

9

# **Die/Gebrüder Weber - Wegbereiter interdisziplinärer Forschung**

Aus Anlaß des 175. Jahrestages der Vereinigung  
der Universität Wittenberg mit Halle

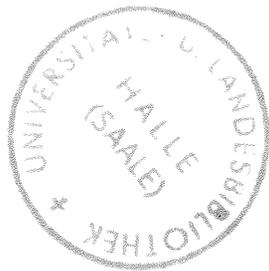
Herausgegeben von

Wolfgang Eisenberg

MARTIN-LUTHER-UNIVERSITÄT HALLE-WITTENBERG

WISSENSCHAFTLICHE BEITRÄGE 1992/5 (T 76)

Halle (Saale) 1992



93 A 7087

Die Gebrüder Weber - Wegbereiter interdisziplinärer Forschung:  
aus Anlaß des 175. Jahrestages der Vereinigung der Universität  
Wittenberg mit Halle / hrsg. von Wolfgang Eisenberg.  
- Halle, Saale, 1992. - (Wissenschaftliche Beiträge / Martin-  
Luther-Universität Halle-Wittenberg; 1992, 5 = T 76)

ISBN 3-86010-342-3

NE: Hrsg.; Universität <Halle, Saale>: GST

Diese Publikation ist im Rahmen eines Projektes zur Universitätsgeschichte  
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg entstanden.  
(ABM-Nr. 1025/091/44 des Arbeitsamtes Halle).

Veröffentlicht durch die Abt. Wissenschaftspublizistik  
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg,  
August-Bebel-Straße 13, Halle/S. O - 4010  
Bundesrepublik Deutschland

(C) Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg 1992

Gesamtherstellung: Kongreß- und Werbedruck

Gebr. Mugler GmbH

O- 9273 Oberlungwitz

ISBN 3-86010-342-3

15,00 DM

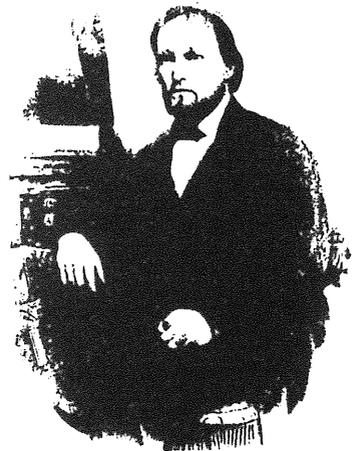
(unverbindl. Preisempfehlung)



Abb. 3: Ernst Heinrich Weber



Wilhelm Eduard Weber



Theodor Weber (1829–1914)

Es war die Freude, die wir in einer gemeinsamen Beschäftigung fanden, und zwar in einer Beschäftigung, zu welcher jeder von uns eigenthümliche Kräfte und Hilfsmittel mitbrachte, und die von dem anderen, weil sie ihm fehlten, um so höher angeschlagen und geschätzt wurden. Der Mensch ist nie fähiger und beharrlicher bei wissenschaftlicher Forschung, als bei solcher wechselseitiger Theilnahme und Anregung, die nicht erst nach vollendeter Arbeit, sondern während ihres ganzen Verlaufs Statt findet.

Gebrüder Weber

## Vorwort

Diese Schrift ist im Rahmen eines Projektes zur Universitätsgeschichte der Martin - Luther - Universität Halle - Wittenberg entstanden. An dieser Universität hat sich ein international wirkendes Aufklärungszentrum etabliert. Die Aufklärung umfaßt nicht nur geisteswissenschaftliche Grundlagen, sondern auch naturwissenschaftliche und medizinische. Die Weber - Forschung läßt sich einordnen in den geistigen Kontext der Aufklärung, insbesondere die "Aufklärungsschriften" "Wellenlehre" und "Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge" der Gebrüder Weber.

Als Bestandteil der Universitätsgeschichte erweist sie sich ebenso förderlich wie als Bildungsschrift der Weber - Gesellschaft e. V., die als Bildungsförderungsverein Nutzungen der Physik und angrenzender Gebiete popularisiert.

Die Publikation konzentriert sich auf das interdisziplinäre Schaffen der Gebrüder Weber in dem Mitteldeutschen Raum um Leipzig und Halle, ein besonders geschichtsträchtiger Raum, der auch aus universitätsgeschichtlicher Sicht zusammenhängt. Das Reformmodell der Hallenser Universität, von abwandernden Studenten in Göttingen eingeführt, diente Wilhelm Weber als Prototyp für die Gründung der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig.

Die Gebrüder Weber gingen als Pioniere der physikalischen Physiologie in die Geschichte der Medizin ein. Theodor Weber, der vierte im Bunde, gilt als erster Schüler der programmatischen Vordenker einer äußerst effektiven und attraktiven interdisziplinären Foeschung.

Das Weber - Quartett scheint die physikalische Medizin oder die medizinische Physik im Mitteldeutschen Raum in dieser Zeit weitgehend geprägt zu haben.

## 2. Vorbemerkungen des Herausgebers

Es ist K.H. Wiederkehr zuzustimmen, wenn er einschätzt: Für die Entwicklung einer exakten naturwissenschaftlich ausgerichteten Anatomie und Physiologie in Deutschland sollte dieser Bund der drei Weber-Brüder, Ernst Heinrich, Wilhelm Eduard und Eduard Friedrich, von besonderer Bedeutung werden siehe (1).

Die drei Brüder, die durch gemeinsame Interessen noch fester aneinander gebunden wurden, gelobten sich schon in früher Jugend, stets treu zusammenzuhalten, "wie auch die Schicksalswege ausfallen sollten". So erfüllten die Söhne das Vermächtnis ihres Vater, des Theologieprofessors Michael Weber aus Wittenberg. Bekanntermaßen förderte der Älteste der Weber-Brüder Ernst Heinrich die Entwicklung seines Bruders Wilhelm Eduard mit der Veröffentlichung der "Wellenlehre" im Jahre 1825; ebenso wurde der jüngste Bruder Eduard Friedrich durch die gemeinsame Publikation "Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge" aus dem Jahre 1836 in der wissenschaftlichen Welt bekannt.

Die Autoren der Wellenlehre geben an, daß die zugrundeliegende interdisziplinäre Zusammenarbeit durch die zufällige Beobachtung Ernst Heinrich's veranlaßt wurde, daß Quecksilber im fließenden Zustand Wellenstrukturen aufweisen kann; Eduard Riecke hingegen hebt hervor, daß man annehmen darf, daß ihre Aufmerksamkeit schon früher auf Probleme der Wellenlehre gerichtet wurde (2)". Er führt die freundschaftlichen Beziehungen zu Chladin, dem Begründer einer auf Versuchen beruhenden Akustik an. Ihm ist auch das Werk der Weber-Brüder gewidmet. Außerdem unterstellt Riecke Ernst Heinrich als Motiv für die gemeinsame Arbeit die physiologische Anwendung der Wellenlehre, die ihn zwei Jahre später durch seine Veröffentlichungen zum Begründer einer physikalischen Theorie des Blutkreislaufes werden ließen. Analysiert man die "Gesamt-Wellenlehre", dann findet man einen zentralen Gedanken, die Wellenerscheinungen beliebiger Materialien in beliebigen Aggregatzuständen, hauptsächlich den der tropfbaren Flüssigkeiten. Damit wäre diese These zu stützen. Die eigenen Arbeiten Wilhelm Webers wenige Jahre später, seine Dissertations- und Habilitationsthematik, die Zungenpfeifen weisen auf den inneren Zusammenhang hin, auf die Kombination von Mensch und Gerät beim Ertönen der Lungenpfeifen. Deshalb stehen Untersuchungen selbst- und fremderregte Wellen und deren Kopplungen im Mittelpunkt der Wellenlehre. Nutzen konnten die erreichten Ergebnisse beide Wissenschaftler, der Physiker und der Mediziner, wie sich zeigte.

Benutzen konnte der Physiker die Ergebnisse für die Ausgestaltung der physikalischen Akustik, für die wissenschaftlichen Instrumentenlehre und den Bau von Musiktheatern, wie in der Wellenlehre ausgewiesen. Er konnte Regeln, wissenschaftlich begründete, angeben zur Erklärung und Auflösung der empirisch gefundenen rätselhaften Chladnischen Klangfiguren. Das Lösen des durch Chladni formulierten Rätsels der Klangfiguren erforderte eine interdisziplinäre Analyse von Anfang an; die erfolgreiche verlaufende Forschung an dem nur gemeinsam zu ergründenden Gegenstand löste bei beiden Forschern auch die von ihnen formulierte Freude aus und der Gegenstand ließ auch inhaltlich keine Separation der geistigen Anteile zu.

1) K.H. Wiederkehr: Wilhelm Eduard Weber. Erforscher der Wellenbewegung und der Elektrizität. In: Große Naturforscher, Bd. 32: W.E.Weber. Stuttgart 1962.

2) E. Riecke: Vorwort zum fünften Bande. In: Wilhelm Weber's Werke. Fünfter Band: Wellenlehre. Besorgt durch Eduard Riecke. Berlin 1893. S. III.

"So verbanden wir uns zu einer gemeinschaftlichen Untersuchung des Gegenstandes, bei der die Ideen und Entdeckungen eines jeden von uns so sehr unter einander verwachsen sind, in dem sie häufig ihre Wurzel und Nahrung in den Ideen und Beobachtungen des andern fanden, dass keiner von uns in dieser Abhandlung sein Eigenthum zu unterscheiden vermag, sondern jeder dieselbe als eine vollkommen gemeinschaftliche Frucht unserer vereinigten Anstrengungen ansieht (3)".

Ob ein solcher Enthusiasmus in der interdisziplinären Forschung nur für Bruderforschung möglich ist, bleibt als Problem bestehen. Wesentlich für den Erfolg waren sicher die wissenschaftshistorischen Entwicklungstendenzen in der Medizin, die Etablierung naturwissenschaftlich exakter Methoden im Methodengefüge der Mediziner. Dieser methodische Aspekt der Interdisziplinarität trägt diese. Neben den individuellen wissenschaftlichen Voraussetzungen der Gebrüder Weber war es dieser methodische Aspekt, der zum erfolgreichen Gelingen des zweiten epochemachenden Gemeinschaftswerkes der Weber-Brüder, der "Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge", beitrug. Die methodisch orientierte Interdisziplinarität in diesem Werk formulieren die Autoren dann auch verallgemeinernd: "Die Bewegungen, die der Mensch beim Gehen und Laufen ausführt, eignen sich eben so für eine genauere Untersuchung, wie mehrere andere bewunderungswürdige Bewegungen des menschlichen Körpers, z. B. die des Herzens und der Lungen; denn es ist hierbei möglich, vieles genau zu messen und durch die Anwendung der physikalischen Methode der Untersuchung auf die Physiologie zu sicheren Thatsachen zu gelangen, auf die man weiter fortbauen kann (4)".

Allerdings müsse eine solche Untersuchung ernstlich und geschickt geführt werden, um wenigstens mittelbar zu manchen neuen Resultaten zu gelangen, besonders dann, wenn keine sehr großen äußeren Hilfsmittel erforderlich sein sollen.

Die Gebrüder Weber unterscheiden sich wohlthuend von manchem Reduktionisten, wenn sie feststellen, daß die Menschen keine Gehmaschinen sind, "und also diese Bewegungen durch die Freiheit unseres Willens sehr mannigfaltig abgeändert werden (5)".

Es seien die Möglichkeit einer Theorie des Gehens und Laufens erst zu prüfen und eine solche Theorie zu begründen. Skeptisch für die Gebrüder erscheint eine solche Theorie für erwachsene Menschen ohne Muster zur Nachahmung. Erst die Tradierung von Bewegungsmustern in der Menschheit und entsprechendes Lernen aus Erfahrung erlaubt es den Menschen, seine Bewegungen nach Regeln ausführen. Die Regelmäßigkeit und Wiederholbarkeit der Bewegungen beim Menschen gestatten erst die Benutzung physikalischer Methoden zur Beschreibung menschlicher Bewegungen. Stillschweigend vorausgesetzt wird hierbei, daß die Schönheit eine notwendige Folge von relativer Ruhe des Körpers und der relativ geringen Anstrengung nebst der Sicherheit der ordnungsgemäßen Ausführung der Bewegung ist. Über die Bewegungsanalyse versuchen die Autoren genauere anatomische und physiologische Erkenntnisse zu erreichen, die auch für dem Maler bedeutsam sind. Gelenkstrukturen, Schwerpunkt- und andere Größenverhältnisse erhalten so zusätzliche Relevanz.

3) E.H. Weber und W. Weber: Vorrede. In: Wilhelm Webers Werke. Herausgegeben von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. Fünfter Band. Wellenlehre. Besorgt durch Eduard Rieche. Berlin 1893. S. S. XII.

4) W. Weber und E. Weber: Vorwort. In: Wilhelm Weber's Werke. Sechster Band. Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge. Berlin 1894. Seite IX.

5) W. Weber und E. Weber: Vorwort. In: Wilhelm Weber's Werke. Sechster Band. Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge. Berlin 1894. S. X.

Hervorzuheben ist die Fortführung der Bewegungsanalyse bis zur Begründung einer Theorie des Gehens und Laufens. Klassifikationen, Hauptsätze und mathematische Bewegungsgleichungen werden aufgestellt. Der Wert solcher Theorien liegt auch darin, ohne Erfahrungsgrundlage aus den Verhältniszahlen allein die Prozesse des Gehens von Bewegungssystemen im voraus abschätzen oder berechnen zu können, ein Vorteil, der hoch eingeschätzt werden muß und von Bedeutung für Wissenschaften der Menschheitsentwicklung ist. Die bildlichen Darstellungen der Laufarten besitzen unmittelbare Bedeutung für technische und medizinische Konstruktionen. Technik, Kunst und Wissenschaft stehen hier in einem engen Zusammenhang.

Erstaunlich für den Leser dieser beiden Schriften bleibt die Erkenntnis, daß einfache mechanische Analogien so wirksam in der Theoriebildung sein können. Es ist bekannt, in welchem Verhältnis bei einer Pendeluhr die fallende Bewegung des Gewichts und die schwingende Bewegung des Pendels zu einander stehen. "Ein ähnliches Verhältnis scheint sich auch in den Organen des menschlichen Körper, welche zum Gehen und Laufen dienen, statt finden zu müssen, welches eine regelmäßige Fortdauer des Gehens und Laufens selbst dann möglich macht, wenn die Aufmerksamkeit des Gängers oder Läufers nicht stetig auf deren Erhaltung gerichtet ist, wie es die Erfahrung lehrt, und es ist wichtig, zur Erkennung der Zweckmäßigkeit dieser Organe, dieses Verhältnis in ein klares Licht zu setzen (6)".

Einerseits gelingt es den Autoren der Bewegungsmechanik, die theoretische Abstraktion bis zu einem Zahlenverhältnis zu führen, andererseits haben sie anfänglich schon auf die Probleme deren Anwendung auf die realen Bewegungssituationen beim Menschen hingewiesen. Der Mensch ist keine Gehmaschine. Der Freie Wille, Traditionen, Lernen und Kulturerfahrungen müssen bei der Aufstellung einer solchen Theorie berücksichtigt werden; die Theoriebildung ist wieder außerordentlich interdisziplinär.

Die Abhandlung gilt auch heute noch als Musterbeispiel dafür, wie mit einfachen physikalischen Mitteln ein physiologischer Vorgang zu analysieren und zu beschreiben ist. Die gewonnenen Erkenntnisse sollten nach Ansicht der Verfasser nicht nur der Anatomie und darstellenden Kunst zugute kommen, sondern auch die Physik und Technik zur Konstruktion neuer vorteilhafter Bewegungsmechanismen anregen. K.H. Wiederkehr ist der Meinung, daß mit der Erfindung des auf stroboskopischen Effekten beruhenden "Lebensrades" eines der drei Grundelemente entstand, aus denen dann später die Kinematographie erwuchs.

Diese Erkenntnisse der Weber-Brüder bei der Realisierung interdisziplinärer Forschung sollten für das 20. Jahrhundert mehr fruchtbar gemacht werden, zumal für die globalen Probleme der Menschheit eine solche Herangehensweise als denknotwendig betrachtet werden kann.

Fraglich erscheint die Übernahme der realisierten Interdisziplinarität mit einfachen Mitteln. Die erreichten Ergebnisse der Gebrüder Weber sprechen aber für den Versuch, solche interdisziplinären Felder außerhalb der Physik zu suchen, nicht nur hinsichtlich der Medizin, sondern auch hinsichtlich vieler anderer Disziplinen.

Ausdrücklich abgesehen wurde in dieser Arbeit von der schon ausführlich dargestellten Zusammenarbeit zwischen C.F.Gauß und W. Weber, so daß die durch gemeinsame Interessen fixierte Zusammenarbeit der Gebrüder Weber in den Mittelpunkt der Darstellung rückte. Die "Wellenlehre" und die "Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge sind beredtes Zeugnis des interdisziplinären Denkens der drei Brüder.

6) W. Weber und E. Weber: Begründung einer Theorie des Gehens und Laufens. In: Wilhelm Weber's Werke. Sechster Band. Berlin 1894.S. 205.

Aber auch das interdisziplinär ausgerichtete Handeln der Gebrüder Weber wird in dieser Schrift dokumentiert, insbesondere im Kapitel "Die Gebrüder Weber und deren Anteil an der Gründung der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig. Die Fortsetzung der interdisziplinären Arbeiten gelang der Weber-Familie ebenfalls, z. B. durch das Wirken Theodor Webers, dokumentiert in der Publikation im Abschnitt "Ein Schüler der Gebrüder Weber - Theodor Weber in Halle."

Im Anhang sind enthalten Kurzbiographien der Gebrüder Weber und eine Auswahlbiographie ihrer Schriften. Die Tafeln in dem Anhang dienen der Veranschaulichung der kommentierten Textauswahl.

Es ist zu hoffen, daß mit dieser Schrift die Weber-Forschung einen neuen Impuls erhält, ein Anliegen, dem sich auch die Wilhelm-Weber-Gesellschaft e.V. verpflichtet fühlt. Insofern ist sie auch eine Bildungsschrift für Jedermann.

*Der Bund der drei Brüder*

Ehe wir auf die gemeinschaftlichen Arbeiten von C.F. Gauß und Wilhelm Weber in den dreißiger Jahren des vergangenen Jahrhunderts eingehen - bekanntlich schufen sie das absolute Maßsystem, gründeten den Göttinger Magnetischen Verein und bauten den ersten brauchbaren elektrischen Telegrafensystem, wollen wir noch einmal den Blick auf die drei Brüder Ernst Heinrich, Wilhelm und Eduard Weber richten. Zu einer Zeit, als Wilhelm und Eduard noch die Schule besuchten, hatten sich die drei schon gelobt, im Leben stets treu zusammenzuhalten. Die Berufung Wilhelms nach Göttingen sollte daran nichts ändern; der Gedankenaustausch wurde regelmäßig fortgesetzt. In einem vorhergehenden Kapitel wurde bereits dargelegt, wie Ernst Heinrich seinem jüngeren Bruder Wilhelm mit der "Wellenlehre" in den Sattel geholfen hatte. Nun war es an Wilhelm Weber, dem jüngsten der drei, Eduard, eine Starthilfe zu erfolgreicher wissenschaftlicher Arbeit zu geben.

Eduard Friedrich Weber hatte sich wie sein ältester Bruder Ernst Heinrich dem Studium der Medizin zugewandt, und auch er wollte sich der Forschung widmen und an der Universität lehren. Im Jahre 1836 erschien die von ihm in Gemeinschaft mit seinem Bruder Wilhelm verfaßte Abhandlung "Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge". Ein Physiker und ein Anatom hatten sich also zusammengetan. Die Idee des einen beflügelte den Geist des anderen, wie sie selbst im Vorwort sagten: "Wenn wir ... auch überzeugt sind", heißt es dort, "das die Wahl unseres Gegenstandes keiner Verteidigung bedarf, so wollen wir doch den wahren Grund nicht verschweigen, der uns besonders getrieben hat, diesen Gegenstand lange Zeit mit vereinten Kräften beharrlich zu verfolgen. Es war die Freude, die wir in einer gemeinsamen Beschäftigung fanden, und zwar in einer Beschäftigung, zu welcher jeder von uns eigentümliche Kräfte und Hilfsmittel mitbrachte, und die von dem anderen, weil sie ihm fehlten, um so höher angeschlagen und geschätzt wurden. Der Mensch ist nie fähiger und beharrlicher bei wissenschaftlicher Forschung, als bei solcher wechselseitiger Teilnahme und Anregung, die nicht erst nach vollendeter Arbeit, sondern während ihres ganzen Verlaufs stattfindet".

In der Anatomie zu Leipzig wurden an vielen toten Körpern Untersuchungen vorgenommen mit Instrumenten, die aus der Göttinger physikalischen Sammlung stammen. Die beiden Brüder sammelten in einer windgeschützten langen Halle empirisches Material an gehenden und laufenden Personen und studierten die Bewegungsabläufe. Ihre Meßinstrumente waren eine Tertienuhr (eine Tertie ist eine sechzigstel Sekunde) und ein dafür besonders hergerichtetes Fernrohr. Die Abhandlung gilt heute noch als Musterbeispiel dafür, wie mit einfachen physikalischen Mitteln ein physiologischer Vorgang anzupacken ist und was dabei herausgeholt werden kann. Die neuen Erkenntnisse über den Bau und die Bewegung des menschlichen Körpers sollten nach Ansicht der beiden Autoren nicht nur der Anatomie und der darstellenden Kunst zugute kommen. Durch das Studium der Natur sollten auch Physik und Technik zur Konstruktion neuer vorteilhafter Bewegungsmechanismen angeregt werden. Die in der Einleitung niedergelegten Gedanken, daß die Menschen dereinst auch radlose, sich selbst bewegende Maschinen - gehende und laufende Roboter - ersinnen werden, kommt uns fast utopisch vor. Die Verfasser glaubten, daß ihre kinematischen und dynamischen Untersuchungen über das Gehen, Laufen und Springen hierfür eine Vorarbeit sein könnten. Es ist hier nicht der Ort, all die neuen anatomischen Erkenntnisse aufzuzählen, die die "Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge" brachte. Nur einiges sei herausgegriffen, um die

hier angewandte exakte physikalische Methode zu demonstrieren. Die beiden Brüder ließen sich bei ihren Untersuchungen von Ideen leiten, die ihnen nach langem und scharfem Beobachten kamen. Ein Beispiel hierfür ist die Idee des Stemm- und Pendelbeins - wir sagen heute Stütz- und Spielbein -, sie wird heute noch, abgesehen von kleinen Korrekturen, als richtig anerkannt. Mit Hilfe der Infinitesimalrechnung stellten sie Bewegungsgleichungen für das Gehen, den Eil- und Sprunglauf auf. Wie sollte aber der komplizierte Bewegungsvorgang im ganzen überprüft werden? Wilhelm und Eduard Weber hatten hier einen großartigen Einfall. Um 1830 hatten sich M. Faraday, J.A.F. Plateau und S. Stampfer z.T. unabhängig voneinander mit stroboskopischen Effekten der Bewegungstäuschung befaßt. Dieses Phänomen kann man gelegentlich im Kino wahrnehmen, wenn z.B. die Speichen eines Rades sich in entgegengesetztem Sinne zu drehen scheinen. In dem "Lebensrad" wurden derartige Effekte verwendet, um sich bewegende, lebende Bilder vorzutäuschen. Es wurde in den dreißiger Jahren von Plateau und Stampfer erfunden und erlangte bald als Spielzeug und auf den Jahrmärkten weite Verbreitung. Eine Kreisscheibe war in Sektoren eingeteilt: jedes Feld enthielt die Zeichnung einer Figur, z.B. die eines sich drehenden Tänzers, in einer anderen Bewegungsphase. Schlitzblenden gaben nur je einen Sektor der gedrehten Scheibe frei. Der Betrachter hatte durch die psychologische Täuschung im Verein mit dem physiologischen Bildnachwirkungseffekt den Eindruck einer tatsächlichen Bewegung der Figur. Mit der Erfindung des "Lebensrades" hatte man eines der drei Grundelemente, aus denen später die Kinematographie erwuchs. Das "Lebensrad" mußte nur noch mit der Laterna magica, einer Projektionsvorrichtung, vereinigt werden. Das dritte technische Grundelement des Films, die Fotografie, wurde in jenem Jahrzehnt von Daguerre und anderen ebenfalls entdeckt.

Wilhelm und Eduard Weber stellten das "Lebensrad", genauer einen verbesserten Apparat, der von dem Engländer Horner stammt, sogleich in den Dienst der Wissenschaft. Ihre Abhandlung schlossen sie mit den Worten:

"Man besitzt ein Mittel, um sich zu überzeugen, daß... (die) Konstruktion (der Phasenbilder nach unseren mathematischen Bewegungsgesetzen) so gut mit der Erfahrung übereinstimmt, als es bei der unvollkommenen Ausmessung des Körpers, auf die man sich stützen muß, möglich ist. Dieses Mittel besteht darin, daß man eine Anzahl so gefertigter Abbildungen, die den Menschen in den während zweier Schritte aufeinander folgenden Stellungen darstellen, auf der inneren Fläche eines Zylinders oder einer Trommel, die in so viele gleiche Fachwerke geteilt ist, als Abbildungen da sind, und eines darüber, im Kreise herum aufklebt, und zwar in jedem Fachwerk eine Abbildung, dabei aber allen Abbildungen in ihren Fachwerken verschiedene Plätze anweist, so daß jede folgende Figur in ihrem Fachwerke weiter vorgerückt erscheint, als die vorhergehende, in solchem Maße, daß die mittelste Figur in ihrem Fachwerke gerade um eine Schrittlänge weiter, als die erste Figur vorgerückt erscheint. Die Größe der Fachwerke muß der Länge eines Doppelschrittes gleich sein. Wird nun diese Trommel auf einer Rotationsmaschine mit gleichförmiger Geschwindigkeit in der Zeit eines Doppelschrittes einmal herumgedreht, und beobachtet man alsdann die Figuren durch ihnen gegenüber in der Wand der Trommel an entsprechenden Stellen aller Fachwerke eingeschnittene Öffnungen, so erscheinen die Figuren dem Auge als gehend oder laufend, und ihre Bewegungen zeigen eine überraschende Übereinstimmung mit den Bewegungen eines wirklich gehenden oder laufenden Menschen. Hätte man daher niemals einen Menschen gehen und laufen gesehen und wüßte nur das Verhältnis seiner Glieder, so könnte man sich mit Hilfe der Theorie eine mit der Erfahrung sehr wohl übereinstimmende Vorstellung von diesen Bewegungen verschaffen, und das, was dabei geschähe, voraussagen."

Eduard Weber fand auch in seiner Habilitationsschrift "Quaestiones physiologicae de phaenomenis galvano-magneticis in corpore humano observatis, Lipsiae 1836" (Physiologische Fragen über die im menschlichen Körper beobachteten galvanomagnetischen

Erscheinungen, Leipzig 1836) Anregung und Unterstützung bei seinem Bruder Wilhelm in Göttingen. Einige Forschungsergebnisse von Gauß und W. Weber in der Magnetik und Elektrik wurden auf diesem Wege sogleich für physiologische Untersuchungen verwertet. In dem Aufsatz "Der Induktor zum Magnetometer" in den "Resultaten des Göttinger Magnetischen Vereins 1838" beschrieb Wilhelm Weber, wie man mit Hilfe einer Induktionsspule, die über einen Stabmagnet geschoben wird, einen gleichgroß bleibenden Spannungsstoß erhalten kann. Der durch Induktion verursachte Stromstoß wird, damit man seine Größe bestimmen kann, durch die Ablenkspule (Multiplikator) eines Magneten geführt; der so erhaltene ballistische Ausschlag des Magnetometers ist ein relatives Maß für den Widerstand im Stromkreis. Diese Vorrichtung hatte den Vorteil, daß man mit ihr bequem genaue Widerstandsmessungen vornehmen konnte. Die anderen damals zur Verfügung stehenden Spannungsquellen, meistens waren es galvanische Elemente, lieferten keine gleichbleibende elektromotorische Kraft. Eduard Weber benutzte den Induktor, um tierische und menschliche Körpersubstanz auf ihren elektrischen Widerstand hin zu untersuchen. Er fand, daß nach Entfernung der oberen Hautschicht der tierische Organismus 20mal besser leitet als reines Wasser und die Ursache für die bessere Leitfähigkeit im Salzgehalt liegt. (Ritter hatte schon um die Jahrhundertwende ausgesprochen, daß trockene Haut, Horn und Nägel einen erheblich größeren Leitungswiderstand besitzen.) Auch die Nervensubstanz, so stellte E. Weber fest, verhält sich nicht anders. Die damalige Meinung, daß die Nerven den elektrischen Strom besonders gut leiten, wurde so korrigiert.

Die physiologische Wirkung des elektrischen Stromes hatte schon Galvani 1789 entdeckt. Die Zuckung eines Muskels geschieht immer nur im Augenblick des Schließens oder Öffnens des Stromes. Um eine fortdauernde Muskelzusammenziehung zu erhalten, kam Eduard Weber auf den Gedanken, einen "magnetelektrischen Rotationsapparat" zu benutzen. Es ist dies eine Dynamomaschine, deren Magnetfeld durch einen Dauermagneten erzeugt wird. Bei genügend schnellem Drehen liefert dieser Generator einen Wechselstrom, dessen Frequenz ausreicht, eine gleichbleibende Kontraktion des Muskels hervorzurufen.

Die Anregung hierzu hat Eduard Weber sicherlich bei einem seiner Aufenthalte in Göttingen erhalten. Sein Bruder Wilhelm studierte nämlich zu jener Zeit die physikalischen Grundprinzipien magnet-elektrischer Maschinen und konstruierte selbst den bekannten Kugelinduktor. Eduard Weber verwendete bei seinen Untersuchungen die von Ettinghausen konstruierte Maschine. Am Kommutator verkürzte er die Segmente, um steilere Stromstöße zu erhalten, die physiologisch wirksamer sind.

Nach Vorarbeiten von G.G. Valentin und Th.S. Schwann gelang es 1846 Eduard Weber, auf seinen elektrischen Reizversuchen fußend, eine Muskelmechanik zu entwerfen. Er bediente sich exakter physikalischer Begriffe aus der Elastizitätslehre, wie Spannungsquerschnitt und Elastizitätsmodul. Den untätigen Muskel und den tätigen, durch Wechselströme erregten Muskel behandelte er als Körper mit unterschiedlichen, jeweils spezifischen elastischen Eigenschaften. Er stellte fest, daß Muskeln sich bis zum  $\frac{4}{5}$  ihrer Länge verkürzen, wenn sie erregt werden. Die Meßergebnisse wurden in Tabellen zusammengefaßt. Mit dem Zahlenmaterial könnte man ein Längen-Spannungsdiagramm zeichnen.

Eduard Webers Arbeit mit ihren einfachen und doch so sinnreichen Versuchen brachte die Muskelphysiologie ein gutes Stück voran. Die darin aufgestellte Theorie stand lange Zeit in großem Ansehen. Doch kann die Wissenschaft von heute manche Voraussetzungen nicht mehr als zutreffend ansehen, vieles ist hier noch im Fluß.

Den magnetelektrischen Rotationsapparat gebrauchten Ernst Heinrich und Eduard Weber auch für nervenphysiologische Untersuchungen. Ernst Heinrich reiste im Jahr 1845 nach Italien, um auf der italienischen Naturforscherversammlung in Neapel eine wichtige gemeinschaftliche Entdeckung bekanntzumachen: Reizt man bei einem Frosch diejenigen

Teile des Gehirns, an denen die Nervi vagi entspringen, oder auch unmittelbar die Nervi vagi, so wird das Herz in Erschlaffung versetzt, das Tempo der rhythmischen Bewegung des Herzens verlangsamt und sogar das Herz ganz zum Stillstand gebracht. Reizt man magnetogalvanisch dagegen das an der Aortenzwiebel gelegene Geflecht des sympathischen Nerven, so wird die Bewegung des Herzens wieder erweckt, beschleunigt und verstärkt. Ähnliche Beobachtungen ließen sich auch bei Vögeln und Säugetieren machen. Der Vortrag muß eine kleine Sensation gewesen sein; denn bis dahin kannte man nur die Kontraktion als Folge einer elektrischen Reizung, nicht aber eine Erschlaffung von Muskelfasern.

Die Brüder Ernst Heinrich und Eduard und letzten Endes auch Wilhelm Weber gelten als Pioniere der physikalischen Physiologie. Die oben angeführten Entdeckungen stellen nur eine kleine Auswahl dar. "Diesen drei Brüdern", so steht in einem bekannten Handbuch der Geschichte der Medizin, "gebührt das unsterbliche Verdienst, die moderne, exakte, in allen Teilen mathematisch bearbeitete Physik mit früher ungeahntem Erfolge auf die differenzierten Funktionen der Organe und Systeme des höheren Organismus angewendet zu haben."

# Wellenlehre

(Auszüge)

auf

Experimente gegründet

oder

über die Wellen tropfbarer Flüssigkeiten mit Anwendung auf die Schall- und Lichtwellen.

Von den Brüder

**Ernst Heinrich Weber**

Professor in Leipzig

und

**Wilhelm Weber**

in Halle

Unserem verehrten Freunde

## **C H L A D N I**

dem Brüder

einer auf Versuchen beruhenden Akustik

dem Erfinder

einer neuen Klasse musikalischer Instrumente

dem ersten Erforscher

der auf die Erde niedergefallenen meteorischen Massen.

## Einleitung.

Von der Schwingung, die in verschiedenen Medien Statt findet, überhaupt.

### § 1.

Ein Körper befindet sich in einer schwingenden Bewegung, wenn seine Theile durch das Streben nach Gleichgewicht sich der Lage, in welcher das Gleichgewicht Statt finden kann, abwechselnd nähern, und davon entfernen. Gleichgewicht ist der Zustand eines Körpers, wo sich die Wirkungen mehrerer bewegender Kräfte gegenseitig aufheben, und dadurch einen Zustand der Ruhe hervorbringen.

Daher kann die Schwerkraft der Erde, die Elasticität, die magnetische Kraft, die Ursache von Schwingungen werden, wie sie z. B. beim Pendel, bei schwingenden Saiten, bei der Magnetnadel bemerkt werden.

### § 2.

*Es giebt eine schwingende Bewegung von doppelter Art, eine fortschreitende, oscillatio progressiva, und eine stehende, oscillatio fixa. Die fortschreitende Schwingung ist gleichbedeutend mit der Wellenbewegung, motus undulatorius.*

### § 3.

Die fortschreitende Schwingung kann man sehr deutlich an einem aufgespannten Seile beobachten: Wenn man ein gespanntes Seil Tab. I Fig. 1 (1) bei b in der Nähe seines einen Befestigungspunktes durch einen plötzlichen Stoss in der Richtung nach aufwärts aus seiner Lage bringt, und sich dann selbst überlässt, so wird dadurch in dem Augenblicke des Stosses nur die Strecke des Seils, welche der gestossenen Stelle sehr nahe liegt, aus ihrer ruhigen Lage gebracht, so dass z. B. die Punkte abcd die Lage a'b'c'd' annehmen. Es werden hierbei, bevor der Stoss vollendet ist, deswegen nicht alle Punkte des Seils aus ihrer Lage gebracht, weil der Stoss viel schneller beendigt ist, als er sich der ganzen Länge des Seils von Theil zu Theil mittheilen kann.

Hierdurch wird nun eine nach dem entgegengesetzten Ende B fortschreitende schwingende Bewegung, oder Wellenbewegung verursacht.

Die Linien Fig. 1 (1) bis (9) stellen dasselbe Seil in den nächsten Zeitabschnitten dar, und geben eine Vorstellung von der successiv erfolgenden Veränderung der ursprünglichen Lage der Punkte abcdefghik, wie sie ungefähr durch Versuche wahrgenommen wird.

