

nachzuweisen, noch ein hohes Interesse. Als besonders wichtige Entdeckungen des Verfassers werden von dem Comité der kgl. dän. Ges. d. Wissensch.<sup>1)</sup> hervorgehoben:

1) Die Entdeckung der Ampullen bei *Myxine*.

2) Die Lage der membranösen Bogengänge am konkaven Rande der Innenseite der knöchernen Kanäle.

3) Im Ohre von Schlangen, Schildkröten, Krokodilen und Vögeln hat er gefunden, dass sich eine röhrenförmige Verlängerung vom Steinsack oder der Schnecke durch den Aquaeductus vestibuli zur Dura mater erstreckt. Diese Verlängerung des häutigen Labyrinths hält Verfasser wol mit Recht für analog mit der längst bekannten röhrenförmigen Verlängerung des Steinsacks der Plagiostomen, welche durch einen eignen Gang im Knorpel zu der Oberfläche des Schädels verläuft.

4) In dem Aquaeductus cochleae fand er bei Walen und Seehunden einen Zweig des Nervus vagus.

5) Beim menschlichen Embryo sah er am Sacculus oblongus (Alveus) einen trichterförmigen Fortsatz, der sich zu einem kleinen Loche im Rahmen des Foramen ovale hinzieht. Er deutet diese Verlängerung gewiss richtig als Ueberrest einer frühern Verbindung zwischen häutigem Labyrinth und Trommelhöhle.

6) An der von Husehke und Hyrtl beschriebenen Lamina spiralis accessoria fand er eine ganz besondere Härte und einen mikroskopischen Bau, wonach dieselbe dem Otholiten im Steinsack der Fische analog zu sein scheint. — Wenn sich diese Angabe bestätigt, wird sie den sichersten Beweis für die Analogie der Schnecke mit dem Steinsack abgeben.

7) In Bezug auf die Verzweigungen der Schnecken-Arterien hat er das merkwürdige Verhalten bei Menschen und Säugetieren entdeckt, dass die verschiedenen Zweige der Arteria auditiva interna wieder zu einem spiralig verlaufenden Gefäße zusammentreten, und dass erst von diesem die End-Verzweigungen ausgehen.

**Kiesselbach** (Erlangen).

### **Carl Sachs, Untersuchungen am Zitteraal (*Gymnotus electricus*).**

Nach seinem Tode bearbeitet von Emil du Bois-Reymond mit zwei Abhandlungen von Gustav Fritsch. Leipzig 1881. 447 Seiten. 49 Holzschnitte und 8 Tafeln.

Das vorliegende Werk stellt eine sowol auf Grund älterer Untersuchungen, wie auch neuer von Carl Sachs in den Llanos von Südamerika angestellter und in seinem Nachlass vorfindlicher Beobachtungen verfasste Monographie des unter den elektrischen Fischen

1) Die Abhandlung wurde am 25. Juni 1846 der kgl. dänischen Gesellschaft der Wissenschaften übergeben.

zu besonderer Berühmtheit gelangten *Gymnotus electricus* dar. Es enthält im ersten Hauptabschnitt eine zoologisch-anatomische Beschreibung des Tieres, aus welcher ich mit Uebergelung der nicht den elektrischen Apparat betreffenden anatomischen und histologischen Angaben Nachstehendes hervorhebe.

Der Zitteraal besitzt, wie man seit Hunter weiss, zwei Paare elektrischer Organe, welche über ein Drittel des Körpergewichts ausmachend der von vorn nach hinten sich verschmälernden Form des Fisches sich anpassen und über einander liegen, die beiden großen von den unterliegenden kleinen durch Muskelgewebe („Zwischenmuskelschicht“) geschieden. Jedes der 4 Organe erscheint seiner ganzen Länge nach durch horizontale Scheidewände („Längsscheidewände“) in über einander gelegene Räume abgeteilt, die ihrerseits durch zarte, dicht gedrängte, bindegewebige „Querscheidewände“ in enge Fächer zerfallen, in welchen die von Bilharz als „elektrische Platten“ bezeichneten Gebilde, die demnach eine schmale, bandförmige Gestalt besitzen und deren größte Länge der halben Körperbreite entspricht, aufgehängt sind. Die Längsscheidewände erteilen dem Organe ein längsstreifiges Aussehen, während die Querscheidewände den zwischen je zwei Längsstreifen befindlichen Raum dicht quergestreift erscheinen lassen. Als „Säule“ bezeichnet man die Gesamtheit der zwischen je 2 Längsscheidewänden enthaltenen Fächer mit ihren Platten. Es kommen im Durchschnitt 10 Platten auf ein Millimeter, und da die Organe eines mittelgroßen, 1 m. langen Tieres etwa 80 cm. lang sind, so gibt dies, abgesehen von dem noch zu erwähnenden Sachs'schen Säulenbündel, 8000 Platten hinter einander. Es ist bemerkenswert, dass nach einem zuerst von Delle Chiaje für den Zitterrochen aufgestellten und später besonders von Babuchin vertheidigten Satze, die Zahl der Säulen beim Wachstum des Tiers konstant bleibt und nur deren Größe zunimmt. Dieses von du Bois-Reymond als „Delle Chiaje's und Babuchin's Satz von der Präformation der elektrischen Elemente“ bezeichnete Gesetz darf wol für alle Zitterfische als gültig angesehen werden. Im Uebrigen bewegt sich die Totalsumme aller Säulen des großen Organs nach Fritsch in sehr weiten Grenzen, erreicht zuweilen nicht die Zahl von 50 und steigt gelegentlich bis 100. Die größte Säulenzahl haben in der Regel die kleinern Individuen. Da nach den Messungen von Humboldt und Sachs das Dickenwachstum des Zitteraals hinter dem Längenwachstum zurückbleibt und daher der Widerstand der elektrischen Organe nur langsam und vielleicht gar nicht abnimmt, so kann die mit der Länge des Tiers zunehmende Stärke des Schlags nur darauf beruhen, dass die Kraft der Organe mit deren Länge wächst.

