

**OSTWALDS KLASSIKER
DER EXAKTEN WISSENSCHAFTEN
Band 293**

**Experimental-Untersuchungen
über
Elektricität**

Zweiter Band

**von
Michael Faraday**

Verlag Harri Deutsch

**OSTWALDS KLASSIKER
DER EXAKTEN WISSENSCHAFTEN
Band 293**

**OSTWALDS KLASSIKER
DER EXAKTEN WISSENSCHAFTEN
Band 293**

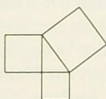
**Experimental-Untersuchungen
über
Elektricität**

*In drei Bänden
Zweiter Band*

von
Michael Faraday

Einleitung von
Friedrich Steinle

Deutsche Übersetzung
S. Kalischer



Verlag Harri Deutsch

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.ddb.de>> abrufbar.

ISBN 3-8171-3293-X

Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und das Speichern und die Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Der Inhalt des Werkes wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

Die Druckvorlage wurde freundlicherweise von der Bibliothek des Instituts für Geschichte der Naturwissenschaften der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main zur Verfügung gestellt.

© Wissenschaftlicher Verlag Harri Deutsch GmbH,
Frankfurt am Main, 2004

1. Auflage 2004

Druck: Rosch-Buch Druckerei GmbH, Scheßlitz
Printed in Germany

Vorbemerkung des Uebersetzers.

Der vorliegende Band entspricht dem im Jahre 1844 erschienenen zweiten Bande der *Experimental Researches*, doch sind noch folgende dem Inhalt und der Zeit nach in den Rahmen dieses Bandes gehörige Stücke aufgenommen worden.

- 1) Ein Brief Faraday's an den Herausgeber des *London and Edinburgh Philosophical Magazine* über die Passivität des Eisens, der im Original vermuthlich nur aus Versehen fortgeblieben ist (S. 222 f. Anmerk.).
- 2) Faraday's erste Arbeit über Elektrizität und Magnetismus, die freilich nur geschichtlichen Inhalts ist, *Historical Sketch of Electro-magnetism* (S. 265—297) aus den *Annals of Philosophy*, N. S. II, 195—200, 274—290, und III, 107—117. Faraday hat diesen Aufsatz eben seines rein geschichtlichen Inhalts wegen absichtlich nicht wieder zum Abdruck gebracht, allein derselbe behält für uns immerhin auch deshalb seinen Werth, weil Faraday nach seinem eigenen Bekenntniss durch die ihm bei der Abfassung desselben aufsteigenden Gedanken zur Entdeckung der elektromagnetischen Rotationen geführt wurde. Auch nimmt Faraday mehrfach Anlass sich auf denselben zu berufen.
- 3) Eine kurze Notiz, *Contact in voltaic Electricity* (S. 298) aus *Quarterly Journal of Science*.

Berlin, den 15. Februar 1890.

Dr. S. Kalischer.

Vorwort des Verfassers.

Die bereits in dem vorigen Bande der *Experimental-Untersuchungen über Elektrizität* angegebenen Gründe haben mich veranlasst, auch die weiteren Reihen gesammelt herauszugeben und ihnen einige andere elektrische Untersuchungen betreffende Abhandlungen hinzuzufügen.

Diese Gründe sind in meinem Vorwort enthalten, und darauf möchte ich diejenigen verweisen, welche auch diesen Untersuchungen ihre Aufmerksamkeit schenken wollen. Ich habe dieselben wie die früheren mit geringer oder ohne Aenderung zum Abdruck gebracht, habe jedoch das ihnen zukommende richtige Datum an die Spitze der Seiten gesetzt.

Ich bedaure, dass ich nicht umhin konnte, auch Abhandlungen polemischen Charakters einzufügen; manche derselben enthalten viel neues, wichtiges und erläuterndes Material. Die Wiedergabe fremder Abhandlungen, wie die von Nobili und Antinori und die von Hare, war zum Verständniss der in meinen Erwiderungen gegebenen Auseinandersetzungen nothwendig.

Vielen Dank schulde ich der Royal Society, den Herren Murray und Taylor für die Gefälligkeit, mit der sie mir die Platten zu den Tafeln etc. geliehen haben, und für andere Erleichterungen, die mir beim Druck dieses Bandes gewährt worden sind.

Da das Register sowohl zu den Experimental-Untersuchungen als auch zu den vermischten Abhandlungen gehört, so mussten die Hinweisungen auf doppelte Art geschehen. Die auf die Untersuchungen bezüglichen bezeichnen die Nummern der Artikel und sind durch die Grössenordnung der Zahlen leicht zu erkennen; die anderen beziehen sich auf die Seitenzahl und sind durch ein voranstehendes p. kenntlich.

Michael Faraday.

Inhalt.