Nachdem nämlich seit der Beendigung des Stosses ein erster Zeittheil verflossen ist, rückt unseren Versuchen nach die nach oben gekehrte Ausbeugung abcd nach bcde weiter fort. In einem zweiten gleichgrossen Zeittheile sieht man sie bei cdef, in einem dritten bei defg, in einem vierten bei efgh, in einem fünften bei fghi und in einem sechsten bei ghik. So hat nun die Ausbeugung den zweiten Befestigungspunkt des Seils erreicht. So wie nun eine Wasserwelle von dem Rande eines Gefässes, so wird diese Welle eines Seils von den Befestigungspunkten desselben zurückgeworfen, und schreitet auf demselben Wege rückwärts nach A, auf dem sie bis jetzt nach B vorwärts gegangen war, mit dem Unterschiede jedoch, dass die Welle, die vor der Anprallung bei B ihre Ausbeugung nach oben wendete, sich nun in eine nach unten gerichtete Ausbeugung verwandelt, so wie man sie bei Fig. 1 (7), (8) und (9), von kihg nach ihgf dargestellt sieht. Wir unterlassen, dieses Fortrücken derselben nach weiter zu verfolgen, und erwähnen nur, dass man eine und dieselbe Welle an einem 50 Ellen langen Seile, von der Dicke eines halben bis ganzen Zolles, wohl 12 bis 16 Mal mit einer sich gleich bleibenden Geschwindigkeit hin- und herlaufen sieht, wobei sie jedes Mal, wenn sie von A nach B läuft, eine nach oben gewendete, wenn sie von B nach A zurück läuft, eine nach unten gerichtete Ausbeugung bildet.

Aus der gegebenen Darstellung bemerkt man leicht, dass die Fortbewegung der Welle oder der Ausbeugung, von abc nach dem entgegengesetzten Ende des Seiles und rückwärts, nur eine scheinbare Bewegung eines und desselben Körpers, keine wirkliche ist, und dass die wirkliche Bewegung, die diesen Schein veranlasst, eine successive Schwingung der einzelnen Theilchen des Seils nach aufwärts und wieder nach ihrem vorigen Orte zurück nach abwärts sei. So bewegt sich z. B. der zuerst gestossene Punkt b aufwärts nach b', und hierauf wieder abwärts zurück nach b, und alle anderen Punkte des Seils vollenden eine ähnliche Bewegung. Aber die verschiedenen Punkte des Seils gerathen ungleichzeitig in diese Bewegung, und daher befinden sich die Punkte, die an der Bildung einer Welle oder Ausbeugung zu gleicher Zeit Antheil nehmen, jeder an einer anderen Stelle seiner Bahn. Wenn die Welle bei Fig. 1 (2) in bcde ist, hat a seinen Weg nach aufwärts und wieder zurück schon durchlaufen, b hat auch den Weg nach aufwärts ganz, und den Weg nach abwärts fast ganz vollendet, c befindet sich fast an der Stelle, wo es den höchsten Punkt seiner Bewegung nach aufwärts

erreicht, und den Rückweg nach abwärts anzutreten anfängt, d hat seinen Weg nach aufwärts erst zur Hälfte zurückgelegt, e hat seinen Weg nach aufwärts so eben erst begonnen, und f befindet sich noch in seiner ursprünglichen Lage. Daher bewegen sich die Punkte des Seils, welche i n irgend einem Zeitmomente zur Bildung der vorderen Hälfte der Welle beitragen, nach aufwärts, während die, welche die hintere Hälfte derselben darstellen, nach abwärts zu ihrer ruhigen Lage zurückkehren, und zwischen beiden Hälften liegt der höchste Punkt des Seils, an dem die Welle desselben vorübergeht, nimmt, während er zur Bildung der Welle beiträgt, nach und nach alle Stellen in der Fortschreitenden Welle ein. So der Punkt e, der bei Fig. 1 (1) noch v or der Welle abcd, bei Fig. 1 (2) am Fusse der etwas fortgeschrittenen Welle, bei Fig. 1 (3) dem Gipfel derselben ganz nahe liegt, bei Fig. 1 (4) am Hintertheil derselben herabzusteigen anfängt, bei Fig. 1 (5) sich dem hinteren Fusse derselben ganz genähert hat, und endlich bei Fig. 1 (6) hinter der weiter fortgeschrittenen Welle zurückgelassen worden ist.

#### § 4.

Die Bewegung wird in der Richtung, in der sich die Wellen des Seils zu bewegen scheinen, von Theilchen zu Theilchen fortgepflanzt, aber die Bewegung dieser Theilchen selbst geschieht in einer ganz anderen Richtung, überhaupt ist die sich fortbewegende Welle nur eine Form, die während ihres Fortrückens immer von anderen Theilen des Seils gebildet wird.

Man sieht bei genauerer Betrachtung dieses Falls leicht ein, dass der Stoss, den b in Fig. 1 (1) zuerst nach aufwärts erhielt, nach und nach allen Theilchen des Seils bis zu dem anderen Ende B mitgetheilt wird, dass aber die Punkte des Seils, welche den Stoss zuerst erhielten, wegen ihrer nahen Befestigung am Punkte A, und durch die Spannung, die sie erleiden, getrieben, nach dem Orte ihrer anfänglichen Lage nach abwärts sogleich mit beträchtlicher Kraft zurückgetrieben werden, und dass sich auch diese nach abwärts gerichtete Bewegung von Theil zu Theil durch das Seil hindurch fortpflanzt, und folglich alle Theile des Seils successiv nach aufwärts, und hierauf nach abwärts getrieben werden.

#### § 5.

Die Spannung zwischen den Punkten, welche eine Welle, z. B. abcd bei Fig. 1 (1), ausmachen, ist nicht gleich gross, denn bei a ist das Seil befestigt, und also unbeweglich, bei d dagegen mit beweglichen Punkten des übrigen Seils in Verbindung. In der Nähe von a wird daher die ursprünglich durch den Stoss nach aufwärts mitgetheilte Bewegung

## Erster Haupttheil.

# Ueber die Schwingungen tropfbarer Flüssigkeiten.

### Erste Abtheilung.

## Ueber die fortschreitende Schwingung oder über die Wellenbewegung tropfbarer Flüssigkeiten.

### Abschnitt I.

#### *Ueber die Erregung der Wellen überhaupt.*

#### § 21.

Jeder Entstehung von Wellenbewegung in tropfbaren Flüssigkeiten geht eine Störung des Gleichgewichts, in welchem sich die Theilchen der Flüssigkeit entweder vollkommen oder unvollkommen befinden, voraus.

War das Gleichgewicht der Theilchen der Flüssigkeit unter einander schon vorher auf irgend eine Weise gestört, wie z. B. in einer Flüssigkeit, die sich schon in Wellenbewegung befindet, oder in strömender Flüssigkeit, so kann das relative oder unvollkommene Gleichgewicht, in welches sich die Theilchen, so weit es die Umstände erlauben, immer zu setzen suchen, durch neue Einwirkungen noch mehr gestört werden.

Das Gleichgewicht kann aber in einer Flüssigkeit auf doppelte Weise aufgehoben werden, entweder so, dass die Ursache, die das Gleichgewicht stört, auf die ganze Flüssigkeit gleichzeitig und gleichförmig wirkt, und dadurch in ihr eine Schwankung hervorruft, oder so, dass sie auf die verschiedenen Theile einer Flüssigkeit ungleichzeitig oder ungleichförmig wirkt, und dadurch eine Wellenbewegung hervorruft.

Wir werden in der Folge zeigen, dass jede vollkommene Schwankung einer tropfbaren Flüssigkeit eine stehende Oscillation der ganzen Flüssigkeit ist.

#### § 22.

Die Ursachen, welche Wellen in ruhender Flüssigkeit erregen sollen, müssen immer Bewegung in derselben anfangen. In bewegter Flüssigkeit dagegen erregen auch Ursachen, die die Bewegung derselben theilweise aufheben, Wellen.

Die bewegenden Kräfte, welche Wellen erregen, wirken häufig so, dass sie den Druck, den die Theilchen der Flüssigkeit nach allen Richtungen gegen einander ausüben, in einer oder in mehreren Richtungen theilweise verstärken.

Es giebt indessen auch Fälle, in welchen Wellen dadurch entstehen, dass der statische Druck aufgehoben wird, den gewisse an der Oberfläche der Flüssigkeit gelegene Flüssigkeitstheilchen auf die tiefer gelegenen ausüben.

So entstehen Wellen, wenn man den befeuchteten Finger der Oberfläche einer Flüssigkeit ganz allmählig nähert, in dem Augenblicke, wo die Flüssigkeit durch die Kraft der Adhäsion von dem befeuchteten Finger angezogen und festgehalten wird, wodurch nothwendig der Druck aufgehoben werden muss, den die angezogenen Flüssigkeitstheilchen vorher auf die unter ihnen befindlichen Flüssigkeitstheilchen ausübten.

### § 23.

Eine Bewegung, welche das Gleichgewicht der Theilchen einer Flüssigkeit längere Zeit hindurch stetig und mit unveränderter Kraft an einem und demselben Orte der Flüssigkeit stört, kann nur bei dem Anfange ihrer Einwirkung, und beim Aufhören derselben, Wellen erregen.

Wenn man z. B. durch einen an seiner Spitze fein geöffneten Papiertrichter, den man mit Quecksilber angefüllt hat, einen gleichförmigen Strom Quecksilber in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäss senkrecht gehen lässt, so erregt dieser Strom nur bei seinem ersten Auftreffen auf die Oberfläche Wellen; während der Strom fort dauert, bleibt die Oberfläche eben; und erst, wenn der Strom aufhört zu fließen, bewirkt der letzte Theil desselben von Neuem sichtbare Wellen.

Wenn man nämlich Quecksilber tropfenweise auf eine Quecksilberfläche fallen lässt, folgen die Wellen desto dichter auf einander, je dichter die Tropfen hinter einander auf dieselbe Stelle niederfallen. Ist daher die Aufeinanderfolge der fallenden Tropfen sehr schnell, so werden die erregten Wellen durch so geringe Zwischenräume getrennt, dass es schon kaum noch möglich ist, einzelne Wellen zu unterscheiden. Fällt nun endlich das Quecksilber gar nicht mehr in Tropfen in das mit Quecksilber gefüllte Gefäss herab, sondern fließt es in einem gleichförmigen Strome herab, so werden die Wellen durch gar keine Zwischenräume mehr von einander getrennt, d. h. es entstehen dann gar keine Wellen mehr, sondern die ganze Oberfläche des Quecksilbers erhebt sich gleichförmig desto mehr, je näher sie dem Orte liegt, wo der Quecksilberstrom auftrifft.

Abschnitt II.

*Ueber die Erscheinungen, welche bei Wellen wahrgenommen werden, deren erregende Ursachen auf die Wellen zu wirken fortfahren, namentlich über die unter dem Einflusse des Windes entstehenden Wellen.*

*Erregung, Vergrößerung, Höhe über der Oberfläche, Hinabreichen in die Tiefe, Kraft und Geschwindigkeit der unter dem Einflusse des Windes stehenden Wellen.*

§ 24.

Diese Klasse von Wellen erregenden Ursachen giebt nicht nur die Veranlassung zur Entstehung von Wellen, sondern verändert auch nachher fortdauernd ihre Gestalt und Geschwindigkeit. Dadurch werden diese Wellenerscheinungen so verwickelt, dass es vergeblich sein würde, aus ihrer Zusammenstellung eine erfahrungsmässige Grundlage für eine Theorie der Wellen gewinnen zu wollen. Die wichtigsten Data zu einer Theorie der Wellen liefert vielmehr die zweite Klasse von Wellen erregenden Ursachen, welche nur augenblicklich wirkt, und die erzeugten Wellen sich dann ungestört überlässt. Man hat aber bis jetzt, durch die Schifffahrt veranlasst, diesen verwickelten Wellenerscheinungen mehr Aufmerksamkeit geschenkt, als den einfachen. Jene drängen sich dem Menschen durch gelegentlich gemachte Erfahrungen selbst auf, diese kann man nur auf dem Wege des Versuchs kennen lernen. Jene verwickelten, namentlich durch den Wind hervorgebrachten, Wellenerscheinungen sind daher schon allgemeiner bekannt als diese. Ob man es daher gleich bei einer wissenschaftlichen Anordnung gewöhnlich für nothwendig hält, von einfacheren Erscheinungen zur Betrachtung der mehr zusammengesetzten fortzugehen, so schien es uns doch hier zweckmässig, das bekanntere vorzuschicken, und dadurch Interesse für die feineren Versuche zu erregen, welche wir zur Begründung einer Theorie der Wellen angestellt haben. Wir werden daher hier nur eine Zusammenstellung dessen geben, was man über die durch den Wind erregten Wellen weiss, und was wir hierüber durch unsere Beobachtungen auf Seen und auf dem Meere selbst erfahren haben, ohne sogleich eine gründliche Erklärung beizufügen, die erst, wenn man eine vollständige Theorie der Wellen besitzt, gegeben werden kann.

§ 25.

Die Luftstöße scheinen meistens unter einem sehr spitzen Winkel auf das Wasser aufzutreffen, und bringen in demselben eine doppelte Wirbel, kein merkliches Hindernis für den Fortgang der Wellen wahrnimmt.

Indessen ist nicht zu leugnen, dass die Oelhütchen eine beträchtliche Elasticität zu haben scheinen, indem sie, wenn sie durch Blasen auf die Oberfläche oder durch Schwankung der Flüssigkeit hier und da gedehnt werden, an diesen Stellen Regenbogenfarben zeigen, die sie vorher nicht zeigten, sowie die dehnende Ursache aufhört, sich wieder zusammenziehen, wobei dann die erschienenen Regenbogenfarben wieder verschwinden.

### Abschnitt III.

*Ueber die Erregung der Wellen durch augenblicklich wirkende bewegende Kräfte.*

#### *a) In ruhender Flüssigkeit*

Die Wellen, auf diese Weise in einem einzigen Zeitmomente erregt, bleiben sich ganz allein selbst überlassen. Hier ist also ihre Bewegung so einfach und so wenig durch den fortdauernden Einfluss fremder Kräfte gestört, dass man hoffen darf, durch genaue Betrachtung der Erscheinungen, die nach dieser Methode veranlasst werden, eine erfahrungsmässige Grundlage für eine Theorie der Wellen bilden zu können.

Das einfachste Mittel ist ein plötzlich vorübergehender Stoss auf eine Flüssigkeit, deren Gleichgewicht dadurch an einem oder mehreren Punkten gestört wird.

Die Durchsichtigkeit der Flüssigkeiten ist ein vorzügliches Hinderniss, die veränderte Gestalt der Oberfläche einer Flüssigkeit genau zu beobachten, weil man nämlich durch die Oberfläche hindurch in das Innere derselben sieht und daher die Oberfläche selbst nicht genau genug unterscheiden kann. Man bediene sich deshalb bei feinen Versuchen der allerundurchsichtigsten Flüssigkeit, des Quecksilbers; in Ermangelung desselben aber gefärbter; jedoch nicht klebriger Flüssigkeiten. Das Quecksilber hat aber noch einen zweiten Vorzug vor anderen Flüssigkeiten. Eigentlich nämlich sollten feinere Versuche über die Bewegung der Wellen im luftleeren Raume angestellt werden, weil die Luft der Entstehung und Bewegung der Wellen ein bedeutendes Hinderniss entgegengesetzt. Da nun in einer Quecksilberwelle, die nur einen sehr kleinen Raum einnimmt, wegen des grossen specifischen Gewichts desselben, eine verhältnissmässig grosse bewegende Kraft wirksam ist,

so werden die Quecksilberwellen durch den Widerstand, den ihnen die Luft entgegensetzt, weit weniger gehindert sich frei zu entwickeln, als Wasserwellen und Weingeistwellen. Sie sind daher viel steiler und ihre Grenzen schärfer.

§ 79.

Man kann nun Wellen entweder von einem Punkte aus oder von einer oder mehreren Linien aus entstehen lassen.

Von einem Punkte aus entstehen sie, wenn man einen Tropfen derselben Flüssigkeit oder einen fremden Körper auf die Oberfläche der zu untersuchenden Flüssigkeit fallen lässt. Unter allen zu beobachtenden Fällen ist dieser der einfachste und wichtigste.

Von einer Linie aus entstehen sie, wenn man einen Körper von bestimmter Gestalt in eine Flüssigkeit so eintaucht, dass alle Punkte des der Flüssigkeit zugekehrten Randes des Körpers diese senkrecht und gleichzeitig berühren.

Da der Stoss, den man festen Körpern ertheilt, so schnell durch dieselben fortgepflanzt wird, dass die Zeit, welche er braucht, um kleine Strecken zu durchlaufen, ganz aus der Acht gelassen werden kann, so kann man auch Wellen von einer in sich selbst zurücklaufenden Linie aus erregen, indem man den Rand eines mit Flüssigkeit erfüllten Gefässes durch einen plötzlichen Stoss erschüttert. Der Stoss wird dann von allen Punkten des Randes der Flüssigkeit, die den Rand berührt, augenblicklich und so gut als gleichzeitig mitgetheilt, und so gehen Wellen vom Rande des Gefässes aus, deren Gestalt, der Länge der Wellen nach, der Gestalt des Randes des Gefässes anfangs entsprechen.

Man sieht leicht ein, dass, wenn man dadurch, dass man Wellen von einem Punkte aus erregt, den Vortheil hat, die Entwicklung der Wellen unter den einfachsten Verhältnissen zu sehen, die Methode, Wellen von einer Linie aus zu erregen, den Vorzug besitzt, die Veränderung der Gestalt und des Ortes von Wellen sichtbar zu machen, deren ursprüngliche Gestalt man kennt und nach Willkür abändern kann.

Die Wellen, welche von einem Punkte ausgehen, dehnen sich bei ihrem Fortschreiten auf einen immer grösser werdenden Raum aus. Die Wellen dagegen, welche von der inneren Oberfläche des Randes eines mit Flüssigkeit erfüllten Gefässes ausgehen, das man erschüttert hat und dessen Rand durch eine in sich selbst zurücklaufende krumme Linie begrenzt wird, laufen in einem immer kleiner werdenden Raum zusammen und verkürzen sich dabei beträchtlich an Länge und können unter gewissen Umständen in einem einzigen Punkte vereinigt werden.

§ 80.

Eine der auffallendsten Erscheinungen, die man bei der Erregung der Wellen bemerkt, ist, dass ein augenblicklicher Stoss immer mehrere Wellen erregt, ja dass er, wenn er stark genug war, wohl 50 und mehr Wellen veranlassen kann.

Die Anzahl der Wellen, welche nach einem einzigen augenblicklichen Stosse entstehen, hängt theils ab von der bedeutenderen Grösse und raft des stossenden Körpers, theils von der hinlänglichen Tiefe der Flüssigkeit und ihrer vollkommenden Flüssigkeit, theils von der Abwesenheit äusserer Hindernisse, welche, wie der Wind oder die Friktion, die Entwicklung der Wellen stören.

§ 81.

Wenn man einen Wassertropfen oder ein kleines Steinchen von der Grösse einer Erbse auf eine ruhige Wasserfläche fallen lässt, so bemerkt man, dass im nächsten Zeitmomente, nachdem der hereinfliegende Körper die Oberfläche des Wassers erreicht hat, ein Tropfen Wasser an derselben Stelle, an der der hereingefallene Körper verschwand, in die Höhe springt. Bei grösseren Massen, die man in ein hinlänglich tiefes ruhiges Wasser fallen lässt, kann man sogar ein 2 bis 3 Mal wiederholtes In-die-Höhe-springen des Wassers an dieser Stelle unterscheiden.

Die auf diese Weise mehrmals in die Höhe getriebene Wassermasse enthielt, wenn man einen Tropfen Flüssigkeit in Wassers fallen liess, wenig oder nichts von der in das Wasser gefallenen Flüssigkeit. Man darf, um sich hiervon zu überzeugen, nur in ein mit reinem Wasser gefülltes Glas einzelne Milchtropfen von einer gewissen Höhe hereinfliegen lassen. Den Milchtropfen sieht man dann, während das Wasser an dem Orte des Auffallens zurückspringt, in die Tiefe des Wassers herunter fallen, so dass das zurückspringende Wasser höchstens ein wenig Milch beigemischt enthält.

Man sieht hieraus, dass das Emporspringen von Wasser an der Stelle, wo Flüssigkeit oder feste Körper in das Wasser fielen, nicht für ein Abprallen und Zurückspringen der aufgefallenen Flüssigkeit selbst gehalten werden könne; denn es müsste unter dieser Voraussetzung bei dem so eben erwähnten Versuche reine Milch zurückspringen, auch würden unter jener Voraussetzung andere feste, senkrecht auf Wasser fallender Körper zurückspringen, was nur bei platten Körpern, die unter sehr spitzem Winkel mit beträchtlicher Kraft auf Wasser geworfen werden, bemerkt wird.

Das Wasser, welches, nachdem ein grosser Stein auf eine ruhige Oberfläche geworfen wurde, mehrmals senkrecht in die Höhe springt,

kann auch nicht mit dem Wasser verwechselt werden, welches im Augenblicke, wo ein Stein das Wasser erreicht, umher spritzt, denn diese spritzt augenblicklich bei der Berührung des Steins und nicht senkrecht umher, jenes dagegen springt nicht im Momente der Berührung des Wassers, sondern in dem darauf folgenden Zeitmomente und senkrecht in die Höhe.

Man kann dieses ein- oder mehrmalige In-die-Höhe-springen des Wassers an dem Orte, wo ein Körper hereingefallen war, vielmehr mit einiger Wahrscheinlichkeit auf folgende Weise erklären.

Von einem in Wasser einsinkenden Körper wird ein Theil des Wassers an dem Orte, wo der Körper einsinkt, aus dem Wege gedrängt, das, weil es nach unten nicht ausweichen kann, in einer mittleren Richtung zur Seite und nach oben gedrängt wird, und um den Ort, wo der Körper eingesunken war, gleichsam einen kreisförmigen Wasserwall bildet, innerhalb dessen im Augenblicke des Einsinkens eine trichterförmige Vertiefung enthalten ist.

Dieser Wasserwall theilt sich, wie später gezeigt werden soll, in zwei Hälften, von denen die eine als Welle nach aussen fortgeht, die zweite, nach innen fortschreitend, die im Mittelpunkte dieser kreisförmigen Wellen gelegene Flüssigkeit von Neuem zu steigen nöthigt und zwar beträchtlich höher als der kreisförmige Wall selbst ist.

Die Flüssigkeit steigt daher kegelförmig in die Höhe, und wiederholt diese ganze Erscheinung, indem sie einen zweiten Wall veranlasst, von Neuem, und so bilden sich 3, 4 und mehr Wellen, von denen die später entstandenen deswegen immer mehr an Grösse abnehmen, weil die in die Höhe springende Wassermasse, welche jedes Mal eine neue Welle verursacht, bei jedem neuen In-die-Höhe-springen immer kleiner wird. So erklärt sich denn sehr gut, warum, nachdem ein Stein ins Wasser geworfen wurde, mehrere an Grösse mehr und mehr abnehmende, in gewissen immer kleiner werdenden Zwischenräumen auf einander folgende kreisförmige Wellen von einem und demselben Mittelpunkte, dem Auffallspunkte des Steins, ausgehen.

## § 82.

Nachdem durch das mehrmalige In-die-Höhe-springen der Flüssigkeit an dem Orte, wo ein Körper hineingefallen war, mehrere grössere Cirkelwellen entstanden sind, deren Zahl, wenn ein blosser Tropfen herein fiel, sich auf 3-4 beläuft, dagegen nachdem schwere Körper hereingeworfen wurden, nicht wohl bestimmt werden kann, tritt in dem Mittelpunkte, von dem die kreisförmigen Wellen ausgingen, an dem ferner das Wasser mehrmals sichtbar in die Höhe sprang, und an dessen als ein einziger, gleichförmiger Stoss anzusehen sei,

der durch den Widerstand des Wassers und sein Ausweichen mit einem Male ganz und gar aufgehoben werde, sondern, dass ein solcher Körper die Flüssigkeit zu wiederholten Malen stosse, so wie auch die Flüssigkeit bei seinem Einsinken absatzweise schneller und weniger schnell ausweiche. Hiermit scheint zusammen zu stimmen, dass die vordere Seite von grossen Quecksilberwellen, die wir in dem Fig. 12 abgebildeten Instrumente erregt hatten, deutlich treppenförmig erschien, und zwar so, dass die Stufen desto kleiner waren, und desto enger an einander lagen, je weiter sie von dem Gipfel entfernt am vorderen Abhange der Welle sich befanden.

Dass alle auf diese Art entstehenden Cirkelwellen im Fortschreiten sich von einander mit ihren Gipfeln immer mehr entfernen, und also immer breiter werden, rührt daher, dass die Wellen desto schneller fortschreiten, je grösser sie sind, und jede nachfolgende Welle, unter den angeführten Umständen, bei ihrer Entstehung etwas kleiner ist, als die vor ihr entstandene.

Zu den unwesentlichen Erscheinungen, welche diese Versuche zu begleiten pflegen, gehören eine Menge kleiner Wellen, die mit den entstehenden grösseren nicht einen und denselben Mittelpunkt haben, und theils durch das Wasser verursacht werden, welches beim Auffallen eines Körpers herumspritzt, theils von den Luftblasen herrühren, welche wenigstens von grösseren Körpern mit unter die Oberfläche des Wassers gerissen werden, dann in die Höhe steigen, und hierauf Wellen erregen.

*b) In fliessendem Wasser.*

§ 85.

Wirft man einen Stein in einen gleich tiefen und gleichförmig geschwind strömenden Fluss, so entstehen auf dieselbe Weise wie im ruhigen Wasser eine Menge Cirkelwellen, die von einem Mittelpunkte ausgehen; allein der Mittelpunkt der ausgegangenen kreisförmigen Wellen und die kreisförmigen Wellen selbst haben zugleich die Bewegung des Flusses. Man sieht das sehr deutlich, wenn man ein leichtes Stück Holz in einen solchen Fluss wirft, wo dann das mit dem Flusse fortschwimmende Holz immer ungefähr im Mittelpunkte der ausgegangenen kreisförmigen Wellen bleibt, ungeachtet es mit der Geschwindigkeit des Flusses nach abwärts rückt. Man sieht hieraus, dass das Segment der kreisförmigen Welle, welches nach der Richtung des Flusses abwärts fortschreitet, ausser der ihm als Welle zukommenden Geschwindigkeit noch die Geschwindigkeit des Flusses besitzt,

und folglich eine Geschwindigkeit hat, die beiden zusammenaddirten Geschwindigkeiten gleichkommt, dass dagegen das Segment der kreisförmigen Welle, welches in der Richtung des Flusses aufwärts fortgeht, eine Geschwindigkeit besitzt, die man bestimmt, wenn man die Geschwindigkeit des Flusses von der Geschwindigkeit der Welle abzieht. Stellt man daher den Versuch auf einem Flusse an, dessen Geschwindigkeit der Geschwindigkeit der erregten Wellen genau gleichkommt, so bleibt dieses stromaufwärts strebende Wellensegment auf seinem Orte stehen.

Ueberhaupt scheinen mehrere Ursachen zu verhindern, dass die Wellen sich nicht sehr weit stromaufwärts verbreiten können, z. B. der Umstand, dass die Wellen nicht füglich viel weiter aufwärts gehen können, als bis zu dem Punkte des Stroms, der mit dem Gipfel der so eben entstandenen Welle in einer horizontalen Ebene liegt, welches Hinderniss, wenn die Wellen sehr niedrig sind, der Strom aber viel Fall hat, beträchtlich einwirken muss.

§ 86.

Das Wasser der Flüsse strömt aber nicht in allen seinen Theilen mit gleicher Geschwindigkeit. Die meisten Flüsse haben in der Mitte eine weit stärkere Strömung als an den Seiten. Oft geht das Wasser an mancher Stelle sogar etwas rückwärts, und sehr nahe neben einander gelegene Wasserabtheilungen verhalten sich hierin oft sehr verschieden. Daher werden die Cirkelwellen, welche, wenn man einen Stein in einen Fluss fallen lässt, entstehen sollten, meistens auf eine eigene Weise verzerrt. Man kann daher aus diesen verzerrten Wellenfiguren auf die Geschwindigkeit der Strömungen eines Flusses an verschiedenen Stellen schliessen.

Abschnitt IV.

*Ueber die Gestalt der Wellen im Allgemeinen.*

§ 87.

Die Wellen erscheinen in tropfbaren Flüssigkeit als Unebenheiten der Oberfläche derselben. Ein Theil dieser Unebenheiten ist über der horizontalen Fläche der Flüssigkeiten erhaben, ein anderer Theil unter ihr vertieft. Man kann daher die über dem Niveau der Flüssigkeiten erhabenen Theile jener Unebenheiten Wellenberge, die unter demselben vertieften Theile Wellenthäler nennen.

Die Wellenberge und Wellenthäler kommen aber niemals einzeln, sondern immer mit einander verbunden vor.

Das ist auch die Ursache, warum man nicht einen einzelnen Wellenberg oder ein einzelnes Wellenthal eine Welle zu nennen pflegt, sondern nur die Verbindung von beiden.

§ 88.

Die Physiker bestimmen aber den Anfangspunkt und Endpunkt einer Welle verschieden. Einige, z. B. GRAVESANDE, sagen, der Anfangs- und Endpunkt einer Welle falle in das Niveau, und es bestehe daher eine Welle aus einem Wellenberge, Fig. 11 def, und einem unter dem Niveau ab vertieften Wellenthale, fgh, die mit einander verbunden fortschreiten. Andere, z. B. FLAUGERGUES, setzen als Anfangs- und Endpunkt einer Welle, und also als Grenze mehrerer hinter einander folgender Wellen, die Stellen, wo die Wellen am meisten unter dem Niveau vertieft sind, so dass der unter dem Niveau ab am tiefsten liegende Punkt c der Anfangspunkt, der eben so tief liegende Punkt g der Endpunkt der Welle cdefg ist. Beide Vorstellungsarten sind zulässig, und jede gewährt auch eine gewisse Bequemlichkeit bei der Auseinandersetzung der Wellenbewegung.

Indessen halten wir die erstere Bestimmung für die angemessenere und werden uns derselben in der Folge für gewöhnlich bedienen.

Der Wellenberg muss aber nicht jedes Mal vorausgehen, und das Wellenthal jedes nachfolgen. Zuweilen ist auch die Ordnung umgekehrt, so dass das Wellenthal vorausgeht, und mit einem nachfolgenden Wellenberge verbunden ist. Daher bemerkt GRAVESANDE, Phys. elem. Math. Lib. III. Kap. XI, sehr richtig: "Cavitas haec cum adjuncta Aqua alata vocatur Unda".

Im gewöhnlichen Falle, wo viele Wellenberge und Wellenthäler abwechselnd auf einander folgen, ist der Rauminhalt der Wellenberge und Wellenthäler gleich; denn es bleibt die Menge der Flüssigkeit, die sich in diesem Raume während der Wellenbewegung befindet, dieselbe als vorher, wo die ganze Flüssigkeit in Ruhe war und eine ebene horizontale Oberfläche hatte, und es muss daher genau so viel Flüssigkeit in der Gestalt mehrerer Wellenberge über das Niveau erhoben worden sein, als Flüssigkeit an den vertieften Stellen, welche die Wellenthäler bilden, fehlt.

Allein die erste Welle, welche eine wellenerregende Ursache hervorbringt, kann aus einem Wellenberge und einem Wellenthale bestehen, die sich an Umfang sehr ungleich sind. Saugt man z. B. durch eine Röhre plötzlich Wasser ein, und lässt es nicht wieder zurück fließen,

so entsteht in dem Wasser, in dem die Röhre eingetaucht wurde, eine Welle, deren Thal vorausgeht, und sehr viel grösser ist, als der nachfolgende Berg.

§ 89.

Die Gestalt jedes Wellenberges kann seiner Höhe, Breite und Länge nach, jedes Wellenthales seiner Tiefe, Breite und Länge nach bestimmt werden.-

Die Höhe eines Wellenberges oder die Tiefe eines Wellenthales wird dadurch gemessen, dass man die Entfernung der grössten senkrechten Abweichung der gekrümmten Oberfläche des Wellenberges oder Wellenthals von dem Niveau bestimmt. So ist cx Fig. 11 die Tiefe des Wellenthales acd, ey die Höhe des Wellenbergs def.

Die Breite der Wellenberge und Wellenthäler wird dadurch bestimmt, dass man die Entfernung zweier in der Richtung der fortschreitenden Welle liegenden Punkte an der Oberfläche derselben da misst, wo sich die Oberfläche der Wellenberge oder Wellenthäler mit der horizontalen Ebene schneidet, durch die die Oberfläche der Flüssigkeit im Zustande des Gleichgewichts begrenzt werden würde. So ist ad die Breite des Wellenthals acd, df die Breite des Wellenbergs def.

Die Höhe einer ganzen Welle lernt man daher kennen, wenn man die Höhe eines Wellenbergs über dem Niveau, und die Tiefe des zu derselben Welle gehörenden Wellenthales unter dem Niveau zusammen addirt, oder wenn man von dem tiefsten Punkte eines Wellenthales eine senkrechte Linie bis zu dem Punkte führt, der mit dem Wellengipfel sich in einer horizontalen Ebene befindet.

Die Breite einer ganzen Welle wird gefunden, wenn man die Breite eines Wellenberges und des zu ihm gehörenden Wellenthales zusammen addirt, oder wenn man den horizontalen Abstand des an der Oberfläche befindlichen Punktes, wo sich der Wellenberg über das Niveau erhebt, von einem in der Richtung der fortschreitenden Welle liegenden zweiten Punkte misst, wo der entfernteste Theil der Oberfläche des zu derselben Welle gehörenden Wellenthales das Niveau erreicht; so ist af die Breite der ganzen Welle acdef.

Die Länge der Wellenberge und Wellenthäler ist die Ausdehnung derselben in einer Richtung auf dem Niveau, welche auf der Dimension der Breite der Welle senkrecht steht. Ihr Maass ist eine gerade oder krumme Linie, welche die Linie, durch die die Breite derselben Welle gemessen wird, immer rechtwinkelig durchschneidet. Der höchste Punkt eines Wellenbergs ist sein Gipfel, und kann zuweilen in einem einzelnen Zeitmomente wirklich ein einziger Punkt sein. Meistens hat aber ein Wellenberg nicht die Gestalt eines Kegels, sondern eines Walles, oder er verwandelt sich wenigstens alsbald in dieselbe, und es bilden

dann die neben einander liegenden höchsten Punkte eine Linie der höchsten Punkte. Eben dasselbe findet hinsichtlich des tiefsten Punktes eines kesselförmigen Thals Statt, das sich gleichfalls sogleich in ein rinnenförmiges Thal verwandelt, und nun nicht mehr einen tiefsten Punkt, sondern eine gerade oder gekrümmte Linie der tiefsten Punkte hat.

Denkt man sich einen Wellenberg, der nicht einen blossen Kegel, sondern einen Wall bildet, durch eine senkrechte, durch die Linie seiner höchsten Gipfel auf das Niveau geführte Ebene in zwei Hälften getheilt, so heisst die Hälfte des Wellenbergs, welche in der Richtung liegt, von der die Welle herkommt, das Hintertheil des Wellenbergs, die Hälfte, welche in der Richtung liegt, nach welcher die Welle fortgeht, das Vordertheil des Wellenbergs. Auf dieselbe Weise kann man sich den hohlen Raum eines Wellenthales in ein Vordertheil und Hintertheil des Wellenthales eingetheilt denken. So ist acx Fig. 11 das Vordertheil cdx das Hintertheil des Wellenthales acd, dey das Vordertheil, efy das Hintertheil des Wellenbergs def.

Sieht man die tiefsten Punkte der Wellen als Grenzpunkte mehrerer Wellen an, so kann man auch von dem Vordertheile und Hintertheile einer ganzen Welle sprechen. In diesem Sinne ist cdey das Vordertheil, efgy das Hintertheil einer ganzen Welle cdefg. Diese Eintheilung ist hier passend, weil, wie wir § 127 zeigen, alle Flüssigkeitstheilchen des Vordertheils einer ganzen Welle im Steigen, alle Flüssigkeitstheilchen des Hintertheils beständig im Niedersinken begriffen sind.

#### § 90.

Man würde sich aber sehr irren, wenn man die Wellen für eine Erscheinung hielte, die nur an der Oberfläche der Flüssigkeiten Statt finde. Vielmehr werden wir beweisen, dass die horizontalen Flächen, die man sich im Innern einer ruhigen Flüssigkeit, der Oberfläche der Flüssigkeit parallel, unter einander liegend denken kann, ebenfalls in Wellenbewegung kommen, während die Oberfläche der Flüssigkeit sichtbare Wellen zeigt. Wir haben schon § 40, 41, 42 Erfahrungen gegeben, welche beweisen, dass die Wellenbewegung sehr grosser Wellen im Innern des Meeres sich bis auf den Grund desselben erstrecke; wir werden aber im folgenden Abschnitte § 106 Versuche mittheilen, welche es sehr wahrscheinlich machen, dass auch Meereswellen von geringer Höhe von einer bis auf den Meeresgrund gehenden Wellenbewegung begleitet seien.