Mit großem Interesse durfte man der von Sachs an Ort und Stelle angestellten anatomisch-histologischen Untersuchung der elektrischen Organe von *Gymnotus* entgegensehen, zumal hier so wider-

sprechende Befunde zweier hervorragender Forscher wie M. Schultze und F. Pacini vorlagen. Nach letzterm hätte man sich jede elektrische Platte frei aufgehängt in ihrem Fache vorzustellen, die vordere Fläche besetzt mit dichtgedrängten, großen, die hintere mit kleinern durch dornförmige Fortsätze unterbrochenen Papillen. Schultze dagegen lässt die hintere Fläche jeder Platte auf der einen Querscheidewand des Faches aufrufen und läugnet außerdem die „Dornpapillen“. Die Untersuchungen von Sachs haben nun die Richtigkeit der Angaben Pacini's in fast allen Punkten bestätigt. Ganz frisch erscheint die nicht doppeltbrechende, größtenteils aus Eiweißkörpern bestehende Platte glasartig homogen, und nur in den Papillen lassen sich granulierte Zellen mit Ausläufern erkennen. An Osmiumpräparaten erscheint jedoch der hintere Rand des Plattendurchschnitts fein gestreift etwa nach Art des Cuticularsaumes der Darmepithelzellen. Sachs bezeichnet diesen Teil der Platte als „Stäbchenschicht“. Ranvier beschreibt die analogen, zuerst von Boll gesehenen stäbchenförmigen Gebilde beim Zitterrochen als „cils électriques“ und schreibt ihnen eine besondere elektrische Bedeutung zu, während du Bois-Reymond geneigt ist, dieses Strukturverhältniss mit den Stoffwechselvorgängen der elektrischen Platte in Zusammenhang zu bringen. Ebenso ist du Bois der Meinung, dass „die mit der Dicke der Platte Schritt haltende Vergrößerung ihrer Oberfläche (durch die hervorsprossenden Papillen) nur die Bedeutung habe, dass dadurch ein für die Leistungen des elektrischen Gewebes unentbehrlicher Stoffwechsel ermöglicht wird.“ Beim Absterben trüben sich die Platten in kurzer Zeit und spalten sich bisweilen in 2 Lamellen. Die von den bindegewebigen Querscheidewänden her durch den hintern Spalt zu den Platten tretenden Nerven zeigen meist nur dichotomische Teilungen, niemals kommt es zur Bildung so mächtiger Nervenendbüsche, wie sie Rud. Wagner am Zitterrochen entdeckte und Ewald in neuerer Zeit einer eingehenden Untersuchung unterzog. Ueber die Art der Endigung der elektrischen Nerven in der unmittelbar unter den hintern Papillen gelegenen „Nervenschicht“ der Platte konnte Sachs trotz vieler Bemühungen zu keinem entscheidenden Resultate gelangen. Er sagt darüber in seinem Tagebuch: „Es ist immer eine Art Hügel vorhanden, das Bild ist ein wechselndes, bald mehr an die Kühne'sche Platte, bald wieder mehr an das Schultze'sche Netz erinnernd.“ Nach Fritsch setzen sich die in grobe Fibrillenbündel zerfallenden Axencylinder der Nervenendzweige vorwiegend an die „Dornpapillen“ an. Der hintere, obere Teil der beiden großen Organe (das „Sachs'sche Säulenbündel“) besitzt, wie Sachs fand, eine wesentlich verschiedene Struktur, indem hier die zwischen je zwei Längsscheidewänden ausgespannten Querscheidewände viel weiter von einander abstehen und daher die Fächer für die elektrischen Platten viel geräumiger sind. Diese selbst tragen an ihrer vordern

Fläche sehr große, zugespitzte Papillen, welche oft eine matte Querstreifung am Rande oder in der Mitte, wie auch Spuren von Doppelbrechung erkennen lassen. Die Längsscheidewände des betreffenden Organabschnitts verlaufen nicht durchaus parallel, sondern verschmelzen vielfach sowol in der Längs- wie Querrichtung mit einander. Da, wie Babuchin fand, die elektrischen Platten des Zitterrochen sich aus embryonalen Muskeln entwickeln, so lag es nahe, die erwähnte Querstreifung der vordern Papillen im Sachs'schen Säulenbündel für die Deutung ihres Ursprungs aus Muskelgewebe zu verwenden. Doch gelang es Sachs nicht, Uebergangsbildungen an der Grenze von Muskeln und weitfächerigen Säulen zu finden. Immerhin erblickt er in diesen ein minder hoch entwickeltes elektrisches Gewebe, welches etwa die Mitte hält zwischen „vollkommenem und unvollkommenem elektrischem Gewebe“, wie es in den sogenannten pseudoelektrischen Organen gewisser Nilfische, des gemeinen Rochen und des Gymnotinen *Sternopygus virescens* vorkommt. Du Bois-Reymond macht jedoch Gründe geltend, welche gerade für eine stärkere elektromotorische Wirksamkeit des Sachs'schen Säulenbündels sprechen.