	Art.
XV. Reihe. § 23. Ueber den Charakter und die Richtung der elektrischen Kraft des Zitterraales	1749
XVI. Reihe. § 24. Ueber die Kraftquelle der Volta'schen Säule	1796
— 1. Erregende Elektrolyte als gute Leiter	1812
— 2. Unthätige leitende Ketten mit einem Elektrolyt	1823
— 3. Schwefelkalium enthaltende thätige Ketten	1877
XVII. Reihe. — 4. Einfluss der Temperatur auf die erregende chemische Kraft	1913
— 5. Einfluss der Verdünnung auf die erregende chemische Kraft	1969
— 6. Verschiedenheit der Reihen der metallischen Elemente in Volta'schen Ketten	2010
— 7. Wirksame Volta'sche Ketten und Batterien ohne metallischen Contact	2017
— 8. Betrachtungen über die Zulänglichkeit der chemischen Action	2029
— 9. Beweisführung auf Grund der Thermoelektricität	2054
— 10. Unwahrscheinlichkeit der Existenz der vermeintlichen Contactkraft	2065
XVIII. Reihe. § 25. Ueber Elektrizitätserregung bei der Reibung von Wasser und Dampf gegen andere Körper	2075
	Seite
Ueber einige neue elektromagnetische Bewegungen und über die Theorie des Magnetismus	115
Elektromagnetischer Rotationsapparat	133, 135
Ueber neue elektromagnetische Bewegungen	137
Entwurf einer Geschichte des Elektromagnetismus (Notiz).	143
Einfluss der Kälte auf Magnetenadeln	143
Geschichtliches über elektromagnetische Rotationen.	144
Elektromagnetischer Strom (unter dem Einfluss eines Magnets)	147
Elektrisirung des oxalsauren Kalks	147
Elektromotorische Kraft des Magnetismus (Nobili und Antinori).	148
Magnetoelektrischer Funke (Anmerkung).	153
Brief an Gay-Lussac (über Nobili's und Antinori's Irrthümer in Betreff der magnetoelektrischen Induction	162
Wirkung des Magnetismus auf elektrodynamische Spiralen (von dal Negro) mit Anmerkungen von M. F.	180

	Seite
Magnetoelektrischer Funke (in Folge der Induction)	183, 189
Erwiderung gegen John Davy	190, 206
Magnetische Beziehungen und Eigenschaften der Metalle	195, 200
Magnetische Wirkung des Mangans bei niedrigen Temperaturen (Berthier)	199
Ueber ein vermeintlich neues Sulphid und Oxyd des Antimons	202
Ueber einen eigenthümlichen Volta'schen Zustand des Eisens (Schoenbein)	210
Ueber einen eigenthümlichen Volta'schen Zustand des Eisens (Faraday). .	215
	222 (Anmerk.), 223
Hare über gewisse theoretische Meinungen.	226, 246
Erwiderung hierauf	235, 246
Ueber einige vermeintliche Blitzformen	249
Ueber Induction der statischen Elektricität	251
Eine speculative Betrachtung über elektrische Leitung und über die Natur der Materie.	255
Entwurf einer Geschichte des Elektromagnetismus	265
Contact für Volta'sche Elektricität	298

FÜNFZEHNTE REIHE.

§ 23. Ueber den Charakter und die Richtung der elektrischen Kraft des Zitteraales.

Eingegangen am 15. November, — Gelesen am 6. December 1838.

1749. So wundervoll auch die in der unorganischen oder leblosen Materie sich uns offenbarenden Gesetze und Erscheinungen der Elektrizität sind, so kann doch das Interesse an ihnen kaum einen Vergleich aushalten mit dem, welches dieselbe Kraft erregt, wenn sie mit dem Nervensystem und dem Leben verknüpft ist; und wiewohl das Dunkel, das den Gegenstand noch umgiebt, geeignet ist, vorläufig die Wichtigkeit desselben zu verhüllen, so trägt doch jeder Fortschritt in unserer Kenntniss dieser mächtigen Kraft in Bezug auf träge Masse dazu bei, dieses Dunkel zu zerstreuen und das unübertroffene Interesse dieses erhabenen Zweiges der Physik immer mehr in den Vordergrund zu stellen. In der That stehen wir erst an der Schwelle des Wissens, das, wie man ohne Anmassung glauben darf, dem Menschen über diesen Gegenstand erreichbar ist; dies haben auch die vielen hervorragenden Physiker, welche diese Kenntniss gefördert haben, wie aus ihren Schriften ersichtlich ist, bis zum letzten Augenblick empfunden.

1750. Seitdem wir das Dasein und die Lebensweise von Thieren, welche, ebenso wie die Elektrisirmaschine, die Volta'sche Batterie und der Blitz, im Stande sind, das Nervensystem zu erschüttern, durch Richer, S'Gravesande, Firmin, Walsh, Humboldt u. s. w. kennen gelernt haben, ist es von steigender Bedeutung geworden, die Identität der Kraft, welche diese Lebewesen besitzen, mit derjenigen, welche wir in der trägen Masse hervorrufen können und Elektrizität nennen (265, 351), nachzuweisen. Für den *Zitterrochen* ist dies vollkommen geschehen, und die aufeinander folgenden Arbeiten von Walsh¹⁾, Cavendish²⁾, Galvani³⁾, Gardini⁴⁾, Hum-

1) Philosophical Transactions, 1773, p. 461.

2) Ibid. 1776, p. 196.

3) Aldini's Essai sur le Galvanisme II, 61. [In dem 1804 erschienenen *Essai théorique et expérimental sur le Galvanisme* finden sich die citirten Angaben auf S. 239, 399. D. Ü.]

4) De Electrici ignis Natura, § 71. Mantua 1792.

boldt und Gay-Lussac¹⁾, Todd²⁾, Sir Humphry Davy³⁾, Dr. Davy⁴⁾, Becquerel⁵⁾ und Mateucci⁶⁾ haben allesammt zu einer Bestimmung der Richtung des Kraftstromes geführt.

1751. Auch der Zitteraal ist zu demselben Zweck untersucht worden, und die Forschungen von Williamson⁷⁾, Garden⁸⁾, Humboldt⁹⁾, Fahlberg¹⁰⁾ und Guisan¹¹⁾ sind hinsichtlich des Nachweises der Identität der elektrischen Kraft dieses Thieres mit der durch gewöhnliche Mittel erregten sehr weit gediehen, ja die beiden letzten Forscher haben sogar den Funken erhalten.

