und man reizt erst die eine, dann die andere, so erlangt er nur solche Spannungen, dass die Summe derselben der Spannung gleich ist, welche er erlangt haben würde, wenn man beide gleichzeitig gereizt hätte. Auch ermüdet man durch wiederholte Reizung von einer Wurzel aus den Muskel nur für diese, nicht auch für die andere.

Elektrische Organe und ihre Nerven.

Von den 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 ähnliche Organe vor. Das Organ von Mormyrus gibt nach den Zeugnissen von Babuchin und von Fritsch elektrische Schläge. Ferner zeigen auch die eigentlichen Rochen Raja und Myliobates Organe, welche man nach du Bois-Reymond und Fritsch als unvollkommene elektrische Organe bezeichnet. Ihre nahe Verwandtschaft mit denen der Zitterfische lässt sich nicht verkennen, aber sie weichen in ihrer Structur doch wesentlich von denselben ab.

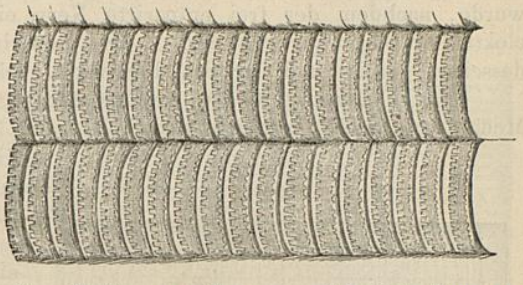
Die elektrischen Organe sind im Zustande der Ruhe wirkungslos, werden aber plötzlich durch Erregung der zu ihnen gehenden Nerven in kräftig wirkende elektrische Batterien verwandelt. Die elektrischen Ströme, die sie dann geben, unterscheiden sich in nichts von den Strömen, die man durch physikalische Hilfsmittel hervorruft. Man hat von diesen Strömen Funken erhalten, man hat mit ihnen chemische Zersetzungen vorgenommen, man hat die Magnetnadel 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 elektrische 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 elektrische 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 elektrischen Organen gehenden Nerven ausgelöst. Drittens werden die Ströme auch auf reflectorischem Wege ausgelöst, und endlich zeigt sich das elektrische 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.

Gymnotus electricus ist ein Süsswasserfisch Südamerikas, wo er namentlich in den Landseen von Surinam vorkommt. Aus diesen 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 Haut des Zitteraales auf der Seite öffnet, so findet man, dass jederseits den ganzen Körper entlang das elektrische Organ gelagert ist, so dass es oben an die Muskeln der Wirbelsäule anstösst und unten

durch die Muskeln, welche die lange, die Mittellinie des Bauches 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 Nervenfaser herantritt und daselbst endigt, indem er in ein feines Netzwerk oder Gitterwerk übergeht. Diese Plättchen sind in der beistehenden Figur durch Punktirung kenntlich gemacht.

Fig. 8.



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 dichterer 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.

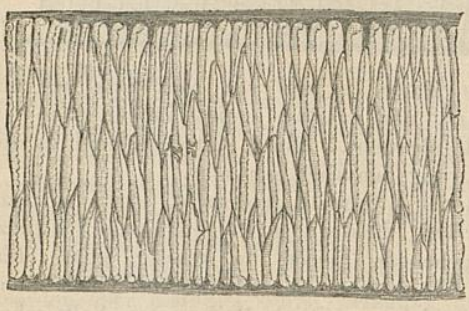
Der Zitterwels des Nils, Malapterurus electricus, wurde von Bilharz, der längere Zeit Professor der Anatomie und Physiologie in Cairo war, anatomisch genau und gründlich untersucht. Auch bei diesem liegt das elektrische Organ zu beiden Seiten des Körpers, als ein paariges Gebilde. Es ist aber hier mehr mantelförmig, so dass das Thier gewissermassen in dasselbe eingehüllt ist. Jederseits entspringt aus dem vorderen, an die Medulla oblongata grenzenden Theile des Rückenmarks eine colossale Nervenfaser als nackter Axencylinder von einer sehr grossen Ganglienkugel. Nach G. Fritsch entspringt er von derselben nicht einfach, wie der Deiters'sche oder Wurzelfaserfortsatz der motorischen Rückenmarks-Ganglienzellen, sondern aus einem reichen Geflechte von Protoplasmafortsätzen, welche die fragliche Zelle aussendet, indem eine grössere Anzahl von Fortsätzen zu einer Faser, der Stammfaser für das elektrische Organ, verschmilzt. Dieser Axencylinder tritt in eine Nervenscheide ein und geht als elektrischer Nerv zu dem Organe hin, vertheilt sich in demselben