#### § 91.

Die Ursache, warum man bis jetzt auf die Wellenbewegung, in der sich die horizontalen, der Oberfläche parallelen, Flächen im Innern einer Flüssigkeit befinden, weniger geachtet hat,

liegt nur in der Schwierigkeit, diese Bewegung sichtbar zu machen. Den grössten Nutzen hat uns in dieser und in vielen anderen Hinsichten das Fig. 12 und 13 abgebildete Instrument verschafft, welches wir mit dem Namen Wellenrinne bezeichnen werden.

Die kleinere Wellenrinne Fig. 12 besteht aus dem 5 Fuss 4 Zoll und einige Linien langen, geraden und glatt gehobelten Brete aus fichtenem Holze AB, auf dem in zwei tiefen Furchen vier von einander 6,7 Linien entfernte parallele Glasscheiben II, KK senkrecht eingesetzt und so dicht befestigt, sind, dass durch die Fugen weder Wasser noch Quecksilber hindurchdringen kann. Diese Glasscheiben werden ausserdem in zwei festen, senkrecht stehenden Bretstücken EF an beiden Enden des langen Brettes rechtwinkelig eingefügt, und durch zwei andere, um 6,7 Linien von einander abstehende, gleichfalls senkrechte Bretter GH in der Mitte fest gehalten, indem an diesem Orte ein die anliegenden Glasscheiben bedeckender Blechstreifen aufgeschraubt und angekittet wird. Der schmale, zwischen diesen Glasscheiben und Bretern eingeschlossene 5 Fuss 4 Zoll P.M. lange, 6,7 Linien im Lichten breite und über 8 Zoll tiefe Raum wird mit Wasser, Quecksilber, Milch, Branntwein etc, bis zu irgend einer Höhe gefüllt, wobei die gegenüberstehenden Glasscheiben, um eine Beugung oder Zerspaltung derselben zu verhüten, durch mehrere feste hölzerne Gabeln oder Klammern zusammen geklammert, und so sich von einander zu entfernen verhindert werden.

Die grössere Wellenrinne Fig. 13, welche einen 6 Fuss P. M. langen, 2 1/2 Fuss tiefen und 1 Zoll 1,4 Linie breiten Raum (d. h. einen doppelt so breiten als die kleinere Wellenrinne) einschliesst, unterscheidet sich von der kleineren Wellenrinne nur dadurch, dass die senkrechten hohen Seitenwände derselben aus Bretern bestehen, und dass nur an sechs Stellen dieser zwei Bretwände, sich einander gegenüberstehend, sechs 6 Zoll breite, 2 1/2 Fuss hohe Glasscheiben wasserdicht eingesetzt sind, durch welche hindurch man die Bewegung beobachten kann, welche im Innern der Flüssigkeit, mit der man diese Wellenrinne füllt, Statt findet. Um die hohen senkrechten Seitenwände vor einer Beugung zu sichern, fugt man ihren oberen Rand in eine dem Boden der Rinne parallele Pfoste ein, welche eben so lang ist als die Pfoste, die den Boden des Instruments bildet, und die, um einen Zugang zu der Höhle der Rinne offen zu lassen, an mehreren Stellen Oeffnungen hat.

Man kann nun die kleinere Wellenrinne bis zu einem gewissen Punkte mit Wasser oder Quecksilber füllen, eine Glasröhre an dem einen Ende derselben eintauchen, Flüssigkeit durch Saugen mit dem Munde in derselben in die Höhe heben, sie wieder fallen lassen, und so eine Welle durch eine bekannte Kraft erregen.

§ 146.

Ob die Unvollkommenheit des Flüssigseins der Flüssigkeiten, ihre Klebrigkeit, die Beimengung fester Stoffe etc. die Wellen unmittelbar langsamer mache, und in welchem Grade, ist schwer auszumitteln. Diese Umstände vermehren auch die Adhäsion der Flüssigkeiten an den Wänden des Gefässes, in dem sie eingeschlossen sind. Rübsenöl, mit dem wir hierüber Versuche machen wollten, war zu wenig flüssig, und seine Wellen konnten deswegen nicht weit genug mit den Augen verfolgt werden, um deren Geschwindigkeit mit der Tertienuhr zu messen. Wir überlassen Anderen hierüber Versuche zu machen, und schlagen zu diesem Zwecke Zuckerwasser vor.

Abschnitt VII

*Ueber die Veränderung der Gestalt der Wellen bei ihrer ungehinderten und gehinderten Bewegung*

§ 147.

Die Wellen verändern, wenn sie sich während ihres Fortschreitens ganz allein überlassen sind, ihre Gestalt hinsichtlich ihrer Höhe, ihrer Breite und Länge. Hierbei vergrößert sich im gewöhnlichen Falle die Breite und Länge der Wellen auf Kosten ihrer Höhe; zuweilen indessen kann sich auch die Höhe der Wellen durch die gleichzeitige Verminderung ihrer Länge vergrößern. Eine Welle also, welche an Länge während ihrer Bewegung zunimmt (wie eine Cirkelwelle, die durch einen in ruhiges Wasser gefallenem Körper erregt worden ist, und immer in einen desto grösseren Kreis ausgedehnt wird, je länger sie fortschreitet), und zugleich breiter wird, nimmt dabei unseren Versuchen nach ausserordentlich an Höhe ab, so dass sie, wenn sie nicht durch mehrere ihr vorausgehenden Wellen unterstützt wird, sehr bald so flach, d. h. so breit und niedrig wird, dass sie dem Auge vollkommen verschwindet. Umgekehrt aber wird eine Welle, die, während sie sich bewegt, an Länge immer mehr abnimmt, zugleich beträchtlich höher, z. B. eine Welle, die dadurch erregt wird, dass man ein mit Flüssigkeit gefülltes rundes Gefäss erschüttert, indem man dadurch bewirkt, dass von dem kreisförmigen Rande eine kreisförmige Welle ausgeht, welche von allen Punkten des Randes nach dem Mittelpunkte des Gefässes zu fortschreitet, und bei dieser Bewegung in einen immer kleineren Kreis sich verwandelt, bis sie zuletzt im Mittelpunkte des Gefässes selbst in einem einzigen Punkte sich vereinigt.

Die Höhe, Breite und Länge der Welle stehen folglich in einer sehr auffallenden und nothwendigen Wechselwirkung. Man kann sich von dieser Wechselwirkung durch Erfahrung nur dadurch eine Kenntniss verschaffen, dass man die Welle hindert, sich während ihres Fortschreitens der Länge nach zu vergrössern oder zu verkleinern, so dass man also, wenn man ihre Länge unveränderlich gemacht hat, nun die Veränderung der Höhe und Breite der Welle kennen zu lernen sucht, die bei der Bewegung derselben, unabhängig von dem Einflusse, den sonst die zunehmende oder abnehmende Länge auf die Welle äussert, Statt findet.

Die Mittel hierzu ist das schon oft erwähnte, Fig. 12 abgebildete Instrument, welchem wir den Namen Wellenrinne gegeben haben. (S.S. 78)

Durch die zwei senkrechten Wände dieses Instruments wird nämlich eine Welle, die man an dem einen Ende der Rinne durch das Niedersinken einer grossen Flüssigkeitssäule erregt, verhindert, sich weiter ihrer Länge nach auszubreiten, und zugleich durch die Seitenwände der Wellenrinne so vollkommen unterstützt, dass diese Hemmung dem Fortgange der Welle keinen beträchtlichen Eintrag thut. Die Welle muss demnach durch die Rinne fortschreiten, und dabei immer dieselbe Länge behalten. Man kann dabei den senkrechten Durchschnitt der Welle durch die durchsichtigen Glaswände der Rinne sehen, was sonst auf keine Weise erreicht werden kann.

Um indessen noch genauere Kenntniss von der Veränderung der Höhe der Welle während ihres Fortschreitens als durch das Augenmaass zu erhalten, bedienen wir uns mattgeschliffener langer und rechtwinkelig geschnittener Glasstreifen. Da nämlich das Wasser an diesen Glasstreifen haftet, ohne merklich an ihnen durch Kapillarität in die Höhe zu steigen, so kann man sie senkrecht bis auf den Boden der Rinne eintauchen und herausziehen, und dann an der Grenze ihrer trockenen und nassen Flächen sehen, wie hoch die Flüssigkeit in der Rinne über dem Boden stehen. Bezeichnet man nun diese Grenze durch einen Strich, und stellt einen solchen Glasstreifen vorsichtig so in die Rinne senkrecht hinein, dass die beiden Flächen desselben den beiden Glaswänden der Rinne parallel und von beiden gleich weit entfernt sind, so verursacht derselbe kein merkliches Hinderniss für den Fortgang einer erregten Welle. Zieht man nun den Glasstreifen, nachdem die Welle an ihm vorübergegangen ist, vorsichtig und senkrecht heraus, so bemerkt man, dass er noch über jenem Striche, der die Höhe des Niveau der Flüssigkeit anzeigte, befeuchtet ist, und so zeigt die scharfe Grenze zwischen der feuchten und trockenen Fläche an, wie weit die

vorbeigehende Welle an dem Glasstreifen heraufgereicht habe, und der Zwischenraum zwischen der Linie des Niveau und dieser Grenze bezeichnet die Höhe der erregten Welle über dem Niveau der Flüssigkeit in der Rinne.

Man muss aber, wenn man in einer engen Rinne Versuche macht, sehr darauf Rücksicht nehmen, dass das Wasser an den Glaswänden höher als in der Mitte der Rinne steht, und daher entweder den Glasstreifen nur in der Mitte der Rinne senkrecht hereinstellen und herausziehen, oder ihn jedes Mal so hereinstellen, dass seine eine Fläche dicht an der Glaswand der Rinne anliegt, und die zweite Fläche, an der man die Höhe der Welle misst, von der Glaswand der Rinne abgewendet ist. Die letztere Methode, die uns die sicherste schien, ist von uns angewendet worden.

Sehr schade ist es aber, dass wir kein Mittel haben finden können, auch die Breite der Welle während ihres Fortgangs auf eine ebenso genaue Weise zu messen, die wir daher nur mittelbar zu bestimmen im Stande gewesen sind. S. § 119 Tabelle 7 und § 167 Tabelle 28. Das Resultat unserer Untersuchungen über die Veränderung der Höhe und Breite der Welle, wenn sie fortschreitet, ohne dabei an Länge zu- oder abzunehmen, ist folgendes:

*Eine unter diesen Umständen fortschreitende Welle nimmt im Fortschreiten an Breite zu, und an Höhe ab, und behält dabei ihre Geschwindigkeit fast unverändert.*

Da die Geschwindigkeit der Welle sich hierbei nur sehr wenig vermindert, so kann man schliessen, dass die Abnahme der Welle an Höhe nur ihrem kleinsten Theile nach eine Wirkung der Reibung der Welle an den Glaswänden und an der Luft sei.

Die unter diesen Umständen Statt findende Abnahme der Höhe der Welle hat nämlich ihren vorzüglichsten Grund

1. in der zunehmenden Breite der Welle selbst,
2. in der Erregung einer neuen Welle hinter der Welle, durch ihren eigenen nach rückwärts fortwirkenden Druck.

Die bewegende Kraft des Wellenberges (denn von diesem wollen wir hier zuerst reden) liegt nämlich in der Hälfte desselben, welche im Sinken begriffen ist, und dabei durch die Schwerkraft beschleunigt wird, d. h. in der hinteren Hälfte desselben. Diese ist es, welche die Theilchen an der vorderen Hälfte zu steigen nöthigt, und im Steigen beschleunigt. Werden nun an der vorderen Hälfte immer mehr Flüssigkeitstheilchen gehoben als hinten sinken, d. h. nimmt die Welle an Breite zu, so können diese vielen Theilchen nicht mit der Geschwindigkeit gehoben und im Steigen beschleunigt werden, als wenn ihre Menge die der hinteren sinkenden Theilchen nicht überträfe. Sie werden folglich nicht so hoch, und mit keiner so grossen Geschwindigkeit steigen, und

§ 148.

Hieraus erhellt, dass sich die Bewegung der Wellen tropfbarer Flüssigkeiten durch mehrere wesentliche Punkte von der Bewegung der Wellen elastischer Flüssigkeiten, der Schallwellen und Lichtwellen, unterscheidet, mit der sie sonst grosse Aehnlichkeit hat. Bei den Schallwellen der Luft und den Lichtwellen kann man nämlich weder von einer Höhe noch von einer Breite sprechen, eben so wenig, als man von der Höhe und Breite der Wand sprechen kann, die eine Seifenblase bildet, denn die Schall- und Lichtwellen sind, wenn man sie sich im Ganzen vorstellt, als hohle Kugelformen zu betrachten, die sich mit ungeheurer Geschwindigkeit ausdehnen. Wenn nun die Dicke bei den Schall- und Lichtwellen vereinigt das ist, was bei den Wellen der tropfbaren Flüssigkeiten Höhe und Breite sind, so ist es schon der Analogie nach wahrscheinlich, dass sie während ihres Fortgangs nicht dicker werden können. Denn das Breiterwerden der Wasserwellen geschieht auf Kosten ihrer Höhe. Es ist vielmehr von allen Mathematikern und Physikern anerkannt, und theoretisch und durch Erfahrung bewiesen, dass die Schall- und Lichtwellen bei ihrer Bewegung nicht an Dicke zu- oder abnehmen, ausser wenn sie in Medien von verschiedener Dichtigkeit übergehen.

Ebenso gewiss ist es, dass die Geschwindigkeit der Schall- und Lichtwellen gar nicht von der Grösse der Wellen selbst, sondern nur von dem elastischen Medio abhängt, durch welches hindurch sich die Wellen fortpflanzen, statt die Geschwindigkeit der Wellen der tropfbaren Flüssigkeiten umgekehrt grösstentheils von der Höhe und Breite der Welle abhängt, und von der Dichtigkeit der Flüssigkeit, in der die Welle sich bewegt, fast unabhängig ist. (S. § 137.)

Daher rührt es denn auch, dass die Wellen elastischer Flüssigkeiten, so lange sie durch dasselbe Medium fortschreiten, dieselbe Geschwindigkeit behalten, statt die Wellen tropfbarer Flüssigkeiten während des Fortschreitens meistens langsamer, und in einigen seltenen Fällen geschwinder werden, fast nie aber dieselbe Geschwindigkeit behalten.

Daher rührt es endlich, dass die Wellen elastischer Flüssigkeiten in allen ihren Abschnitten sich immer gleich schnell fortbewegen, statt die Wellen tropfbarer Flüssigkeiten, die zuweilen in ihren verschiedenen Abschnitten ungleich hoch und breit sind, in diesen verschiedenen Abschnitten einer und derselben Welle eine ungleiche Geschwindigkeit haben.

Alle diese Verschiedenheiten sind davon abzuleiten, dass die Schall- und Lichtwellen nach drei Dimensionen, die Wellen tropfbarer Flüssigkeiten nur nach zwei Dimensionen fortschreiten, und dass den tropf-

baren Flüssigkeiten die grosse Kompressibilität mangelt, die man bei den elastischen Flüssigkeiten beobachtet.

§ 149.

*Ueber das Fortschreiten der Wellen, mit vorzüglicher Rücksicht auf die Veränderungen, welche die Wellenlinie der Länge 1) dabei erfährt.*

Alle Wellen, welche man in der Mitte der Oberfläche einer Flüssigkeit erregt, und welche demnach in keiner Richtung am Fortschreiten gehindert werden, erhalten, ihrer Länge nach betrachtet, eine solche Gestalt, dass ihre Wellenlinie der Länge eine in sich selbst zurücklaufende, einen Raum einschliessende Linie darstellt, und dass demnach die ganze Welle einem Walle ähnlich ist, der einen Theil der Oberfläche der Flüssigkeit ringsum einschliesst, und so nach allen Richtungen der horizontalen Ebene der Flüssigkeit fortschreitet, dass sich dabei nicht nur seine Länge, sondern auch zugleich der von ihm umschlossene Raum vergrössert oder verkleinert.

Man mag sich eines Hilfsmittels zur Erregung von Wellen bedienen, welches man immer wolle, so kann man doch auf einer freien Oberfläche nur Wellen erregen, deren Abschnitte nach allen Richtungen dieser horizontalen Ebene fortgehen, d. h. man kann nie Wellen erregen, die die Gestalt eines Walles hätten, der nicht in sich selbst zurückliefe. Man tauche eine Holz- oder Metallplatte in die Mitte der Oberfläche eines mit Quecksilber gefüllten Gefässes, und es geht eine Welle aus, die die ganze Platte ringsum einschliesst, und deren verschiedene Abtheilungen sich nach allen Richtungen der horizontalen Ebene der Flüssigkeit ausdehnen. An scharfen Kanten, oder wenn der eingetauchte Körper sehr wenig Flüssigkeit aus dem Wege treibt, werden diese Wellen gleich so niedrig und flach, dass sie dem Auge leicht entgehen. Diese Bemerkung, dass jede auf einer freien Oberfläche fortschreitende Welle immer nur eine geschlossene, nie eine nach irgend einer Seite offene Figur bilden könne, ist um so wichtiger, da dieses Gesetz auch durch die mannigfaltigste Zurückwerfung der einmal entstandenen Wellen nicht abgeändert wird, woher es denn kommt, dass die mehrmals zurückgeworfenen Wellen sehr mannigfaltig verschlungene Figuren darstellen.

§ 150.

In Beziehung auf den Raum, den die Wellen einschliessen, eben so wohl als in Beziehung auf die Länge der Wellen selbst, können, wie schon bei anderer Gelegenheit bemerkt worden ist, die Wellen auf doppelte Weise fortschreiten ...

1) Wellenlinie der Länge ist die Linie, welche die nebeneinander liegenden Punkte der Oberfläche einer Welle

verbindet, welche in einer und derselben horizontalen Ebene sich befinden.

## Zweiter Haupttheil.

### Wellen in Beziehung auf Schall und Licht.

#### Abschnitt II.

*Ueber die stehende Schwingung an fadenförmigen, durch Spannung elastischen Körpern.*

#### § 251.

Bekanntlich schwingen Saiten, die in ihrer Mitte langsam aus der Lage der Ruhe gezogen, und sich dann selbst überlassen werden, auf die Fig. 6 abgebildete Weise. Bei dieser Schwingungsart bemerkt man keine an der Saite hin und her laufende Ausbeugung, keine Welle, sondern die Ausbeugung bleibt immer an ihrem Orte, indem sie nur abwechselnd aus ihrer Lage über der Linie der ruhenden Saite unter diese, und umgekehrt bewegt wird, so dass also die Theilchen, welche rechts oder links von dem Gipfel der Ausbeugung liegen, sich immer gemeinschaftlich senken und gemeinschaftlich steigen. Wir nennen sie daher die stehende Schwingung. Wir haben aber Seite 341 gesehen, dass, wenn die Saite AB, Fig. 125, in der Nähe des Befestigungspunktes von b nach b' gezogen wird, eine Ausbeugung sich bildet, deren Gipfel abwechselnd von A nach B, und von B nach A läuft, so dass die Saite abwechselnd in die Lage Ac''b'B und Ac'b''B kommt. Bei dieser Schwingungsart ändert sich aber die Höhe des Tons nicht. Nun kann aber diese Saite ausser diesem Grundtone eine Reihe von Flageolettöne hervorbringen, wenn sie mit gewissen Kunstgriffen angeschlagen wird. Die Saite theilt sich dabei entweder in zwei Stücke, wie Fig. 7, welche in entgegengesetzter Richtung schwingen, und durch einen festen Punkt, Schwingungsknoten, getrennt sind, wobei sie die Oktave des Grundtons giebt; oder in drei Stücke, wie Fig. 127, wobei sie den Ton der Quinte der nächst höheren Oktave hervorbringt, und zwei Schwingungsknoten bildet; oder in vier Stücke, wo der Ton der doppelten Oktave hervorgebracht wird, u.s.w. Aber auch diese Stücke schwingen selten so regelmässig, wie es die angeführten Figuren angeben; häufiger vielmehr, wie es Fig. 128 angegeben ist, so dass der Gipfel jeder Ausbeugung an jedem Stücke hin und her läuft. Dieses ist um so mehr der Fall, da man, wenn man eine Saite zum Tönen bringt, zunächst nur einen kleinen Theil der Saite aus seiner Lage rückt, und folglich zuerst eine Wellenbewegung in der

Saite veranlasst. Wenn aber in regelmässigen Zeitabschnitten erregte, von den befestigten Enden der Saite zurückgeworfene Wellen, deren Breite ein aliquoter Theil der Länge der Saite ist, sich begegnen, so entsteht dadurch erst eine stehende Schwingung, auf eine ähnliche Weise wie beim Wasser (Seite 207 f., Fig. 74, 75, 76, 73, 80, 81), wo der Vorgang so langsam ist, dass man ihn mit Augen sehen kann. Man kann aber auch die Entstehung der stehenden Schwingung aus Wellen an etwas dicken Seilen sehen. Man befestigt es an seinem einen Ende, und bewegt es am anderen mit der Hand; am besten gelingt es, wenn man das Seil nicht bloß aufwärts und abwärts in einer Ebene bewegt, sondern das Ende desselben mehrmals im Kreise herumführt. Es entstehen dann Wellen, die ganz mit den transversalen oder sekundären, die wir jetzt betrachtet haben, übereinkommen, und sich nur dadurch von ihnen unterscheiden, dass den Theilchen des Seils ausser ihrer schwingenden Bewegung noch eine Centrifugalkraft mitgetheilt wird. Es ereignet sich dann das, was § 16, Seite 13, und Fig. 7 und 8 abgebildet worden ist. Von der Schnelligkeit einer Umdrehung des Endes des Seils im Verhältniss zu ihrer Länge, Dicke und Spannung, hängt es ab, wie viel Schwingungsknoten entstehen. Diese Versuche gewähren den Vortheil, dass man die Schwingungsknoten, und die bewegten Theile des Seils mit einem Blicke übersehen kann, und zugleich auch bemerkt, wie das Seil allmählich aus der Wellenbewegung in die stehende Schwingung übergeht.

## § 252.

Nachdem wir § 16, Seite 13, durch die Erfahrung gezeigt haben, wie die stehende Schwingung mit einem oder mehreren Schwingungsknoten aus der Wellenbewegung hervorgehe, wollen wir nun eine neue Anwendung von der EULER'schen Rechnung machen, um zu beweisen, dass es auch nach der Theorie nothwendig sei, dass unter gewissen Umständen aus der Wellenbewegung eine stehende Schwingung hervorgehe.

Ein Drittel des Seils An, Fig. 129 (1.), werde in die Lage Amn gebracht, festgehalten, und sich dann selbst überlassen. Man ziehe eine nach beiden Seiten beliebig verlängerte Abscissenlinie, Fig. 130 aß, und trage jede Abscisse  $x$  der Linie AB nach vorwärts und rückwärts ab. An den beiden Enden errichte man zwei Ordinaten  $y$  und  $y'$  nach entgegengesetzten Richtungen, jede halb so gross als die zu  $x$  gehörige Ordinate, welche am Seile AB (1.), Fig. 129, die Lage des Punktes m bestimmt. Auf diese Weise entsteht die Hülfslinie, Fig. 130, ~~xy~~ Diese Konstruktion kann man wiederholen, indem man das Ende a an das Ende ansetzt, wo dann die Fortsetzung der Hülfslinie u. s. w. entsteht.

Mit Hülfe dieser Linie konstruirt man die Lagen des Seils in den folgenden drei Zeiträumen (2.) (3.) (4.), Fig. 129. In dem darauffolgenden Zeiträume würde das erste Drittel des Seils wieder in die Lage der Ruhe zurückkehren, wenn man nicht, wie bei (1.), von Neuem eine Ausbeugung desselben durch eine äussere Kraft hervorbrächte. Geschieht dieses, so erhält das Seil die Lage (5.). Bei dieser wiederholten äusseren Einwirkung wird zur Fortsetzung der Konstruktion eine neue Hülfslinie nöthig. Von dem Anfangspunkte C, Fig. 131, der neuen beliebig verlängerten Abscissenlinie trägt man vorwärts und rückwärts, wegen der neu hervorgebrachten Ausbeugung Amn, Fig. 129 (5.), die Abscisse  $x$  des Seils  $Ab$  ab, und erreicht an den Endpunkten Ordinaten  $y$  und  $y'$ , Fig. 131, nach entgegengesetzten Richtungen, deren jede gleich der Hälfte der Ordinate  $z$  am Seile  $AB$ , Fig. 129, (5.) ist, durch welche die Lage des Punkts  $m$  bestimmt wird. Auf diese Weise entsteht die Hülfslinie  $\xi\xi$   $C\gamma\psi$ , Fig. 131. Weil die Ausbeugung des Seils  $nopqB$ , Fig. 129 (5.), nach  $B$  zu fortschreitet, so muss dieselbe in der neuen Hülfslinie rückwärts von  $\psi$  abgetragen werden, während auf der anderen Seite des Anfangspunktes  $C$ , in gleichen Entfernungen zwischen  $\psi$  und  $a'$ , die Hülfslinie mit der gegebenen Abscissenlinie zusammenfällt. Auf diese Weise erhält die neue Abscissenlinie die Gestalt  $\alpha\beta\gamma\delta\epsilon\zeta\eta\theta\iota\kappa\lambda\mu$  u.s.w. Mit ihrer Hülfe findet man die Lage des Seils in den folgenden drei Zeiträumen, so wie sie (6.) (7.) (8.), Fig. 129, abgebildet sind. Im 9. Zeiträume würde das erste Drittel des Seils wieder in die Lage der Ruhe zurückkehren, wenn nicht zum dritten Male eine Ausbeugung durch äussere Einwirkung entstände. Zugleich wird hierdurch zum dritten Male eine Hülfslinie zur Bestimmung der weiteren Fortpflanzung der Schwingung erfordert, welche die Gestalt  $\alpha\beta\gamma\delta\epsilon\zeta\eta\theta\iota\kappa\lambda\mu$  u.s.w., Fig. 132, erhält. Daraus sieht man, dass das Seil im 10. und 11. Zeiträume die unter (10.) und (11.), Fig. 129, abgebildete Lage erhalten muss. Von nun an kehrt im 12. Zeiträume die unter (10.), im 13. die unter (9.), im 14. die unter (10.), im 15. die unter (11.) abgebildete Lage zurück u.s.w.

§ 253.

Die Entstehung der stehenden Schwingung mittels der zweiten Methode der Wellenerregung zeigt Fig. 8. Das erste Achtel des Seils (1.) erhält bei  $A$  eine Geschwindigkeit, ehe es sich merklich von der Lage der Ruhe entfernen kann. Die Geschwindigkeit der einzelnen Punkte mögen, Fig. 133, durch die Ordinaten ausgedrückt werden, und die Ordinaten  $s$ , Fig. 134, seien gleich  $\int v dx : c : c$ . Zieht man nun eine beliebig nach beiden Seiten verlängerte Abscissenlinie  $\alpha\beta$ , Fig. 135, und trägt darauf von  $C$  nach vorwärts und rückwärts die Abscisse  $\alpha$ , Fig. 133, ab,

und errichtet an den Endpunkten nach gleicher Richtung die Ordinaten  $y$  und  $y'$  jede  $= 1/2 s$ , so erhält man die Hülfslinie  $g\delta c e \zeta$  und wenn man sie wiederholt aufträgt, die Fortsetzung  $\xi\delta\epsilon'\epsilon'\zeta'$ . Mit ihrer Hülfe konstruiert man die Lage des Seils für den 3. Zeitraum (2.), Fig. 8. Im 5. Zeitrume wird das erste Achtel des Seils von Neuem gestossen, und dadurch eine neue Hülfslinie nöthig, welche aus ähnlichen Gründen wie bei den früheren Konstruktionen die Fig. 136 abgebildete Gestalt erhält. Durch diese Hülfslinien findet man für den 6. und 8. Zeitraum die unter (3.) und (4.), Fig. 8, dargestellte Lage des Seils. Im 9. Zeitrume wird im ersten Achtel des Seils zum dritten Mal eine Bewegung hervorgebracht, und dadurch die Fig. 137 abgebildete Hülfslinie nöthig. Aus dieser findet man für den 10. und 12. Zeitraum die unter (5.) und (6.), Fig. 8, abgebildete Lage des Seils. Im 13. Zeitrume wird im ersten Achtel des Seils zum vierten Mal eine Bewegung hervorgebracht, und dieser entsprechend eine vierte Hülfslinie, Fig. 138, konstruiert. Daraus ergibt sich für den 14. und 16. Zeitraum die unter (7.) und (8.), Fig. 8, abgebildete Lage des Seils, die sich von nun an so wiederholt, dass im 18. Zeitrume die Lage (7.), im 20. die Lage (8.) zum Vorschein kommt. In den dazwischen liegenden Zeiträumen, im 15., 17., 19., tritt vollkommene Interferenz ein, bei welchen das Seil eine gerade Linie bildet, was nicht besonders abgebildet worden ist. So erhält man eine Schwingung mit drei Schwingungsknoten, und es ist aus diesem Beispiel leicht einzusehen, wie eine Schwingung mit ein, zwei, oder mehreren Schwingungsknoten erregt werden könne.

## § 254.

Wenden wir dieses auf die gewöhnlichen Methoden, Flageolettöne (d. h. Töne, bei welchen die tönende Saite Schwingungsknoten bildet) hervor zu bringen, an, so lernen wir die Dienste kennen, welche dieselben bei der Erregung dieser Flageolettöne leisten. Bei der Harfe berührt man die Saite AB, Fig. 139 b, z. B. an dem Punkte a, zwischen ihrem ersten und zweiten Drittel leise mit dem Ballen des Daumens, und zieht die Saite mit der Spitze des Daumens nach a, und lässt sie dann fortschnellen. Die Saite nimmt nach Verlauf eines 1. Zeitraums die Lage  $a a'$  (2.) an; im 2. Zeitrume entsteht eine Interferenz, die wir hier nicht mit abbilden wollen; im 3. Zeitrume (3.) ist der Wellenberg  $\alpha\beta'b$  fortgeschritten, hat das Thal  $a a$  nachgebildet, ist aber noch ein Mal so niedrig geworden. Lässt man nun bei a mit dem Ballen los, so nimmt die Saite im 4. Zeitrume die Gestalt (4.), im 5. die Gestalt (5.) und so weiter an. Der Ton muss in dem hier beschriebenen Falle die Quinte der nächst höheren Oktave des Grundtons der Saite sein.

Der leise Druck des Fingers an einem bestimmten Punkte der Saite bestimmt die Breite der entstehenden Wellen. Geht die Breite der erregten Wellen in der Länge der Saite nicht auf, d.h. ist Aa nicht der 2., 3., 4., 5. etc. Theil der Länge der Saite, so kann keine stehende Schwingung entstehen, wenigstens keine vollkommene.

*Ueber die sekundäre Schwingung der Körper, welche durch innere Steifigkeit elastisch sind.*

§ 255.

Der Vorgang, wenn Metallstäbe, Glasstäbe, Glasröhren etc. in eine sekundäre (transversale) Schwingung gebracht werden, ist dem bei Saiten ganz ähnlich. Auch hier entstehen ohne Zweifel zuerst Wellen, die, indem sie sich regelmässig begegnen, eine stehende Schwingung hervorrufen. Aber die Geschwindigkeit, mit der hier die Wellen fortschreiten, ist eine ganz andere. Die Wellen durchlaufen übrigens einen an den Enden freien Stab nicht mit einer ganz gleichförmigen Geschwindigkeit. Die Enden eines solchen Stabs sind nämlich viel beweglicher als die Mitte, weil sie nur von einer Seite her in ihrer Lage zurückgehalten werden. Daher sind die Exkursionen, die das freie Ende eines schwingenden Stabs macht, viel grösser als die, welche die Mitte macht. Gesetzt der Stab, Fig. 139a, ACB werde bei seiner Schwingung abwechselnd in der Lage a'cb' und bc'a versetzt, so würde die Bahn des Punktes von b nach b' noch ein Mal so gross sein, als die Bahn cc' ist. Es ist daher nicht zu verwundern, das eine Welle, welche die Länge des Stabs durchläuft, eben so viel Zeit braucht, um das halb so lange Stück xB zu durchlaufen, und es in die Lage xb zu bringen, als nun das noch ein Mal so lange Stück yCx zu durchlaufen, und ihm die Lage ycx zu geben. Die Schwingungsknoten x, y eines Stabs, der sich in mehrere schwingende Abtheilungen getheilt hat, liegen daher so, dass die Endstücken des Stabs noch ein Mal so kurz sind, als die in der Mitte gelegenen Abtheilungen. Auf ähnliche Weise verhält es sich bei Wasser, das in eine stehende Schwingung gerathen ist. (Siehe Fig. 74.) Dieser Grund fällt weg, wenn die beiden Enden eines Stabs unbeweglich eingeschraubt werden, und daher liegen die Schwingungsknoten eines solchen Stabs so, dass alle Abtheilungen AB, BC und CD desselben, Fig. 127, wie bei einer schwingenden Saite, gleich gross sind.

Die CHLADNI'schen Klangfiguren geben eine Vorstellung, wie sich flächenförmige Körper bei ihrer stehenden Schwingung in verschiedene Abtheilungen, die nach entgegengesetzten Richtungen schwingen, theilen können, indem der von den schwingenden Stellen abgeworfene, und auf den ruhenden Linien aufgehäufte Sand einen Schluss auf die Bewegung,

in der sich z. B. eine Scheibe befindet, erlaubt. Unsere Entdeckung (Seite 190-206), dass auch Quecksilber und Wasser, wenn sie in regelmässig gestalteten viereckigen, dreieckigen, runden und anderen Gefässen eingeschlossen sind, in eine ähnliche stehende Schwingung gerathen können, wenn auf eine passende Weise Wellen erregt werden, macht auch die Art und Weise wahrnehmbar, wie eine so zusammengesetzte stehende Schwingung entstehen könne, dass nämlich auch hier eine Wellenbewegung der stehenden Schwingung vorausgehe, und dass ein regelmässiges Zusammentreffen von erregten und zurückgeworfenen Wellen die Ursache einer solchen stehenden Schwingung sei. Unstreitig findet dieses auch auf schwingende Scheiben und Membranen eine Anwendung; denn wie sollte ein Stoss auf einen einzelnen Punkt einer Scheibe etwas anderes als eine fortschreitende Schwingung, Wellen erregen; wie sollte wohl ein solcher Einfluss ursprünglich eine gleichzeitige, und sich das Gleichgewicht haltende Schwingung aller Abtheilungen veranlassen können?

Aber, da die Wellen tropfbarer Flüssigkeiten so langsam fortschreiten, so kann man bei ihnen auch die Gestalt der Oberfläche der schwingenden Flüssigkeit sehen, man kann bemerken, dass die Oberfläche von Fig. 70 sich in neun sehr regelmässig gestellte kegelförmige Erhöhungen, und in sechs trichterförmige Vertiefungen getheilt hat. Fig. 72 stellt die Knotenlinien dar, auf welchen sich bei einer Scheibe der aufgestreute Sand aufhäufen würde, wenn sie sich in derselben stehenden Schwingung befände als in Fig. 70 das Wasser.

Auf diese Weise können Fig. 70, 80 und 81 eine anschauliche Vorstellung von der Gestalt schwingender Scheiben geben, die mittelst aufgestreuten Sandes entsprechende Klangfiguren zeigen.

Es würde nach dieser Analogie nicht schwer sein, die Entstehung gewisser Klanfiguren auf Scheiben im Einzelnen aus einander zu setzen, wenn die Wellen auf dieselbe Weise als beim Wasser nach allen Richtungen gleich schnell fortschritten. Nun mögen sich zwar Wellen, auf der Mitte eines gleichförmig gespannten Paukenfells erregt, als kreisförmige Wellen ausbreiten, aber schon bei Membranen, die ungleichförmig gespannt sind, oder wenn der Stoss nicht auf den Mittelpunkt der Membran wirkt, ist das nicht der Fall; noch viel weniger bei Scheiben, die an gewissen Punkten gehalten werden, und deren Abschnitte sich daher hinsichtlich der Grösse ihrer Spannung und Beweglichkeit sehr unterscheiden.