1752. Der Zitteraal scheint für die weitere Erforschung dieses schönen Wissenschaftszweiges in gewisser Hinsicht besser geeignet zu sein als der Zitterrochen, besonders da er (wie Humboldt bemerkt) Gefangenschaft erträgt und sich lange Zeit lebend und gesund erhalten lässt. Einen Gymnotus hat man schon mehrere Monate in Thätigkeit erhalten, während es bei Torpedo Dr. Davy nicht länger als zwölf bis fünfzehn Tage möglich war, und Mateucci von 116 dieser Fische nicht einen einzigen länger als drei Tage lebend erhalten konnte, obwohl alle für ihre Erhaltung günstigen Bedingungen getroffen waren.¹²⁾ Es war daher von Wichtigkeit, Gymnoten zu erlangen. Angeregt und geehrt durch sehr gütige Mittheilungen Humboldt's, wandte ich mich im Jahre 1835 an das Colonial-Amt, das mir jede Unterstützung in Herbeischaffung einiger dieser Fische versprach, und ich erwarte unausgesetzt Nachrichten über sie oder die Thiere selbst zu erhalten.

1753. Seitdem hat auch Sir Everard Home einen Freund ersucht, einige Zitteraale hierher an Seine Königliche Hoheit unseren verstorbenen Präsidenten zu senden, und andere Herren haben sich zu gleichem Zweck bemüht. Dieser Eifer veranlasst mich, eine Stelle aus einem Briefe von Humboldt, den ich als Antwort auf meine Anfrage erhielt, wie man die Thiere am besten über den Ocean herschaffe, hier mitzutheilen. Er sagt: „Der Gymnotus, welcher in den Llanos de Caracas (nahe bei Calabozo), in all den kleinen Zuflüssen des Orinoco, im englischen, französischen und holländischen Guyana vorkommt, ist nicht schwer zu transportiren. Wir verloren die Thiere in Paris so bald, weil sie unmittelbar nach ihrer An-

1) Annales de Chimie, XIV, 15.

2) Philosophical Transactions, 1816, p. 120.

3) Ibid. 1829, p. 15.

4) Ibid. 1832, p. 259, und 1834, p. 531.

5) Traité de l'Electricité, IV, 264.

6) Bibliothèque Universelle, 1837, tom. XII, 163.

7) Philosophical Transactions, 1775, p. 94.

8) Ibid. 1775, p. 102.

9) Personal Narrative, chap. XVII.

10) Swedish Transactions, 1801, pp. 122, 156.

11) De Gymnoto Electrico. Tübingen, 1819.

12) Bibliothèque Universelle, 1837, XII. p. 174.

kunft (durch Versuche) zu sehr angestrengt wurden. Norderling und Fahlberg erhielten sie in Paris mehr als vier Monate lang lebend. Ich würde rathen, sie aus Surinam (Essequibo, Demerara, Cayenne) im Sommer kommen zu lassen, denn der Gymnotus lebt in seiner Heimath in Wasser von 25⁰ C. (oder 77⁰ F.). Manche werden fünf Fuss lang, aber ich würde rathen, die von etwa siebenundzwanzig bis achtundzwanzig Zoll Länge auszuwählen. Ihre Kraft ändert sich mit ihrer Nahrung und ihrer Ruhe. Da sie nur einen kleinen Magen haben, so essen sie wenig und oft; ihre Nahrung besteht aus gekochtem Fleisch, kleinen *ungesalzenen* Fischen und selbst Brod. Ehe man sie einschiffet, muss man ihre Stärke und die geeignete Art ihrer Ernährung prüfen und nur solche Fische auswählen, die sich schon an die Gefangenschaft angepasst haben. Ich bewahrte sie in einem Kasten oder einer Zelle von etwa vier Fuss Länge und sechzehn Zoll Breite und Höhe auf. Das Wasser muss *süßes* sein und alle drei bis vier Tage erneuert werden; auch dürfen die Fische nicht gehindert sein, an die Oberfläche zu kommen, denn sie schöpfen gern Luft. Ueber und rings um die Zelle muss ein Netz gelegt werden, da der Gymnotus oft aus dem Wasser herausspringt. Dies ist Alles, was ich Ihnen als Anweisungen zu geben vermag. Es ist jedoch *wichtig*, dass das Thier nicht gequält oder angestrengt werde, da es sich durch häufige elektrische Entladungen erschöpft. In einem Troge können mehrere Zitteraale aufbewahrt werden.“

1754. Neuerdings ist ein Zitteraal von Porter hierher gebracht und von den Eigenthümern der Gallerie in Adelaide-Street erworben worden. Dieselben hatten sogleich die grosse Zuvorkommenheit, mir den Fisch zu wissenschaftlichen Untersuchungen anzubieten, stellten ihn für die Dauer derselben zu meiner ausschliesslichen Verfügung, damit seine Kräfte (gemäss den Anweisungen Humboldt's (1753)) sich nicht abstumpften, und wünschten nur, dass ich sein Leben und seine Gesundheit schone. Ich zögerte nicht, aus ihrem Wunsche, die Interessen der Wissenschaft zu fördern, Nutzen zu ziehen und nahm ihr Anerbieten mit vielem Dank an. Gütigst unterstützt durch Bradley, Vorsteher der Gallerie, Gassiot und zuweilen auch von anderen Herren, wie Daniell, Owen und Wheatstone, ist es mir gelungen, an diesem Zitteraal alle Beweise für die Identität seiner Kraft mit der gewöhnlichen Elektrizität (265, 351 etc.) zu erbringen. Dieselben sind für den Zitterrochen (1750) sämmtlich und einige, wie Schläge, Ströme und Funken (1751) auch für den Gymnotus bereits früher erlangt worden; dennoch glaube ich, dass der Royal Society ein kurzer Bericht über die Resultate genehm sein wird, und ich gebe sie, als nothwendige Vorversuche zu den Untersuchungen, die ich nach Ankunft der erwarteten Thiere (1752) anzustellen hoffe.