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

dichotomisch, und zwar so lange, bis er alle Elemente desselben mit Endigungen versorgt hat. Hieraus erhellt, wie es Babuchin möglich wurde, Reize in umgekehrter Richtung ablaufen zu lassen und ihre Wirkung zu beobachten. Es wurde der Stamm des Nerven durchschnitten. Dann wurde, nachdem der frei präparirte Nerv eines Froschschenkels an das elektrische Organ angelegt war, ein frei präparirter peripherischer Nervenast desselben gereizt und der Froschschenkel zuckte.

Das elektrische 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 elektrische Endplatte (sie ist in der Figur wieder durch Punktirung kenntlich gemacht), und zu dieser tritt jedesmal von hinten her der Endast einer Nervenfaser. 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 erklärte diesen scheinbaren Widerspruch in folgender Weise: Wenn man die elektrische 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 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.

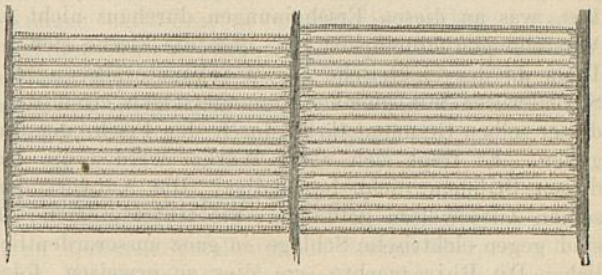
Fig. 9.



Die dritte Art der elektrischen 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 elektrische 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 auszeichnet, dadurch kenntlich, dass es in eine Menge kleiner sechseckiger Felder eingetheilt ist. Diese entsprechen ebenso vielen Säulen von elektrischen 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 der Mitte desselben der Körper, zu beiden Seiten die vorderen Extremitäten, und der Raum zwischen beiden ist durch die Säulen des elektrischen 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 elektrische Platte in Gestalt einer gallertigen Scheibe befindet, zu der von unten her der Endast einer Nervenfaser 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 Rückseite 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 Organs zu einem Theile desselben, der der Axe des Körpers näher liegt. Die europäischen Zitterrochen sind kleinere und schwächere Thiere als die Zitteraale und die Zitterwelse, aber an der Westküste von Nordamerika kommt ein riesiger Zitterroche vor, Torpedo occidentalis, von dem ein Exemplar von 127 cm. Länge und 91 cm. Breite mit Sicherheit bekannt ist und der angeblich bis 152 cm. lang werden soll. Diese Art hat jederseits über tausend elektrische Säulen.

Fig. 10.



An jedem einzelnen Elemente eines elektrischen Organs sind nach Babuchin zwei verschiedene Theile zu unterscheiden, von denen er den einen den nervösen, den andern den metasarcoblastischen nennt. Babuchin hat nämlich die merkwürdige Entdeckung gemacht, dass sich jedes Element embryonal entwickelt wie ein Stück quergestreiften Muskels, das mit einem Nervenende in Verbindung steht. Das, was sich dann durch Metamorphose der muskelartigen Anlage entwickelt, ist der metasarcoblastische Theil.