Obschon Sachs keinerlei sichere Anhaltspunkte für die Deutung der vollständig ausgebildeten elektrischen Platten mit Rücksicht auf ihre Entwicklung aus Muskelementen gewinnen konnte, so weisen doch die Beobachtungen von G. Fritsch mit Wahrscheinlichkeit darauf hin, dass man in den Papillengruppen Reste von Muskelprimitivbündeln vor sich habe, deren ursprüngliche Verlaufsrichtung auf der Plattenebene senkrecht stehend zu denken wäre. „Ein Zerfall der Platte längs der Mittellinie (Pacini'sche Linie) würde einem Zerfall des Muskels in Bowman'sche Discs gleichstehen. Die Nervenendigungen hätten sich histologisch den als sogenannte Nervenendplatten der Muskeln beschriebenen Bildungen anzureihen.“ Jede Gymnotusplatte wäre natürlich einer größern Anzahl von Primitivbündeln gleichwertig, „deren als mittlere Verbreiterungen auftretende Plattenbilder sich eng an einander lagerten und verkitteten. Als Andeutung dieser geseheenen Verkittung sieht man an feinen Plattenquerschnitten dieselbe in Teilstücke zerfallen, deren Trennungslinien auch bei noch nicht gestörter Ordnung häufig sichtbar werden.“

Nachdem die entwicklungsgeschichtlichen Untersuchungen von Babuchin der Anschauung, dass die elektrischen Organe als metamorphosirte Muskeln aufzufassen seien, eine feste Grundlage gegeben hatten, lag es nahe die Frage auch vom vergleichend anatomischen Standpunkte aus zu prüfen.

Da sowol die vollkommenen, wie auch die unvollkommenen elektrischen Organe bei den verschiedenen Fischen ganz verschiedenen Muskelgruppen zugerechnet werden müssen und demnach topographisch an keine bestimmte Region gebunden sind, so darf man wol

schließen, dass „alle Muskeln des Körpers, deren normale Funktion für die Existenz des Individuums entbehrlich erscheint, als gleichwertige Grundlage zur Ausbildung elektrischer Organe“ dienen können.

Hinsichtlich der Frage nach der Homologie der Zitteraalorgane versprach der Wels (*Silurus glanis*) den sichersten Anschluss, da dessen anatomischer Bau ihm den Gymnotinen nahe verwandt erscheinen lässt. Nach Fritsch, welcher zuerst auf diese Uebereinstimmung im Bau der beiden Fische hinwies, hat man einen schmalen Muskelstreif, welcher als Abzweigung von den platten Bauchmuskeln des Welses, hinter dem Schultergürtel beginnt und nach hinten sich verschmälernd unter den Seitenmuskeln bis gegen das Schwanzende verläuft (Musculus lateralis imus Fritsch), als den großen elektrischen Organen des *Gymnotus* homolog zu betrachten, indem diese hier an Stelle jenes Muskels getreten sind, von welchem nur die früher erwähnte, mit dem großen Organ noch in einer gemeinsamen Fascie gelegene, Zwischenmuskelschicht einen nicht in elektrisches Gewebe umgewandelten Rest darstellt. Die Grenze der Zwischenmuskelschicht und der Säulen des großen Organs dürfte daher wol auch an embryonalen oder vielleicht selbst nur jugendlichen Individuen noch am ehesten die von Sachs so eifrig gesuchten Uebergangsformen zwischen quergestreiften Muskelfasern und elektrischem Gewebe erkennen lassen.

Die beiden kleinen Gymnotusorgane gehören dem System der Flossenträgermuskeln an und zwar sind es die tiefen Flossenträgermuskeln, aus welchen sie sich nach Fritsch entwickelt haben. Hiermit stimmt überein, dass die Säulenzahl der kleinen Organe gegen den Schwanz hin zunimmt, während beim großen Organe das Umgekehrte der Fall ist.

Wir verdanken Fritsch auch eine genaue anatomisch-histologische Untersuchung des Centralnervensystems von *Gymnotus electricus*, durch welche die schon erwähnten verwandtschaftlichen Beziehungen unsers Welses zu dem Zitteraal abermals in überzeugendster Weise klargestellt und die Bedeutung des Rückenmarks als „Innervationscentrum“ der elektrischen Organe bewiesen wird.

Das Gehirn zeichnet sich sowol bei den Gymnotinen, wie auch beim Wels durch die mächtige Entwicklung des Kleinhirns aus, das seinerzeit von Valentin als Lobus electricus beschrieben und für das Analogon des von Humboldt am Gehirn des Zitterrochen entdeckten Lobus electricus angesehen wurde. „Da die elektrischen Organe des Zitteraals durch Intereostalnerven versehen werden, deren ungemene Zahl seit Hunter die Aufmerksamkeit aller Erforscher des Gegenstands auf sich gelenkt hatte, war es indess ziemlich klar, dass das Centralorgan für die Organe im Rückenmark, nicht im Gehirn, zu suchen sei.“

Fritsch fasst die Resultate seiner diesbezüglichen Untersuchungen

in folgenden Worten zusammen: „Die Medulla spinalis erscheint keineswegs mächtig und von der gewöhnlichen Gestalt. Anfänglich etwas abgeplattet, gewinnt dieselbe im mittlern Teil des Körpers an Ausdehnung des sagittalen Durchmessers, um weiter gegen den Schwanzteil zu wieder platter zu werden. Das Mikroskop zeigt im größten Teil der Medulla spinalis ein Formelement von bemerkenswerter Gestalt und Anordnung. Es sind dies Ganglienzellen, welche im Allgemeinen die graue Substanz in der Weise erfüllen, dass die Masse der Zellen den Centralkanal in Gestalt eines nach vorn offenen Cylinders umgibt. Von den stark entwickelten Fortsätzen der Zellen gehen Axencylinderfortsätze in die vordern Wurzeln über und treten als elektrische Nerven zu den elektrischen Organen. Die andern Fortsätze der Zellen gehen in das Glianetz über. Die voll entwickelten, elektrischen Zellen zeichnen sich durch die rundliche Form, das besonders kräftig entwickelte Zellprotoplasma und durch den deutlichen breit angesetzten Axencylinderfortsatz aus. Die gewöhnlichen multipolaren (motorischen) Zellen erscheinen um so spärlicher, je zahlreicher die elektrischen werden, und erhalten fast ausschließlich die Randpartie der Vorderhörner als Stellung angewiesen. Am Anfang wie am Ende der elektrischen Zellsäulen ist ihre Anordnung bilateral. Bevor die typischen Zellformen erscheinen, finden sich im vordern Ende der Medulla vereinzelt Zellen, welche als Uebergangsformen von typischen, multipolaren Zellen zu elektrischen betrachtet werden müssen.“

Von den Ergebnissen der von Sachs an Ort und Stelle ausgeführten physiologischen Untersuchungen soll im Folgenden das Wichtigste mitgeteilt werden.