1755. Der Fisch ist vierzig Zoll lang. Er wurde im März 1838 gefangen und am 15. August in die Gallerie gebracht, nahm aber von

der Zeit seiner Gefangennahme bis zum 19. October keine Nahrung zu sich. Vom 24. August that Bradley allabendlich etwas Blut in das Wasser, welches jeden Morgen durch frisches ersetzt wurde, und so mag das Thier einige Nahrung bekommen haben. Am 19. October erschlug das Thier vier kleine Fische und frass sie; seitdem wurde ihm kein Blut mehr dargeboten, es nahm nun fortdauernd zu und verzehrte durchschnittlich täglich einen Fisch.¹⁾

1756. Ich stellte die ersten Versuche mit ihm am 3. September an, während er anscheinend matt war, aber er gab starke Schläge, wenn man die Hände in geeigneter Weise auf ihn legte (1760, 1773 etc.). Die Versuche wurden an vier verschiedenen Tagen gemacht, zwischen denen man ihm eine Ruhezeit von einem Monate bis zu einer Woche gönnte. Seine Gesundheit schien sich fortwährend zu bessern, und gerade während dieser Periode, zwischen dem dritten und vierten Versuchstage, fing er an, Nahrung zu sich zu nehmen.

1757. Ausser den Händen wurden Collectoren zweierlei Art angewandt. Die eine Art bestand aus zwei fünfzehn Zoll langen Kupferstäben, mit einer an dem einen Ende verlötheten Kupferscheibe von $1\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser und mit einem Kupfereylinder, der als Handhabe dienen und den Händen einen ausgedehnten Contact bieten sollte, an dem anderen Ende. Von der Scheibe aufwärts waren die Stäbe mit einer dicken Kautschukröhre sorgfältig überzogen, um diesen Theil von dem Wasser zu isoliren. Hierdurch konnte der Zustand einzelner Theile des Fisches, während er im Wasser war, untersucht werden.

1758. Die andere Art der Collectoren bezweckte die Schwierigkeit zu heben, die durch die völlige Eintauchung des Fisches in Wasser dargeboten wird; denn gerade wenn ich den Funken selbst erhalten wollte, hielt ich es nicht für gerechtfertigt, das Thier an die Luft zu bringen. Eine acht Zoll lange, zwei und einen halben Zoll breite Kupferplatte wurde sattelförmig gebogen, um sie so über den Fisch zu legen, dass sie eine gewisse Strecke des Rückens und der Seiten einschloss, und daran war ein dicker Kupferdraht gelöthet, um die elektrische Kraft zu dem Experimentir-Apparat zu leiten. Ueber den Sattel wurde eine Kautschukhülle gezogen, so dass die Ränder unten an den Enden hervorragten; letztere convergirten, um sich in gewissem Grade dem Körper des Fisches anzuschmiegen, und die unteren Ränder liess man gegen eine horizontale Fläche federn, auf welche die Sättel gestellt wurden. Der in das Wasser tauchende Theil des Drahtes war mit Kautschuk überzogen.

1759. Waren diese Leiter über den Fisch gelegt, so sammelten sie genügend Kraft, um viele elektrische Wirkungen hervorzubringen. Wenn man jedoch, z. B. um Funken zu erhalten, jeden möglichen Vortheil benutzen musste, dann wurden Glasplatten auf den Boden gelegt und, wenn

¹⁾ Die zur Nahrung dienenden Fische waren Gründlinge, Karpfen und Barse.

der Fisch über ihnen war, die Collectoren über ihn gelegt, bis die unteren Kautschukränder auf dem Glase ruhten, so dass der innerhalb der Kautschukhülle befindliche Theil des Gymnotus fast ebenso gut isolirt war, als wenn er an Luft gewesen wäre.

1760. Schlag. — Der Schlag dieses Thieres war sehr kräftig, wenn die Hände in geeigneter Weise auf den Körper gelegt wurden, d. h. eine nahe beim Kopfe, und die andere nahe beim Schwanze; je näher die Hände innerhalb gewisser Grenzen an einander lagen, desto weniger stark waren die Schläge. Die Scheiben-Collectoren (1757) leiteten die Schläge sehr gut zu den Händen, wenn diese angefeuchtet waren und mit cylindrischen Handhaben in inniger Berührung waren, dagegen fast gar nicht, wenn die Handhaben auf gewöhnliche Weise mit trockenen Händen angefasst wurden.

1761. Galvanometer. — Bei Anlegung der Sattel-Collectoren (1758) an den Vorder- und Hintertheil des Gymnotus liess sich leicht eine Einwirkung auf ein Galvanometer erhalten. Dasselbe war nicht besonders empfindlich, denn ein Plattenpaar, Zink und Platin, auf die obere und untere Fläche der Zunge gelegt, brachte einen dauernden Ausschlag von nur 25^0 hervor; wenn jedoch der Fisch eine kräftige Entladung lieferte, so betrug der Ausschlag 30^0 und in einem Falle sogar 40^0 . Die Ablenkung erfolgte beständig in einer bestimmten Richtung, indem der elektrische Strom immer von den vorderen Theilen des Thieres durch den Galvanometerdraht zu den hinteren Theilen ging. Die ersteren waren demnach aussen positiv, die letzteren negativ.

1762. Magnetisirung. — Wenn eine kleine Spirale aus zweiundzwanzig Fuss langem, um einen Federkiel gewickeltem, mit Seide besponnenem Draht in den Kreis eingeschaltet und eine angelassene Stahladel in die Spirale gesteckt wurde, so wurde die Nadel magnetisch, und ihre Polarität zeigte stets einen Strom von den vorderen Theilen durch die angewandten Leitungen zu den hinteren Theilen des Zitteraales an.