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 elektrische 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 elektrische Strom bekanntermassen in allen Abschnitten des Stromkreises mit gleicher Gesammtstärke circulirt, so muss er auch mit dieser selben Gesammtstärke durch den Fisch, der ihn hervorbringt, durchgehen. Es fragt sich also: Warum werden die elektrischen Fische von diesen Strömen nicht beschädigt? Die Antwort darauf hat du Bois an seinen Zitterwelsen gefunden. Sie lautet einfach: Die elektrischen Fische sind gegen elektrische 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 Elektroden 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 Elektroden 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 elektrische Schläge erfreuen können? Diese Immunität der Zitterfische scheint nur eine relative, ein hoher Grad von Unterempfindlichkeit zu sein. Du Bois bemerkt, dass es gar nicht zweckmässig sein würde, wenn der Fisch den eigenen Schlag nicht fühlte, denn er würde dann nicht wissen, wann und wie stark er schlägt. Er führt auch an, dass sich Zitterwelse und Zitteraale durch Schläge gegen fremde Schläge wehren. Den Grad der Unterempfindlichkeit im Einzelnen zu bestimmen, hat grosse Schwierigkeit. Angaben, dass unter günstigen Umständen ein Thier durch den Schlag des anderen zuckte, sind von Steiner in Rücksicht auf die Zitterrochen, von Babuchin in Rücksicht auf die Zitterwelse gemacht worden.

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 elektrische 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 elektrische Endplatten vertheilt wären, so dass nun die Impulse, welche zu diesen elektrischen 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 elektrische sei, und wenn man annimmt, dass die elektrischen 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, wie 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 centrifugalleitenden. Denn es handelt sich beim Auslösen einer Reflexbewegung darum, dass die Erregungen im Centralorgane auf bestimmte Gruppen von Ganglienkugeln übertragen werden. Um dasselbe handelt es sich bei den Reflexabsonderungen, bei den Reflexhemmungen. Ebenso klar ist es, dass unser ganzes räumliches Unterscheidungsvermögen, welches uns mittelst der empfindenden Nerven zukommt, nur auf dem Gesetze der isolirten Leitung beruht, dass nur vermöge dieses Gesetzes getrennte sogenannte Localzeichen zum Centralorgane gelangen können, vermöge welcher wir uns in der Aussenwelt zurechtfinden, vermöge welcher wir uns durch unsere Tastnerven orientiren, vermöge welcher wir Bilder erhalten, indem die verschiedenen Nervenfasern des Opticus uns verschiedene Localzeichen zum Gehirne schicken.

Wenn aber die Impulse einmal im Centralorgane angelangt sind, so erleidet hier das Gesetz der isolirten Leitung, wie wir schon im Vorübergehen gesehen haben, gewisse Einschränkungen, indem dann die Impulse auf motorische Nerven, auf Absonderungsnerven übertragen werden können, um Reflex zu erzeugen, und auch auf die sensiblen Elemente übertragen werden können, wodurch dann Mitempfindungen entstehen. Wir haben schon gesehen, dass die Ursachen dieser Mitempfindungen nicht im Centralorgane vorgestellt werden, sondern an den Enden von empfindenden Nerven, welche mit den erregten Gebilden im Centralorgane in Verbindung stehen. Die Mechanik davon ist ganz einfach. Das, was uns die Vorstellung verursacht, ist die Erregung im Centralorgane. Da nun die Gruppe von Nervenzellen im Centralorgane gewöhnlich von den Enden gewisser peripherischer Nerven aus erregt wird; so ist es klar, dass jetzt, wo sie auf einem andern Wege erregt worden ist, ohne dass uns davon etwas Näheres in das Bewusstsein einging, wir uns wiederum vorstellen, es finde eine Erregung an den peripherischen Enden eben jener Nerven statt. Damit hängt folgende Erscheinung eng zusammen. Wenn ein empfindender Nerv