Der Schlag des Zitteraals vermag, wie Sachs an sich selbst erfuhr, außerordentlich kräftige Wirkungen zu entfalten, wenn sich der menschliche Körper in einem Kreise befindet, durch welchen jener in voller Stärke hindurchgeht. Faraday verglich seinerzeit den mittelstarken Schlag eines Zitteraals „der Entladung einer auf's Höchste geladenen Leydener Batterie von 15 Flaschen mit einer doppelt belegten Glasoberfläche von 2,258 Quadratmeter.“ Wird der Fisch isolirt nur mit einer Hand berührt, so ist die physiologische Wirkung des Schlags nur gering, da nur einige Stromschleifen hiefür in Betracht kommen. „Ein mäßig kräftiger auf Stromschleifen beruhender Schlag durch die Fingerspitze“ sagt Sachs, „hat große Aehnlichkeit mit kurzer Einwirkung des Schlitteninductoriums. Man hat die untrügliche Empfindung der Dauer, der oscillirenden Natur des Schlags.“ Sehr kräftig sind auch die Wirkungen beim Eintauchen in Wasser, das mit den vom Tiere im Augenblick des Schlags ausgehenden Stromkurven erfüllt ist.

Ueber die Verteilung der elektrischen Spannungen am schlagenden Zitteraal besitzen wir bereits Angaben von Faraday, denen

zufolge jeder Punkt des im Wasser befindlichen Fisches sich negativ verhält gegen jeden davor, und positiv gegen jeden dahinter gelegenen Punkt des Tiers. Die Wirkungen sind um so stärker, je weiter aus einander gelegene Punkte berührt werden, und werden Null, sobald die abgeleiteten Punkte symmetrisch zur Sagittalebene des Tiers liegen. Demnach liegt der positive Pol jeder Säule am Kopfende, der negative am Schwanzende und die Stromesrichtung wird im Organe im Augenblick des Schlags im allgemeinen aufsteigend sein; du Bois-Reymond bezeichnet diese Richtung als die positive, die entgegengesetzte als die negative.

Humboldt hatte schon die Vermutung ausgesprochen, dass der Zitteraal seine elektrischen Organe unter Umständen nur partiell entlade und Sachs hat in der Tat durch eigens auf diesen Punkt gerichtete Versuche die Existenz solcher „Streckenentladungen“ bewiesen. Mit Rücksicht auf den abweichenden Bau des in der hintern Hälfte der großen Organe gelegenen Sachs'schen Säulenbündels wäre es von Interesse gewesen zu erfahren, ob die geringere Stärke des Schlags der hintern Hälfte des Zitteraals, welche Sachs (wie vorher schon du Bois am Zitterwelse) beobachtete, auf einer Verschiedenheit der elektromotorischen Kraft oder nur auf einer verschiedenen Verteilung der Widerstände beruht. Es harret jedoch diese Frage noch ihrer Entscheidung.

Die von Faraday aufgestellten Wahrzeichen eines ächten elektrischen Stromes: physiologische Wirkung, Ablenkung der Magnetnadel, Magnetisirung, Funken, Wärmeerzeugung, Elektrolyse und Leitung durch heiße Luft lassen sich sämtlich am Schlage der Zitterfische konstatiren mit einziger Ausnahme des letzten. Es hängt dies damit zusammen, dass erfahrungsgemäß die mächtigsten tierischen Entladungen unfähig sind, selbst geringe Widerstände zu überwinden, eine Tatsache, die schon frühzeitig die Aufmerksamkeit insbesondere Cavendish's auf sich gezogen hatte („Cavendish's Problem“) und sich auch in dem Umstande äußert, dass es nur in seltenen Fällen gelingt, einen Entladungsfunken durch eine Lücke im Kreise des mächtigsten Zitterfischschlags überspringen zu sehen. Die Erklärung liegt in dem von du Bois-Reymond schon 1842 aufgestellten Satze, dass die Ströme aller tierischen Elektromotoren durch Nebenschließung gewonnen sind. Denn es lässt sich zeigen, dass von zwei gleich starken Strömen A und B in identischen Leitern, von welchen A ohne, B mit Nebenschließung gewonnen ist, durch Einschaltung eines gleichen additionellen Widerstandes in den identischen Leiter B stärker geschwächt wird als A, und um so mehr, je größer der wesentliche Widerstand.

Die von Sachs ausgeführten Magnetisierungsversuche von Stahlnadeln durch den Zitteraalschlag boten insofern Interesse dar, als sie die Möglichkeit eröffneten, ein etwaiges Hin- und Hergehen desselben

durch eine wechselnde Polarität der Nadeln zu erkennen. Es scheint dies hiernach nicht der Fall zu sein.

Von besondrer Wichtigkeit sind die Resultate der Untersuchungen von Sachs am ausgeschnittenen Organ und an einzelnen Teilen desselben, da solche Versuche eben nur an Ort und Stelle angestellt werden können.