1763. Chemische Zersetzung. — Eine polare Zersetzung einer Lösung von Jodkalium war leicht zu erhalten. Drei oder vier Lagen Papier, die mit der Lösung getränkt waren (322), wurden zwischen eine Platinplatte und einen Platindraht gelegt, die mit den Sattel-Collectoren verbunden waren (1758). So oft der Draht mit dem Leiter des Vordertheiles des Gymnotus verbunden war, trat Jod an seinem Ende auf; wenn er dagegen mit dem anderen Leiter verbunden war, so schied sich an der Stelle des Papiers, wo es vorher erschienen war, kein Jod aus. Somit ergab sich auch hier dieselbe Richtung des Stromes wie bei den früheren Prüfungsmitteln.

1764. Mittelst dieser Methode verglich ich den mittleren Theil des Fisches mit anderen Theilen vor und hinter demselben und fand, dass der auf die Mitte gesetzte Collector A negativ war gegen den Collector B auf den vorderen Theilen, aber positiv gegen B, wenn er auf Stellen näher dem

Schwanze gelegt war. Demnach scheint innerhalb gewisser Grenzen der Zustand des Fisches, wenn er einen Schlag giebt, an seiner Aussenseite derart zu sein, dass jeder Theil gegen die vorderen negativ und gegen die hinteren positiv ist.

1765. *Wärmeentwicklung.* — Mit einem Gassiot gehörigen Thermo-elektrometer von Harris glaubten wir einmal, als die Ablenkung des Galvanometers 40^0 betrug (1761), eine geringe Temperaturerhöhung zu beobachten. Ich selbst habe das Instrument nicht beobachtet, und Einer von denen, welche zuerst die Wirkung gesehen zu haben glaubte, bezweifelt sie jetzt.¹⁾

1766. *Funken.* — Der elektrische Funke wurde folgendermassen erhalten. Eine gute magnetoelektrische Spule mit einem Kern von weichem Eisendraht war mit einem Ende an einem der sattelförmigen Collectoren (1758), mit dem anderen an einer neuen Stahlfeile befestigt, während eine andere Feile an dem Ende des anderen Collectors befestigt war. Eine Person rieb die Spitze einer dieser Feilen an der Fläche der anderen, während ein Anderer die Collectoren auf den Fisch legte und ihn zur Thätigkeit anzureizen suchte. Durch die Reibung der Feilen wurde der Contact sehr oft unterbrochen und wieder hergestellt, was den Zweck hatte, den Moment zu erhaschen, wo der Strom durch den Draht und die Spirale ging, und durch Unterbrechung des Contactes während der Existenz des Stromes die Elektricität als Funken sichtbar zu machen.

1767. Viermal wurde der Funke erhalten und von fast allen Anwesenden gesehen. Dass er nicht von der blossen Reibung der Feilen herrührte, ergab sich daraus, dass er nicht auftrat, wenn die Feilen isolirt von dem Thiere an einander gerieben wurden. Später ersetzte ich die untere Feile durch eine rotirende Stahlplatte, die an einer Seite feilenförmig geschnitten war, und die obere Feile durch Drähte von Eisen, Kupfer und Silber und erhielt mit ihnen allen Funken.²⁾

1768. Dies waren die allgemeinen elektrischen Erscheinungen, die von diesem Gymnotus, während er in seinem natürlichen Elemente lebte und sich thätig zeigte, erhalten wurden. Manchmal traten mehrere derselben zugleich auf; so erfolgte durch eine einzige Entladung der elektrischen Kraft des Thieres Magnetisirung, Ablenkung des Galvanometers und vielleicht auch Erwärmung eines Drahtes.

1769. In dieser kurzen Darstellung seiner Eigenschaften werden, glaube ich, einige weitere Einzelheiten der Versuche über die Menge und

¹⁾ In späteren Versuchen derselben Art konnten wir die Wirkung nicht erhalten.

²⁾ Bei einer späteren Zusammenkunft, bei welcher wir versuchten, die Anziehung von Goldblättchen hervorzubringen, wurde der Funke direct zwischen festen Flächen erhalten; dabei wurden an Stelle der Inductionsspirale (1766) nur (verhältnissmässig) kurze Drähte angewandt.

Vertheilung der Elektricität in und an diesem wunderbaren Thiere wohl am Platze sein.

1770. Ein starker Schlag gleicht dem einer schwach geladenen grossen Leydener Batterie oder dem einer guten Volta'schen Batterie von vielleicht hundert oder mehr Plattenpaaren, die nur einen Moment geschlossen ist. Ich bemühte mich, eine Vorstellung von der Elektricitätsmenge zu bekommen, indem ich eine grosse Leydener Batterie (291) mit zwei Messingkugeln von über drei Zoll im Durchmesser verband, die in einem Zuber mit Wasser sechs Zoll von einander abstanden und die Theile des Gymnotus, auf welche die Collectoren gelegt waren, repräsentiren sollten. Um jedoch die Intensität der Entladung zu mässigen, wurde eine sechsfach zusammengelegte dicke nasse Schnur an irgend einer Stelle in den Kreis eingeschaltet, was sich als nothwendig erwies, um das leichte Auftreten des Funkens an den Enden der Collectoren (1758) zu verhüten, wenn sie, wie es früher bei dem Fisch geschah, in dem Wasser in der Nähe der Kugeln angebracht wurden. Wenn bei dieser Anordnung die stark geladene Batterie entladen wurde, während die Hände in der Nähe der Kugeln in's Wasser gesteckt waren, wurde ein Schlag gefühlt, der dem vom Fisch herrührenden sehr ähnlich war. Die Versuche erheben zwar keinen Anspruch auf Genauigkeit, aber da die Spannung in gewissem Grade durch die mehr oder weniger leichte Funkenerzeugung nachgeahmt werden konnte und aus dem Schlag geschlossen werden sollte, ob die Menge ungefähr dieselbe war, so dürfen wir, glaube ich, folgern, dass eine einzige mittlere Entladung des Fisches wenigstens gleichkommt der Elektricität einer zum Maximum geladenen Leydener Batterie von fünfzehn Flaschen mit einer beiderseitigen Belegung von 3500 Quadratzoll (291). Dieser Schluss über die grosse, einem einzigen Schlage des Gymnotus entsprechende Elektricitätsmenge steht in vollkommenem Einklang mit der Grösse der Ablenkung, welche er einer Galvanometernadel ertheilt (367, 860, 1761), sowie auch mit dem Betrage der chemischen Zersetzung bei der Elektrolyse (374, 860, 1763).