Bei grossen viereckigen Leinwandtüchern, die wie Rouleaux oben und unten an einem Stabe befestigt werden, und durch das Gewicht des unteren Stabs gespannt erhalten wurden, beobachteten wir, dass ein auf die Mitte der Leinwand hervorgebrachter Stoss eine Welle veranlasste, die nach oben und unten ungleich geschwinder fortschritt, als nach den beiden unbefestigten Seitenrändern...

*Ueber das Mittönen der Körper oder über die Resonanz.*

§ 289.

Die gebräuchlichen Stimmgabeln bringen angeschlagen einen doppelten Ton hervor; theils einen tieferen, der schon in einer geringen Entfernung von der in der Hand gehaltenen Stimmgabel nicht mehr wahrnehmbar ist, der aber, wenn die Stimmgabel näher ans Ohr gehalten wird, mit ausnehmender Fülle und Stärke vernommen wird, und der sehr verstärkt und überall im Zimmer hörbar gemacht wird, wenn man den Stiel der Stimmgabel auf eine grosse Holzplatte aufstemmt, theils einen viel höheren, der vornehmlich im Augenblicke des Anschlagens selbst bis zu einer beträchtlichen Entfernung vernommen werden kann, der auch noch längere Zeit schwach fortönt, und durch das Aufstemmen der Stimmgabel nicht verstärkt wird. An der Stimmgabel, die wir gebrauchten, war der höhere Ton noch beträchtlich höher als der höchste Ton eines Pianofortes, der tiefere aber a.

Eine ähnliche, aber schwächere Verstärkung des tieferen Tons bemerkt man, wenn man das obere Ende der Stimmgabel der Oeffnung einer 1 Fuss 3 Zoll langen,  $1 \frac{1}{3}$  Zoll im Durchmesser habenden, Pappröhre nähert, eine noch schwächere, wenn man sie einer Röhre nähert, deren Dimensionen von dieser beträchtlich abweichen. Der Resonanzboden der Pianoforte, der Geigen, und der Harfen zeigt eine ähnliche, wiewohl minder auffallende Verstärkung der Töne der Saiten, und auch hier bemerkt man, dass die höchsten Töne weit weniger durch die Resonanz verstärkt werden, als die tieferen. Von dieser Resonanz ist die Erscheinung nur dem Grade nach verschieden, dass die tönenden Körper in leeren Zimmern, Sälen und Kirchen, wenn der Luftraum durch Menschen, oder Möbel, oder andere Körper nicht zu sehr beengt und unterbrochen wird, einen viel stärkeren Ton geben, als im Freien, und dass diese Verstärkung bei einem oder einigen Tönen vornehmlich auffallend ist, für deren Verstärkung sich ein bestimmter eingeschlossener Raum vorzüglich eignet

§ 290.

Wir unterscheiden aber zwei Arten von Resonanz, die erste Art bewirkt nur eine vollkommeneren Mittheilung der Schwingungen von einem tönenden Körper an ein Medium von einem verschiedenen Kohäsionszustande und von einer verschiedenen Dichtigkeit...

Die zweite Art der Resonanz verstärkt den Ton über den Grad der Stärke hinaus, den er in einem unbegrenzten Medio bei der vollkommensten Mittheilung haben könnte.

Der Ton eines Blasinstruments, oder des menschlichen Stimmorgans, theilt sich der Luft so vollkommen mit, dass er keiner Verstärkung der ersteren Art fähig ist. Dagegen theilt er sich einer Felsenmasse so schwer mit, dass sich Bergleute, die in verschiedenen Gewerkstrecken arbeiten, schwer rufen hören werden, wo sie den schwachen Schall eines an den Felsen anschlagenden Hammers deutlich vernehmen. Nach FRANKLIN's und MONRO's interessanten Versuchen klingt der Schall, den zwei unter Wasser zusammengeschlagene Steine hervorbringen, Jemanden, der in einer sehr grossen Entfernung von den Steinen den Kopf unter Wasser taucht, so stark, als würden sie in der Luft dicht vor dem Ohr zusammenschlagen.

Die Erfahrung bestätigt in dieser Hinsicht das, was auch die Rechnung beweist, dass nämlich die Schwingung in gleichartigen und gleich dichten Medien am vollkommensten fortgepflanzt werde. ALEXANDER VON HUMBOLDT leitet daher die weite und reine Verbreitung eines Schalls in der Nacht, die Jedem sehr auffallend ist, und die sich nicht blos aus dem Mangel des Geräusches erklären lässt, das bei Taage die Ohren übertäubt, sondern auch aus der ungleichen Dichtigkeit der Luft, die von der ungleichen Erwärmung derselben während des Tages herrührt.

Wie ein Lichtstrahl, indem er aus einem dünneren Medio in ein dichteres übergeht, an dieser Grenze zum Theil abprallt, und daher nur zum Theil in das zweite Medium übergeht, eben so prallt der Schall an den verschieden dichten Schichten eines elastischen Medii nach POISSON's Berechnung ab.

So wie nun die Fortpflanzung einer mitgetheilten Schwingung in gleichartigen Medien am vollkommensten Statt findet, eben so verhält es sich auch, wenn ein selbst schwingender Körper einem Medio die Schwingungen mittheilen soll. Tönende Luft theilt daher der Luft ihre Schwingung vollkommen, feste Körper theilen ihr dagegen ihre Schwingung unvollkommen mit, dagegen theilen starre tönende Körper anderen ihnen gleichartigen ihre Schwingung vollkommen mit. Manche Arten von Feuerzangen, die eine Art Stimmgabel bilden, geben angeschlagen einen Ton, den man ohne Hilfsmittel gar nicht vernimmt. Hängt man dieses Instrument dagegen an einem Faden auf, den man zwischen die Zähne fasst, so klingen sie bei zugehaltenen Ohren so stark wie eine Thurmglöcke in mässiger Entfernung.

Die Töne werden von festen tönenden Körpern luftförmigen leichter mitgetheilt, wenn sie sehr hoch sind, als wenn sie tief sind, daher der hohe Ton der Stimmgabel auch ohne

Resonanz weiter gehört wird, als der tiefe an sich stärkere, nicht aber durch die Resonanz merklich verstärkt wird. Das heisst, wenn ein und dasselbe Lufttheilchen in einer gegebenen Zeit viel Stösse von einem schwingenden Körper erfährt, werden ihm die Schwingungen leichter mitgetheilt, als wenn es in derselben Zeit wenige erhält. Zweitens wird diese Mittheilung begünstigt, wenn eine grosse Zahl von Lufttheilchen durch den festen schwingenden Körper gestossen wird, d. h., wenn die schwingende Fläche des tönenden oder in Schwingung versetzten festen Körpers sehr gross ist. Fadenförmige Körper bedürfen am meisten die Resonanz, weniger Streifen, noch weniger Platten. Drittens scheinen die Schwingungen eines primär (longitudinal) schwingenden festen Körpers der Luft leichter mitgetheilt zu werden, als die eines sekundär (transversal) schwingenden, was von der viel grösseren Schnelligkeit herzurühren scheint, mit der sich jedes Theilchen bei jeder einzelnen primären Schwingung bewegt.

Daher die Töne von Glasstreifen, die primär (longitudinal) schwingen, nicht merklich durch Resonanz verstärkt werden, aber von selbst einen sehr weit hörbaaren Ton haben, dagegen die transversalen Töne von Glasstreifen ohne Resonanz kaum wahrnehmbar sind. (Doch kommt hier hinzu, dass bei jenen die Erregung eine fortdauernde ist. Man muss daher transversal mit dem Violinbogen gestrichene Glasstreifen mit longitudinal gestrichenen vergleichen.)

Von dem zweiten Umstande hängt die Verstärkung des Tons mit ab, wenn man eine Stimmgabel auf eine grosse Holzplatte stemmt. Vom Stiele der Stimmgabel gehen primäre Wellen aus, die sich auf der Holzplatte ausbreiten. Sehr bald ist also die Holzplatte mit gleich breiten Wellen bedeckt, von denen jede hinter der anderen so liegt, dass jede nach Verlauf eines Zeitraums, in dem sie um so viel fortschreite, als ihre Breite beträgt, die Stelle einnimmt, die vorher die vor ihr liegende Welle einnahm. Fragt man nun, welche Bewegungen ein einzelnes Theilchen macht, während ein solcher Wellenzug an dem Orte des Theilchens vorübergeht, so sieht man, dass es sich eben so wie bei einer stehenden Schwingung eines selbsttönenden Körpers in regelmässigen und unmerklichen Zeiträumen hin und her bewegt, bei jeder verdichtenden Welle nach vorwärts, bei jeder verdünnenden nach rückwärts, und dass nur zwischen der Schwingung des mittönenden und selbsttönenden Körpers der Unterschied Statt findet, dass die Schwingung des mittönenden Körpers viel schwächer ist, und die neben einanderliegenden Theilchen ihre Bewegung nicht (wie bei selbsttönenden Körpern) gleichzeitig anfangen und endigen, ob sie sie gleich in gleich grossen Zeiten vollenden. Wohl aber fangen die Punkte, welche auf der Holzplatte um die Breite einer ganzen Welle (verdichtenden und verdünnenden Welle vereinigt)

vorwärts oder rückwärts liegen, ihre Bewegung gleichzeitig an, und endigen sie auch gleichzeitig. Es versteht sich von selbst aus dem, was früher vorgetragen worden, dass die Theilchen der Holzplatte augenblicklich aufhören zu schwingen, so wie die Reihe der vorüberziehenden Wellen an ihnen vorbei gegangen ist, und dass sogar die Theilchen nicht ein einziges Mal öfter schwingen, als die Zahl der vorbeiziehenden Wellen beträgt.

Theilen sich nun die Schwingungen einer Stimmgabel einer Holzplatte stärker mit als der Luft, so werden die Theilchen des Holzes, die sich bei der Fortpflanzung des Schalls hin und her bewegen, Schwingungen von gleicher Dauer in der Luft erregen, und also dazu beitragen, dass der Luft die Schwingung vollkommener mitgetheilt werde. Auf diese Weise wird aber der Ton nicht positiv verstärkt, denn er kann höchstens fast die Stärke erhalten, die der fortgepflanzte Ton in einem dem klingenden Körper gleichartigen Medio haben würde. Diese ganze Lehre beruht also auf dem schon von CHLADNI vorgetragenen Satze:

1. Eine Schallwelle schreitet um den Raum ihrer Breeite genau in derselben Zeit fort, in welcher der schwingende Körper, der diese Welle veranlasste, eine ganze Schwingung (Hin- und Zurückschwingung) vollendet. Dieser Satz gilt für alle Medien, in die die Schallwellen übergehen können, der Schall mag in diesen Medien schnell oder langsam fortgepflanzt werden, und die Wahrheit dieses Satzes geht aus dem hervor, was früher über den Ursprung der stehenden Schwingung aus einer Durchkreuzung der Wellen gesagt worden ist.

2. Jedes Theilchen eines Körpers, durch welches hindurch eine Schallwelle fortgepflanzt wird, bewegt sich in der Zeit, während welcher die ganze Welle (verdichtende und verdünnende Welle) an ihm vorüber geht, ein Mal hin und zukrück. Dan un eine jede Schallwelle in derselben Zeit um so viel, als ihre Breite beträgt, fortschreitet, in welcher der schwingende Körper, der die Schallwelle erregt hatte, ein Mal hin und zurück schwang, so bewegen sich die Theilchen eines Körpers, durch welchen Schallwellen hindurch gehen, eben so oft und gleich schnell hin und her, als die Theilchen des tönenden Körpers selbst, als er die Schallwellen erregte.

Auch dieser Satz gilt für jedes Medium, es mag den Schall schnell oder langsam fortpflanzen. Denn geht eine Welle aus einem Medio, Fig. 196 ABDE, das den Schall langsam fortpflanzt, in ein Medium BECF über, das ihn noch ein Mal so schnell leitet, so wird jede Welle im Augenblick des Uebergangs auch noch ein Mal so breit. Da nun aus der Wellenlehre bekannt ist, dass ein Theilchen eines Medii sich ein Mal hin und her bewegt, während eine ganze Welle (verdichtende und verdünnende) an ihm vorübergeht, so muss sich das Theilchen a in derselben Zeit hin und her bewegen, wie das Theilchen a, obgleich

der Stoss durch den Ort a mit einer noch ein Mal so grossen Geschwindigkeit fortgepflanzt wird, als durch den Ort a, denn die Welle AbDc ist noch ein Mal so schmal, als die Welle BßEy, und geht demnach an dem Orte a in derselben Zeit vorüber, als die Welle BEßy an dem Orte a.

§ 291.

Die zweite Art der Resonanz unterscheidet sich von der ersten Art dadurch, dass ein begrenzter Körper durch einen tönenden in so heftige Schwingungen versetzt wird, als er auch bei der vollkommensten Mittheilung, wenn er unbegrenzt wäre, nicht vollbringen könnte. Das Mittel hierzu ist, dass die Schallwellen, die dem begrenzten Körper mitgetheilt werden, von dessen Rändern oder Grenzen zurückgeworfen werden (auf ähnliche Weise wie Lichtwellen, die aus einem dichten Medio in ein dünnes oder umgekehrt übergehen), und sich mit einander, und mit den von dem tönenden Körper fortwährend ausgehenden Schallwellen durchkreuzen.

es ist schon bei den Wasserwellen durch Versuche bewiesen worden (Seite 161), dass eine Wasserwelle, während sie sich mit einer anderen gleich grossen durchkreuzt, in dem Kreuzungspunkte fast noch ein Mal so hoch wird, als jede der beiden einfachen Wellen ist, und dass sie, wo vier Wellen sich durchkreuzen, fast vier Mal so hoch wird, dass es umgekehrt sich bei der Durchkreuzung der Wellenthäler verhält, welche dann fast noch ein Mal so tief oder fast vier Mal so tief werden.

Was nun bei den Wasserwellen die Erhebung und Vertiefung der Oberfläche des Wassers ist, das ist bei den primären (longitudinalen) Wellen die Verdichtung und Verdünnung des Medii. Diese Verdichtung und Verdünnung wird also an dem Punkte zwei oder vier Mal so gross wo sich zwei oder vier Wellen durchkreuzen.

Werden nun die Schallwellen, die von einem bestimmten Punkte aus auf einen Körper, eine dicht hinter der anderen, übergehen, an den Grenzen des Körpers zurückgeworfen, und durchlaufen dann den Raum des Körpers von Neuem, so müssen sie sich an bestimmten Punkten zweifach oder mehrfach durchkreuzen. Nehmen die nachfolgenden Wellen denselben Verlauf, den die vorhergegangenen nahmen (was nothwendig ist, wenn sich nichts am Körper oder in der Erregungsart der Wellen ändert), und rühren sie von den Schwingungen eines und desselben Tons her, so müssen sich an allen Kreuzungsstellen die Kreuzungen regelmässig und in gleichen Zeiträumen wiederholen, und wenn man daher hierbei das Verhältniss der Theilchen des Körpers in Ueberlegung zieht, welche in den Punkten der vollkommensten Kreuzung liegen, so findet man, dass diese Punkte in gleichförmig sich wiederholenden

Zeiträumen aus dem Zustande einer grossen Verdünnung in den einer grossen Verdichtung und umgekehrt gerathen, dass die Zeit, in der das Statt findet, genau die Dauer des Zeitraums hat, in welchem der tönende Körper an der Stelle seiner grössten Verdichtung in die der Verdünnung und umgekehrt übergeht, oder überhaupt ein Hin- und Herschwingen vollendet, und dass überhaupt die ganze Bewegung der einzelnen Theilchen durch nichts von der des selbsttönenden Körpers verschieden ist, als dadurch, dass sie nie ganz so heftig ist, als diese, und dass, so wie keine Wellen mehr nachfolgen, also die Durchkreuzung aufhört, auch sogleich jene Bewegung geendigt ist, statt sie in den Körpern, die in eine stehende Schwingung geriethen, fortdauern kann, wenn auch die erste Ursache des Tönens aufgehört hat.

Der Unterschied zwischen selbsttönenden Körpern, die durch regelmässig sich wiederholende Stösse in Schwingung gesetzt werden, und den resonirenden besteht darin: dass der ganze Raum eines selbsttönenden Körpers von gleich breiten, sich zweifach oder mehrfach durchkreuzenden, Wellen eingenommen sein muss, die vermöge der Gestalt des Körpers so zurückgeworfen werden, dass die Kreuzungspunkte auch nach einer vielfachen Zurückwerfung immer nach gleichen Zeiträumen auf dieselben Punkte fallen.

Dagegen braucht der Raum eines resonirenden Körpers nur von gleich breiten zurückgeworfenen Wellen bedeckt zu sein, die sich mit den immer neu, aber auf dieselbe Weise, erregten Wellen so durchkreuzen, dass die Kreuzungspunkte, so lange die Erregung von neuen Wellen dauert, immer auf dieselben Punkte fallen.

#### § 292.

Hieraus geht der grosse Unterschied hervor, 1. dass die Wellen forttönender Körper eine Breite haben müssen, die ein aliquoter Theil des Wegs ist, den die Welle von einer zurückwerfenden Krenze des Körpers zu anderen zu durchlaufen hat. Dieses ist bei den Körpern, die zur Resonanz fähig sein sollen, nicht nöthig.

2. Dass bei forttönenden Körpern jede Welle einen Weg durchläuft, vermöge dessen sie nach einer oder mehreren Zurückwerfung in ihren vorigen Weg zurückkehrt, was bei der Resonanz nicht der Fall ist.

3. Dass die Stärke des Tons bei einem forttönenden Körper wachsen kann, während die Erregung der Schwingungen gleichmässig fortdauert, z. B. während die Violinbogen fortfährt zu streichen, der Ton bis zu einem gewissen Punkt anwächst, weil nämlich die mehrfach zurückgeworfenen Wellen immer in die ursprüngliche Lage zurückkehren und dasselbst durch neu erregte Wellen verstärkt werden. Dieses findet bei resonirenden Körpern nicht statt.

Eben so kann man sich der tropfbaren Flüssigkeiten bedienen, um den Vorgang bei der Resonanz sichtbar zu machen. Das ist ganz leicht. Man setze ein beliebig gestaltetes mit Wasser (am besten mit Quecksilber) gefülltes Gefäss auf eine elastisch bewegliche Unterlage, z. B. auf das Rohrgeflecht eines Rohrstuhls und erschüttere das Gefäss in abgemessenen Zeiträumen, indem man an die untere Fläche des elastischen Geflechts stösst. Bei den ersten Stössen werden von den Rändern des Gefässes Wellen ausgehen, die durch das Gefäss weiter fortschreiten, und dann an den gegenüber liegenden Rändern zurückgeworfen werden. Setzt man das Stossen regelmässig fort, so werden, der Takt mag schnell oder langsam sein, an den Stellen, wo sich die grössten neu erregten Wellen mit den meisten zurückgeworfenen Wellen schneiden, kegelförmige Erhebungen entstehen, die sich abwechselnd in trichterförmige Vertiefungen verwandeln, und die bei starken Stössen grösser, bei schwachen niedriger sind. Die plötzliche Verwandlung der mannigfaltigen fortschreitenden Wellenzüge in solche an einem und demselben Orte stehen bleibende Kegel und Trichter ist sehr auffallend und überraschend. Diese Kegel sind sehr unregelmässig gestellt, und hören bald auf an denselben Stellen zu bleiben, so wie das Klopfen aufhört. Denn sie entstanden nur dadurch, dass sich die ursprünglich erregten Wellen mit den auf dieselbe Weise vorher erregten, zurückgeworfenen Wellen immer an denselben Punkten durchkreuzten. Die Wellen, wenn sie an den Grenzen des Körpers zu wiederholten Malen zurückgeworfen werden, werden so schwach, dass sie nicht mehr beachtet zu werden brauchen. Demnach kommt hier nur die Begegnung der ursprünglich erregten und der ein oder einige Mal zurückgeworfenen Wellen in Rücksicht. Fig. 51 und 53 stellt gleichfalls eine Zurückwerfung von Quecksilberwellen dar, welche auf andere Weise erregt wurden und mit der Resonanz übereinkommt, die in Räumen von ähnlicher Gestalt entstehen würde.

§ 294.

Aus dem bis jetzt Vorgetragenen wird Jeder einsehen, dass ein fester Körper, auch wenn er nicht selbst tönt, sondern nur mittönt (resonirt), Schwingungsknoten und Knotenlinien haben könne. Wir werden diese Knotenlinien Knotenlinien des Mittönens (der Resonanz), Klangfiguren der Resonanz nennen, und sie dadurch von den CHLANDI'schen Knotenlinien und Klangfiguren unterscheiden, von denen sie sehr wesentlich verschieden sind, denn...

1. Die CHLADNI'schen Knotenlinien müssen, wie wir schon gesagt haben, immer symmetrisch liegen, die Knotenlinien der Resonanz können auch ganz unsymmetrisch liegen.

2. Die Zwischenräume zwischen den CHLADNI'schen Knotenlinien (Knoenlinien des Tönens) sind aliquote Theile des Raums von einem Rande eines tönenden Körpers zum anderen. Dieses Verhältniss findet bei den Zwischenräumen zwischen den Knotenlinien des Mittönens (der Resonanz) nicht Statt.

3. Die Zahl der CHLADNI'schen Knotenlinien auf einer Scheibe ändert den Ton, der desto höher wird, je mehr Knotenlinien entstehen, wie geschwind auch der Körper zittern möge, der die Schwingung und das Tönen veranlasst. Die Zahl der Knotenlinien auf einem mittönenden (resonirenden) Körper hat dagegen gar keinen Einfluss auf die Höhe des Tons, den der mittönende Körper hervorbringt, weil nämlich jede durch die Durchkreuzung von mehreren Wellen entstehende verdoppelte Verdichtung sich in derselben Zeit in eine verdoppelte Verdünnung verwandelt, in der die verdichtende Welle um so viel, als ihre Breite, fortschreitet, und ferner, weil jede solche Welle in der nämlichen Zeit um so viel, als ihre Breite beträgt, fortrückt, welche der tönende Körper (der die Wellen des resonirenden Körpers veranlasst) braucht, um eine solche Welle zu erregen, und daher alle Schwingungen des mittönenden Körpers in gleich grossen Zeiten als die des selbsttönenden vollbracht werden. Die von SAVART, Ann. de Chimie par GAY-LUSSAC et ARAGO, Tome XXV, Janvier 1824, Tab. 25, fig. 8, 9, 10 et 11 abgebildeten Klangfiguren sind solche Klangfiguren der Resonanz. Ist der resonirende Körper sehr regelmässig, z. B. eine Scheibe, und werden ihm die Schwingungen auf eine passende Weise mitgetheilt, z. B. der Mitte der Scheibe, so können die Knotenlinien des Mittönens (der Resonanz) auch symmetrisch sein, und es entsteht kein Selbsttönen, wenn die Zwischenräume zwischen den Knotenlinien nicht solche aliquote Theile der Scheibe sind, dass die Wellen, nachdem sie einen gewissen Weg zurückgelegt haben, bald in ihren vorigen Weg zurücklaufen, und dann den schon ein Mal gemachten Weg noch ein Mal wiederholen. Es kann also auch bei den Knotenlinien des Mittönens (Resonanz) Symmetrie Statt finden, aber es ist nicht nothwendig.

Hierbei ist nicht geleugnet, dass auch ein tönender Körper einen anderen zum Selbsttönen bringen kann. Dann muss aber auch unter passenden Umständen der Ton fast eben so stark werden können, als der Ton des ursprünglich tönenden Körpers, was bei der Resonanz nie der Fall sein kann, es muss ferner unter gewissen Verhältnissen möglich sein, dass der Körper, der so zum Tönen gebracht wird, einen anderen Ton giebt, als der ursprünglich tönende Körper, was bei der Resonanz unmöglich ist. Saiten, die durch einen anderen Ton

in Schwingung versetzt werden, und also scheinbar mittönen, aber vermöge ihrer eigenthümlichen Spannung einen anderen Ton angeben, resoniren nicht: sie sind durch Veranlassung eines anderen Tons selbst tönend geworden. Ueberhaupt sind die Saiten so sehr geeignet und geneigt zur stehenden Schwingung, dass sie sehr leicht in dieselbe gerathen.

§ 295.

Aus dem von uns über die Resonanz gegebenen Begriffe sieht man auch ein, dass die in festen Körpern eingeschlossene Luft gleichfalls zur Resonanz geeignet sei, was man auch sogleich bestätigt findet, wenn man eine angeschlagene Stimmgabel der Oeffnung einer Röhre nähert, ohne die Röhre zu berühren.

Da die Resonanz nur so lange dauert, als noch der ursprünglich erregte Wellenzug an den bestimmten Stellen Durchkreuzungen bildet, so müssen feste Körper fast augenblicklich zu resoniren aufhören, so wie in ihnen vom tönenden Körper keine Wellen mehr erregt werden, denn ihre Wellen verlaufen sehr schnell. Mit Luft erfüllte grosse Räume müssen dagegen noch so lange zu resoniren fortfahren, bis die Schallwellen ihren Lauf so weit fortgesetzt haben, dass die Durchkreuzungen an den bestimmten Stellen aufhören. Das Nachhallen in Kirchen ist daher nicht etwa eine besondere Wirkung der Gestalt der Kirche, die von der Gestalt des Gewölbes, oder von anderen besonderen Einrichtungen abhängt, sondern eine nothwendige Wirkung der Grösse des Raums, der grossen Höhe, Breite und Länge, die noch von der Eigenschaft des Fussbodens, der Decke und der Wände, den Schall sehr vollkommen zurückzuwerfen, unterstützt wird.

§ 296.

Man hat die Frage aufgeworfen, wie ein Gebäude beschaffen sein müsse, dass es sich zur Aufführung von Musikstücken vorzüglich eigne. Man fordert hier, es solle ein solches Gebäude eine möglichst starke, in allen Punkten des Gebäudes gleichförmige, inreihend dauernde Resonanz haben. Die Bedingungen der Erfüllung mehrerer der angegebenen Forderungen müssen sich durch die Mathematik berechnen lassen.

Erstens ist bei einem solchen Gebäude erforderlich, dass die Zurückwerfung des Schalls so vollkommen als möglich geschehe. Wände, Fussboden und Decke, die selbst durch die abprallenden Luft-Schallwellen in Erzitterung gerathen, diese Erzitterungen dem übrigen Gebälk und Gemäuer des Gebäudes mittheilen.

Wellen in Beziehung auf das Licht.

§ 306.

Die Aehnlichkeit der Erscheinungen des Lichts und des Schalls, die schnelle Fortpflanzung des letzteren, vorzüglich in festen Körpern, seine Zurückwerfung, sein theilweiser Durchgang durch manche Körper u.s.w., mussten schon sehr frühzeitig auf den Gedanken führen, die Erscheinungen des Lichts durch einen ähnlichen Vorgang in den Körpern zu erklären, als die des Schalls. Wir übergehen hier die Spuren dieser Vergleichung, die bei den Alten, namentlich bei Aristoteles, vorkommen. DESCARTES ist der Erste gewesen, der die Lichterscheinungen sehr ins Einzelne durch den durch ein ruhendes Medium fortgepflanzten Stoss erklärte; nur war er genöthigt, weil man zu seiner Zeit das Licht für unendlich geschwind hielt, den Aether, durch den sich der Stoss fortpflanze, als aus Reihen harter, unzusammendrückbarer, einander unmittelbar berührender Kügelchen bestehend anzunehmen. Schon er gab durch seine Theorie die Erklärung der Farben des Regenbogens. Mit Recht setzte aber HOOKE in seiner Mikrographie an die Stelle des DESCARTES'schen Aethers ein höchst dünnes elastisches Medium, und begründete dadurch zuerst eine Wellentheorie des Lichts, indem er, statt der augenblicklichen Fortpflanzung von Drücken, eine successive Fortpflanzung von Schwingungen annahm, und diese zur Erklärung der von ihm entdeckten farbigen Ringe dünner Platten, und zur Erklärung der Inflexion des Lichts in den Schatten anwendete, die er bemerkte, als er einen Lichtstrahl über die Schärfe eines Barbiermessers streifen lies, und die zuerst von GRIMALDI entdeckt worden war. MALLEBRANCHE, HUYGHENS, EULER, YOUNG, FRESNEL, FRAUENHOFER und POISSON vervollkommneten diese Theorie, theils durch Erfahrung, theils durch Rechnung. Ihr steht die NEWTON'schen Emanationstheorie gegenüber. Nach ihr wird das Licht, als aus kleinen Körperchen bestehend, gedacht, die so klein sind, dass sie durch die festesten durchsichtigen Körper unaufgehalten hindurch bewegt werden können, nachdem sie von den leuchtenden Körpern mit einer so ungeheuren Geschwindigkeit ausgeworfen worden sind, dass sie in 1 Sekunde einen Raum von mehr als 40 000 Meilen durchlaufen, dabei aber so einzeln fliegen, dass Tausende von Lichtströmen sich in einem Punkte des Raums kreuzen können,

ohne sich gegenseitig zu stören, so dass jedes Lichttheilchen von dem anderen wohl Tausende von Meilen entfernt sein kann. Diese fliegenden Lichttheilchen können von anderen Körpern so stark angezogen und retardirt werden, dass die Beschleunigung und Retardation im Vergleich zu ihrer ungeheuren Geschwindigkeit dennoch sinnlich wahrnehmbar ist, und eine Veränderung der Richtung, in der sie fliegen, hervorbringen kann.

Sie können von anderen Körpern abgestossen werden, und von ihnen unter einem gleich grossen Winkel mit gleich bleibender Geschwindigkeit zurückprallen, als der ist, unter dem sie anprallen, sind aber nur periodisch, und zwar in gleich grossen Zeiträumen abwechselnd geeignet, um von den Körpern, auf die sie fallen, zurückgestossen und von ihnen angezogen zu werden, und durch sie hindurch zu dringen (*Accessus molecularum luminis.*) Sie können sich mit ihnen chemisch vereinigen, und dadurch die Eigenschaften der Körper ändern.

Nach der Wellentheorie des Lichts muss der Raum zwischen den Weltkörpern mit einer sehr dünnen elastischen Flüssigkeit erfüllt, nach der Emanationstheorie muss der ganze Weltraum, selbst der von den Körpern eingenommene (durch grosse leere Zwischenräume), im Vergleich zur Kleinheit der Lichttheilchen, fast leer sein.

§ 307.

Bei der Wellentheorie des Lichts macht die Vergleichung mit dem Vorgange beim Schalle vieles anschaulich. Selbsttönende Körper sind den selbstleuchtenden zu vergleichen, nur folgen die Schwingungen der leuchtenden ausserordentlich viel schneller auf einander, und die Exkursionen der schwingenden Theilchen sind ausserordentlich viel kleiner. Die durch die Luft fortgepflanzten Schallwellen sind den Lichtwellen zu vergleichen, nur sind diese ausserordentlich viel dünner, so dass die dickste Lichtwelle, die rothe, nach FRESNEL's Bestimmung, 0,000 285 9 Par. Linien dick ist, während die dicksten Schallwellen, die den tiefsten hörbaren Ton veranlassen, ungefähr 32 Fuss dick sind. Die Erscheinungen des Echos und Wiederhalls sind der Reflexion, die des Uebergangs des Schalls aus der Luft in Wasser und in andere Körper, der Durchsichtigkeit, die Eigenschaft mancher Körper, den Schall nicht fortzupflanzen, der Undurchsichtigkeit zu vergleichen. So wie die Empfindung des Schalls durch eine Anzahl auf den Gehörnerven erfolgender Stösse erregt wird, so die des Lichts durch eine Anzahl noch ungleich schneller auf einander folgender Stösse auf die Nervenhaut des Auges. So wie die Empfindung der Tonhöhe abhängt von der Zahl gleich breiter,

dicht auf einander folgender, Schallwellen, welche in einer gewissen Zeit im Labyrinth des Ohrs ankommt, und also von der, bei allen Wellen eines Tons gleich grossen, Zeitdauer, in welcher eine Welle ihren Stoss auf das Ohr vollendet, und in welcher jedes Mal die nächste den ihrigen beginnt, eben so hängt von dem nämlichen Verhältnisse bei den Lichtwellen die Farbe ab. Hohe Töne entsprechen den violetten, tiefe Töne den rothen Farben, wobei sich denn auch eine Harmonie der Farben und Töne vergleichen lässt.

§ 308.

In einer von NEWTON gegebenen Darstellung seiner Hypothese (derselben, die er später wieder verliess, und die eine Verbindung der Emanations- und Undulationstheorie waar), die man in der Bibliothèque universelle des sc. Tome XXI, Geneve 1822, pag. 81 aus BIRCH's History of the Royal Society Tome III, pag. 247 übersetzt findet, hat er Gründe aufgezählt, die ihm der Wellentheorie des Lichts entgegen zu stehen schienen, und denen man noch einige beifügen kann. Er sagt:

1. "Wenn das Licht durch Schwingungen hervorgebracht würde, so müsste es sich merklich in dunkle und ruhende Mittel nach krummen Linien verbreiten, indem es alle Schatten zherstörte, und, den Tönen ähnlich, allen Wegen folgte, und in alle Poren eindränge." Diesen Einwurf wiederholt er in seiner Optik (Optice NEWTONIS latine reddidit Clarke 1740, Lib. III, Quaest. XXVIII, pag. 291): "Si lumen consisteret vel in pressu, vel in motu propagato per medium fluidum; sive in momento id fieret, sive in spatio temporis; utique futurum esset, ut id in umbram sese inflecteret. Etenim pressus vel motus in medio fluido, ultra quodvis obstaculum, quod partem aliquam motus impediatur, propagari non potest in lineis rectis; sed omnino sese inflectet et diffundet quaquaversus in medium quiescens, quod ultra id obstaculum jaceat. Vis gravitans deorsum tendit: attamen aquae pressus, qui ex vi gravitatis oritur, tendit quaquaveersus vi aequabili; et pari facilitate, paribusque etiam viribus propagatur in latus ac deorsum, et per curvas vias eat per rectas. Undae pulsus, seu vibrationes aeris, in quibus soni consistunt, inflectunt se manifesti, licet non tantum quantum undae aquae. Soni propagantur pari facilitate per tubas incurvas, ac per rectas. Stellae fixae planetarum cujusvis interposito evanescent. Radii, qui proxime ipsas alicujus corporis extremitates transeunt, inflectuntur quidem aliquantillum, corporis illius actione; quomodo supra est expositum: verum haec quidem inflexio non ad umbram versus sed ad contrarias fit partes."

Dieser Einwurf NEWTON's ist jetzt gehoben, indem theils durch die schon vor NEWTON von GRIMALDI gemachten Versuche, die von HOOKE, YOUNG, FRESNEL und FRAUENHOFER vervollständigt wurden, bewiesen worden ist, dass das Licht,

welches durch eine Spalte geht, in der That nicht ganz geradlinig fortschreitet, sondern sich auf eine ähnliche Weise in den Schatten hinein verbreitet, wie die Stücke der Quecksilberwellen (in unserer Fig. 59) sich hinter einem Körper ausbreiten, durch dessen Oeffnung sie gegangen sind. Ja es scheinen sowohl bei einer solchen Inflexion, als auch bei der Reflexion des Lichts von Ebenen, die einen sehr stumpfen Winkel bilden, ähnliche Durchkreuzungen zu entstehen, als die, welche wir beim Quecksilber beobachtet, und Fig. 59 abgebildet haben. Denn man nimmt sowohl in dem Raume des durch die Spalte gegangenen leuchtenden Strahls (innere Streifen), als in dem des Schattens, in den sich das Licht hineinbeugt (äussere Streifen), abwechselnde helle und dunkle Streifen wahr, welche nach FRESNEL's Messungen in ihrem auf das Auge perpendicularen Durchschnitte Hyperbeln sind. Dieselben hyperbolischen Linien sieht man aber auch durch die Durchkreuzung der Quecksilberwellen entstehen, wenn man den Versuch, wie Fig. 56, anstellt. Denn es fallen in gewissen Reihen von Punkten, welche hyperbolisch gestellt liegen, bei der sich unaufhörlich an denselben Stellen wiederholenden Durchkreuzung immer abwechselnd je zwei Wellenberge und abwechselnd je zwei Wellenthäler zusammen, und erregen dadurch daselbst eine doppelt so heftige Schwingung des Quecksilbers, als die bei der einfachen Wellenbewegung ist. In anderen Reihen von Punkten, welche zusammen auch hyperbolische Linien darstellen, fallen immer Wellenberge und Wellenthäler zusammen, deren Schwingungen sich gegenseitig aufheben. Diese hyperbolischen Linien sieht man bei Quecksilberwellen, Fig. 51 und 53, sehr deutlich durch Zurückwerfung entstehen. Die Erscheinungen der Inflexion und Interferenz erklären sich daher nach der Undulationstheorie sehr leicht, sind dagegen, bis jetzt wenigstens, nach der Emanationstheorie unerklärlich.