Hier handelte es sich zunächst darum, zu untersuchen, ob und unter welchen Umständen das elektrische Organ des Zitteraals auch während der Ruhe elektromotorische Wirkungen erkennen lässt. Du Bois hatte das Organ des Zitterwelses, Eekhard das des Zitterrochen in der Ruhe völlig unwirksam gefunden, während allerdings von anderer Seite gegenteilige Angaben vorlagen (Zantedeschi, Matteucci). Zum Verständniß des Folgenden sei bemerkt, dass unter Längsschnitt ein der Axe des Organs paralleler, dessen Querscheidewände senkrecht treffender Schnitt, unter Querschnitt ein den Querscheidewänden paralleler Schnitt zu verstehen ist.

Bei Ableitung von der Kopf- und Schwanzfläche eines prismatischen Organstücks von etwa 4 cm. Länge und 2,5 cm. Seite fand Sachs einen  $\uparrow$  also positiv gerichteten Ruhestrom („Organstrom“). Die elektromotorische Kraft betrug in diesem Falle nur 0,015—0,03 Dan., also kaum soviel wie die eines mit Längs- und Querschnitt aufliegenden Froschnerven. Wurde von 2 in einer der Längsaxe des Tiers parallelen Linie gelegenen Punkten der natürlichen Oberfläche des Organs abgeleitet, so zeigte sich ebenfalls ein schwacher  $\uparrow$  gerichteter Strom; dagegen erfolgte am Galvanometer kein Ausschlag, wenn die Endpunkte der Queraxe des Organs von außen nach innen oder von oben nach unten ableitend berührt werden.

Schon Matteucci sah die Organstromkraft nach jedem Schlage vorübergehend zunehmen und nach du Bois hätte man dieselbe überhaupt nur als einen „hinterbleibenden Teil des Schlages“ anzusehen. Eine gegenteilige, also vermindernde Wirkung hat das Tetanisiren des Organs auf dessen Stromkraft. Mittels aufgelegter stromprüfender Froschschenkel hatte Matteucci gezeigt, dass auch das ausgeschnittene elektrische Organ des Zitterrochen und selbst Stücke desselben in Tätigkeit geraten, wenn mechanische Reize auf dieselben einwirken, und Babuchin bestätigte diese Beobachtungen über direkte Reizbarkeit der elektrischen Organe auch beim Zitterwelse. Sachs beschränkte sich bei seinen diesbezüglichen Versuchen nicht auf mechanische Reize, sondern bediente sich auch der chemischen und thermischen Reizmethode. Der Erfolg wurde mittels des Galvanometers bei gleicher Ableitung wie früher (von Kopf- und Schwanzfläche) geprüft. Das aufliegende Organstück zeigte sich nicht nur für mechanische Einzelreize (leichte Schläge mit einem Lineal), sondern auch thermischen und chemischen Einwirkungen gegenüber empfindlich. Bei der nahen Verwandtschaft der elektrischen Organe mit

den Muskeln durfte man erwarten, dass das Ammoniak, welches als energisches Reizmittel der Muskelsubstanz bekannt ist, auch das elektrische Organ kräftig erregen würde, was denn auch Sachs' Beobachtungen bestätigten. Immer wenn der Längsschnitt des Organstücks mit Ammoniak in Berührung kam, verrieth der Galvanometer einen kräftigen  $\uparrow$  Strom, der etwa  $\frac{1}{2}$  Minute anhielt. Vom Querschnitt aus sind begreiflich keine Wirkungen zu erhalten.

Auch betreffs der direkten Erregung durch einzelne Induktionsschläge stellte sich ein mit den Muskeln übereinstimmendes Verhalten des elektrischen Organs heraus, indem sich zeigte, dass Schließungsschläge dasselbe nicht erregen, während die auch auf andere irritable Gebilde stärker wirkenden Oeffnungsschläge erregende Wirkungen hervorbringen. Hierbei zeigte sich, dass  $\downarrow$  also dem Organschlag entgegengesetzt gerichtete Oeffnungsschläge stärker wirkten, als  $\uparrow$  gerichtete oder gar das prismatische Organstück in querer Richtung durchsetzende Induktionsschläge. Tetanisirende Wechselströme erregen das Organ schon sehr stark bei einem Rollenabstand, bei welchem Einzelschläge noch kaum spurweise wirken.

Wegen der Kürze der an das elektrische Organ des Zitteraals jederseits aus dem Rückenmarke in großer Zahl herantretenden Nerven, erscheint dasselbe zu Versuchen über indirekte elektrische Reizung viel weniger geeignet, als das des Zitterwelses, bei welchem die beiden elektrischen Nerven mit Leichtigkeit auf lange Strecken hin präparirt werden können. Indess gelang es Sachs der Schwierigkeiten ziemlich Herr zu werden.

Schon du Bois-Reymond hatte gefunden, dass Schließen und Öffnen starker Kettenströme vom elektrischen Nerven des Zitterwelses aus keine Schläge des Organs auslöste und analoge Beobachtungen machte auch Babuchin. Sachs konstatarie hierauf die wichtige Tatsache, dass die elektrischen Nerven des Zitteraals selbst bei Einwirkung der stärksten Einzelschläge eines Schlittenapparats keine irgend beträchtliche Wirkung an dem Organe auslösen, während dagegen das Tetanisiren mit Wechselströmen sich auch in diesem Falle sehr wirksam erweist. Das Galvanometer lässt dann einen starken im abgelenkten Organstück  $\uparrow$  Strom erkennen, dessen Diskontinuität durch den Tetanus eines im Kreise befindlichen Froschpräparats leicht nachzuweisen ist.