1771. So gross auch die Kraft einer einzigen Entladung ist, so giebt der Gymnotus doch, wie Humboldt erwähnt, und ich selbst häufig beobachtet habe, einen zweiten und sogar einen dritten Schlag, und diese Fähigkeit, die Wirkung unmittelbar, in kaum merklichen Intervallen zu wiederholen, ist sehr wichtig für die später anzustellenden Betrachtungen über den Ursprung und die Erregung der Kraft des Thieres. Walsh, Humboldt, Gay-Lussac und Matteucci haben beim Zitterrochen dasselbe, nur in einem noch weit auffallenderen Grade beobachtet.

1772. Da in dem Augenblick, wo der Fisch einen Schlag ertheilen will, die vorderen Theile positiv und die hinteren negativ sind, so darf man schliessen, dass durch jeden Theil des Wassers, welches das Thier bis zu einem beträchtlichen Abstände umgiebt, ein Strom von den ersteren zu den letzteren geht. Der Schlag, den man fühlt, wenn die Hände

sich in der günstigsten Lage befinden, ist also die Wirkung eines nur sehr kleinen Bruchtheils der Elektrizität, welche das Thier in jenem Augenblick entladet, während der bei weitem grösste Theil durch das umgebende Wasser geht. Dieser ungeheure Aussenstrom muss von einer einem Strome *äquivalenten* Wirkung im Innern des Fisches begleitet sein, welcher die Richtung vom Schwanze zum Kopfe hat und gleich der Summe *aller dieser äusseren Kräfte* ist. Ob in dem Process der Entwicklung oder Erregung der Elektrizität im Innern des Fisches zugleich die Erzeugung dieses inneren Stromes, (welcher nicht nothwendig so schnell und momentan als der äussere zu sein braucht), eingeschlossen ist, lässt sich vorläufig nicht sagen, allein das Thier hat, während es den Schlag erteilt, anscheinend nicht die elektrische Empfindung, welche es in seiner Umgebung hervorruft.

1773. Mit Hilfe des folgenden Diagramms will ich einige experimentelle Resultate zur Erläuterung des Stromes in der Umgebung des Fisches darstellen und zeigen, aus welchem Grunde die Art des Schlages durch die verschiedenen Verbindungsweisen des Beobachters mit dem Thiere oder durch die verschiedene Lage desselben gegen dieses sich ändert. Der grosse Kreis stellt den Zuber dar, in welchem das Thier sich befindet; sein Durchmesser beträgt sechsundvierzig Zoll, die Wassertiefe drei und einen halben Zoll; er ruht auf drei Holzfüssen. Die Zahlen bezeichnen die Stellen, wo die Hände oder die Scheiben-Collectoren (1757) aufliegen, und wenn sie dicht an der Figur des Thieres stehen, so bedeutet dies, dass der Contact mit dem Fisch hergestellt ward. Die verschiedenen Personen will ich mit A, B, C etc. bezeichnen, A soll die Person sein, die den Fisch zur Thätigkeit reizte.

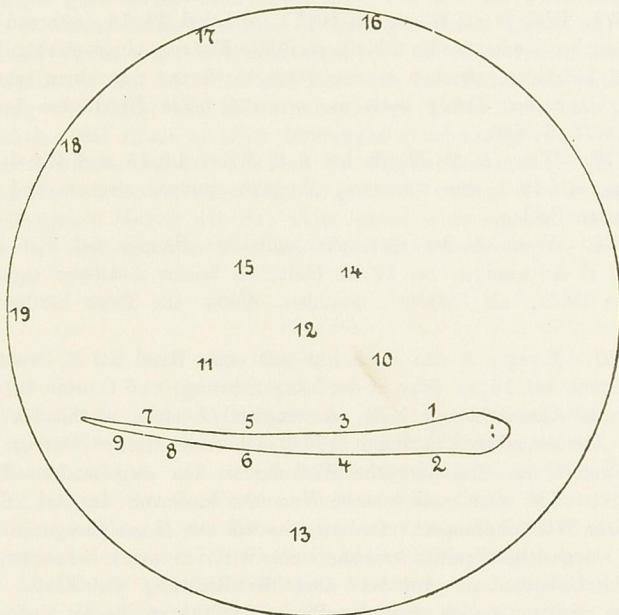
1774. Wenn nur eine Hand sich im Wasser befand, so wurde der Schlag, auf welchem Theil des Fisches sie auch auflag, nur in dieser und, ohne besonders stark zu sein, nur in dem in das Wasser eingetauchten Theil derselben gefühlt. Befand sich die Hand und ein Theil des Armes im Wasser, so machte sich der Schlag an allen eingetauchten Stellen fühlbar.