Den Haupteinwurf NEWTON's hat aber POISSON durch Rechnung beseitigt. Er sagt Ann. de Chim. par Gay-Lussac et Arago, Tom. XXII, 1823, pag. 255: "Doch muss man bemerken, dass wenn die ursprüngliche Erschütterung nur in einer Richtung Statt findet, so wird die Bewegung nur in der Richtung dieser Schwingungen merklich fortgepflanzt werden. Die entstandenen Wellen werden noch sphärisch sein, aber auf den gegen die Hauptrichtung der Bewegung geneigten Strahlen werden die Geschwindigkeiten der flüssigen Moleküle selbst unmerkbar sein im Verhältniss zu denen, welche in der Hauptrichtung und den sehr nahe liegenden Radien Statt haben, und die Abnahme der Bewegung mit der Entfernung von der Hauptrichtung wird um so schneller sein, je grösser die Geschwindigkeit der Fortpflanzung ist. Nur auf diese Weise kann man in der Undulationstheorie die Fortpflanzung eines isolirten Lichtkegels (filet isole de lumiere) begreifen."

2. NEWTON's zweiter Einwurf "Si lumen consisteret in motu propagato ad omnia intervalla in puncto temporis, jam ad motum istum generandum opus esset vi infinita singulis momentis in particulis singulis lucentibus", bezieht sich nur auf die Ansicht des DESCARTES, hat aber auf die Wellenlehre des Lichts gar keine Anwendung.

3. Sagt NEWTON in der angeführten Stelle der Bibl. univers. 1822, pag. 98: "Ich sehe nicht ein, wie nach dieser Hypothese irgend eine Seite, wie die Oberfläche eines Prisma von Glas, auf welche die Strahlen unter einem Einfallswinkel von mehr als 40 Grad fallen, ganz dunkel sein könnte (kein Licht durchlassen könnte). Denn die Schwingungen, welche auf die brechende Oberfläche, die zwei ätherische Mittel von ungleicher Dichtigkeit trennt, stossen, müssen nothwendig diese elastische Oberfläche unduliren machen, und diese Undulationen müssen Schwingungen auf der anderen Seite der Oberfläche erregen, und dahin fortpflanzen, kurz ich würde verlegen sein zu erklären, wie das Licht, welches auf Häutchen oder dünne Platten aus einem sehr durchsichtigen Medio fällt, wechselweise durch aufeinander folgende Dicken der Scheiben, die in arithmetischer Progression zunehmen, zurückgeworfen und durchgelassen wird. Denn obgleich die arithmetische Progression dieser Dicken, welche wechselweise die Strahlen zurückwerfen und durchlassen, zu beweisen scheint, dass die Reflexion oder Durchlassung durch die Zahl der Schwingungen (Wellen) bestimmt wird, die zwischen den zwei Oberflächen der Platte begriffen sind, so sehe ich dem ungeachtet nicht ein, wie ihre Anzahl den Fall verändern könne, sie sei gross oder klein, ganz oder in Bruchtheilen, wenn man nicht voraussetzt, dass das Licht etwas anderes als Schwingung ist."

Auch diesen Einwurf hat POISSON beseitigt, indem er (Ann. de Chimie, Tom. XXII, 1823, p. 363, 364 et 337) darthut, dass diese Erscheinungen mit Ausnahme der Farbenzerstreuung aus den Voraussetzungen der Wellenlehre nothwendig folgen. Er sagt: "Wenn die Geschwindigkeit der Fortpflanzung der Wellen in dem zweiten Mittel grösser ist als in dem ersten, so giebt es einen gewissen Einfallswinkel, für den der Winkel der Brechung ein rechter wird, und über welchen hinaus der Sinus der Brechung die Einheit überschreiten würde: die Brechung ist also dann nach DESCARTES' Gesetze unmöglich, und die Erfahrung zeigt, dass über diese Grenze des Einfallens kein Lichtstrahl mehr aus der ersten in die zweite Flüssigkeit übergeht. Man muss also in der Undulationstheorie bemerken, dass die zweite Flüssigkeit, wenn sie in gewissen Richtungen von der ersten gestossen wird, doch nicht erschüttert wird." Er zeigt hierauf, dass zwar die Schicht der

zweiten Flüssigkeit, welche die erste brührt, wirklich Verdichtungen erleidet, und beträchtliche Geschwindigkeiten erhält, aber beide nehmen sehr schnell ab, wenn man sich von der Grenzfläche entfernt, und werden in dem sehr geringen Abstände von der nämlichen Grösse, als die Breite der Wellen, völlig unmerklich. Ausserdem zeigt er auch Ann. de Chim., Tome XXII, p. 337, dass an dünnen Platten, wie Seifenblasen, concentrische Ringe in den Entfernungen, wie sie die Erfahrung giebt, nach der Wellentheorie zum Vorschein kommen müssen, aber nur dunkle, nicht farbige.

§ 310.

4. Wirft NEWTON ein: "Si lumen consisteret in pressu solummodo propagato sine motu actuali; utique non posset id agitare et calefacere corpora, quae id refringunt et reflectunt." Die Verbindung, in welcher die Wärme mit dem Lichte steht, ist aber nach jeder Theorie unerklärt.

5. NEWTON scheint auch an anderen Stellen den Umstand, dass man keine Retardation der Bewegung der Himmelskörper beobachten kann, als einen Einwurf gegen die Wellentheorie des Lichts, wenigstens gegen die des DESCARTES, betgrachtet zu haben. Nach der Wellentheorie müssten nämlich die Räume zwischen den Himmelskörpern mit dem Aether erfüllt sein, und dieser müsste die Bewegung der Himmelskörper etwas retardiren, wenn er vorhanden wäre.

Allein theils kann diese Retardation wegen der Dünnhheit des Aethers unmerklich sein, theils müsste dieser Einwurf auch die NEWTON'sche Theorie treffen, nach welcher sogar sehr schnell bewegte Theilchen den Weltkörpern begegnen, theils scheint aus ENKE's Beobachtungen zu folgen, dass leichtere dunstartige Weltkörper, wie die Kometen, in der That bei ihrer Bewegung durch den Weltraum retardirt werden, denn der von ENKE betgrachtete Komet hatte

von 1786-1795 eine Umlaufszeit von	1 208,22	Tagen
von 1795-1805 "	"	1 207,77
von 1805-1819 "	"	1 207,25

Siehe BODE's astronom. Jahrb. 1823, p. 216.

§ 311.

6. Endlich haben viele Physiker den chemischen Einfluss, den das Licht auf salpetersaures und salzsaures Silber, die es schwarz macht, sowie auf manche andere Körper zu üben scheint, als einen vorzüglich wichtigen Beweis gegen die Wellentheorie und für die Amanationstheorie angesehen. Noch kürzlich hat MALUS in seiner Theorie de la double refraction de la lumiere, Paris 1810, p. 5, dasselbe angeführt.

Allein wir sehen nicht ein, warum, da der chemische Prozess von einer Bewegung der Molekullen, und nach der Wellentheorie beim Verbrennen auch von einem Erzittern der Molekullen begleitet wird, es nicht denkbar sein sollte, dass Erzitterungen, in die ein Körper durch die Lichtwellen gesetzt wird, und durch die die Molekullen einander wechselseitig angenähert werden, nicht auch den Anstoss zu chemischen Prozessen geben zu können im Stande sein sollten, eben so wie ein selbsttönender Körper Schallwellen aussendet, aber auch umgekehrt durch den Stoss der Schallwellen zum Selbsttönen gebracht werden kann. Dass die Schallwellen niemals dergleichen chemische Veränderungen veranlassen, scheint uns kein ausreichender Gegengrund, da die Schallwellen viel zu breit sind, um einzelne kleinste Theilchen eines Körpers in Bewegung zu setzen, ohne zugleich auch den benachbarten eine gleiche Bewegung mitzuthellen, und daher vielmehr grössere Massen der Körper in eine gleichzeitige Bewegung setzen können, z. B. Sandkörper, als Molekullen.

§ 312.

Da nun fast alle wichtigen Erscheinungen, welche man bis jetzt an dem Lichte wahrgenommen hat, nach POISSON's Rechnung aus der Wellentheorie des Lichts nothwendig folgen, da andere wenigstens nicht widersprechen, und selbst die verwickelten der Polarisation des Lichts nach HUYGHEN's Hypothese erklärlich scheinen, so kann man der Wellentheorie nur das entgegenstellen, dass durch sie nach POISSON's Rechnung die Farbenzerstreuung beim Durchgange des Lichts durch ein Prisma unerklärt bleibe. Das ist es vorzüglich, was ihr BIOT entgegenstellt, und was ihn vermag, sich für die Emanationstheorie zu entscheiden.

Allein die Analyse schneidet nach POISSON's eigenem Geständnisse die Möglichkeit, dass sich auch die Farbenzerstreuung aus der Wellenlehre werde erklären lassen, nicht gänzlich ab. Er sagt in dieser Hinsicht (*Ann. de Chim.*, Tom e XXII, p. 261): "Die Breite der gebrochenen Welle ist in ihrer ganzen Ausdehnung konstant; sie verhält sich zu der ursprünglichen Welle wie der Sinus der Brechung zum Sinus des Einfallens, folglich ändern sich dabei die Farben nicht. Die Erscheinung der Dispersion ist gänzlich unerklärt. EULER (*Opusc. varii argumenti*, Tome I, p. 217 und *Mem. de l'Acad. de Berlin annee 1750*, p. 282) behauptete, auf einander folgende Wellen beschleunigten einander. In brechenden Mitteln hinge diese Beschleunigung von der Breite ab, die breitesten Wellen würden am wenigstens beschleunigt, am meisten gebrochen." (Weisses Licht ist nämlich beim Lichte das, was beim Schalle das Geräusch ist, eine Vermengung von Wellen, die die mannigfaltigste Breite haben.)

Nach EULER's Voraussetzung entsteht eine Sonderung dieser verschiedenartigen Wellen, indem die schmalen Wellen in einem brechenden Medio mehr beschleunigt würden als die breiten.) "Um nicht über die Folgerungen hinauszugehen (fährt POISSON fort), die bis jetzt aus der Analyse abgeleitet werden können, muss man zugeben, dass es nicht bewiesen ist, dass die Breite der Lichtwellen gar keinen Einfluss auf ihre Geschwindigkeit in brechenden Mitteln haben könnte, wenn man annimmt, dass der Radius der Wirksamkeit der Kräfte, welche die Elasticität des Aethers hervorbringen, eine Grösse habe, die mit jener sehr geringen Breite verglichen werden könne; doch muss man zugleich sagen, dass die Berechnung dieses Einflusses ein schweres Problem sein würde, und dass es nicht leicht ist zu sagen, wie ein geschickter Physiker geglaubt hat, 1) was daraus für die ungleiche Brechung der Wellen von verschiedenen Breiten erfolgen würde."

§ 313.

Was die NEWTON'sche Lehre vom Lichte anlangt, so muss man sie mit allen Physikern, namentlich mit BIOT, der ihr Wesen so treffend auseinandergesetzt hat, für ein Meisterstück der Abstraktion aus Erfahrung halten, die Emanationstheorie dagegen nur für ein erdichtetes Hilfsmittel, die abstrahirten optischen Gesetze anschaulich zu machen, ohne den geringsten Anspruch darauf zu machen, dass diese anschauliche Erläuterung irgend dem wirklichen Lichtwesen entspräche. So betrachtet, wird die Emanationstheorie ihren Nutzen haben, ob sie gleich, da sie für die Lehre von der Inflexion und Interferenz nicht passt, ihrem Zwecke nicht ganz vollkommen entspricht. Verlangte man aber eine Hypothese für das Wesen des Lichts, durch welche die Lehre von dem Lichte in Einklang mit den von uns schon anderweit erkannten Naturkräften und Gesetzen kommen soll, und hält man das Beginnen, eine solche Hypothese zu suchen, überhaupt nicht für zu voreilig, so verdient die Wellentheorie des Lichts bei Weitem den Vorzug vor der Emanationstheorie.

1) FRESNEL, supplement a la Chimie de THOMSON, p. 86.

**MECHANIK**  
DER  
**MENSCHLICHEN GEHWERKZEUGE**

(Auszüge)

EINE  
anatomisch-physiologische Untersuchung

von den Brüdern

**Wilhelm Weber**  
Professor in Göttingen

und

**Eduard Weber**  
Prosector in Leipzig

## Einleitung.

### *Zweckmässige Einrichtung des menschlichen Körpers zur Fortbewegung in Vergleichung mit den Wagen.*

Wo es den Naturforschern gelungen ist, den Nutzen gewisser Theile des menschlichen oder thierischen Körpers zu erkennen, und die Weise zu ergründen, wie sie wirken, da haben sie sich auch überzeugt, dass von der bildenden Natur zur Erreichung ihrer Zwecke die geeignetsten Mittel angewendet worden sind. Durch die Betrachtung des menschlichen Auges kam EULER auf den Gedanken, es müsse möglich sein, achromatische (das Licht nicht zerstreue) Fernröhre zusammen zu setzen, und dadurch diesen optischen Instrumenten eine Vollkommenheit zu geben, welche NEWTON für unmöglich und der Natur des Lichts und der brechenden Körper widersprechend geglaubt hatte. DOLLOND brachte diese Nachahmung des menschlichen Auges im Fernrohre wirklich zu Stande. - Es ist nicht zu bezweifeln, dass eine recht genaue Erkenntniss des menschlichen und thierischen Körpers noch zu manchen anderen für die Wissenschaft wichtigen und für die Künste und Gewerbe nützlichen Entdeckungen führen könne. In vorzüglichem Grade lässt sich dieses erwarten von einer recht genauen Kenntniss des Mechanismus, durch welchen sich der Mensch und die Thiere fortbewegen. Denn gerade diese Thätigkeit ist eine der allerwichtigsten im ganzen Körper, und keinem anderen Zwecke sind so viele Organe und überhaupt ein so grosser Theil des Körpers gewidmet. Man überzeugt sich bei genauerer Untersuchung, dass die zweckmässigsten Hilfsmittel in Anwendung gebracht sind, um eine recht kraftvolle und geschwinde Bewegung mit dem geringsten Aufwande von Muskelkraft möglich zu machen, welche auch bei verschiedener Neigung und Beschaffenheit des Bodens ausgeführt und nach Umständen abgeändert werden kann, und dass alle diese Zwecke mit den einfachsten Werkzeugen erreicht sind. Daher wird denn auch dem Menschen das Gehen sehr leicht, so dass er es sogar länger fortzusetzen im Stande ist, als das Stehen. Die Glieder seines Körpers sind für diese Thätigkeit so vortheilhaft eingerichtet, dass er, nach Versuche, durch keinen anderen Gebrauch derselben, z. B. durch das Umdrehen einer Kurbel, gleich viel zu leisten vermag.

Lange Zeit hatte man gar keine Maschinen, welche sich durch ihre eigene Kraft auf dem Erdboden fortzubewegen und andere Körper fortzuschaffen vermocht hätten, sondern man bediente sich hierzu ausschließlich der Werkzeuge, welche die Natur zu diesem Behufe den Menschen und Thieren gegeben hat. Erst in der neuesten Zeit ist es dem menschlichen Erfindungsgeiste gelungen, Dampfwagen zu bauen, welche, ohne von Thieren fortgezogen zu werden, sich mit grosser Geschwindigkeit und Kraft fortbewegen. Aber auch von den Dampfwagen ist es bekannt, dass sie nur auf ebenem, festem und horizontalem, oder nahe horizontalem Wege (wie die Eisenbahnen) zu gebrauchen sind; dass beim Berganfahren dagegen die Hindernisse so sehr zunehmen, dass sie schon bei einer mässigen Neigung des Wegs von einem Dampfwagen schwer überwunden werden können. In weichem Boden wühlen sich die Räder ein, statt auf der Oberfläche hinzurollen. Die Thiere dagegen und vor allen der Mensch selbst, werden weder durch die Weichheit, noch durch die Unebenheit des

Bodens, selbst bei beträchtlicher Steilheit der auf- und abwärts steigenden Wege, gänzlich am Fortkommen gehindert. Bei keiner anderen Art der Fortbewegung einer Last auf der Erdoberfläche ist die nachtheilige Wirkung der Reibung und der Erschütterung mehr als beim Gehen und Laufen vermieden: bei keiner anderen kann die Richtung, in der die Bewegung

geschieht, so leicht abgeändert, bei keiner können die Werkzeuge den zu überwindenden mannichfaltigen Hindernissen so leicht angepasst werden, als bei dieser. Man darf daher mit Gewissheit erwarten, dass man, wenn man den Mechanismus des Gehens recht erkannt haben wird, daraus grossen Vortheil für die Erfindung neuer auf das Fortkommen berechneter Maschinen werde ziehen können, welche auch in unwegsamen Gegenden, wo das Fuhrwerk nicht zu gebrauchen ist, und wo sich der Mensch auf die Dienste der Kameele und anderer Thiere beschränken muss, ihren Zweck erfüllen werden. Lässt sich nachweisen, wie wir es thun zu können glauben, dass das Gehen und Laufen eine so mechanische und durch Berechnung voraus zu bestimmende Bewegung ist, dass es im Einzelnen gar keiner besonderen freien Willensäusserung bedarf, um die dabei wirksamen Werkzeuge in der nöthigen Ordnung nach einander in Bewegung zu setzen, so leuchtet die Möglichkeit einer zu. B. durch Dampf bewegten, auf zwei, vier, sechs oder mehreren Beinen gehenden Maschine von selbst ein. Wenn man daher Stützen erfindet, welche sich wie die menschlichen Beine verkürzen, und mit grosser Kraft wieder verlängern können, was z. B. der Fall sein würde, wenn sie wie Röhren gebildet wären, aus denen durch die Kraft des Dampfs eine Kolbenstange heraus geschoben würde, so darf man hoffen, einen solchen Zweck zu erreichen. Wir behaupten aber keineswegs, dass es schon jetzt an der Zeit sei, über die Ausführung solcher Maschinen, die sich durch ein künstliches Gehen fortbewegten, im Einzelnen nachzudenken; denn vor der Hand sind unsere Kenntnisse in dieser Hinsicht noch zu beschränkt. Aber schon die entfernte Hoffnung ist erfreulich, solche Maschinen zu erfinden und in so grossem Maassstabe auszuführen, dass weder Wüsten noch Flüsse ihre Fortbewegung hemmen. 1) In unseren Gegenden, wo es nicht an gebahnten Wegen fehlt, und also Räder sich fast immer brauchen lassen, würden solche Maschinen für sich allein keine Anwendung finden, da es thöricht sein würde, auf die grossen Vortheile, die das Rad bei guten Wegen zum Tragen der Last gewährt, Verzicht zu leisten. Dennoch lässt sich von einer Bindung gehender Maschinen mit Wegen ein guter Erfolg erwarten: Während unsere jetzigen Dampfwagen für sich allein zum Gebrauch auf steilen Wegen und Chausseen ohne Eisenbahnen wenig geeignet sind, könnten sie durch eine Verbindung mit einer zum Gehen dienenden Maschine diesem Zwecke angepasst werden. Es kann am Dampfwagen eine von oben und vorn nach unten und hinten gerichtete, knieförmige gestaltete Stange, die, oben am Wagen befestigt, von einem durch Dampfkraft in Bewegung gesetzten Kolben im Kniegelenk gestreckt, mit ihrem unteren Ende gegen den Boden gestemmt würde, angebracht werden, um den Wagen durch Stemmung fortzuschieben, ungefähr wie ein Mensch ihn fortschiebt. Es ist bekannt, dass die Schwierigkeit, welche die Anwendung der Dampfwagen auf Wegen ohne Eisenbahnen findet, in den allzu heftigen Erschütterungen liegt, die der Wegen bei einiger Belastung vom Erdboden aus erfährt, die so heftig sind, dass kein bekanntes Matgerial auf die Dauer Widerstand zu leisten vermag, und dass sie den Wagen nach wenigen Fahrten zerstören. Durch einen damit verbundenen Gehmechanismus könnte der Druck der Räder auf den Boden, und damit jene heftige Erschütterung, nach Belieben vermindert werden, bald weniger, bald mehr, nach Beschaffenheit des Bodens, auf dem man fährt.

1) Bis jetzt kannte man den Mechanismus des Gehens so wenig, dass unter den vielen, gehende oder laufende Menschen oder Thiere darstellenden Automaten kein einziger ist, bei welchem wirklich die Beine die Ursache der Bewegung sind.

## § 2.

*Die Mechanik der Gehwerkzeuge findet eine Anwendung bei der Abbildung gehender Menschen.*

Durch die genaue Bestimmung dessen, was beim Gehen und Laufen geschieht, namentlich durch die Messung der Neigung nach vorn, die der Rumpf bei dem mit verschiedener Geschwindigkeit Gehenden und Laufenden bald weniger, bald mehr annimmt, und durch die richtige Angabe der zusammen passenden Stellungen, in welche die Gliedmaassen in den verschiedenen Zeitmomenten eines Schritts gleichzeitig kommen, kann man den Künstlern zuverlässige Data an die Hand geben, die sie durch eigene Beobachtung nicht genau genug erhalten würden. Denn die Lagen der verschiedenen Theile des Körpers wechseln beim Gehen und Laufen zu schnell, als dass sie sich in einem einzelnen Augenblicke den Sinnen und dem Gedächtnisse vollständig einprägen könnten, und man bedarf zu ihrer Auffassung gewisser Instrumente und indirekter Methoden, die dem Künstler nicht zu Gebote stehen, und der Einsicht in die mechanischen Verhältnisse der Geschwindigkeit, der Beschleunigung und der Vertheilung der Bewegung auf die verschiedenen Glieder. Sind durch die Wissenschaft für das Gehen und Laufen diejenigen Lagen des Rumpfs und der einzelnen Gliedmaassen, welche bei diesen Bewegungen gleichzeitig eintreten, richtig voraus bestimmt, so wird die hiernach verfertigte Zeichnung auch auf den Laien einen Eindruck machen, der ihn bald von der Wahrheit überzeugt: denn es ist leichter, die richtige Lage des Rumpfs und der verschiedenen Glieder, wie sie der Zweck fordert, anzuerkennen, als sie aufzufinden. Es verhält sich hiermit, wie mit der Wissenschaft der Perspektive, die dem Künstler, zumal bei architektonischen Bildern, so hilfreich ist. Man sage nicht, dass das richtige Gefühl den Künstler schon hinreichend leite. Nicht einmal bei der Perspektive ist das überall der Fall. Denn wenn auch wirklich einige Künstler von seltener Fähigkeit die Wahrheit treffen, so ist es ja eben die Aufgabe der Wissenschaft, dasjenige zu lehren und durch Studium erreichbar zu machen, was ohnedem nur das Genie zu leisten vermöchte. Erhält man aber beim Gehen und Laufen gar keinen deutlichen Sinneneindruck von den Lagen des Rumpfs und der Glieder, welche gleichzeitig eintreten, weil sie zu schnell vorübergehen, so fehlt auch dem fähigsten Künstler dasjenige, wodurch er die wahren Verhältnisse, wie sie Statt finden, ohne Leitung der Wissenschaft, unmittelbar in der Natur auffassen könnte. Verschafft uns nun die Anwendung der Perspektive den Schein der Wahrheit bei bildlichen Darstellungen räumlicher Entfernungen und Stellungen der Körper, so kann auch die Anwendung der Lehre vom Gehen und Laufen der Schein der Wahrheit der abgebildeten Lebensbewegung in unsere Bilder bringen. Wie sehr drückt sich durch die verschiedenen Arten des Ganges ein verschiedener Charakter aus, sowohl durch die Geschwindigkeit, als auch durch die Leichtigkeit oder Gemessenheit und Schwerfälligkeit u.s.w. Vieles, was die Natur hier darbietet, ist von den Künstlern noch nicht hinreichend benutzt worden.

Wir hoffen, dass ausserdem die Künstler aus manchen anatomischen, in dieser Schrift enthaltenen Untersuchungen Nutzen ziehen werden. Will man den menschlichen Körper in seinen verschiedenen Stellungen richtig zeichnen lernen, so muss man die Lage der Drehungspunkte der Knochen kennen, um welche sich z. B. die verschiedenen Abtheilungen

der Arme und Beine drehen. Diese Axen fallen meistens nicht in die Gelenke selbst, sondern liegen theils oberhalb, theils unterhalb in der Nähe derselben. Wir haben die Lage dieser Axen zu bestimmen gesucht und konnten vermöge dieser Bestimmung die einfachsten Veränderungen, welche die Lage der Glieder beim Gehen erleidet, in schematischen Darstellungen abbilden. Die auf diesen Abbildungen angegebenen Punkte zeigen die Lage der Axen an. - Man hat ferner bis jetzt eine unrichtige Vorstellung von der Neigung des Beckens beim aufrecht stehenden Menschen gehabt. Es ist uns keine einzige Abbildung eines Skelets bekannt, wo beim Becken die richtige Stellung gegeben wäre. Man kann behaupten, dass die Zeichner den stehenden Menschen richtiger zeichneten, als die Anatomen das stehende Skelet, und die Zeichner mussten daher diesen von den Anatomen gemachten Fehler bei der Zeichnung von Akten wieder vergessen lernen. Die Ursache davon lag darin, dass es schwer ist, dem Rumpfe nach dem Tode die Stellung zu geben, die er beim lebenden, aufrecht stehenden Menschen hat. Es bedurfte hier sehr sorgfältiger Beobachtungen und Messungen, die erst in neuester Zeit angestellt und von uns fortgesetzt worden sind. Ein alter Irrthum, vermöge dessen man den einen Theil des Schambeins den horizontalen, den anderen den absteigenden nannte, während beide Theile beim aufrecht stehenden Menschen fast in gleichem Maasse geneigt sind, pflanzte sich durch die Sprache fort, wodurch die Ueberzeugung von der Richtigkeit jener Benennungen so befestigt wurde, dass niemand an derselben zweifelte, und so ist es gekommen, dass alle Skelete mit einem zu wenig geneigten Becken abgebildet worden sind, was wieder die Folge haben musste, dass die Krümmung der Wirbelsäule gleichfalls unrichtig dargestellt wurde. Um diese letztere naturgetreu abzubilden, haben wir den Rumpf, während die Knochen durch Muskeln und Bänder noch in ihrer natürlichen Lage erhalten wurden, in Gips eingegossen und dadurch bewirkt, dass alle Knochen diese ursprüngliche Lage unveränderlich beibehalten mussten. Wir haben die so eingegossene Wirbelsäule, sammt dem Gipsblocke, in dem sie eingeschlossen war, von oben bis unten in ihrer Mitte durchsägt und in eine rechte und linke Hälfte getheilt, und die eine Hälfte so benutzt, wie man einen Holzschnitt zu benutzen pflegt, um ihn abzudrucken. Man sieht einen solchen Abdruck Taf. VIII. Es versteht sich übrigens von selbst, dass diese Krümmung nicht bei allen Menschen die nämliche ist.

#### § 4.

*Eintheilung der Untersuchungen in Experimentaluntersuchungen und in theoretische. Es geht diesen Untersuchungen eine allgemein verständliche und übersichtliche Darstellung der Lehre von Gehen und Laufen voraus, und es folgt eine historische Zusammenstellung dessen, was Andere über diesen Gegenstand gelehrt haben.*

Das Gehen und Laufen der Menschen sind Bewegungen, die grösstentheils von ihrem freien Willen und von der durch denselben bestimmten Thätigkeit ihrer Muskeln abhängen. Dessen ungeachtet sagt uns doch unser Bewusstsein nicht, was wir thun, um zu gehen, und welche Aufeinanderfolge von Bewegungen in unserem Körper dabei Statt findet. Wir wissen nur, dass wir schneller oder langsamer, dahin oder dorthin gehen wollen, ohne uns unserer Geschwindigkeit selbst, oder des Gebrauchs unserer Glieder im Einzelnen hierbei bewusst zu werden. Noch viel weniger ist uns bekannt, welche Nerven und Muskeln wir in Thätigkeit setzen, wenn wir die Bewegung eines Gliedes beabsichtigen. Deshalb können wir das, was

beim Gehen und Laufen geschieht, nicht dadurch kennen lernen, dass wir uns das, was in unserem Bewusstsein liegt, bloß klar zu machen suchen; wir müssen uns vielmehr durch Beobachtungen und Versuche, die wir an uns und an Anderen machen, eine genaue Kenntniss vom Gehen und Laufen verschaffen. Diese eben sind in dem Theile enthalten, welcher die Experimentaluntersuchungen umfasst. Es giebt aber einen doppelten Weg, um zu dieser Prof.

Kenntniss zu gelangen:

Erstens, indem wir die zum Gehen bestimmte Maschine des Körpers recht genau anatomisch untersuchen, und ihre Wirkungsart durch Versuche, die wir an Todten anstellen, zu errathen uns bemühen; denn schon aus der Einrichtung einer Maschine kann man oft ihren Zweck und ihre Wirkungsart erkennen. Diese Untersuchung ist eine anatomisch-physikalische.

Zweitens, indem wir das, was beim Gehen selber sichtbar ist, genau beobachten, und hierzu mit lebenden Menschen Versuche anstellen, bei welchen wir die Aufeinanderfolge der Bewegung, durch welche das Gehen zu Stande kommt, erkennen; indem wir die Zeitdauer dieser verschiedenen Bewegungen mittelst einer Uhr bestimmen und endlich den zurückgelegten Raum mit Genauigkeit messen. Dieses ist eine physiologisch-physikalische Untersuchung, die um so mehr mit Sorgfalt ausgeführt zu werden verdient, weil sonst nur wenige Bewegungen im lebenden Menschen so sehr von äusseren Kräften abhängen, so gleichmässig geschehen und durch den Willen und andere Lebensthätigkeiten so wenig abgeändert werden, dass sie zu physikalischen Betrachtungen und zu genauen Messungen geeignet wären.

Ein anderer Theil unserer Arbeit ist derjenige, in welchem wir eine Theorie des Gehens aufstellen. Auf dem beschriebenen Wege der Erfahrungen werden wir nämlich auf bestimmte Ideen über den ursächlichen Zusammenhang geleitet, in welchem die von uns beobachteten Erscheinungen mit einander stehen, und wir gewinnen hierdurch das Fundament einer auf die Erfahrung gegründeten Erklärung der beim Gehen Statt findenden Bewegungen. Diese auf dem Wege der Erfahrung gewonnenen Ideen über den ursächlichen Zusammenhang sind einzeln zwar, wie die Grundideen aller Theorien, als Hypothesen zu betrachten. Indem wir dieselben aber kombiniren und aus ihnen vereint Folgerungen ziehen, die nach Zeit- und Raummaass mit der Erfahrung übereinstimmen, suchen wir jene anfangs hypothetisch aufgestellten Ideen zur Gewissheit zu bringen.

Da nun aber die Menge der an einander gereihten Specialuntersuchungen das Ganze unserer Arbeit und die Uebersicht von ihren Resultaten leicht aus dem Auge rücken würde, so halten wir es für nützlich, den beiden erwähnten Theilen unserer Arbeit eine allgemein fassliche Darstellung von allem, was auf die progressiven Bewegungen des Gehens und Laufens beim Menschen einflussreich ist, vorzuschicken, wovon die Beweise in den beiden darauf folgenden Theilen enthalten sind.

Zum Schlusse werden wir eine Uebersicht der Arbeiten Anderer folgen lassen, um sie mit der unserigen zu vergleichen.

## Erster Theil.

### Uebersichtliche Darstellung der Lehre vom Gehen und Laufen.

#### Allgemeine Betrachtingen über die Einrichtungen im menschlichen Körper, welche auf das Gehen und Laufen abzwecken.

##### § 5.

*Eintheilung des Körpers in den beim Gehen zu tragenden Theil und in die tragenden Stützen.*

Um genauer zu betrachten, wie die Theile unseres Körpers beim Gehen und Laufen wirken, wollen wir an demselben zwei Abtheilungen unterscheiden, nämlich: erstens, die Abtheilung, welche fortgetragen werden soll, den Rumpf, sammt dem Kopfe und den Armen; zweitens, die Abtheilung, welche aus den den Körper forttragenden Stützen, den beiden Beinen besteht. Sie sind beide auf Taf. I an einem Skelet abgebildet. Das hier vollständig abgebildete Skelet werden wir in der Folge häufig einfacher darstellen, wie es zur Auffassung einzelner Haupttheile seines Mechanismus angemessener erscheint. Wir werden nämlich diejenigen Theile des knöchernen Gerüsts, welche die Grundlage der menschlichen Gehmaschine ausmachen, im Schattenrisse darstellen; solche Theile dagegen, welche, wie die Wirbelbogen, die Rippen, Schulterblätter u.s.w., keine unmittelbar mit dem Gehmechanismus in Verbindung stehenden Wirkungen haben, weglassen. Die Wirbelsäule und die Enden vieler Knochen werden wir alsdann so zeichnen, als ob sie der Länge nach durchschnitten wären, weil man auf diese Weise eine weit richtigere Vorstellung von der Krümmung der Gelenkoberflächen, von der Lage der Gelenke und von ihren Drehungspunkten erhält.

##### § 6.

*Sehr bewegliche Verbindung des Rumpfs mit den Beinen.*

So wie man einen auf der Hand stehenden, vorwärts geneigten Stab balanciren kann, indem man die Hand mit einer angemessenen Geschwindigkeit in der nämlichen Richtung fortbewegt, in welcher der Stab zu fallen geneigt ist, so balanciert man den Rumpf beim

Gehen auf dem kugelförmigen oberen Ende des Schenkelknochens, indem man das Bein so fortbewegt, dass es den Rumpf fortwährend unterstützt. Nur wechseln die Beine hierbei mit einander ab, so dass, während das eine den balancirten Rumpf unterstützt, das andere an dem Rumpfe hängt und von ihm mit fortgetragen wird.

Die beiden Hauptabtheilungen des Körpers, die wir unterschieden haben, der Rumpf und die Beine, sind darum mit einander sehr beweglich verbunden. Der untere knöcherne Theil des Rumpfs, das Becken, hat nämlich an jeder Seite eine spiegelglatte, mit einer schlüpfrigen Flüssigkeit benetzte Vertiefung, die einen Theil einer Hohlkugel bildet, die sogenannte Pfanne (acetabulum). In diese glatten Höhlen des Beckens greifen die eben so glatten, kugelförmigen oberen Enden des knöchernen Gerüsts der beiden Beine, die Köpfe der beiden Schenkelbeine, ein. An dem in Taf. II in halber Grösse dargestellten Becken sieht man von vorne die abgesägten Enden beider Schenkelbeine in ihren Pfannen. Der vordere Theil des Beckens und der beiden Schenkelbeine ist durch einen senkrechten, durch beide Gelenke gehenden Schnitt weggenommen worden, so, dass man sehen kann, wie die Köpfe der Schenkelbeine in ihren Pfannen liegen. 1) Vermöge dieser Einrichtung, welche mit derjenigen Aehnlichkeit hat, die man in der Mechanik eine Nuss nennt, sind die Beine an dem Rumpfe und der Rumpf auf den Beinen so beweglich, dass es nicht leicht gelingt, dem Rumpfe eines Leichnams, bei welchem die Todtnerstarrung vorüber ist, auf den festgehaltenen Beinen eine solche senkrechte Stellung zu geben, dass er, ohne unterstützt zu werden, stehen bliebe; denn vermöge jener grossen Beweglichkeit fällt er hierbei sehr leicht zwar nicht nach hinten, aber nach vorn über. 2) Während des Lebens wird der Rumpf durch die Nachhülfe der Muskeln, oder der Bündel von Fleischfasern in Balance erhalten, welche vom Rumpfe zu den Beinen herüber gespannt sind und sich unserem Willen gemäss verkürzen und dadurch anspannen können. Diese Verbindung des Rumpfes mit den Beinen ist so beschaffen, dass sie in der Richtung von vorn nach hinten die grösste Annäherung des Beins an den Rumpf oder des Rumpfes an das Bein gestattet. Eine ausführliche anatomische Untersuchung über dieses Gelenk und über die an demselben vorkommenden Bänder findet man im zweiten Theile.