Durch Curare werden die letzten Enden der Muskelnerven der meisten Thiere gelähmt. Die Fische, ganz besonders aber die elektrischen Nerven der Zitterfische, zeigen jedoch eine beträchtliche Widerstandsfähigkeit gegen das genannte Gift. Ja die Erregbarkeit der letztern ist sogar, wie Sachs fand, in einem vorgerückten Stadium der Curarewirkung erheblich gesteigert, so dass sich diese Nerven dann selbst für einzelne Induktionsschläge, wenn auch in viel geringerm Grade erregbar erweisen, als für tetanisirende Wechselströme. Das

curarisirte Organ reagirte noch wie der Muskel unter gleichen Verhältnissen auf direkte mechanische, chemische und elektrische Reizung.

Wenn man eine Nerven- oder Muskelstrecke nach kürzerer oder längerer Einwirkung starker Kettenströme galvanometrisch untersucht, so findet man dieselbe in einem bestimmten Sinne elektromotorisch wirksam, auch wenn sie es vorher nicht war. Man erklärt diese zuerst von du Bois-Reymond genauer untersuchten „sekundär elektromotorischen“ Wirkungen durch eine innere Polarisation der betreffenden tierischen Teile. Während aber hier der Polarisationsstrom stets negativ d. i. dem polarisirenden Strom entgegengesetzt gerichtet ist, besitzt das überlebende elektrische Organ auch eine positive Polarisirbarkeit, was du Bois bereits beim Zitterwels erkannte. „Beide Polarisationen sind zugleich da, aber ihre Stärke hängt von Dichte und Dauer des polarisirenden Stromes verschieden ab und sie haben verschiedenen zeitlichen Verlauf.“ Die im gegebenen Fall beobachtete Polarisation ist daher immer gleich zu setzen der algebraischen Summe beider Polarisationen, so dass die resultirenden Wirkungen ziemlich verwickelt und nach Sachs' eigenem Geständniss „schwer zu deutende“ sind. Anfangs war die negative Polarisation stets überwiegend, rein positive Ausschläge des Magnetens, wie sie du Bois bei größter Dichte des polarisirenden Stroms und kurzer Schließungsdauer am Zitterwelsorgan beobachtete, sah Sachs nicht erfolgen. Eine Differenz zwischen den Beobachtungen von Sachs am Zitteraal und von du Bois am Zitterwels ergibt sich auch hinsichtlich der relativen Stärke der Polarisation der beiden Richtungen des polarisirenden Stroms; denn während du Bois stets die positive Polarisation im Sinne des Schläges stärker fand, gibt Sachs dasselbe von dem negativen Polarisationsstrom an. Du Bois-Reymond ist geneigt, die Abnahme des Organstroms nach tetanischer Erregung auf das Ueberwiegen der negativen, die nach einzelnen Schlägen zurückbleibende Verstärkung des Organstroms dagegen auf eine überwiegend positive Polarisation des Organs durch den eigenen Strom zurückzuführen. Man bezeichnet die Zeit, welche zwischen dem Momente der direkten oder indirekten Reizung eines Muskels und dem Beginn seiner Verkürzung verfließt, seit Helmholtz als „Stadium der latenten Reizung“. Die Frage nach Vorhandensein und Größe eines Latenzstadiums beim Zitterfischschlage hatte früher um so mehr Interesse, als dasselbe für oder gegen die sogenannte Entladungshypothese über die Wirkung von Nerv auf Muskel verwertet werden konnte.

Gestützt auf die Ansicht, dass nicht der Muskel sondern das periphere Endorgan der motorischen Nerven, die „Endplatten“, den elektrischen Platten der Zitterfische homolog seien, hatte man sich vorgestellt, dass bei jeder Nervenreizung den Muskeln durch die Endplatten elektrische Schläge erteilt werden. Demgemäß hätte „das Latenzstadium der unmittelbar erregten Zuckung mindestens gleich

sein müssen dem Latenzstadium des mittelbar erregten Schlags und dem der unmittelbar erregten Muskelzuckung.“ Hiezu stimmte jedoch die Größe des zuerst von Marey bei indirekter Reizung des Zitterrochenorgans bestimmten Latenzstadiums nicht, indem dasselbe von gleicher oder längerer Dauer als das des Muskels gefunden wurde, eine Tatsache, welche bereits du Bois gegen die Entladungshypothese in ihrer ursprünglichen Form verwertete. Sachs fand das Latenzstadium des Zitteraalschlags am unmittelbar erregten Organ 0,0035 Sec.; indess ist diese Bestimmung noch nicht als ganz sicher zu betrachten.

Schon 1857 hat du Bois-Reymond gezeigt „dass die Dauer des Zitterwelschlags und die der Muskelzuckung Größen einerlei Ordnung sind“ und Sachs hat dies auch für den willkürlichen Schlag des Zitteraals bestätigt. Nach Marey besteht jedoch jede solche Entladung des Tiers aus einer dichtgedrängten Reihe von einzelnen Stromstößen (flux électriques), vergleichbar den die tetanische Muskelkontraktion zusammensetzenden Einzelzuckungen. Die Dauer eines einzelnen durch indirekte Reizung des Organs (vom Zitterrochen) erhaltenen Stromstoßes beträgt nach Marey 0,07 Sec. und es folgen sich gewöhnlich etwa 25 Stöße mit einer Geschwindigkeit von 150 in der Secunde, woraus sich also die Dauer der Gesamtentladung zu 0,23 Sec. berechnet, ein Wert, der mit du Bois' Bestimmungen gut übereinstimmt. Es ist bemerkenswert, dass Sachs die Schlagdauer eines unmittelbar durch einen Oeffnungsinduktionsstrom erregten Organstückes viel kleiner fand (weniger als  $\frac{1}{50}$  Sec.), als Marey die des vom Nerven aus erregten Organs ( $\frac{1}{14}$  Sec.).

