liess Schläge desselben hindurchgehen. Die Flussfische verfielen in Tetanus, wendeten sich um und gingen nach kurzer Zeit zu Grunde. Aehnlich verhielten sich auch die Frösche. Die Zitterwelse aber schwammen zwischen den Sterbenden ganz munter herum, und man merkte ihnen nichts anderes an, als dass sie sich, wenn sie in die Nähe der Electroden kamen, von denselben abwendeten, dass sie umkehrten, und sich ruhig weiter entfernten. Eine andere Frage, auf welche wir die Antwort nicht wissen, ist die: Wie ist es möglich, dass Thiere, die ganz nach dem Typus der anderen Wirbelthiere gebaut sind, deren Nerven, Gehirn und Rückenmark anscheinend aus denselben Formen und Materialien aufgebaut sind, wie die der übrigen Thiere, sich einer solchen Immunität gegen electrische Schläge erfreuen können?

Ich muss schliesslich noch anführen, dass mehrere Gelehrte, die sich in neuerer Zeit mit der mikroskopischen Untersuchung der elektrischen Organe und der motorischen Nervenendplatten beschäftigt haben, zu der Ansicht gelangt sind, dass eine sehr enge Analogie zwischen den Platten in den elektrischen Organen und den Kühne'schen Endplatten der motorischen Nerven an den Muskelfasern bestehe. Hiernach könnte man sich das electrische Organ als einen Muskel denken, aus dem alle Muskelfasern herausgezogen und die Endplatten alle zusammengelegt wären, und andererseits könnte man sich wieder den Muskel als ein contractiles Gebilde denken, auf dessen einzelnen Fasern electrische Endplatten vertheilt wären, so dass nun die Impulse, welche zu diesen electrischen Endplatten gelangen, sich auf die contractile Substanz übertragen und die Zusammenziehung derselben hervorrufen. Wenn man annimmt, dass die Reizung des Muskels vom Nerven aus immer eine electrische ist, und wenn man annimmt, dass die electrischen Wirkungen in den Endplatten nur bei Stromschwankungen entstehen, so würde dies erklären, weshalb der constante Strom auf den Muskel zwar direct, aber nicht vom Nerven aus wirkt. Es hat indessen diese von mehreren Seiten aufgestellte Hypothese die Experimentalkritik nicht ausgehalten, welche du Bois-Reymond an sie gelegt hat.

Centripetalleitende Nerven.

Gehen wir jetzt zu den centripetalleitenden Nerven über, so gilt für sie zunächst in derselben Weise, wie für die motorischen, das Gesetz der isolirten Leitung. Es können von einem Organe aus so viel getrennte Impulse zum Centrum geschickt werden, als Nervenfasern dahin verlaufen, indem eben ein Impuls im Verlaufe der Nervenfasern niemals von der einen auf die andere überspringt. Dieses Gesetz der isolirten Leitung ist offenbar für die centripetalleitenden Nerven ebenso wichtig, wie für die