1775. Lagen *beide* Hände im Wasser *demselben* Theile des Fisches auf, so war der Schlag immer noch verhältnissmässig schwach und bloss in den eingetauchten Theilen fühlbar. Lagen die Hände an gegenüberliegenden Stellen, wie bei 1,2 oder 3,4 oder 5,6, oder die eine oben, die andere geradeüber unten, so war die Wirkung dieselbe. Bei Auflegung der Scheibencollectoren auf diese Stellen, fühlte die dieselben haltende Person nichts (was mit Gay-Lussac's Beobachtungen über Zitterrochen¹⁾ übereinstimmt), während andere Personen, welche beide Hände in einiger Entfernung vom Fisch hielten, beträchtliche Schläge verspürten.

¹⁾ Annales de Chimie, XIV, p. 18.

1776. Wurden beide Hände oder die Scheibencollectoren auf verschiedene, in der Längsrichtung des Thieres von einander entfernte Stellen

Fig. 1.



aufgelegt, wie bei 1,3 oder 4,6 oder 3,6, so erfolgten starke Schläge, die sich in die Arme, ja selbst in die Brust des Experimentators ausbreiteten, während eine andere Person, die nur eine Hand an einer dieser Stellen hielt, verhältnissmässig wenig spürte. Aus ganz nahe dem Schwanze liegenden Stellen wie bei 8, 9 liessen sich Schläge erhalten. Am stärksten waren sie meiner Meinung nach etwa bei 1 und 8. Die Wirkung nahm ab, wenn die Hände einander genähert wurden, und machte sich, wenn sie in denselben Querschnitt gelangt waren, wie erwähnt, nur in den eingetauchten Theilen fühlbar (1775).

1777. Hielt B seine Hände bei 10 und 11, mindestens vier Zoll von dem Fische entfernt, während A diesen mit einem Glasstab berührte, um ihn zur Thätigkeit anzureizen, so erhielt B alsbald einen kräftigen Schlag. Bei einem anderen Versuche, welcher gleichfalls zeigen sollte, dass die Berührung des Fisches nicht nöthig war, erhielten mehrere Personen unabhängig von einander Schläge; so erhielten A bei 4,6, B bei 10,11, C bei 16,17 und D bei 18,19 sämmtlich gleichzeitig Schläge, und zwar A und

B sehr kräftige, C und D schwache. Bei Versuchen mit dem Galvanometer oder anderen instrumentellen Vorrichtungen ist es sehr nützlich, dass Jemand die Hände in einem mässigen Abstände vom Thiere in's Wasser halte, um den Zeitpunkt einer Entladung zu kennen und zu bekunden.

1778. Hielt B die Hände bei 10,11 oder bei 14,15, während A nur eine Hand bei 1 oder 3 oder 6 hielt, so fühlte Ersterer einen starken Schlag, während Letzterer, obschon er den Fisch berührte, nur einen schwachen bekam. Denselben Erfolg hatte es, wenn A beide Hände bei 1,2 oder 3,4 oder 5,6 hielt.

1779. Wenn A die Hände bei 3,5, B bei 14,15 und C bei 16,17 hielt, so erhielt A den stärksten, B einen weniger starken und C den schwächsten Schlag.

1780. Wenn A den Gymnotus mit den Händen bei 8,9 erregte, während B die seinigen bei 10,11 hielt, so bekam Letzterer einen weit stärkeren Schlag als Ersterer, trotzdem dieser das Thier berührte und erregte.

1781. Erregte A den Fisch nur mit einer Hand bei 3, während B beide Hände bei 10,11 (also in der Längsrichtung) und C beide bei 12,13 (also in der Querrichtung) hielt, so empfand A einen stechenden Schlag nur in der eingetauchten Hand (1774), B einen starken Schlag in den Armen und C nur eine schwache Wirkung in den eingetauchten Theilen.

1782. Die eben beschriebenen Versuche sind von der Art, dass sie noch viele Wiederholungen erfordern, ehe die aus ihnen gezogenen Folgerungen als gesichert gelten können; auch will ich nicht behaupten, dass sie mehr bedeuten als Angaben über die Richtung der Kraft. Es ist durchaus nicht unmöglich, dass der Fisch die Fähigkeit besitzt, jedes seiner vier elektrischen Organe für sich in Thätigkeit zu setzen und so bis zu einem gewissen Grade den Schlag zu dirigiren, d. h. die Fähigkeit, den elektrischen Strom von der einen Seite auszusenden und gleichzeitig die andere Seite seines Körpers in einen solchen Zustand zu versetzen, dass er sich in dieser Richtung als Nichtleiter verhalte. Die Erscheinungen und Resultate verbieten jedoch, wie ich glaube, die Unterstellung, dass er eine Controle über die Richtung der Ströme habe, nachdem sie in die Flüssigkeit und die ihn umgebenden Substanzen eingetreten sind.

1783. Die Angaben beziehen sich übrigens auf den Fall, dass der Fisch gerade ausgestreckt liegt; wenn er eine gekrümmte Gestalt annimmt, so sind die Kraftlinien um ihn in ihrer Intensität verschieden, wie sich theoretisch vorhersagen lässt. Werden die Hände z. B. bei 1 und 7 aufgelegt, so hat man in den Armen einen schwächeren Schlag zu erwarten, wenn das Thier mit dieser Seite nach innen gekrümmt ist, als wenn es gerade ausgestreckt liegt, weil der Abstand zwischen jenen Stellen kleiner geworden und das dazwischen befindliche Wasser daher einen grösseren Theil der Kraft leitet. Dagegen werden die zwischen 1 und 7 *in das Wasser eingetauchten* Theile

oder Thiere, wie Fische, nicht schwächere, sondern stärkere Schläge erhalten.