Bei freilebenden elektrischen Fischen erfolgt die Entladung wohl hauptsächlich auf reflektorischem Wege und ist daher an die Integrität des betreffenden reflektirenden Centralorgans geknüpft, welches beim Zitterrochen durch den von Humboldt zuerst beschriebenen Lobus electricus des Gehirns, beim Zitterwels durch die von Bilharz entdeckte im Halsmark gelegene Riesenganglienzelle, deren Axencylinderfortsatz das elektrische Organ versorgt, repräsentirt wird. Die zahlreichen vom Rückenmarke des Zitteraals zu den elektrischen Organen hinzutretenden Nerven lassen von vorneherein hier complicirtere Verhältnisse der Innervation erwarten und machen die Bedeutung eines großen Theils des Rückenmarks als reflektirendes Centralorgan wahrscheinlich. Mit dieser Voraussetzung stimmt allerdings die schon von Humboldt gemachte und von Sachs bestätigte Beobachtung nicht gut, dass vom geköpften Tiere keine fühlbaren Schläge auf reflektorischem Wege erhalten werden können.

Durch Strychninvergiftung wird, wie schon Mateucci fand, die Reflexerregbarkeit der elektrischen Fische sehr bedeutend gesteigert, so dass die leisesten Berührungen genügen, um kräftige Schläge auszulösen. Bei dieser Gelegenheit sei auch das für die Uebereinstimmung

der wesentlichsten Eigenschaften des elektrischen Organs und der quer-gestreiften Muskeln wichtigen Umstandes gedacht, dass durch anhaltende Tätigkeit die schwach alkalische Reaktion des frischen Zitteraalorgans in eine deutlich saure übergeht, wie dies vom Muskel seit du Bois' Untersuchungen bekannt ist. In gleicher Weise ändert sich die Reaktion beim Absterben.

Eine der merkwürdigsten und rätselhaftesten Eigentümlichkeiten der Zitterfische ist unstreitig deren Immunität gegen den eigenen Schlag, sowie auch gegen fremde elektrische Entladungen. Es ist dies allerdings nicht so zu verstehen, als ob diese Tiere elektrische Schläge gar nicht empfänden, was unzweifelhaft der Fall ist, nur wirken diese nicht so vernichtend auf dieselben ein, wie auf andere Geschöpfe. Die Immunität der Zitterfische ist eben keine absolute, sondern nur eine relative. Es kann keinem Zweifel unterliegen, dass, wie du Bois experimentell bewies, der andern Geschöpfen so verderbliche Schlag auch durch den Körper des ihn aussendenden Tiers hindurchgeht. Dass er aber gleichwol die Nerven desselben nicht erregt, kann wol kaum der zu geringen Dichte des Stroms in diesen zugeschrieben werden, dagegen war daran zu denken, ob nicht etwa der Fisch im Augenblick des Schlags seine Nerven vom Centralorgan aus in einen Zustand versetzen könne, in dem sie, wie etwa im Analektrotonus, auf elektrische Reize schwerer ansprechen. Diese „Stählungshypothese“ hielt jedoch der experimentellen Prüfung nicht Stand. Dagegen machte Boll auf den wichtigen Umstand aufmerksam, dass die Muskelnerven des Zitterrochen bei jeder Art elektrischer Reizung sich weniger empfindlich zeigen, also eine höhere Reizschwelle besitzen, als die des Frosches, was seinerzeit Humboldt am Zitteraal bemerkt zu haben scheint. Dass die elektrischen Nerven dieses Fisches sich, wie Sachs fand, für kurzdauernde elektrische Ströme in besonders hohem Grade unempfindlich erweisen, wurde bereits erwähnt. Sie bilden in dieser Beziehung ein Gegenstück zu durch Curare entnervten Muskeln. Dagegen sprechen sie leicht an auf viel schwächere aber in rascher Folge sich wiederholende Einzelreize. Ein analoges Verhalten bieten die sensiblen Nervenstämmen des Frosches dar mit Rücksicht auf die durch elektrische Reizung derselben auszulösenden Reflexbewegungen. „Die elektrischen Platten des Zitteraalorgans verhalten sich also gegen die beiden (genannten) Formen der Reizung der elektrischen Nerven, wie die Ganglienzellen des Rückenmarks gegen die nämlichen Formen der Reizung sensibler Nerven.“

Du Bois-Reymond knüpft an die Ergebnisse der bisher mitgeteilten experimentellen Untersuchungen einige theoretische Betrachtungen über die verschiedenen Möglichkeiten, den Mechanismus des Zitterfischschlags zu ergründen.

In den ersten Zeiten der Beschäftigung mit den elektrischen Fi-

schen neigte man sich vielfach der Ansicht zu, dass das Gehirn dieser Tiere die Quelle der Elektrizität sei, während andere Forscher dieselbe aus der Berührung qualitativ verschiedener Gewebe und Flüssigkeiten des Tierkörpers herleiteten, wobei aber besonders der Mangel beständiger Wirksamkeit der Organe der Erklärung Schwierigkeiten bot. Du Bois-Reymond hat zuerst die im elektrischen Organ enthaltenen Platten (damals noch „Gallertscheibchen“ genannt) als diejenigen Teile bezeichnet, welche „im Augenblick der Entladung unter dem Einfluss des irgendwie in Tätigkeit versetzten Nervenagens in bestimmter Richtung elektromotorisch wirken“, gerade wie ein Muskel, wenn er von einem Nerven aus in Erregung versetzt wird. Dieser Vergleich wird noch zutreffender durch den früher erwähnten Umstand, dass die elektrische Platte eben nichts weiter ist, als metamorphosirter Muskel, mit welcher Anschauung außerdem die weitgehende schon mehrfach hervorgehobene Aehnlichkeit im physiologischen Verhalten beider Apparate aufs beste übereinstimmt. Selbst unter der ungünstigen Voraussetzung, dass die elektromotorische Kraft in einer erregten Platte nicht die eines Froschmuskels übersteigen würde, erhält man für den Zitterrochen eine Kraft von 30, beim Zitteraal eine von 450 Dan.