1) eine genauere Ansicht von der Gestalt des Schenkelkopfs und der Gelenkpfanne gewährt der Knochenabdruck des Hüftgelenks Taf. IX Fig. 2. Man sieht da nämlich den Schenkelkopf oder die sogenannte Kugel in ihrer Mitte von vorn nach hinten senkrecht durchsägt, und die Schnittfläche auf Papier abgedruckt. Man darf also hier nicht fürchten, dass die Krümmung beider Theile durch den Zeichner abgeändert worden wäre; denn die hier gegebene Figur ist der Abdruck des Gegenstands selbst. Man kann nämlich das durchsägte Knochenstück wie

einen Holzschnitt benutzen und abdrucken lassen. Dass hierbei von kleinen Unvollkommenheiten der Umrisse, die durch das Reissen der Säge entstehen, abzusehen ist, versteht sich von selbst.

2) Taf. XII Fig. 1 zeigt, umk wie viel der Rumpf und die Beine sich einander, durch Beugung im Hüftgelenk nach vorn, nähern, Fig. 2 um wie viel sie sich durch Streckung wieder von einander entfernen können. Man sieht daraus, dass beide einander nach hinten fast gar nicht genähert werden können, vielmehr ist der Rumpf so eingerichtet, dass er, wenn er gestreckt ist, nicht von den Muskeln gehalten zu werden braucht, damit er sich nicht weiter rückwärts neige, sondern durch Bänder in dieser Lage erhalten wird.

## § 7.

### *Die Beine können am Rumpfe wie Pendel hin und her schwingen.*

Steht der Körper mittelst des einen Beins auf einer erhabenen Unterlage, so kann das andere Bein vermöge der von uns erwähnten grossen Beweglichkeit wie ein Pendel hin und her schwingen. Dieses Schwingen eines Beins kann auch Statt finden, wenn man es, indem man mit dem anderen Beine auf ebenem Fussboden steht, um so viel beugt, dass es nicht aufstösst, wozu eine sehr geringe Beugung hinreicht. Man braucht bei dieser pendelartigen Bewegung die Muskeln nur sehr wenig in Thätigkeit zu setzen: es reicht hin, wenn man das Bein mittelst derselben nur von Zeit zu Zeit ein wenig accelerirt, und es übrigens der Bewegung überlässt, welche die Schwerkraft in ihm hervorbringt. Das Bein schwingt dann von selbst hin und zurück und zwar bei jedem Menschen in einer bestimmten Zeit, die nahe dieselbe bleibt, wie verschieden auch der Schwingungsbogen sei, welchen das Bein durchläuft. Die Dauer dieser Schwingungen hängt, wie die Schwingungsdauer eines Pendels, von der Länge des Beins und davon ab, wie die Masse desselben vertheilt ist: bei Menschen mit kurzen Beinen, z. B. bei Kindern, erfolgen jene Schwingungen geschwinder, bei Menschen mit langen Beinen dagegen langsamer: bei demselben Menschen ist aber die Zahl dieser Schwingungen in einer bestimmten Zeit, z. B. in einer Minute, immer die nämliche, wie oft und zu welchen Zeiten man auch die Versuche wiederholen mag, es mögen Jahre zwischen den ersten und letzten Versuchen verflossen sein, sobald sich nur nicht in dieser Zeit die Grösse der Beine, wie bei Kindern wegen des Wachstums verändert hat. Unsere Aufmerksamkeit wird für diese schwingende Bewegung nicht erfordert. Auch ändert sich die Zahl der Schwingungen in bestimmter Zeit nicht ab, wenn wir ermüden. Sogar beim Leichnam kann man diese schwingende Bewegung des Beins durch Anstossen des Beins hervorbringen, wenn die durch die Todtnerstarrung entstehende Steifheit vorüber ist, oder die starr gewordenen Muskeln durchschnitten worden sind. Zwar nimmt der Schwingungsbogen dabei sehr schnell ab; doch ändert der Grad der Steifheit, der dann noch in den Muskeln zurück bleibt, die Schwingungsdauer nur sehr wenig ab. Aus allen diesen Umständen erhellt, dass die gleichförmige Zeitdauer dieser Schwingungen durch die Kraft der Schwere von selbst herbeigeführt wird, ohne dass unser Wille dazu nöthig ist. Dieses ist eine sehr wichtige Eigenschaft der Beine, durch welche eine so grosse Regelmässigkeit der Aufeinanderfolge der Schritte möglich wird, dass sie unsere Bewunderung erregt, weil sie bei Kindern sowohl, als bei Erwachsenen, bei Menschen ohne ein feines Gefühl für Tempo und Takt eben so gut, als bei solchen, deren Taktsinn ausgebildet ist, Statt findet.

Man erkennt hieraus den grossen Nutzen einer von der Natur getroffenen Einrichtung, vermöge deren sich das hängende Bein in der Pfanne fast ohne alle Friktion drehen kann. Denn es würden jene Pendelschwingungen der Beine durch die Friktion sehr gehindert worden sein, wenn die Kugel mit dem ganzen Gewicht des Beins auf der Pfanne und ihrer Kapsel aufgelegt hätte. Dieses ist aber, wie im folgenden Theile gezeigt werden wird, nicht

der Fall; vielmehr wird der Schenkelkopf in der luftdicht schliessenden Pfanne durch den Druck der atmosphärischen Luft zukrückgehalten, oder, das Gewicht des Beins wird vom Drucke, den die atmosphärische Luft auf das Bein von unten nach oben ausübt, äquilibrirt. Das Bein wird also von derselben Kraft getragen, von welcher das Quecksilber in der Barometerröhre emporgehalten wird.

## § 8.

*Die Beine sind Stützen, welche sich beträchtlich verlängern und verkürzen können.*

Das Wichtigste in der Einrichtung der Beine selbst ist, dass sie sich im ZHickzack beugen und dadurch verkürzen, hierauf aber, indem die gebeugten Stellen wieder ausgestreckt werden, sich wieder verlängern können. Das knöcherne Gerüst des Beins ist Taf. XII Fig. 3 bei (18) in der grössten Streckung, bei (4) in der grössten Krümmung, die es bei der hier vorgestellten Gangart annimmt, dargestellt.

Man erkennt leicht, dass das Bein in den schematischen Figuren Fig. 4, 5 aus drei durch Gelenke verbundenen Hauptstücken, aus dem Oberschenkel ab, aus dem Unterschenkel bc und aus dem Fusse cd besteht, von welchen das letztere selbst wieder aus einer hinteren, in seinen Unterabtheilungen fast unbeweglichen Abtheilung ce, und aus einer vorderen, beweglichen Abtheilung, den Zehen, besteht. Jene hintere Abtheilung ce des Fusses hat die Gestalt eines aus mehreren, fast unbeweglichen Stücken bestehenden Knochenbogens, der den Fussboden beim Stehen nur ömit seinem vordersten und hintersten Ende berührt, hinter nämlich bei c mit der Ferse oder dem sogenannten Hacken, und vorn bei e mit den Enden der Mittelfussknochen oder dem sogenannten Ballen (dasselbe kann man auch an dem mehr ausgeführten Skelete Taf.I sehen).

Zur Verkürzung und Verlängerung des Beins dienen vorzugsweise zwei Gelenke, nämlich erstens das Gelenk b, welches der Oberschenkel mit dem Unterschenkel im Knie bildet. Hier ist die konvexe Seite nach vorn, die konkave Seite nach hinten gekehrt, und die in einander eingelenkten Abtheilungen des Beins können in der Regel nur in eine gerade Linie gebracht werden, nicht in eine solche Lage, dass ein vorn einspringender Winkel entstände. Das zweite Gelenk c ist dasjenige, welches der Unterschenkel mit dem Fusse macht. Bei ihm ist die konkave Seite nach vorn, die konvexe nach hinten gekehrt, seine Lage folglich der des ersteren entgegengesetzt. Dieses Gelenk unterscheidet sich von dem vorigen wesentlich noch dadurch, dass die beiden verbundenen Theile, der Unterschenkel und der Fuss, nicht einmal in eine gerade Linie gebracht werden können, in ihrer normalen oder natürlichen Lage abear nur einen rechten Winkel mit einander bilden. Zu diesen zshwei Gelenken, von denen die Verlängerung und Verkürzung des Beins beim Gehen vorzugsweise abhängt, kommt noch das dritte Gelenk e, welches von zwei Abtheilungen des Fusses gebildet wird, hinzu, nämlich das Gelenk, welches die Zehen mit dem übrigen Fusse machen. Beim Gehen und Laufen bildet die grosse Zehe mit dem übrigen Fusse bald eine gerade Linie, bald einen nach oben konkaven, nach unten konvexen Bogen. Wenn sich das im Knie und Fussgelenk gestreckte Bein eines als oa fu dem Ballen 1) stehenden Menschen beugt und dadurch verkürzt, so entsteht im Knie bei b ein Winkel, der nach und nach immer spitzer wird, und ebenso nimmt der Winkel bei c, zwischen dem Unterschenkel und dem Fusse, ab. Das Entgegengesetzte geschieht, wie leicht zu begreifen ist, wenn sich das gebogene Bein wieder streckt. Die grösste Verlängerung eines auf das äusserste verkürzt gewesenen Beins erkennt man aus Fig.

4. 5, welche diese beiden extremen Lagen naturgetreu darstellen, woraus man sieht, dass sie etwa  $\frac{9}{5}$  seiner Länge beträgt, d. i. dass die Länge des gestreckten Beins zu der des verkürzten sich wie 14:5 verhält. Eine so grosse Aenderung der Länge des Beins kommt aber beim Gehen und Laufen wirklich nie vor, und kann auch nicht vorkommen, wenigstens nicht in der Zeit, wo das Bein auf dem Boden aufsteht...

1) Man sagt gewöhnlich "auf den Zehen stehen" statt "auf dem Ballen stehen"

### § 9.

*Das Bein trägt, wenn es beim Gehen den Rumpf in schräger Richtung unterstützt, nicht bloss einen Theil seiner Last, wie eine feste Stütze, sondern seine ganze Last durch die Kraft, durch die es sich verlängert.*

Eine feste unbeugsame Stütze verhindert einen senkrecht auf ihr ruhenden Körper, Fig. 7, vermöge ihrer Steifigkeit am Herabsinken. Wird aber eine solche Stütze nicht senkrecht, sondern schief, wie in Fig. 8 untergesetzt, so trägt sie den Körper nur theilweise, oder hindert ihn, senkrecht herabzufallen, gestattet ihm aber, in einer Kreislinie nach der Seite, nach welcher sie geneigt ist, herabzufallen. Anders verhält es sich beim Beine. Denn das Bein unterstützt nicht nur den Rumpf, so lange es senkrecht unter ihm untergestemmt ist, wie in Fig. 3 (4), sondern es fährt auch noch einige Zeit lang fort, ihn ganz zu tragen und sein Herabsinken gänzlich zu verhindern, während es eine schiefe Lage einnimmt, weil es sich zu gleicher Zeit verlängert, z. B. während es aus der Lage Fig. 3 (5) in die Lage (17) übergeht: denn der oberste Punkt des Beins bleibt trotz der schief gewordenen Richtung des Beins in (17) eben so hoch über dem Erdboden als in (5), weil das Bein sich allmählig im Knie- und Fussgelenk streckt (wobei die Ferse vom Boden aufgehoben wird), während es eine immer mehr geneigte Lage annimmt. Jemehr diese Stütze des Rumpfs bei senkrechter Lage zusammengebogen wird, desto mehr verlängert sie sich nachher durch Ausstreckung, und desto länger kann sie den Körper verhindern, herabzusinken.

### § 10.

*Die Beine tragen den Rumpf beim Gehen nicht allein durch die Steifheit ihrer Knochen, sondern zum Theil auch durch Muskelkraft.*

Ein Wagen wird nicht immer von denselben Stützen getragen, sondern von sehr verschiedenen, die als Speichen zum Rade vereinigt sind, und die sich stetig in ihrem Dienste ablösen, indem immer andere zur vertikalen Lage, und also zur Wirksamkeit gelangen. Durch die Festigkeit dieser Stützen wird die Last des Wagens ganz und gar getragen, so lange der Weg horizontal ist. Die disponible bewegende Kraft braucht dann zum Tragen gar nicht mitzuwirken, sondern kann ausschliesslich zur Beschleunigung des Wagens in horizontaler Richtung verwendet werden. Ist freilich der Weg geneigt, so muss auch bei dem Wagen ein Theil der disponiblen Kraft zum Tragen eines Theils von seiner Last verwendet werden. Die Beine aber sind so eingerichtet, dass sie auch dann, wenn man auf horizontalem Wege geht, die Last des Körpers zum Theil durch Muskelkraft, welche die Verlängerung des unterstützenden Beins hervorbringt, halten müssen. Das Bein besteht zwar aus mehreren festen Stücken, die in vertikaler Lage so über einander gestellt werden können, dass sie bloss durch ihre Steifigkeit sich und den Rumpf tragen. Diese Theile sind aber so beweglich mit

einander verbunden, dass der geringste Anstoss sie aus dieser Lage zu bringen vermag; daher denn auch die Muskeln immer bereit und gespannt sein müssen, sie in jene Lage zurück zu führen. Beim Gehen und Laufen tritt aber dieser Fall, dass die Knochen genau in vertikaler Lage über einander ständen, selbst niemals ein, sondern wenn dabei das stützende Bein in die vertikale Lage kommt, so bilden seine Theile eine gebrochene Linie...

Steht aber der eine Theil, z. B. der Fuss, fest auf dem Boden auf, so bewegt sich in Folge jener Verkürzung nur der andere Theil, der Unterschenkel, und mit ihm der ganze übrige Körper. - Endlich gehen Muskelbündel von dem hinteren Theile des Fusses zum vorderen, den Zehen, über die beiden Theile verbindenden Gelenke sowohl auf ihrer oberen als unteren Fläche, die an sich nur den Winkel, den beide Theile mit einander bilden, verkleinern oder vergrössern, wenn aber die Zehen fest auf dem Boden aufliegen, und der hintere Theil des Fusses vom Boden sich erhebt oder wieder niedersinkt, den Schwerpunkt des ganzen Körpers so verrücken, dass er bei dieser Hebung und Senkung stets senkrecht über den Zehen bleibt.

Wir übergehen hier diejenigen Muskeln, welche über zwei Gelenke hinweggehen, und für das eine Gelenk Streckmuskeln, für das andere Beugemuskeln sind, da ihre Funktionen minder einfach sind und im zweiten Theile näher erörtert werden.

## Ueber das Gehen

*Beschreibung der Bewegung, welche ein Bein während zweier auf einander folgender Schritte macht.*

### § 12.

*Jedes Bein steht beim Gehen abwechselnd auf dem Boden und wird abwechselnd vom Rumpfe, an dem es hängt, getragen.*

Es ist bekannt, dass jedes der beiden Beine beim Gehen abwechselnd auf dem Boden steht, wo es als Stütze dienen und den Körper fortschieben kann, abwechselnd aber nicht aufsteht. Während des letzteren Zeitraums, wo es nicht aufsteht, hängt es am Rumpfe und wird von demselben fortgetragen, wobei seine zum Rumpfe hinaufgehenden Muskeln erschlaffen. Dieser Zeitraum nimmt seinen Anfang, indem das Bein hinter den Boden verlässt, und endet, indem dasselbe Bein, um den Körper zu stützen, vorn aufgesetzt wird. Der ganze Zeitraum, wo das Bein beide auf einander folgende Zustände durchläuft, um sie darauf von Neuem zu durchlaufen, ist der Zeitraum zweier auf einander folgender Schritte. Man kann also den Zeitraum von zwei Schritten in jene zwei Abschnitte theilen. Diese zwei Abschnitte sind aber beim Gehen einander nicht gleich, sondern, wenn beide Beine gleichmässig gebraucht werden, so ist der erste Abschnitt, in welchem das Bein aufsteht, länger als der zweite Abschnitt, in welchem es am Rumpfe hängt, und der Unterschied ist desto grösser, je

langsamer man geht. Je geschwinder man geht, desto mehr nähern sich beide Abschnitte der Gleichheit. Niemals aber kann beim Gehen der Zeitraum, wo das Bein aufsteht, kürzer werden als der andere, wo es vom Rumpfe getragen wird. Hierin liegt, wie wir in der Folge in der Lehre vom Laufen sehen werden, eine wesentliche Verschiedenheit des Gehens und des Laufens; denn beim Laufen kann der Zeitraum, wo das Bein aufsteht, niemals so lang werden, als der, wo es vom Rumpfe getragen wird. - Um die beiden Zeitabschnitte besser zu übersehen und die Stellungen zu bemerken, welche in ihnen ein und dasselbe Bein während zweier auf einander folgender Schritte annimmt, ist Fig. 3 das vereinfachte Skelet des rechten Beins in 28 auf einander folgenden Lagen abgebildet worden, und zwar so, dass sowohl das Bein als der Weg, den es zurückgelegt, 10 Mal verkleinert gezeichnet sind. Die erste Gruppe Fig. 3, (1) bis (18), stellt den Zeitraum dar, in welchem das rechte Bein aufsteht, (19) bis (28) zeigt den kürzeren Zeitraum, in welchem das rechte Bein am Rumpfe hängt und vor ihm fortgetragen wird. Beide Gruppen zusammen lassen erkennen, wie weit der Schenkelkopf und mit ihm der ganze durch eine Linie angedeutete Rumpf in der Zeit zweier Schritte vorrücken. Man sieht in diesen beiden Gruppen von Beinen, wie sich das Bein im ersteren Abschnitte sammt dem Rumpfe um sein unteres Ende (um den Ballen des Fusses), wie es sich dagegen im letzteren Abschnitte um sein oberes Ende (den Schenkelkopf) und der Rumpf dreht, und wie dadurch in jenem der Rumpf mit dem Schenkelkopfe dem Fusse voraneile, in letzterem dagegen der Fuss wieder den Rumpf sammt dem Schenkelkopfe einhole.

### § 13.

*Jedes Bein wirkt beim Gehen theils als eine tragende Stütze, theils als ein fortschiebendes Stemmwerkzeug.*

Bekanntlich kann man einen Kahn mittelst einer auf den Grund des Wassers, worauf er schwimmt, schief aufgesetzten Stange, welche man vom Kahne aus gegen den Grund stemmt, fortschieben. Dieses Stemmen beruht darauf, dass man die Linie, welche die schiefe Stange nebst dem Körper des sie regierenden Menschen zwischen dem Kahne und dem Grunde des Wassers bildet, zu verlängern sucht. Da der Grund, wenn er fest ist, nicht ausweichen kann, so wird der auf dem Wasser bewegliche Kahn auszuweichen genöthigt. Die nämliche Verrichtung, wie jene Stange, haben auch beim Gehen die Beine; aber es kommt bei ihnen noch eine andere Verreichtung hinzu. Der Kahn wird vom Wasser getragen, und die Stange nebst unserem Arme, der sie zu verlängern sucht, brauchen daher nicht das Sinken des Kahns zu verhindern. Der gehende Körper dagegen wird von den Beinen, durch die er fortgeschoben wird, zugleich getragen. Indessen dient ein Bein, während es zwischen Rumpf und Boden ausgestreckt wird, nicht in allen Momenten eines Schritts in gleichem Grade zu beiden Verrichtungen. So lange der Theil der Fusssohle, auf den das Bein sich stützt, wie in Fig. 10, (4) bis (6), nur senkrecht unter oder sogar vor dem Schenkelkopfe liegt, kann das Bein den Rumpf nicht vorwärts schieben: vielmehr würde das Bein, wenn es im letzteren Falle gestreckt würde, den Rumpf rückwärts schieben oder ihn in seiner Bewegung nach vorn anhalten, was man auch benutzt, wenn man stehen bleiben will. In dem Augenblicke, wo jener Theil der Fusssohle senkrecht unter dem Schenkelkopfe liegt, kann das Bein den Rumpf bloß tragen, aber noch nicht vorwärts schieben. Erst wenn der Rumpf noch weiter vorwärts rückt, und nun der Theil der Fusssohle, auf den das Bein sich stützt, wie in Fig. 10, (12) bis (14), hinter die durch den Schenkelkopf gehende Vertikallinie zu liegen kommt, trägt nicht

blos das Bein den Rumpf, sondern schiebt ihn zugleich vorwärts, indem es sich zwischen Rumpf und Boden stemmt, und zwar kann es desto mehr schieben, je weiter hinten jener Theil der Fusssohle liegt.

#### § 14.

*Das Bein ändert zweimal seine Gestalt, während es auf dem Boden aufsteht.*

Damit das Bein, so lange der Theil seines Fusses, mit dem es sich stützt, vor der Vertikalebene liegt, die man sich durch den Schenkelkopf gezogen denken kann, der Vorwärtsbewegung des Körpers nicht hinderlich werde, beugt es sich, und fängt erst dann an sich zu strecken, wenn der Rumpf so weit vorgerückt ist, dass jener Theil des Fusses hinter der Vertikalen des Schenkelkopfs liegt. Das Bein ändert also seine Gestalt, während es auf dem Boden aufsteht, zweimal. Es wird nämlich anfangs, nachdem es aufgesetzt worden ist, etwas gebogen und dadurch ein wenig verkürzt, wie man es am linken Beine, Fig. 10, (4) bis (7), bemerken kann; darauf aber wird es ausgestreckt und dadurch sehr verlängert, wie man es am linken Beine, Fig. 10, (8) bis (14) und (1) bis (3), sieht. Das Bein dreht sich nämlich um seinen unteren Endpunkt, sammt dem auf seinem oberen Ende balancirten Rumpfe, von hinten nach vorn und verkürzt sich etwas beim Anfang dieser Drehung, fängt aber bald an, sich wieder zu verlängern bis zum Ende seiner Drehung. In Fig. 11 sind die in voriger Figur dargestellten Gruppen zusammen gerückt worden, und man kann darin sehen, um wie viel der Gehende während eines einfachen Schritts sich fortbewegt. Um indessen die einzelnen Figuren besser unterscheiden zu können, sind (5), (6), (7) weggeleassen worden, die man am leichtesten ergänzen kann, weil in ihnen die Fussspitzen die Lage wie in (4) beibehalten.

#### § 15.

*Die Verlängerung des Beins beim Stemmen geschieht zuerst im Kniegelenke und hierauf im Fussgelenke.*

Betrachtet man in Fig. 3 das Bein von dem Augenblicke an, wo es sich zu strecken beginnt, d.h. von (5) an, so bemerkt man, dass der ganze Fuss eine Zeit lang auf dem Boden aufruht, während sich der Oberschnkel im Kniegelenke so dreht, dass der Winkel der Kniekehle immer stumpfer wird. Anfangs verlängert sich also das Bein durch eine Streckung des Kniegelenks. Später erhebt sich allmählich der Fuss hinten vom Boden, indem er sich um den Ballen und die Zehen dreht, und dabei wird der Winkel zwischen dem Fusse und Unterschenkel grösser, wodurch abermals eine beträchtliche Verlängerung des Beins hervorgebracht wird, die also in der Streckung des Fussgelenks ihre Ursache hat.

## § 16.

*Vor der Verlängerung des Beins beim Stemmen wickelt sich der Fuss mit einem Theile seiner Sohle oder mit der ganzen Fusssohle auf ähnliche Weise am Boden ab, wie ein auf dem Boden fortrollendes Rad.*

Durch die beschriebene Verkürzung und Verlängerung vermag ein einziges Bein (indem es den Rumpf ein Stück Weges forträgt, ohne ihn sinken zu lassen) einen grossen Theil eines Rads zu ersetzen, das einen Wagen immer gleichhoch fort trägt. Ausser dieser Wirksamkeit des ganzen Beins ist die Wirksamkeit des Fusses noch besonders zu erwähnen, der für sich allein wieder die Dienste eines kleinen Radsegments leistet, während der Unterschenkel und der Oberschenkel zusammen genommen wie die dazu gehörende Speiche sich verhalten. Denn so wie bei einem auf dem Boden fortrollenden Rade stets andere und andere Punkte seines Rings mit stets neuen Punkten des Bodens in Berührung kommen, so, dass es fortläuft, ohne dass eine Verschiebung oder ein Schleifen desselben am Boden Statt zu finden braucht, eben so findet dieses mit der Sohle des Fusses beim Gehen Statt. Auf dieselbe Weise, wie man von jenem Rade sagt, "es wickele sich dasselbe vom Boden ab", kann man daher auch vom Fusse sagen, "seine untere Fläche wickele sich beim Gehen vom Boden ab". Der abgewickelte Theil der Fusssohle erhebt sich aber nicht sogleich, wie der abgewickelte Theil des Rads, vom Boden, sondern hört bloß auf, sich gegen den Boden zu stemmen. Die Abwicklung der Fusssohle besteht daher bloß in einer successiven Versetzung der Stelle des Stemmens gegen den Boden von der Ferse zur Spitze. Beim Rade hat bekanntlich die Abwicklung den Nutzen, dass die Reibung vermieden wird, welche bei einer Verschiebung durch Schleifen entstehen würde. Ausser diesem Nutzen gewährt die Abwicklung der Fusssohle vom Boden beim Gehen noch den Vortheil, dass die Schritte um ein Beträchtliches vergrößert werden. Die Länge eines einfachen Schritts nennt man den Theil des Wegs von einem Fussstapfen zum nächst folgenden, oder den nach der Richtung des Wegs geschätzten Zwischenraum zwischen den beiden Punkten, in welchen die beiden Beine nach einander den Fussboden verlassen haben. Da der vordere Fuss mit der Ferse auf den Boden aufgesetzt wird, mit den Zehen aber den Boden zuletzt verlässt, nachdem er in der Zwischenzeit seiner ganzen Länge nach sich am Boden abgewickelt hat, so begreift man leicht, dass eben durch diese Abwicklung die Länge des Schritts vergrößert werde und zwar um die ganze Länge des Fusses. Die Abwicklung der Sohle dient uns daher als Mittel, grössere Schritte, folglich bei gleicher Geschwindigkeit des Gehens in gleicher Zeit weniger Schritte zu machen, was zur Bequemlichkeit des Gehens viel beiträgt. Wir würden dieses Mittel entbehren, wenn unsere Beine wie Stelzen gestaltet wären, die beim Aufsetzen und Aufheben den Boden immer mit derselben Spitze in demselben Punkte berührten, und keine Fläche zur Abwicklung darböten. - Nicht aber bei allen Gangarten wickelt sich die ganze Fusssohle am Boden ab. Wer auf den Zehen geht, lässt die Ferse, oder den hinteren Theil der Fusssohle, gar nicht mit dem Boden in Berührung kommen, sondern setzt das vordere Bein mit dem Ballen auf den Boden auf. Jener hintere Theil der Fusssohle wickelt sich daher gar nicht vom Boden ab, sondern bloß der vordere Theil, vom Ballen an gerechnet bis zur Zehenspitze.

## § 17.

*Aufeinanderfolge der Bewegungen des Beins während es am Rumpfe hängt und, durch seine*

*Schwere getrieben, von hinten nach vorn schwingt.*

Der zweite Abschnitt der Bewegungen, welche ein Bein während des Zeitraums zweier Schritte ausführt, ist der, wo es am Rumpfe hängt und sammt diesem vom anderen Beine fortgetragen wird. Es theilt während dieses Zeitabschnitts die Bewegungen des Rumpfs und hat ausserdem noch eine besondere Bewegung, indem es sich um sein oberes Ende dreht, und, durch seine eigene Schwere getrieben...

*Betrachtungen über die Kräfte, welche beim Gehen auf den Rumpf wirken.*

#### § 19.

*Der Rumpf verhält sich beim Gehen wie ein am unteren Ende unterstützter Stab, der vorwärts geneigt fortgetragen wird.*

Es ist unmöglich, einen genau senkrechten, auf dem Finger stehenden, balancirten Stab horizontal vor- oder rückwärts zu bewegen, ohne dass er fällt. Er muss nach derjenigen Seite geneigt sein, nach der er fortgetragen werden soll, weil es sonst an einer Kraft fehlen würde, durch die er sowohl in Bewegung gesetzt, als auch in dieser Bewegung bei vorhandenen äusseren Widerstände, z.B. der Luft, erhalten werden kann. Ist nun dieser äussere Widerstand bekannt, den der Stab erfährt, wenn er fortgetragen wird, so lässt sich aus der gegebenen Geschwindigkeit des Fingers die angemessene Neigung des Stabs, oder umgekehrt aus der gegebenen Neigung des Stabs die ihr angemessene Geschwindigkeit des Fingers berechnen. Wie ein solcher Stab, der auf dem Finger balancirt und fortgetragen wird, verhält sich der auf den Schenkelköpfen balancirte und fortgetragene Rumpf. Wie jener Stab auf dem Finger, so wird auch der Rumpf des menschlichen Körpers auf dem tragenden Schenkelköpfe in labilem Gleichgewicht erhalten. Die Bewegung der Schenkel beim Gehen muss daher, um den Rumpf nicht allen zu lassen, wie die Bewegung des Fingers beim Forttragen des Stabs, so eingerichtet werden, dass sich ihre Köpfe nach der Gegend, nach welcher das obere Ende des Rumpfs sich neigt, horizontal fortbewegen. Wir geben daher dem Rumpfe beim Gehen eine solche Neigung, dass sie der Fortbewegung der Schenkelköpfe angemessen ist, und umgekehrt, wenn wir eine gewisse Neigung des Körpers beibehalten wollen (welche einer bestimmten Geschwindigkeit entspricht), so messen wir die Bewegung der Beine so ab, dass die Schenkelköpfe mit der jener Neigung angemessenen Geschwindigkeit fortschreiten. Man geht geschwinder, wenn der Rumpf mehr, langsamer, wenn er weniger nach vorn geneigt ist; kurz, man passt die Neigung des Rumpfs und die Bewegung der Beine beim Gehen eines dem anderen so an, dass der Rumpf, während er fortgetragen wird, seiner beweglichen Stellung auf den Schenkelköpfen ungeachtet, von selbst im Gleichgewichte bleibt, und alle Muskelkraft, die sonst zur Herstellung und Erhaltung dieses Gleichgewichts erfordert werden würde, erspart, und kein Muskel um dieses Zwecks willen angestrengt oder in Spannung erhalten wird. Daher erkennt man denn auch sogleich aus der Richtung, nach welcher der Rumpf eines gehenden Menschen geneigt ist, die Richtung, in der er geht, und schätzt nach der Grösse der Neigung die Geschwindigkeit.

## § 20.

*Die Geschwindigkeit des Gangs lässt sich dadurch vergrössern, dass man die Schritte schneller auf einander folgen lässt und zugleich sie länger macht.*

Es ist interessant, dass sowohl die theoretische Betrachtung als auch die Versuche über den natürlichen Gang eine gleichzeitige Zunahme der Grösse der Schritte und ihrer Zahl in bestimmter Zeit ergeben haben. Je weniger Zeit ein Schritt kostet, desto grösser ist er. Auf den ersten Anblick würde man geneigt sein, das Entgegengesetzte zu vermuthen, dass ein Schritt um so mehr Zeit kosten werde, je länger er ist, was aber nicht der Fall ist.

## § 21.

*Kennzeichen und Bedingungen für das langsame und schnelle Gehen.*

Wir sind im Stande, mehrerlei Kennzeichen eines langsamen oder geschwinden Gangs aufzuzählen. Wir können sagen, beim geschwinden Gehen werde der Rumpf mehr geneigt, oder der Zeitraum, wo man auf beiden Beinen steht, sei sehr klein oder Null, oder die Schritte seien sehr gross, oder sie seien sehr geschwind. Keiner von diesen Umständen wird aber als die Ursache, sondern alle werden nur als die natürlichen Folgen des schnellen Gehens betrachtet. Fragt man nun nach der Ursache aller dieser verschiedenen Wirkungen, oder nach dem eigentlichen Hilfsmittel, welches wir anwenden, um unseren Gang zu beschleunigen, so sagen wir, die Grundbedingung eines langsamen oder schnellen Gangs liegt in der Höhe, in welcher man die beiden Schenkelköpfe über dem Fussboden hinträgt. Je höher die Schenkelköpfe über dem Fussboden getragen werden, desto langsamer, je tiefer, desto schneller geht man. Denn je höher oder je tiefer die Schenkelköpfe über dem Fussboden getragen werden, desto kleiner oder grösser sind die einzelnen Schritte, weil das Bein, welches beim Gehen auf dem Boden aufstehen soll, sich nur wenig von der vertikalen Lage entfernen kann, wenn sein oberes Ende (der Schenkelkopf) hoch liegt; dagegen, wenn letzteres tief liegt, sich weit entfernen kann. Mit dieser Entfernung hängt aber die Grösse der Schritte zusammen. Ferner je höher die Schenkelköpfe getragen werden, desto grösser ist die Dauer der einzelnen Schritte, je tiefer, desto kürzer ist ihre Dauer; denn je tiefer die Schenkelköpfe getragen werden, eine desto geneigtere Lage erhält das stemmende Bein, desto grösser ist die Beschleunigung des Körpers, desto weniger dürfen die Beine lange stehen bleiben, wenn sie durch ihre Schwere getrieben den Rumpf wieder einholen sollen, desto vertikaler ist die Stellung des Beins beim Auftreten, und kleiner der Zeitraum des Stützens auf beide Beine, desto weniger übertrifft endlich die Dauer eines Schritts die Hälfte der Dauer einer Schwingung des Beins. Kurz, unsere Theorie zu Folge, ergeben sich aus der Höhe, in welcher man den Schenkelkopf über dem Fussboden hinträgt, alle Unterschiede des langsamen und schnellen Gehens als nothwendige Folgen...

Wenn sie so gehen, wie es ihnen am bequemsten ist, so sieht man, dass Jeder, der eine andere Länge der Beine hat, dieselben in einem andern Tempo bewegt. Man kann zwar so, wie jedes andere Glied, auch die Beine durch die Kraft der Muskeln schneller, als wenn sie blos von ihrer Schwere getrieben werden, von hinten nach vorn bewegen, es wird aber dazu eine so bedeutende und ununterbrochen fortgesetzte Anstrengung der Muskeln erfordert, dass man ein solches unnatürliches Trippeln nicht lange fortsetzen kann.

## § 23.

*Es giebt zwei dem Menschen natürliche Gangarten: den gravitatischen Schritt, bei welchem der Rumpf sehr gerade und am höchsten über den Erdboden hingetragen wird, und den Eilschritt, bei welchem der Rumpf mehr geneigt und in geringerer Entfernung vom Boden (also auf gebogenen Beinen) getragen wird.*

Der Grund, auf dem diese Eintheilung der Gangarten beruht, ist folgender. In dem Augenblicke, wo das von hinten nach vorn schwingende Bein vor der Vertikalen seines Schenkelkopfs auf den Boden gesetzt wird, macht entweder das neu aufgesetzte oder das andere noch stehende Bein einen kleineren Winkel mit der Vertikalen. Es ist natürlich, dass dasjenige Bein, welches diesen kleineren Winkel macht, die Last des Körpers trägt, weil es diese Last mit gringerer Anstrengung tragen kann; wonach also im ersteren Falle das aufsetzende Bein das andere in dieser Funktion des Tragens gleich ablöst; im letzteren Falle dagegen das andere noch stehende Bein die Last des Körpers für's Erste zu tragen fortführt, das aufsetzende Bein dagegen für's Erste bloß den Boden berührt (ohne dagegen zu stemmen) und durch die Reibung am Boden seine horizontale Bewegung hemmt. Aus der Verschiedenheit dieses Umstands ergeben sich grosse Verschiedenheiten der Gangarten, bei denen sie Statt findet, und wir bezeichnen daher diese Gangarten mit besonderen Namen: dem gravitatischen Schritte und dem Eilschritte. Jener findet Statt, wenn das vorn aufsetzende Bein einen grössern Winkel, dieser, wenn dieses Bein einen kleineren Winkel mit der Vertikalen macht, als das andere hinten aufstehende Bein im nämlichen Augenblicke.