1784. Aus allen diesen Versuchen sowohl als auch aus einfachen Betrachtungen geht hervor, dass alles Wasser und alle den Fisch umgebende leitende Substanz, durch welche ein Entladungsstrom in irgend einer Weise geschlossen werden kann, in diesem Augenblick mit circulirender elektrischer Kraft erfüllt ist, und dieser Zustand lässt sich im Allgemeinen leicht durch Zeichnung der Linien der Inductionswirkung (1231, 1304, 1338) veranschaulichen. Bei einem in allen Richtungen gleichmässig von Wasser umgebenen *Gymnotus* würden dieselben im Allgemeinen in ihrer Anordnung den magnetischen Curven eines Magnets gleichen, welcher dieselbe gestreckte oder gekrümmte Gestalt wie das Thier hätte, vorausgesetzt, dass dieses alsdann, wie sich erwarten lässt, seine vier elektrischen Organe auf einmal gebrauchte.

1785. Dieser Zitteraal kann Fische, die sich in verschiedenen Lagen gegen seinen Körper befinden, betäuben und tödten, aber einmal, als ich ihn essen sah, schien mir sein Verhalten eigenthümlicher Art. Ein etwa fünf Zoll langer, lebender Fisch wurde kaum eine halbe Minute, nachdem er gefangen worden, in den Zuber geworfen. Augenblicklich krümmte sich der *Gymnotus* zu einem den Fisch einschliessenden Ringe, dessen Durchmesser der letztere bildete; es erfolgte ein Schlag, und augenblicklich war der Fisch in der Mitte des Wassers bewegungslos, wie vom Blitze getroffen, mit der Seite an die Oberfläche schwimmend. Der *Gymnotus* machte eine oder zwei Drehungen, um nach seiner Beute zu sehen, verschlang sie, nachdem er sie gefunden, und suchte dann nach mehr. Ein zweiter kleinerer Fisch, der auf dem Transport verletzt worden war und nur schwache Lebenszeichen zeigte, wurde ihm gegeben, und er verschlang ihn sogleich, anscheinend ohne ihm einen Schlag zu ertheilen. Dass der Zitteraal sich um seine Beute schlang, hatte hier ganz den Anschein, als ob er die Absicht hätte, die Gewalt des Schlages zu verstärken, und offenbar ist seine Action zu diesem Zwecke vorzüglich geeignet (1783), da sie in völligem Einklang steht zu den wohlbekannten Gesetzen der Entladung von Strömen in Massen leitender Substanz; und obwohl der Fisch diesen Kunstgriff am Ende nicht immer anwendet, so ist es doch sehr wahrscheinlich, dass er den Vortheil desselben kennt und in Fällen der Noth seine Zuflucht zu ihm nimmt.

1786. Da das Thier in einem so gut leitenden Medium lebt, wie es das Wasser ist, so muss es zu allererst in Erstaunen setzen, dass dasselbe überhaupt irgend etwas merklich zu elektrisiren vermag, allein bei einiger Ueberlegung ge-

wahrt man bald mehrere Umstände von grosser Schönheit, welche die Weisheit der ganzen Einrichtung in helles Licht setzen. So gerade die Leitungsfähigkeit des Wassers und die, welche durch dasselbe die feuchte Haut des Fisches oder Thieres hat, das einen Schlag bekommen soll; die Grösse der Oberfläche, mit der der Fisch und das die Elektrizität zu ihm leitende Wasser in Berührung sind, — all dies dient zur Erleichterung und Verstärkung des Schlages auf das hierzu verurtheilte Thier und bildet das volle Gegentheil von der Unwirksamkeit des Zustandes der Dinge, welcher vorhanden wäre, wenn der Gymnotus und der Fisch von Luft umgeben wären; und wenn die Kraft einerseits von geringer Intensität ist, so dass eine trockene Haut sie abhält, während eine feuchte sie leitet (1760), so ist sie doch andererseits zugleich von grosser Quantität (1770), so dass, wiewohl das umgebende Wasser viel davon fortleitet, doch genug zur Ausübung der vollen Wirkung seinen Lauf durch den Körper des Fisches nehmen kann, welcher zur Nahrung gefangen, oder des Feindes, welcher besiegt werden soll.

1787. Eine andere bemerkenswerthe Folge der Beziehung des Zitteraales und seiner Beute zu dem umgebenden Medium besteht darin, dass je grösser der zu tödtende oder zu betäubende Fisch ist, desto stärker der ihm ertheilte Schlag ist, selbst wenn der Gymnotus nur die gleiche Kraft äussert; denn durch den Körper des grossen Fisches gehen die Elektrizitätsströme, welche, wenn er kleiner wäre, von dem Wasser neben ihm unschädlich fortgeführt worden wären.

1788. Der Zitteraal scheint zu fühlen, wann er einem Thiere einen Schlag ertheilt hat, und wird sich dessen wahrscheinlich durch den *mechanischen Impuls* bewusst, den er erhält, in Folge der Krämpfe, in die es versetzt wird. Wenn ich ihn mit den Händen berührte, gab er mir einen Schlag nach dem anderen; berührte ich ihn aber mit Glasstäben oder isolirten Leitern, so ertheilte er einen oder zwei Schläge, die von Anderen, welche die Hände in einiger Entfernung hielten, empfunden wurden, und hörte dann auf, seine Kraft zu äussern, wie wenn er gemerkt hätte, dass sie nicht den gewünschten Erfolg hatte. Wenn er ferner behufs Versuche mit dem Galvanometer oder anderen Apparaten mehrmals mit den Leitern berührt wurde und träge oder gleichgültig zu sein schien, nicht Willens Schläge zu ertheilen, so zeigte er doch, wenn er mit den Händen berührt wurde, deren Zuckungen ihn von der Gegenwart eines empfindenden Wesens unterrichteten, alsbald seine Kraft und seine Geneigtheit, den Experimentator zu schrecken.