Den von Boll seinerzeit gemachten Versuch „den Schlag des elektrischen Organs allein durch die die Innervation begleitende negative Schwankung des Nervenstroms zu erklären“, unterzieht du Bois einer eingehenden Kritik und macht gegen diese Theorie unter anderm auch den Umstand geltend, dass hierbei die so komplizirt gebauten elektrischen Platten ganz überflüssig erscheinen und deren Dasein unverständlich sein würde.

Es wurde schon darauf hingewiesen, dass die Zahl der Säulen bei verschieden großen Individuen dieselbe bleibt. Mit Rücksicht darauf nun, dass die Stärke des Schlags mit der Größe des Tiers wächst, ergibt sich der Satz, dass die Kraft einer elektrischen Platte um so größer wird, je dicker diese ist. Es würde hieraus weiter zu folgern sein, „dass in den Platten die elektromotorische Kraft nach dem Princip der Säule vervielfältigt wird.“ Daraufhin wendet du Bois-Reymond seine bekannte Molekulartheorie auch auf das elektrische Organ der Zitterfische an; er hält die Platten für zusammengesetzt aus dipolar-elektromotorischen Molekeln, „welche während der Ruhe ihre Pole nach solchen Richtungen kehren, dass ihre äußern Wirkungen sich aufheben, welche aber beim Schlagen sämmtlich ihre positiven Pole schnell der Fläche des Organs zukehren, von wo der positive Strom ausgeht.“

In neuerer Zeit hat es auch Ranvier<sup>1)</sup> versucht auf Grund histologischer Untersuchungen am elektrischen Organ des Zitterrochen

1) Leçons sur l'Histologie du Système nerveux 1873.

eine Theorie des Schlags aufzustellen, derzufolge die Ganglienzellen (des Lobus electricus) als die Quellen der Elektrizität zu betrachten wären, indem „unter dem Einfluss eines vitalen, chemischen Processes ein Ausströmen positiver und negativer Elektrizität stattfindet“; die erstere soll durch die verästelten Fortsätze der Ganglienzelle entweichen, während die letztere durch den Axencylinderfortsatz zu den Verzweigungen des elektrischen Nerven und den nach Ranvier's Ansicht mit diesen zusammenhängenden „cils électriques“ (den Stäbchen des Stratum bacillare nach Sachs) sich begibt. Unter der Voraussetzung, dass die Mittelschicht jeder elektrischen Platte weniger gut leite, als die durch sie getrennte Nerven- und Dorsalschicht, sollte nun durch Verteilung eine Ladung der letztern mit positiver Elektrizität stattfinden, und da die Dorsallamellen aller einzelnen Platten nach Ranvier's Untersuchungen mit einander in direktem, die ventralen Nervenschichten aber durch Vermittlung der zutretenden Nervenverzweigungen wenigstens in indirektem Zusammenhang stehen, so erscheint ihm das ganze elektrische Organ des Zitterrochen gewissermaßen als ein großer Kondensator, als das Analogon einer Batterie von Leydener Flaschen, wobei „die Gesamtheit der Dorsallamellen der positiven, die Gesamtheit der Ventrallamellen (Nervenschichten) und der Nerven der negativen Belegung, und die Zwischenschicht jeder Platte dem Glas jeder Leydener Flasche entspricht.“ Es liegen dieser Theorie eine Reihe von Hypothesen zu Grunde, die, wie man leicht sieht, wolbegründeten Tatsachen der Physiologie widersprechen. Man wird daher nicht umhin können, der strengen Kritik, welche Ranvier's Lehre von du Bois-Reymond erfährt, beizustimmen.

Biedermann (Prag).

### Bericht über einige in jüngster Zeit in Frankreich und Italien erschienene physiol.-chem. Untersuchungen.

G. Bizzozero e Salvioli, *Sulle variazioni quantitative dell' emoglobina in seguito a sottrazioni sanguigne.* (Archivio per le science med. Vol. IV. S. 273).

Die Experimente sind an Hunden, Meerschweinchen und Kaninchen angestellt; der Hämoglobingehalt wurde mit dem Chromocytometer von Prof. Bizzozero bestimmt. Die Resultate der Verff. waren folgende:

1) Nach der Blutentziehung nimmt der procentische Gehalt des in dem circulirenden Blut vorhandenen Hämoglobins schnell ab; das Maximum der Abnahme zeigt sich bei einigen Tieren sechs Stunden nach der Blutentziehung, bei andern dauert die Abnahme ein oder zwei Tage hindurch an. In letzterm Falle wird die Abnahme später langsamer, während sie in der unmittelbar auf die Blutentziehung folgende Periode sehr schnell vor sich geht.

2) Die procentische Menge des Hämoglobins nimmt auch bei geringen, noch nicht 2% des Körpergewichts des Tiers entsprechenden, Blutentziehungen ab.

3) Die Abnahme der Menge des Hämoglobins ist nahezu proportional der Menge des dem Tiere entzogenen Bluts. Sie beträgt auf ein Procent Tiergewicht berechnet im Mittel 11,14% der ursprünglichen Menge.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Biologisches Zentralblatt](#)

Jahr/Year: 1881-1882

Band/Volume: [1](#)

Autor(en)/Author(s): Biedermann Wilhelm

Artikel/Article: [Carl Sachs, Untersuchungen am Zitteraal \(Gymnotus electricus\) 689-702](#)