Obwohl der gravitatische Schritt nur selten gebraucht wird, so kann er doch von den Malern bei manchen Gelegenheiten mit Vortheil in der Darstellung benutzt werden. Um ihn daher genauer zu charakterisiren, bemerken wir, dass bei dieser Gangart nur sehr kleine Schritte möglich sind (die ungefähr nur der Länge des Fusses gleich kommen), - ferner, dass, weil der vordere Fuss beim Aufsetzen auf den Boden zuerst den Boden nur berühren, nicht aber gegen den Boden sich stemmen soll, man diese Berührung nahe an der Fussspitze mit den Zehen zu beginnen pflegt, - dass der Zeitraum, während dessen beide Beine auf dem Boden stehen, grösser ist, als der, wo nur ein Bein aufsteht, - dass vom schwingenden Beine fast die ganze Pendelschwingung vollendet wird, - dass endlich die Geschwindigkeit des Körpers während der Dauer eines Schritts sehr ungleich ist, dieselben Ungleichheiten aber bei den folgenden Schritten periodisch wiederkehren. Blinde und solche Menschen, die im Finstern gehen, bedienen sich dieses Gangs öfter, als Sehende, nicht allein wegen der Kleinigkeit der Schritte, sondern auch, weil der vorn aufsetzende Fuss weiter ausgestreckt und leise aufgesetzt wird, und daher tastet und das Terrain recognoscirt. Daher muss man auch Blinde, die man gehend zeichnen will, in dieser Gangart darstellen.

## § 24.

*Ueber die vertikalen Schwankungen des Körpers beim Gehen.*

Wären die Beine keiner solchen Verkürzung und Verlängerung fähig, wie wir an ihnen kennen gelernt haben, so leuchtete ein, dass der Schenkelkopf des aufstehenden Beins beim Fortrücken eine Kreislinie um den Fuss als Mittelpunkt beschreiben müsste und dass er in dieser Kreislinie zuerst ein Stück aufwärts und dann wieder ein Stück abwärts sich bewegen würde: der Rumpf würde folglich bei jedem Schritte beträchtlich auf- und abshwanken, und

diese Schwankungen müssten um so grösser sein, je grösser die Schritte selber sind. Da aber die Beine nicht von unveränderlicher Länge sind, sondern sich sehr beträchtlich verkürzen und verlängern lassen (worüber wir beim Gehen selbst angestellte Messungen im dritten Theile mittheilen werden), so geht daraus hervor, dass eine vollkommen horizontale Bewegung des Rumpfs dadurch möglich wird. Beobachten wir nun aber den Rumpf, oder einen gut gewählten und leicht zu erkennenden Punkt am Rumpfe, beim Gehen genau mit einem horizontal aufgestellten Fernrohre aus einiger Entfernung, indem wir an die Stelle des Fadenkreuzes ein Glasmikrometer setzen, so sehen wir, dass eine so vollkommen horizontale Bewegung des Rumpfs nicht Statt findet, sondern dass er in der That vertikale Schwankungen macht, die aber viel kleiner sind, als sie sein würden, wenn die Beine sich nicht verkürzen und verlängern könnten. Sie betragen nach unseren Messungen etwa 32 Millimeter. Und zwar sind sie nicht kleiner bei kleineren Schritten, grösser bei grösseren Schritten, sondern sie sind überhaupt wenig verschieden (unter sonst gleichen äusseren Verhältnissen) und im Gegentheile etwas grösser bei kleineren, kleiner bei grösseren Schritten. Kurz, man sieht aus der Beobachtung, dass sie aus einer ganz anderen Quelle als aus der Steifigkeit und Unausdehnbarkeit der Beine herrühren müssen.

Fragt man daher, woher diese kleinen, vertikalen Schwankungen des Rumpfs beim Gehen rühren und wozu sie dienen (da es scheint, dass man sie müsste ganz vermeiden und dadurch den Gang noch gleichförmiger und schöner machen können), so erwidern wir, sie rühren aus der Nothwendigkeit her, die wir beim Gehen empfinden, die Geschwindigkeit des Rumpfs zu mässigen, die bei derjenigen Wirksamkeit der Streckkraft, wie dieselbe sein muss, um den Rumpf immer in gleicher Höhe zu erhalten, leicht zu gross werden würde. Das einfachste Mittel, welches wir haben, um diese Geschwindigkeit zu mässigen, besteht darin, dass wir die Streckkraft des Beins von Zeit zu Zeit zu wirken aufhören lassen, wo denn der Körper in parabolischer Bahn etwas herabfallen wird. Damit der Körper aber nicht nach und nach immer tiefer alle, muss eine Zeit kommen, in der er wieder eben so viel gehoben wird. Zu keiner Zeit kann diese Hebung mit weniger Anstrengung bewirkt werden, als in dem Augenblicke, wo das eine Bein senkrecht steht. Das beobachtete geringe Fallen des Rumpfs bei jedem Schritte, sagen wir daher, finde unmittelbar vor dem Augenblicke Statt, wo ein Bein vertikal zu stehen kommt, das beobachtete Steigen des Körpers aber, in diesem Augenblicke selbst. Eine vollständigere Betrachtung über diese vertikalen Schwankungen des Rumpfs beim Gehen ist im dritten Theile enthalten.

Zugleich leisten aber diese Schwankungen noch einen besonderen Dienst, der beim Gehen von grosser Wichtigkeit ist, und den Gang des Menschen von den Einflüssen äusserer und zufälliger Umstände unabhängig macht. Wir haben nämlich in unserer Gewalt, den Körper bald längere bald kürzere Zeit fallen zu lassen, je nachdem äussere Kräfte auf uns wirken und die Wirkung unserer Streckkraft vermehren oder vermindern, und wir können dadurch bewirken, dass die Summe der Wirkungen, welche von der Streckkraft und von äusseren Kräften herrührt, die nämliche bleibt, auch wenn die letzteren veränderlich sind - wir können durch die Schwankungen des Körpers den Einfluss der äusseren Kräfte auf den Gang kompensiren. Es geht aus dieser Betrachtung unmittelbar hervor, dass wenn die Schwankungen des Rumpfs beim Gehen diesen Dienst wirklich leisten sollen, sie grösser sein müssen bei günstigem Winde, kleiner bei widrigem Winde, und wenn letzterer eine gewisse Stärke hat, ganz verschwinden müssen.

*Ueber die Drehung des Rumpfs beim Gehen*

Es ist fehlerhaft, wenn man zulässt, dass der Rumpf sich beim Gehen bald rechts bald links drehe. Die Ursache einer solchen Drehung kann eine doppelte sein, nämlich: erstens, weil das stemmende Bein nach seiner schrägen Richtung seitwärts am Becken drückt; zweitens, weil das hängende, schwingende Bein nach seiner schrägen Richtung am Becken seitwärts zieht. Die Natur hat dem Menschen sehr einfache und wirksame Mittel gegeben, beiden Ursachen entgegen zu wirken. Um nämlich zu verhüten, dass das stemmende Bein den Rumpf nicht drehe, können der gegen den Boden stemmende Fusspunkt, der gegen den Rumpf stemmende Schenkelkopf und der Schwerpunkt des Rumpfs leicht immer in einer dem Wege parallelen Vertikalebene erhalten werden, was auch wirklich geschieht. Es wird dadurch die Drehung des Rumpfs durch das stemmende Bein verhütet. Das schwingende Bein zieht aber alsdann an einem horizontalen Hebel, der dem ganzen Abstände der beiden Schenkelköpfe von einander gleich ist und dreht den Rumpf, so lange es noch nicht zur vertikalen Linie gelangt, oder über dieselbe hinaus gegangen ist. Die Drehung des Rumpfs aus dieser zweiten Ursache zu verhüten, hat uns die Natur in der gleichzeitigen Schwingung der Arme ein sehr einfaches und wirksames Mittel gegeben. Der rechte Arm braucht nämlich nur von vorn nach hinten zu schwingen, während das rechte Bein von hinten nach vorn schwingt, was wirklich geschieht, so wie umgekehrt der linke Arm von vorn nach hinten schwingt, wenn das linke Bein von hinten nach vorn schwingt. Schwingen nun beide Arme immer gleichzeitig, aber auf entgegengesetzten Seiten des Körpers nach entgegengesetzten Richtungen, so summiren sich ihre Wirkungen und sie können alsdann um so leichter (durch eine kleinere Schwingung) die Drehung des Rumpfs, welche das schwingende Bein hervorbringen würde, verhüten.

Mit Unrecht hat man in dieser Bewegung der Arme eine Aehnlichkeit mit den Bewegungen der Vorderbeine bei den Säugethieren finden wollen. Der von uns angegebene Nutzen leuchtet sehr ein, wenn man mit fest angeschlossenen, z. B. auf der Brust aufliegende Armen schnell zu gehen versucht; denn dann ist die Drehung schwer zu vermeiden.

**Ueber das Laufen***Allgemeine Betrachtungen über das Laufen.*

*Das Laufen unterscheidet sich vom Gehen dadurch, dass an die Stelle des Zeitraums beim Gehen, wo beide Beine auf dem Boden stehen, ein Zeitraum tritt, wo kein Bein den Boden berührt.*

Der Geschwindigkeit, die wir durch das Gehen erreichen können, ist durch den Mechanismus des Gehens selbst eine bestimmte Grenze gesetzt, theils weil der Raum, durch den wir uns bei jedem Schritte hindurchbewegen, von dem einen Beine überspannt werden muss, während

das andere senkrecht steht, - wodurch der Grösse der Schritte die halbe Spannweite der beiden Beine zur Grenze gesetzt ist - theils weil wir die Schritte nicht so oft wiederholen können, als es zu einem noch geschwinderen Fortkommen vortheilhaft sein würde, weil die Zahl der Schritte beim Gehen in einer gegebenen Zeit die doppelte Zahl der Pendelschwingungen, welche das Bein in derselben Zeit machen würde, nicht übersteigen kann, - wodurch der Dauer der Schritte die halbe Schwingungsdauer des Beins zur Grenze gesetzt ist. Das Laufen ist dagegen eine Methode der Bewegung, deren Geschwindigkeit nicht an jene dem Gehen gesetzte Grenze gebunden ist, sondern sowohl zahlreichere als grössere Schritte zu machen gestattet. Eine noch grössere Geschwindigkeit der Fortbewegung, als beim Gehen möglich ist, ist also der Hauptzweck des Laufens. Man kann jedoch auch so laufen, dass man sich dabei langsamer fortbewegt, als beim schnellen Gehen.

Diesen Hauptzweck des Laufens erreichen wir nun dadurch, dass wir den Körper bei jedem Schritt eine kurze Zeit hindurch in der Luft schweben lassen, indem wir ihm eine Wurfbewegung ertheilen. Während dieser Zeit hängen beide Beine am Rumpfe und fliegen mit ihm fort, und jeder Schritt kann also grösser werden, als die Spannweite der Beine beim Gehen gestattet. 1) Beim Laufen kann daher die Streckkraft stärker wirken, als beim Gehen, weil es willkürlich ist, wie weit der Körper fliege, bis ein Bein aufgesetzt wird. - Dass der Körper nebst den Beinen beim Laufen abwechselnd fliegt, bewirkt ferner, dass man auch mehr Schritte in gegebener Zeit macht, als beim Gehen. Bei beiden Bewegungsarten muss das Bein, das hinten den Boden verlässt, vorschwingen, so weit, dass es wenigstens senkrecht unter seinem Schenkelkopfe zur Unterstützung des Rumpfs wieder aufgesetzt werden kann. Beim schnellsten Gehen und beim Laufen schwingt das Bein wirklich so weit, aber nicht weiter. Macht das Bein diese halbe Schwingung blos getrieben von seiner eigenen Schwere, so braucht es dazu eine bestimmte Zeit, die die Grenze der Schrittdauer beim Gehen ist. Beim Laufen braucht nun zwar das Bein zu der nämlichen Bewegung auch die nämliche Zeit. Dennoch aber dauern die Schritte beim Laufen kürzere Zeit als beim Gehen, weil ein Theil der Schwingung, die das Bein zu machen hat, schon während des vorhergehenden Schritts ausgeführt wurde; denn beim Laufen fliegt der Mensch periodisch in der Luft und dabei führen beide Beine gleichzeitig einen Theil ihrer Schwingung aus, sowohl das Bein, welches am Ende des gegenwärtigen, als das andere, welches am Ende des nächstfolgenden Schritts aufgesetzt werden soll. Weil nun also dieses letztere Bein beim Beginn des nächstfolgenden Schritts schon einen Theil seiner Schwingungsbahn vollendet hat, und während der ganzen Dauer desselben zu schwingen fortfährt, so ist offenbar die Zeit seines Schwingens grösser, als die Zeit dieses Schritt, und die Schrittdauer ist daher beim Laufen stets kleiner, als beim Gehen und nie grösser, als die halbe Schwingungsdauer des Beins. Beim Gehen schwingen nemals beide Beine zu gleicher Zeit, vielmehr beginnt und endigt ein Bein seine Schwingung während des nämlichen Schritts, den es so eben macht, und stet während des nächsten, vom anderen Beine gemachten Schritts auf dem Fussboden auf. Ein jeder Schritt muss also beim Gehen wenigstens so lange dauern, dass das schreitende Bein seine Schwingung während desselben beginnen und bis zu dem erforderlichen Punkte, wo es wieder auftritt, ausführen kann. Beim langsamen Gehen muss jeder Schritt sogar noch länger dauern; denn hierbei giebt es während jedes Schrittes einen Zeitabschnitt, wo beide Beine auf dem Fussboden zugleich aufstehen, so dass ein Schritt so lange dauert, dass ein Bein während desselben nicht nur seine Schwingung macht, sondern auch noch einige Zeit auf dem Fussboden aufsteht.

Die Erfahrung hat das Gesagte vollkommen bestätigt. Die von uns beim Gehen und Laufen mit verschiedener Geschwindigkeit angestellten Messungen beweisen, dass man im Mittel

beim Laufen etwa noch einmal so grosse Schritte macht, als beim Gehen, und dass sich die Zahl der Schritte beim Gehen und Laufen für gleiche Zeit im Mittel etwa wie 2 zu 3 verhält, und dass man folglich in der nämlichen Zeit ungefähr einen 3 Mal so grossen Raum durch Laufen als durch Gehen zurücklegen kann. Die Geschwindigkeit, die der Mensch hierdurch erhält, ist sehr gross und kann 6-7 Meter in einer Sekunde betragen.

1) Die Kinder benutzen bei ihren Spielen diesen Zeitraum des Fliegens dazu, um einen in beiden Händen geschwungenen Reif oder eine Schnur zwischen den Füßen und dem Boden hindurch zu bewegen, und leisten es, wenn auch der Zeitraum, wo beide Beine ausser Berührung mit dem Boden sind, sehr klein ist. Beim Gehen wird dieses nicht gelingen, weil dabei niemals beide Beine den Fussboden zu gleicher Zeit verlassen, sondern im Gegentheile während einer gewissen Zeit beide Beine zugleich auf dem Fussboden aufstehen, so dass der Ring während dieser Zeit zwischen ihnen liegen, und bei seiner schnellen Drehung sehr leicht an das noch aufstehende hintere Bein anschlagen würde.

Fehlte es ihm nicht an Athem, um diesen geschwindesten Lauf lange genug fortzusetzen, so würde er eine geographische Meile etwa in 18 Minuten zurücklegen. - Durch das Gehen können wir die grösste Strecke Wegs in mässiger Zeit zurücklegen, weil wir es am längsten, ohne zu ermüden und ohne ausser Athem zu kommen, fortsetzen können; durch das Laufen dagegen können wir eine mässige Strecke Wegs in kürzester Zeit zurücklegen.

So wie beim Gehen, so kommen auch beim Laufen die Beine periodisch immer wieder in dieselbe Lage, und es folgen also auch hier gleich lange Zeiträume auf einander, in denen ein und dasselbe Bein die nämlichen Bewegungen immer wiederholt. Beim Gehen bestand jeder solcher Zeitraum aus zwei Schritten (aus einem Doppelschritt), wobei man unter Schritt die Zeit versteht, in welcher die beiden Beine nach einander in vertikale Stellung kommen. Auf gleiche Weise besteht beim Laufen jeder Zeitraum, nach welchem ein und dasselbe Bein immer wieder die nämlichen Bewegungen ausführt, aus zwei Sprüngen oder einem Doppelsprunge.

## § 27.

### *Eintheilung des Laufs in den Eillauf und Sprunglauf.*

Man muss abear wieder zwei Arten des Laufs unterscheiden, nämlich die eine, wo der Körper nur sehr wenig durch die springende Bewegung emporsteigt und fast in einer horizontalen Linie hinfliegt - man kann sie den Eillauf nennen -, und eine andere, wo der Körper bei jedem Sprunge viel höher geworfen wird - man kann sie den Sprunglauf nennen. Die letzte Art zu laufen ist aber für das geschwinde Fortkommen weniger vortheilhaft, weil, wenn auch dabei die Schritte eben so gross wie beim Eillauf sind, ihre Dauer doch grösser sein muss, weil der Körper längere Zeit braucht, um wieder herunterzufallen, in dieser Zeit aber kein Aufsetzen des Beins möglich ist, woraus zugleich hervorgeht, dass beim Sprunglaufe ein längerer Zeitraum ohne Beschleunigung des Körpers verfliesst, als beim Eillaufe. Man benutzt ihn daher nur, wenn man durch das Laufen den Körper weniger anzustrengen wünscht, - wenn man ferner sich die Möglichkeit vorbehalten will, den Körper sogleich, wenn es nöthig ist, in seiner Bewegung anzuhalten, und wenn man daher zu

vermeiden sucht, denselben in seiner Bewegung so sehr zu beschleunigen, als es beim Eillaufe der Fall ist, - endlich, wenn man beim Laufen bestimmte Stellen des Bodens mit dem Fusse zu berühren beabsichtigt, die aber zu weit von einander entfernt sind, um sie beim Gehen zu erreichen.

## Ueber den Eillauf.

### § 28.

*Die vertikale Bewegung des Rumpfs beim Eillaufe ist sehr klein.*

Es setzt in Verwunderung, wie wenig der Körper beim Eillaufe über den Erdboden abwechselnd sich erhebt und wieder senkt. Man kann diese vertikale Bewegung des Körpers messen, wenn man einen laufenden Menschen durch ein horizontal aufgestelltes Fernrohr aus der Entfernung beobachtet, und bemerkt, um wie viel ein am unteren Ende des Rumpfs angebrachtes Merkmal seine Lage gegen einen im Fernrohre befindlichen horizontalen Faden verändert. Wir haben gefunden, dass diese Veränderung nur 20 bis 30 Millimeter betrug (etwa  $\frac{3}{4}$  bis  $\frac{5}{4}$  Zoll). Dem kann auch nicht anders ein. Denn da die Dauer eines Schritts nach unseren Messungen bloß  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{3}$  Sekunde beträgt, da ferner der Körper von dieser Zeit höchstens  $\frac{1}{10}$  Sekunde in der Luft schwebt, und selbst von letzterer Zeit wieder nur etwa  $\frac{1}{15}$  Sekunde wirklich fällt, vorher aber noch steigt, so ergeben die Gesetze des freien Falls, dass der Fallraum für diese Zeit wirklich etwa nur 22 Millimeter beträgt. Man sieht hieraus, dass keineswegs etwa darin ein wesentlicher Unterschied zwischen dem Eillaufe und dem schnellen Gehen besteht, dass bei dem Gehen der Körper in eine geringere vertikale Schwankung gebracht würde; im Gegentheile ist die vertikale Schwankung beim Gehen, zumal wenn wenig Widerstand der Luft vorhanden ist, sogar grösser, als beim Laufen.

Da nun aber die Beine beim Laufen, um dem Körper eine Wurfbewegung zu ertheilen, mit einer viel grösseren Kraft gestreckt werden, als beim Gehen, und diese Kraft desto grösser sein kann, je mehr das Bein in dem Augenblicke, wo es den Körper senkrecht unterstützt, gebogen ist (weil es nämlich dann um ein desto grösseres Stück wieder gestreckt und deswegen der Rumpf länger von ihm beschleunigt werden kann), so befinden sich die Beine, während sie den Körper senkrecht unterstützen, beim Laufen in einer gebogeneren Lage, als beim Gehen, und folglich der Körper in einer geringeren Entfernung vom Fussboden. Es findet aber ausserdem der Unterschied zwischen dem Gehen und Laufen in Bezug auf die dabei Statt findenden vertikalen Bewegungen Statt, dass sich der Körper beim Gehen am höchsten erhebt, während er vom Beine senkrecht unterstützt wird, und während des grössten Theils des Schritts in dieser hohen Stellung bleibt; dass der Körper dagegen beim Laufen in

den Augenblicken, wo das Bein senkrecht aufgesetzt wird, sich am tiefsten befindet, und sich während des grössten Theils des Schritts allmählich immer höher erhebt...

### § 33.

*Beim Laufen kann man die Dauer der Schritte weniger, die Länge der Schritte dagegen mehr, als beim Gehen verändern.*

Beim Gehen sowohl, wie beim Laufen, zerfällt die Dauer eines Schritts in zwei Abschnitte, deren einer beim Gehen sowohl, wie beim Laufen, die Zeit umfasst, wo der Rumpf von einem Beine gestützt wird, der andere aber beim Gehen die Zeit umfasst, wo der Rumpf von beiden Beinen gestützt wird, beim Laufen dagegen die Zeit, wo der ganze Körper frei in der Luft fliegt. Diese beiden Zeitabschnitte, welche sich zur Schrittdauer ergänzen, nehmen beim

Gehen zugleich zu, und nehmen zugleich ab, so dass die Abnahme oder Zunahme der ganzen Schrittdauer der Summe der Abnahme oder Zunahme jener beiden Zeitabschnitte gleich ist; beim Laufen dagegen wächst der eine Zeitabschnitt, wenn der andere abnimmt, so dass die Abnahme oder Zunahme der ganzen Schrittdauer nur der Differenz der beiden Zeiträume gleicht, um welche der eine Zeitabschnitt kleiner, der andere grösser geworden ist. Beim Gehen nämlich wächst die Zeit, wo beide Beine stehen, mit dem Stücke, um welches das schwingende Bein die Vertikale überschreitet, ehe es auftritt (siehe § 22). Je weiter aber das Bein in seiner Schwingungsbahn sich bewegt, ehe es auftritt, desto länger schwingt es, desto länger ist auch der Zeitraum, wo bloss das andere Bein den Rumpf stützt; daher beide Zeiträume stets zusammen wachsen. - Beim Laufen dagegen ergänzen sich die ganze Schrittdauer und derjenige Abschnitt, in welchem der ganze Körper frei in der Luft fliegt, zu einer immer gleichen Grösse (zur Hälfte der Schwingungsdauer des frei pendulirenden Beins - siehe § 29). Nimmt also letzterer Abschnitt an Länge zu, so nimmt die ganze Schrittdauer ab, und um so mehr derjenige Theil der Schrittdauer, wo das eine Bein aufsteht, welcher die Differenz der kleiner gewordenen Schrittdauer und des grösser gewordenen Abschnitts ist.

### § 34.

*Beim Laufen kommen geringere Abweichungen vom normalen Laufe, als beim Gehen vom normalen Gange vor.*

Wir verstehen unter dem normalen Gange oder Laufe denjenigen, wo man mit der geringsten Muskelkraft den Zweck einer möglichst gleichmässigen, von der horizontalen Richtung wenig abweichenden Bewegung erreicht. Während des Gehens und Laufens kommen nun Zeitabschnitte vor, wo man durch die Muskelkräfte die normale Bewegung des Körpers etwas abändern kann, und dessen ungeachtet den Zweck des Gehens erreicht, nur mit etwas vermehrter Anstrengung. Eine solche Abänderung der Bewegung kann beim Laufen nie in der Zeit, wo der ganze Körper frei in der Luft fliegt, eintreten, und nur in sehr geringem Maasse in der Zeit, wo ein Bein aufsteht, weil die Wurfbewegung bestimmt ist, welche in

dieser Zeit dem Rumpfe durch die Streckkraft des Beins ertheilt werden muss. Beim Laufen findet sich daher keine Zeit, wo wir sehr willkürlich die Bewegung abändern könnten oder dürften. - Beim Gehen dagegen muss zwar in der Zeit, wo ein Bein aufsteht, die Streckkraft dieses einen Beins die Bedingung erfüllen, dass der Körper nicht falle, und seine Wirksamkeit ist dadurch in dieser Zeit in enge Grenzen eingeschlossen, und unserer Willkür ist daher in dieser Zeit auch beim Gehen wenig Raum gelassen; desto mehr ist dagegen unserer Willkür überlassen in der Zeit, wo beide Beine stehen, wo durch die Streckkraft beider Beine die Bedingung des Nichtfallens auf unzählige verschiedene Weisen sich erreichen lässt, wovon zwar nur eine mit der geringsten Muskelanstrengung verbunden ist, jedoch durch die anderen mit etwas gesteigerter Muskelkraft, der Zweck des Gehens auch erreicht wird...

## Ueber den Sprunglauf.

### § 35.

*Der Sprunglauf unterscheidet sich vom Eillaufe dadurch, dass er grössere Schritte, als beim Gehen möglich sind, langsam zu machen gestattet.*

Vom Eillaufe unterscheiden wir den Sprunglauf, den man bisweilen mit dem Eillaufe abwechseln lässt, um der Athemlosigkeit und der Heftigkeit des Herzschlags vorzubeugen, welche der schnelle Wechsel der Bewegung beim Eillaufe mit sich führt, ohne dabei aus der laufenden Bewegung zu kommen. Wir können ein schnelles Laufen keineswegs darum nicht lange fortsetzen, weil die damit verbundene Anstrengung zu gross würde, sondern gewöhnlich darum, weil wir den Athem verlieren oder der Herzschlag zu heftig wird. Beides hat seinen Grund in dem schnellen Wechsel der Bewegungen, welche die beiden Beine beim schnelleren Laufe machen müssen (etwa 4 Schritte in 1 Sekunde). Der Sprunglauf unterscheidet sich vom Eillaufe in der Dauer der Schritte, die viel grösser ist, als sie beim Eillaufe werden kann. Darum ist es vortheilhafter, um Athem zu schöpfen und den Herzschlag zu mässigen, aus dem Eillaufe in den Sprunglauf überzugehen, als etwa das Laufen selbst bloss in der Geschwindigkeit zu mässigen, weil auch dann noch der Wechsel der Bewegungen der beiden Beine fast ebenso schnell wie früher bleibt (über 3 Schritte in 1 Sekunde).

Ausserdem kann es Fälle geben, wo man grosse Schritte zu machen wünscht, aber keine grosse Eile hat, sondern lieber langsamer fortzukommen wünscht, wenn man sich dabei weniger anzustrengen braucht. Es kann ferner Fälle geben, wo man durch die Beschaffenheit des Wegs zu grossen Schritten genöthigt wird, wo es aber gefährlich sein würde, sie so schnell als im Eillaufe zu machen, weil dann wegen der grossen Geschwindigkeit des ganzen Körpers die Summe der lebendigen Kräfte so gross wäre, dass im Augenblicke der Gefahr sogleich keine Abhilfe getroffen werden könnte. So ist es zum Beispiel viel weniger gefährlich, sich im Sprunglaufe bergabwärts zu bewegen, als im Eillaufe.

### § 36.

*Beim Eillaufe stemmt man das Bein bei jedem Schritte das erste Mal, wo es in die vertikale Lage kommt, gegen den Fussboden; beim Sprunglaufe das zweite Mal, wo es in diese Lage kommt.*

Beim Laufen wird der Körper in die Höhe geworfen und fällt darauf, während beide Beine in der Luft schwingen, wieder herab. Um diese fallende Bewegung des ganzen Körpers aufzuheben und ihm eine neue Wurfbewegung aufwärts zu ertheilen, wird ein Bein am Ende der Fallzeit (welches in den Augenblick trifft, wo das Bein seine Schwingung halb vollendet hat und senkrecht hängt) senkrecht gegen den Boden gestemmt. Damit abear das Bein am Ende der Fallzeit senkrecht gegen den Boden gestemmt werden könne, ist es nicht nothwendig, dass vom Beginn seiner Schwingung seine halbe Schwingungsdauer verflossen sei, wo das Bein zum ersten Mal zur vertikalen Lage gelangt; sondern, da das schwingende Bein (wenn es in seiner Schwingung ungehindert fortfährt) mehrmals zur veartikalen Lage zurückkehrt, so kann das Bein das zweite Mal aufgesetzt werden, wo es zur vertikalen Lage gelangt (welches bei ungehemmter Schwingung der Fall sein würde, wenn es eine ganze Schwingung von hinten nach vorn und eine halbe zurück gemacht hat). Alsdann, sieht man leicht ein, müsste die Dauer der Schritte weit grösser sein, als beim Eillaufe, wo das Bein gleich das erste Mal, wo es zur vertikalen Lage gelangt, senkrecht gegen den Boden gestemmt wird. Dies ist das Mittel, wodurch der Hauptzweck des Sprunglaufs, nämlich eine grössere Schrittdauer, als beim Eillaufe möglich ist, erreicht wird. Mit dieser grösseren Schrittdauer ist ein längeres Schweben des Körpers in der Luft von selbst verbunden. Wir können daher vom Eillaufe und Sprunglaufe den Unterschied aussprechen, der Körper schwebe zwar bei beiden abwechselnd frei in der Luft, beim Eillaufe schwebe er aber kürzere Zeit, beim Sprunglaufe längere Zeit.

### § 37.

*Die Beine schwingen beim Sprunglaufe blos von hinten nach vorn und nicht wieder zurück. Nachdem das Bein seine ganze Schwingung von hinten nach vorn vollendet hat, wird es auf den Boden gesetzt und zum Stemmen gegen den Boden der Augenblick abgewartet, wo der sich fortbewegende Schenkelkopf senkrecht über dem aufgesetzten Fusse zu liegen kommt.*

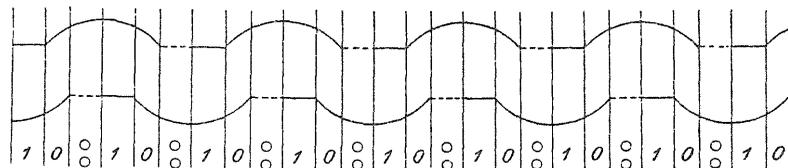
Zur vollständigen Kenntniss des Sprunglaufs ist zu bemerken nöthig, dass das Bein, nachdem es seine Schwingung von hinten nach vorn vollendet hat...

### § 39.

*Bewegungen der beiden Beine, welche während eines Schritts zugleich geschehen.*

Zur Uebersicht der Bewegung beider Beine und der Art, wie sie sich mit einander verbinden, wollen wir die Bewegung jedes Beins nach den drei Zeitabschnitten eines Doppelschritts darstellen, in welchen das Verhalten des Beins wesentlich verschieden ist. Den ersten Zeitabschnitt, wo das Bein stemmt, stellen wir durch eine gerade Linie dar, den zweiten, wo

das Bein schwingt, durch eine bogenförmige Linie, den dritten endlich, wo das Bein den Boden, ohne zu stemmen, bloß berührt, durch eine punktirte Linie. Diese Abbildungen der Bewegungen beider Beine stellen wir so untereinander, dass das Gleichzeitige vertikal untereinander liegt. Ziehen wir alsdann durch alle Anfangspunkte der drei bei beiden Beinen unterschiedenen Zeitabschnitte Vertikallinien, so sehen wir, dass dadurch der Zeitraum eines einfachen Schritts (wo die Stellungen des linken und des rechten Beins mit einander wechseln) ebenfalls in drei Abschnitte getheilt wird, nämlich in den ersten, wo ein Bein stemmt, das andere frei in der Luft schwingt (welchen wir mit 1 bezeichnet haben), in den zweiten, wo beide Beine frei in der Luft schwingen (welchen wir mit 0 bezeichnet haben), und in den dritten, wo das eine Bein frei in der Luft schwingt, das andere aber, ohne zu stemmen, den Boden berührt (welchen wir mit  $\circ$  bezeichnet haben).



Man sieht hier, dass der Zeitraum, wo ein Bein schwingt, grösser ist, als die Summe der beiden Zeiträume, wo es gegen den Boden stemmt, und wo es ohne zu stemmen den Boden berührt, - dass ferner diese beiden letzteren (gleichen) Zeiträume, wo das eine Bein zuerst den Boden bloß berührt, sodann stemmt, symmetrisch in die Mitte des längeren Zeitraums fallen, wo das andere Bein frei in der Luft schwingt.

#### § 40.

*Der Sprunglauf verhält sich zum Eillaufe, wie der gravitatische Schritt zum Eilschritte.*

Der wesentliche Unterschied zwischen dem gravitativen Schritte und dem Eilschritte bestand darin, dass das schwingende Bein beim gravitativen Schritte seine Schwingung fast vollendete, ehe es auf den Boden gesetzt wurde, und daher in diesem Augenblicke mit der Vertikalen einen noch grösseren Winkel machte, als das hintere Bein. Eben dadurch

unterscheidet sich der Sprunglauf vom Eillaufe, und zwar auf eine noch auffallendere Weise, weil beim Sprunglaufe das schwingende Bein seine Schwingung ganz vollendet, ehe es auf den Boden gesetzt wird, und daher in diesem Augenblicke mit der Vertikalen den grössten Winkel macht, den es machen kann; beim Eillaufe dagegen tritt das Bein stets senkrecht auf, wo also dieser Winkel Null ist. - Beim Sprunglaufe wird ferner, eben so wie beim gravitatischen Schritte, der Fuss eher mit dem Boden in Berührung gebracht, als er gegen den Boden stemmen soll, und man pflegt bei beiden den Boden zuerst mit einer Stelle des Fusses zu berühren, welche der Fussspitze näher liegt, als diejenige, die nachher stemmt. - Endlich ist die Schrittdauer beim Sprunglaufe grösser als beim Eillaufe, so wie sie beim gravitatischen Schritte grösser als beim Eilschritte ist.

## 6. Rezensionen und Ergänzungen von E.F.F. Chladni und den Gebrüdern Weber

*Einige Bemerkungen über die Wellenlehre von Ernst Heinrich Weber, Professor in Leipzig, und Wilhelm Weber in Halle. Von E.F.F. Chladni*

Da ich in dieser allgemeinen musikalischen Zeitung mehrmals einiges über Entdeckungen und Schriften, die Akustik und deren Anwendungen betreffend, gesagt habe, so würde ich glauben, mich nicht nur an dieser nützlichen Zeitschrift, sondern mehr noch an den Fortschritten der Wissenschaft zu versündigen, wenn ich ein Buch hier mit Stillschweigen übergeben wollte, das, so wie überhaupt für Physik, so auch insbesondere in Beziehung auf Akustik so viele durchaus auf Experimente gegründete neue Beiträge zu unseren Kenntnissen enthält.

Von dem Inhalte des Buches und von den darin vorgetragenen neuen Entdeckungen Vieles hier zu sagen, würde überflüssig sein, da die Herren Verfasser selbst in dieser allgemeinen musikalischen Zeitung bald Manches davon mittheilen, und auch von Vielem, was sie seit der Zeit entdeckt haben, Nachricht geben wollen.

Von allgemeinen Voraussetzungen ist hier zu erwähnen, dass die fortschreitende Schwingung oder eigentliche Wellenbewegung (wo die Welle bei ihrem Fortrücken immer von anderen Theilen des Körpers gebildet wird) von der stehenden Schwingung (wo immer dieselben Theile des Körpers diesseits und jenseits der ruhigen Lage sich bewegen) mit Recht genau unterschieden wird, auf welche Verschiedenheit man gewöhnlich nicht genug Rücksicht genommen hat. Die fortschreitende Schwingung oder Wellenbewegung kommt in der Natur am häufigsten vor, und die stehende Schwingung, welche gewöhnlich nur an tönenden Körpern betrachtet, aber von den Verfassern dieses Buches auch an tropfbaren Flüssigkeiten hervorgebracht und sichtbar gemacht worden ist, entsteht gewöhnlich auch aus anfänglichen fortschreitenden Wellenbewegungen, so dass man das, was in diesem Buche über diese Bildung der Schwingungsarten tönender Körper gesagt ist, als einen sehr guten Kommentar zu dem ansehen kann, was ich über diese Schwingungen in ihrem ausgebildeten Zustande gesagt hatte.

Was im ersten Haupttheile über die Wellen tropfbarer Flüssigkeiten gesagt ist, enthält sehr viel Neues und Interessantes in physikalischer Hinsicht, gehört jedoch nicht hierher, wohl aber die erste Abtheilung des zweiten Haupttheils worin die Wellen in Beziehung auf den Schall abgehandelt werden. Jeder Stoss wirkt auf den ganzen Körper und die Richtung desselben ist unabhängig von der, in welcher sich die Theilchen bewegen. Die unmittelbar durch den Stoss erregten Wellen werden primäre Wellen genannt (man könnte sie auch wohl Stosswellen nennen):

sie sind dasselbe, was von mir longitudinale Schwingung 1) und von SAVART tangentielle Schwingung genannt worden ist. Die andere Klasse von Schwingungen, welche von mir transversale Schwingungen genannt worden sind, werden sekundäre Wellen oder Beugungswellen genannt, weil sie zwar auch durch einen Stoss erregt werden können, aber ihre Fortschreitung durch eine andere Kraft (bei tropfbaren Flüssigkeiten durch die Schwerkraft, bei tönenden Körpern durch die Elasticität) geschieht. Bei den primären Wellen oder Stosswellen findet alle Mal eine abwechselnde Verdichtung und Verdünnung Statt, bei den sekundären oder Beugungswellen aber meistens nur eine Verschiebung der Theile.

Was die fortschreitenden sekundären oder Beugungswellen an fadenförmigen gespannten Körpern betrifft, so haben die Verfasser gezeigt, wie diese sich an einem langen gespannten Seile gut beobachten, und wie sich auch die Ausbildungen der verschiedenen Schwingungsarten einer Saite aus anfänglichen fortschreitenden Wellen daran sichtbar darstellen lassen.

Bei den stehenden sekundären oder transversalen Schwingungen fester Körper wird mit Recht bemerkt, dass, wenn die Breite der Welle kein aliquoter Theil des Körpers ist, keine stehende Schwingung, wenigstens keine vollkommene, entstehen kann. An Körpern, die durch innere Steifigkeit elastisch sind, ist, wenn die Enden frei sind, die Geschwindigkeit anders als an Saiten, weil die Enden beweglicher sind als die mittleren Theile, indem sie nur von der einen Seite festgehalten werden, welches der Grund ist, warum die Endstücke nur halb so lang sind, als die mittleren Stücke.

Was die Lehre von der primären fortgepflanzten Schwingung, oder den fortschreitenden Stosswellen in der Luft betrifft, so wird zwar von einem schwingenden Körper, wenn er auch stabförmig gestaltet ist, der Schall oder Stoss nach allen Richtungen gleich schnell fortgepflanzt, man sollte aber doch glauben, dass er in der Richtung der Schwingungen eine grössere Intensität haben müsste, als in der Querrichtung. Die Verfasser haben aber gefunden, dass er in der Querrichtung eben so stark hörbar ist, als in der Richtung der Schwingungen selbst, aber in einer diagonalen Richtung äusserst schwach, wobei sie über den Winkel der schwächsten Hörbarkeit genaue Messungen angestellt haben. Dieses finde ich nicht nur bei dem Halten an das Ohr bestätigt, sondern auch, wenn ich eine Bouteille oder ein Medicinglas so weit durch eingegossenes Wasser abstimme, bis die darin befindliche Luft bei dem Einflasen denselben Ton giebt, und sodann, nach SAVART's Methode, die Stimmgabel nahe an die Mündung halte, wo dann in der Richtung der Schwingungen sowohl als in der Querrichtung, der Ton beträchtlich verstärkt wird, in einer diagonalen Richtung aber wenig oder fast gar nicht, so dass man annehmen kann, dass in dieser Richtung fast gar keine Mittheilung der Bewegung an die umher befindliche Luft Statt finde. Eine merkwürdige Beobachtung der Verfasser ist auch die, dass eine Stimmgabel bei einer sehr schnellen Umdrehung gar keinen Ton nach aussen verbreitet.

Bei der Lehre von den stehenden Schwingungen in der Luft, wie in Orgelpfeifen und Blasinstrumenten, ist in den Figuren die Abweichung von der natürlichen Dichtigkeit, die Geschwindigkeit und die Richtung, in welcher die Lufttheilchen sich bewegen, wie auch die Richtung der Welle, welche wohl davon zu unterscheiden ist, auf eine sinnreiche Art ausgedrückt, und gewissermaassen bildlich dargestellt.

1) Meine Benennung: Longitudinalschwingung hat SAVART nicht dulden wollen, und die Benennung: tangentielle Schwingung vorgezogen. Auch haben die Herren Verfasser dieses Buches geäußert, dass bei der Verbreitung des Schalles in Körpern, die einen kubischen Raum einnehmen, beide Benennungen nicht recht passen, weil in solchen Körpern der Stoss nicht nur in longitudinaler oder tangentialer Richtung, sondern nach allen Richtungen verbreitet werde. Dagegen muss ich aber bemerken, dass auch bei einer solchen kugelförmigen Verbreitung des Schalles jeder Radius, oder jede lineare Strecke von dem Orte des Stosses aus, wie ich auch in meiner Akustik gesagt habe, ganz ebenso schwingt, wie ein longitudinal schwingender Stab, so dass also auch in

diesem Falle meine Benennung: Longitudinalschwingung nicht unrichtig ist.

Wenn in einer Röhre eine Welle vorwärts schreitet, wird sie nicht nur bei dem Anprallen an eine die Röhre verschliessende Ebene, sondern auch bei dem Heraustreten an einem offener Ende zurückgeworfen; im ersten Falle behält sie ihre Eigenschaften bei, im zweiten aber nimmt sie die entgegengesetzten Eigenschaften an, so dass aus einer verdichtenden Welle eine verdünnende wird, und so umgekehrt. Zur Hervorbringung der stehenden Schwingungen der Luft, deren Entstehung aus anfänglichen fortschreitenden Wellen richtig konstruirt wird, ist erforderlich, dass der in der Röhre enthaltenden Luft stösse ertheilt werden, welche Wellen erregen, deren Breite sich zur Länge der Röhre verhält, wenn beide Enden offen sind, wie 1 zu 1; 1/2 zu 1; 1/3 zu 1 u.s.w. und wenn sie an einem Ende verschlossen ist, wie 2 zu 1; wie 2/3 zu 1; wie 2/5 zu 1 u.s.w. (So müssen die Zahlen heissen, anstatt der Angabe in § 281 Z. 6 bis 8. Auch muss ich bemerken, dass in § 280 Z. 8 die Worte: oder dem Drittel, ausgelassen sind, und dass es in demselben Paragraph Z. 19 anstatt Fig. 190 heissen muss Fig. 191.) Ueber die Hervorbringung der stehenden Schwingung in der Luft vermittelt einer Zungenpfeife haben die Verfasser sehr viele merkwürdige Untersuchungen angestellt zur Beantwortung der Fragen GOTTFRIED WEBER's in seiner Theorie der Tonsetzkunst, in welchem Verhältnisse die Zunge oder die Luftsäule den Ton bestimme und ob bei Zungenpfeifen auch Schwingungsarten Statt finden, welche Flageolettöne geben, welches allerdings der Fall ist. Ausser den vorgetragenen Resultaten der Untersuchungen haben die Verfasser seitdem wieder durch neuerlich angestellte Versuche sehr Vieles entdeckt, wovon sie bald in dieser allgemeinen musikalischen Zeitung weitere Nachricht geben werden. Der Unterschied der Resonanz oder des Mittönens von dem Selbstönen wird ganz richtig auseinander gesetzt und Folgerungen daraus gezogen, wobei auch bemerkt wird, dass SAVART einige Resonanzfiguren, die sich auch sichtbar machen lassen, mit meinen Klangfiguren verwechselt hat, bei welcher Gelegenheit auch die Verschiedenheit beider Arten von Figuren richtig gezeigt wird. Zu dem, was hernach darüber gesagt ist, wie ein Gebäude beschaffen sein müsse, dass es sich zur Aufführung von Musikstücken (wie auch, um einen Redner oder Schauspieler überall deutlich zu hören) vorzüglich eigne, halte ich für gut, hier noch einige Bemerkungen hinzuzufügen. Es werden als Bedingungen angegeben: 1. die Zurückwerfung des Schalles müsse so vollkommen als möglich geschehen. (Hierbei muss ich bemerken, dass in einem nicht grossen Lokale keine Zurückwerfung nöthig sind, sondern es hinreicht, wenn man den Schall in gerader Richtung ohne Hinderniss zugeführt erhält, eben so, wie man auch in freier Luft einen Redner sowohl wie auch Musik blos durch die einfache Verbreitung des Schalles in einer geringen Entfernung deutlich hört. Bei einer beträchtlichen Grösse des Lokals reicht man aber damit nicht aus, es ist also eine Verstärkung durch Zurückwerfungen nöthig; diese dürfen aber schlechterdings nicht auf eine bemerkbare Weise von der entfernteren gegenüberstehenden Seite wieder rückwärts geschehen, weil man alsdann ein Echo oder einen alles undeutlich machenden langen Nachhall erhalten würde, worin manche Baukünstler sehr gefehlt haben, welches Uebel sich aber durch eine amphitheatralische Einrichtung der Sitze vermindern oder meiden lässt. Es können also nur Zurückwerfungen von den Seiten, von oben und von hinten nach den Zuhörern hin nützlich sein, von Wänden, die dem Orte der Erregung des Schalles so nahe sind, dass zwischen den gerade ausgehenden und den zurückgeworfenen Schallwellen kein bemerkbarer Zeitunterschied Statt findet.) 2. Dass Vorsprünge, Säulen, scharfe Ecken u.s.w. möglich vermieden werden. (Indessen kann es auch Fälle geben, wo durch solche Vorsprünge oder Vertiefungen ein zu langer Nachhall, der aus einer unvortheilhaften Gestalt des Lokals, etwa einer runden oder elliptischen, entstehen würde, verhütet werden kann.) 3. Dass die zurückgeworfenen Wellen so viel als möglich geradlinig bleiben (wozu besonders eine parabolische Gestalt oder divergirende Seitenwände nützlich sein könnten, weil diese die

Schallwellen parallel zurückwerfen).

Aus dem, was über die primären (longitudinalen) Schwingungen anderer Medien, als der luftförmigen, gesagt wird, ist zu bemerken, dass auch Wasser und andere Medien fähig sind, Stosswellen durch sich fortgehen zu lassen, und zwar weit schneller als durch die Luft (Wasser, nach LAPLACE ungefähr 7 Mal, und feste Körper, wie ich gezeigt habe, höchstens 17 Mal schneller). Wegen der kugelförmigen Verbreitung der Stosswellen in der Luft und in einem grossen Felsen, woran geklopft wird, hat SAVART (mit Unrecht, wie ich vorher bemerkt habe) meine Benennung: Longitudinalschwingungen verworfen, so wie auch deswegen, weil es ihm gelang, auch Schwingungen sichtbar zu machen, bei welchen die Theilchen des Körpers sich in Richtungen bewegten, welche zwischen der Länge und Quere des Körpers in der Mitte lagen. Es ist aber von den Verfassern ganz richtig gezeigt worden, dass SAVART hierin geirrt hat, indem meine Untersuchungen die Schwingungen selbsttönender Körper betreffen, die von SAVART aber theils Resonanzschwingungen, theils kleine Bewegungen, die von den tönenden Schwingungen zu unterscheiden sind. Die Verfasser stimmen übrigens eben so wenig als ich mit der Behauptung SAVART's überein, dass es nur eine einzige Art von Schwingungen gebe, die alle diejenigen in sich begreife, welche ich in longitudinale, transversale und drehende unterschieden habe, indem beide ersteren Klassen (primäre und sekundäre) wesentlich von einander verschieden sind. Was die drehenden Schwingungen betrifft, so habe ich selbst schon, weit früher als SAVART, in meiner Akustik § 133 und im Traite d'Acoustique § 98 und § 124 No. 3 gesagt, dass sie mit einer gewissen Art von Transversalschwingungen ein und dasselbe sind. In Ansehen der primären oder Längenschwingungen einer Saite fand sich ein Widerspruch S. 554 und 555 mit dem, was ich über diese gesagt hatte, welcher aber nun ausgeglichen ist, da ich ganz neuerlich Gelegenheit gehabt habe, die Experimente der Herren WEBER zu sehen und ihnen die meinigen zu zeigen. Sie haben nämlich eine Erhöhung des Tones anfangs um eine Quarte und weiterhin ungefähr um einen ganzen Ton gefunden, ich hatte aber behauptet, dass die Spannung nur sehr wenig Einfluss auf die Höhe und Tiefe des Tones habe. Das Endresultat ist, dass an einer sehr langen (über 31 Fuss langen) und sehr dicken Saite anfangs die Höhe allerdings bei einer äusserst geringen Spannung, wenn diese nur wenig vermehrt wird, beträchtlich zunimmt und zwar, wie es sich bei einem gemeinschaftlich angestellten Versuche zeigte, wohl um eine grosse Sexte, dass aber hernach bei einer stärkeren Spannung die Höhe nur sehr wenig, noch um keinen ganzen Ton zunimmt, wenn auch die spannende Kraft endlich wohl um das Zwanzigfache bis zum Zerreißen der Saite vermehrt wird, besonders bei kürzeren und dünneren auf ein Monochord oder auf ein dickes Bret zwischen zwei Stege gespannten Saiten, deren ich mich bedient habe, wo auch der Fall einer so beträchtlichen Erhöhung bei weniger Vermehrung einer so geringen spannenden Kraft gar nicht eintritt. Es ist also von beiden Theilen richtig experimentirt und in ihrer Art die richtige Folgerung daraus gezogen worden.

Noch muss ich bemerken, dass Herr WILHELM WEBER in den neuesten Stücken des SCHWEIGGER'schen Journals für Chemie die Untersuchungen SAVART's deutlich und in guter Ordnung vorgetragen hat, wobei auch manche mehr scheinbare, als wirkliche oder gegründete Widersprüche SAVART's gegen einiges von mir Gesagte erörtert und ausgeglichen sind.

# Ueber die Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge, nebst der Beschreibung eines Versuchs über das Herausfallen des Schenkelkopfes aus der Pfanne im luftverdünnten Raume. 1)

von

Wilhelm Weber in Göttingen und Eduard Weber in Leipzig

So wie man bei einem Mühlwerke, zum Beispiel bei einer Handmühle oder Wassermühle, aus der beobachteten und gemessenen Bewegung auf die Kräfte zurückschliessen kann, die der Arbeiter, oder das die Mühle treibende Wasser ausübt, eben so muss es auch gelingen, durch Beobachtung und Messung gewisser Bewegungen des menschlichen Körpers auf die Kräfte zurückzuschliessen, die zu ihrer Hervorbringung nothwendig waren, gleichgültig, woher diese Kräfte rühren, sei es von einem lebendigen Wesen, oder bedingt durch Naturgesetze. Es ist aber nicht möglich, alle Bewegungen des menschlichen Körpers auf diese Weise zu erforschen und dadurch zu einer vollständigen Mechanik aller Theile zu gelangen, sondern man muss nur diejenigen Bewegungen auswählen, deren Untersuchung übersehbar und nützlich werden kann, Bewegungen, die in einem einfachen Zusammenhange unter einander stehen und regelmässig fort dauern oder wiederkehren.

Solcher Bewegung giebt es aber im menschlichen Körper nicht blos eine, sondern mehrere, z. B. die regelmässigen und fortwährend sich wiederholenden Bewegungen des Athmens und die des Pumpwerks, wodurch das Blut fortbewegt wird, - des Herzens. Hierher gehört auch der Mechanismus der Gehwerkzeuge, wovon Jeder nicht nur den Zweck kennt, sondern auch weiss, wie regelmässig und wie lange die Bewegungen desselben fort dauern und sich wiederholen können. Die Mechanik der Arme ist in dieser Beziehung der Mechanik der Beine nicht zu vergleichen; denn man sieht zwar bei Handwerkern und Handlanagern Stunden lang den Mechanismus der Arme in regelmässiger Wirksamkeit; es giebt aber keine solche Wirksamkeit der Arme, die bei allen Menschen auf gleiche Weise Statt fände, und als einziger wahrer Zweck des ganzen Mechanismus betrachtet werden könnte.

1) Folgender Aufsatz ist der Auszug aus einem Vortrage, den Professor WILHELM WEBER bei Gelegenheit der Versammlung der deutschen Naturforscher in Jena hielt, indem er die eben erschienene Schrift vorlegte: "Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge, eine anatomisch-physiologische Untersuchung von den Brüdern WILHELM WEBER, Professor in Göttingen, und EDUARD WEBER, Prosektor in Leipzig; nebst einem Hefte mit 17 Tafeln anatomischer Abbildungen. Göttingen, bei Dietrich, 1836." - Der Inhalt dieser Schrift veranlasste Herrn ALEXANDER VON HUMBOLDT die Verfasser aufzufordern, über die darin nachgewiesene Aequilibrirung des am Rumpfe hängenden Beins durch den Druck der atmosphärischen Luft einen neuen Versuch zu machen, welcher zu einer Erklärung der grossen Ermüdung der Beine beim Gehen auf sehr hohen Bergen führte. Dieser Versuch wurde in Verlin wirklich angestellt, und soll zum Schlusse dieses Aufsatzes beschrieben werden.

Wir wollen in diesem Aufsätze zuerst die einfachsten Thatsachen vor die Augen führen, die uns besonders Veranlassung gegeben, die Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge einer mehr physikalischen Betrachtung zu unterwerfen, als bisher geschehen war. Sodann wollen wir in wenigen Sätzen auszusprechen versuchen, wie es uns gelungen ist, geleitet durch diese Thatsachen, eine physikalische Ansicht von dem ganzen Mechanismus der Gehwerkzeug zu begründen.

### *1. Thatsachen zur Begründung einer Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge*

Erste Thatsache. Beim schnellsten Gehen ist die Schrittdauer der halben Dauer einer Schwingung des nur von seiner Schwere getriebenen, als Pendel schwingenden Beins gleich.

Es ist ein einfacher physikalischer Versuch, den wir gemacht haben, von einem Leichname ein Bein abzuschneiden und durch die Mitte seines Schenkelkopfs eine Axe zu schlagen, um welche man das Bein wie ein Pendel schwingen lässt. Die Bewegungen des Beins sind unter diesen Verhältnissen von den eigenthümlichen Kräften, die sonst einem organischen Wesen zukommen, ganz unabhängig, und folgen, wie bei einem Pendel, nur den Gesetzen der Schwere. Misst man unter diesen Verhältnissen die Schwingungsdauer des Beins, und vergleicht diese rein physikalische Angabe mit der gemessenen Dauer der Schritte beim schnellsten Gehen (bei einem lebenden Menschen von gleicher Grösse wie jener Leichnam), so ergibt sich die oben angeführte merkwürdige Thatsache, dass die Schrittdauer der halben Dauer einer Schwingung gleich ist. 1) Wir haben diese Thatsache benutzt, um das Tempo der Schritte beim schnellsten Gehen bei verschiedenen Menschen vorauszusagen, wozu es hinreichte, die Schwingungsdauer ihrer Beine, während sie schlaff am Rumpfe hingen, nachdem sie angestossen worden waren, zu messen, und haben die Voraussage immer bestätigt gefunden. Diese Thatsache verhält sich gerade so, als ob die Annahme richtig sei, dass bei diesem schnellsten Gehen das Bein, nachdem es beim Gehen hinten vom Fussboden aufgehoben worden ist, so lange es, ohne den Boden zu berühren, vom übrigen Körper fortgetragen wird, wie ein Pendel, blos von seiner Schwere getrieben, schwinde, und bei jedem Schritte, nachdem es eine halbe Schwingung gemacht hat, in dem nämlichen Augenblicke auf den Boden gesetzt werde, wo das andere (hintere) Bein, vom Boden gehoben, zu schwingen beginnt. Nimmt man demnach an, dass das Bein, selbst beim schnellsten Gehen, sich wie ein Pendel verhalte, und, so lange es am übrigen Körper hängt und den Fussboden nicht berührt, nur durch die Schwerkraft, ohne Anstrengung der Muskeln, bewegt werde, so wird es um so mehr wahrscheinlich sein, dass das Bein auch bei langsamen Gehen sich ebenso verhalte, nur mit dem Unterschiede, dass das Bein dann bei jedem Schritte auch wohl mehr als eine halbe Pendelschwingung mache und auf den Fussboden früher niedergesetzt werde, als das andere (hintere) Bein von dem Fussboden erhoben wird.

Zweite Thatsache. Beim schnellsten Gehen ist die Schrittlänge halb so gross, wie die grösste Spannweite beider Beine (d. i. halb so gross, wie der Zwischenraum zwischen beiden Füßen, wenn das eine Bein möglichst weit nach vorne, das andere ebenso nach hinten ausgestreckt wird). Diese Thatsache verhält sich ganz so, wie wenn bei jedem Schritte des schnellsten

1) Eine Schwingung nennen wir die Bewegung, wodurch ein Pendel seinen Schwingungsbogen einmal

durchläuft.

Gehens ein Augenblick käme, wo das hintere Bein möglichst nach hinten, gleichzeitig aber das vordere Bein nicht eben so möglichst weit nach vorn ausgestreckt wäre, sondern vielmehr in diesem Augenblicke gerade senkrecht stände; denn alsdann ergibt sich von selbst, warum der Zwischenraum zwischen beiden Füßen, d. i. die Schrittlänge, beim schnellsten Gehen gerade halb so gross sei, wie wenn die beiden Beine gleichzeitig möglichst nach vorne und nach hinten gestreckt werden; denn im letzten Falle schliessen die beiden Beine mit dem Boden ein gleichschenkeliges Dreieck ein, dessen Grundlinie durch ein von dem gegenüberliegenden Winkel gefällttes Perpendikel halbirt wird.

Dritte Thatsache. Die Schenkelköpfe, von denen der obere Theil des Körpers getragen wird, bewegen sich auch beim schnellsten Gehen fast genau in horizontaler Bahn fort und tragen den Rumpf fast immer in gleicher Höhe über den Fussboden hin. Diese Thatsache verhält sich ganz so, als wenn die Kraft, mit welcher sich das stemmende Bein zu verlängern strebt, so gross wäre, dass, wenn sie nach dem Parallelogramme der Kräfte in horizontale und vertikale Seitenkräfte zerlegt wird, die letztere allein das Gewicht des Körpers gerade aufhübe oder trüge

Diese drei Thatsachen, und was sich daraus unmittelbar folgern lässt, enthalten gerade, was man zur Begründung einer Theorie nöthig braucht, nämlich die Principien, aus der Lage der Theile die Kräfte, von denen sie bewegt werden, zu berechnen, und die Kenntniss der Lage der Theile in einem bestimmten Augenblicke, der als Anfangspunkt betrachtet wird. Die erste und dritte Thatsache geben nämlich die Principien in die Hand, aus der Lage des schwebenden und stemmenden Beins die jenes Bein und den Rumpf horizontal beschleunigende Kraft zu berechnen; die zweite Thatsache dagegen lehrt die gleichzeitige Lage der beiden Beine für einen gegebenen Augenblick jedes Schritts kennen.

## *2. Kurzgefasster Ausspruch der vier Hauptsätze der auf obige Thatsachen begründeter Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge.*

Erster Satz. Die Bewegung der Schenkelköpfe - der dritten Thatsache gemäss - als horizontal vorausgesetzt, und die Richtung der Streckkraft, mit welcher das stemmende Bein sich zu verlängern strebt, durch die Lage des Beins dargestellt, kann man das Gesetz des Parallelogramms der Kräfte in Anwendung bringen und aus der Lage jenes Beins (weil die vertikale Seitenkraft das Gewicht des Körpers gerade aufheben muss) die horizontale Seitenkraft, d. i. die den Körper horizontal beschleunigende Kraft, oder den Gewinn an lebendiger Kraft (in physikalischem Sinne), den der Körper in jedem Augenblicke durch das stemmende Bein erhält, berechnen.

Zweiter Satz. Die anfängliche Lage der Beine (wie sie in dem Augenblicke Statt findet, wo das hintere Bein vom Boden aufgehoben wird, und folglich das vordere Bein - der zweiten Thatsache gemäss - senkrecht steht und den Körper allein trägt) vorausgesetzt, ist die Grösse des Schritts und die Elongationsweite des am Rumpfe hängenden, seine Schwingung beginnenden Beins gegeben, und es lässt sich das Pendelgesetz unmittelbar auf das schwingende Bein in Anwendung bringen, und die Zeit folgern, wie lange das Bein schwingen müsse, bis es aufgesetzt werde, oder die Zeit, in welcher der vom Beine, als einem vom Rumpfe fortgetragenen, schwingenden Pendel, zurückgelegte Weg einem

Doppelschritte gleich wird.

Dritter Satz. Die anfängliche Lage (in welcher, der zweiten Thatsache gemäss, das vordere Bein senkrecht stehen soll) als wiederkehrend mit jedem Schritte vorausgesetzt, ergibt sich die Bedingung, unter welcher allein das Gehen möglich ist, nämlich: jene Zeit, wo das Bein, blos von seiner Schwere getrieben, schwingt, bis zum Auftreten auf den Boden, darf nicht kleiner als eine halbe Schwingungsdauer des Beins sein (denn sonst würde das schwingende Bein gar nicht wieder bis zur senkrechten Lage gelangen und die anfängliche Lage beim folgenden Schritte nicht wiederkehren).

Vierter Satz. Da man den Aufwand oder Verlust an lebendiger Kraft (in physikalischem Sinn), der beim Gehen Statt findet, aus der Betrachtung des im Anfange des Schritts ruhenden, gegen Ende (vor dem Wiederauftreten) bewegten Beins kennen lernt (weil die lebendige Kraft, die dieses Bein zuletzt besitzt, durch dessen Auftreten auf den Boden verloren geht), so kann man die Bedingung des gleichmässigen Fortgangs angeben, welche darin besteht, dass dieser Verlust an lebendiger Kraft dem Gewinne an lebendiger Kraft durch das stemmende Bein, wie er im ersten Satze bestimmt worden ist, gleich sein müsse.

Hieraus ergeben sich die Gesetze des Gehens, welche sich näherungsweise in drei sehr einfache Gleichungen zwischen vier beim Gehen variablen Grössen zusammenfassen lassen. Diese vier beim Gehen variablen Grössen sind nämlich: 1. die Schrittlänge =  $p$ ; 2. die Schrittdauer =  $r$ ; 3. derjenige Theil der Schrittdauer, wo man auf einem Beine steht =  $t$ ; 4. die Höhe, in welcher der Rumpf über dem Fussboden hingetragen wird =  $h$ . Wenn eine dieser vier Grössen, z. B. die Schrittdauer, bekannt ist, so können die anderen, z. B. die Schrittlänge, daraus berechnet werden. Diese drei Gleichungen sind folgende:

$$h^2 + p^2 = l^2, \quad (1.)$$

$$\tau - t = \tau \cos \frac{t}{T} \pi, \quad (2.)$$

$$h \left( 1 + \frac{\tau}{T} \pi \right)^2 = a \tau^2, \quad (3.)$$

wo  $l$  die Länge des gestreckten Beins,

$T$  die Schwingungsdauer des Beins, als Pendel,

$a$  eine Konstante, die von dem Verhältniss des Gewichts der Beine zu dem des Rumpfes abhängt,

bezeichnen. Die Tabelle, welche hiernach für die verschiedenen Gangarten berechnet wurde, stimmt mit den bei verschieden schnellem Gehen angestellten Messungen der Schrittdauer und Schrittlänge sehr gut überein. Diese Tabelle ( $T = 0,7''$ ;  $l = 0,95$  m;  $a = 34,65$  angenommen) ist folgende:

$\tau$	$t$	$h$	$p$
0,350''	0,350''	0,642 m	0,700 m
0,414''	0,372''	0,727 m	0,611 m
0,422''	0,375''	0,736 m	0,600 m
0,432''	0,378''	0,749 m	0,585 m
0,446''	0,382''	0,765 m	0,564 m
0,465''	0,387''	0,786 m	0,533 m
0,494''	0,395''	0,817 m	0,484 m
0,542''	0,406''	0,864 m	0,395 m

In den zu dem oben genannten Werke gehörigen Abbildungen sind die verschiedenen Gangarten und die verschiedenen Stellungen des Rumpfes und der beiden Beine in den verschiedenen Augenblicken jedes Schritts nach Angabe der Theorie, ohne Zuziehung der Erfahrung konstruirt worden, und auch die Richtigkeit dieser Abbildungen hat sich bei allen Proben, denen sie unterworfen worden sind, bewährt.

*Beschreibung eines Versuchs über das Herausfallen des Schenkelkopfes aus der Beckenpfanne im luftverdünnten Raume.*

ALEXANDER VON HUMBOLDT machte in einem Vortrage, mit welchem er die in Jena versammelten Naturforscher in der öffentlichen Sitzung am 26. September erfreute, und in welchem er seine Besteigung des Chimborazo beschrieb, und mit der späteren des Herren BOUSSINGAULT verglich, unter anderem auf die seltsame Ermüdung aufmerksam, die in sehr hohen Regionen beim Gehen gefühlt wird, und bemerkte, dass sich dieses seltsame Phänomen, wie es scheine, aus der von uns in der Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge nachgewiesenen Aequilibrirung der Beine durch den atmosphärischen Luftdruck erklären lasse.

Wir haben nämlich in der angeführten Schrift durch direkte Versuche bewiesen, dass das Gewicht des Beins, wenn es am Rumpfe hängt, welches ungefähr 20 Pfund beträgt, weder an den Muskeln oder Bändern hänge, noch auch auf dem Pfannenrande ruhe, sondern von dem Drucke der Luft, mit welchem dieselbe beide Gelenkflächen zusammenpresst, getragen werde. Durch diese Aequilibrirung seines Gewichts erhält das Bein eine so vollkommene Drehbarkeit in seiner Pfanne, als zur Ausführung so geregelter Bewegungen, als das Gehen und Laufen sind, erforderlich ist. Wenn man sich nun denkt, dass der Luftdruck, unter welchem wir uns befinden, vermindert werde, so muss ein Punkt eintreten, wo derselbe der Schwere des Beins nicht mehr das Gleichgewicht halten kann. Es muss alsdann eine andere

Kraft, z. B. die der Muskeln, seine Stelle vertreten und das Bein tragen, weil sich sonst beide Gelenkflächen von einander entfernen würden. Es ist aber zu erwarten, dass, wenn das Bein auf eine solche minder vortheilhafte Weise getragen wird, welche nicht allein selbst Kraftaufwand verursacht, sondern auch, weil die angestregten Muskeln steif werden, die Bewegungen des Beins hemmt, Störungen und Unbequemlichkeiten beim Gehen eintreten werden, welche, wenn das Bein durch den Luftdruck äquilibrirt ist, nicht Statt finden.

Da nun in sehr hohen Regionen, wo sich der Luftdruck fast bis zur Hälfte vermindert, wirklich solche Unbequemlichkeiten, nämlich eine so grosse Ermüdung der Beine wahrgenommen wird, welche auf eine Störung des Gehmechanismus schliessen lässt, und welche nur so lange gefühlt wird, als man geht, beim Niedersetzen verschwindet, beim Weitergehen aber sogleich wieder eintritt, so forderte Herr VON HUMBOLDT uns auf, einen Versuch mit der Luftpumpe anzustellen, durch welchen das Herabsinken des Schenkelkopfes unter solchen Verhältnissen augenscheinlich gemacht würde, und zugleich entschieden werden könnte, ob der Grad der Luftverdünnung, welcher auf hohen Bergen Statt findet, ein solcher sei, dass der dadurch verminderte Luftdruck nicht mehr ausreiche, die Schwere des Beins zu tragen, und ob man dadurch berechtigt sei, jene Beschwerden von einer solchen Störung des Gehmechanismus abzuleiten. - Wir haben diesen Versuch bei unserer Anwesenheit in Berlin wirklich ausgeführt.

Ein frisches Becken, nebst Schenkelbeine, welches wir der Güte des Herrn Professor SCHLEMM verdankten, wurde durch das Kreuzbein halbirt, und die Beckenstücken sowohl, als die Schenkelbeine so beschnitten, dass man die Hüftgelenke mit Bequemlichkeit unter der Glocke einer Luftpumpe aufhängen konnte. Senkrecht über dem Hüftgelenke wurde ein Loch durch den Beckenknochen gebohrt, und durch dasselbe eine Schnur gezogen, um mittelst derselben das Hüftgelenk frei aufzuhängen. Ein zweites Loch wurde senkrecht unter dem Gelenke durch das Schenkelbein gebohrt, um daran ein Gewicht zu befestigen, welches das Gewicht des abgeschnittenen Beins verträte.

Nach dem einen Hüftgelenke wurde die Kapselmembran dicht am Schenkelbeine ringsum durchschnitten, so, dass sie nicht mehr beide Knochen unmittelbar mit einander verband. Die Anwesenden überzeugten sich, dass dieses wirklich vollständig geschehen war, und dennoch beide Gelenkflächen sich nicht allein noch vollkommen einander berührten, sondern auch (durch den Druck der Luft) fest zusammen gehalten wurden. Darauf wurde der Beckenknochen mittelst der oberen Schnur an einen Haken befestigt, der sich an der Decke der Luftpumpenglocke befand. Der Apparat hing dann von der Decke der Glocke frei herab, und schwebte hoch über dem Teller, auf welchen die Glocke gesetzt wurde. An das Schenkelbein wurde mittelst der unteren Schnur ein zwei Pfund schweres Gewicht gehängt. Die Höhe des zu unterst hängenden Gewichts über dem Teller wurde von den Professoren MÜLLER; MAGNUS und WEBER gemessen, und darauf die Luft aus der Glocke gezogen, bis ihr Druck bis auf drei Pariser Zoll Quecksilber vermindert worden war. Dabei wurde zwar das Blut aus den Gefässen der Knochen herausgetrieben, aber der Schenkelkopf nebst dem daran hängenden Gewichte erhielten sich unverändert in ihrer Lage: Kaum war aber der Druck unter drei Zoll Quecksilber gesunken, so senkte sich der Schenkelkopf allmählig, und zwar über einen halben Zoll herab, so weit, als es die Kapsel gestattete. Die Kapselmembran bildet nämlich um den Hals des Schenkelkopfes einen Ring, welcher enger ist, als der Umfang des Schenkelkopfes. Dieser Ring gestattet daher zwar das Herabsinken des Kopfes, er hindert ihn aber, ganz aus der Pfanne zu entweichen, h. i. er verhütet die Verrenkung des Hüftgelenks.

Nachdem der Schenkelkopf in Folge der Verdünnung der Luft acht Linien tief (so weit es der beschriebene Kapselring gestattete) herabgesunken war, liessen wir die Luft wieder in die Glocke treten. Sogleich erhob sich der herabgesunkene Schenkelkopf nebst dem angehängten Gewichte, und stieg sehr schnell und auf eine sehr sichtbare Weise scheinbar von selbst, in der That durch den Druck der in die Glocke, aber nicht in den Pfannenraum wieder eindringenden atmosphärischen Luft in die Höhe, bis er an die Decke desselben anstiess, oder zu seiner ursprünglichen Höhe zurückgekehrt war. Dieser Versuch wurde nun mehrmals hinter einander wiederholt angestellt, indem man blos die Luft abwechselnd aus der Glocke herausziehen und einströmen liess, stets mit demselben Erfolge.

Darauf wurde der Versuch wiederholt, nachdem der Kapselring quer durchschnitten und der Schenkelkopf sogar ganz aus der Pfanne herausgenommen, jedoch mit Gewalt wieder hineingedrückt worden war. Wirklich wurde dadurch die in den Pfannenraum eingedrungene Luft so weit wieder verdrängt, dass der Schenkelkopf durch den Druck der Luft von aussen wieder schwebend erhalten wurde. (Unsere früheren Versuche ergeben, dass das Hüftgelenk wie eine Luftpumpe betrachtet werden kann, aus welcher der Stempel durch sein Gewicht nicht herausfällt, auch wenn etwas Luft im schädlichen Raume zurückgeblieben ist. Diese Luft wird nämlich sogleich sehr verdünnt, sobald der Stempel im geringsten sinkt. Wir bohrten nämlich ein feines Loch durch die Pfannenwand und verschlossen es bald, bald öffneten wir es, dem Zwecke unserer Versuche gemäss, konnten aber nicht verhindern, dass etwas Luft auch nach dem Verschliessen im Loche zurückblieb, von wo sie sich wie aus dem schädlichen Raume in die Pumpe verbreiten konnte, ohne unsere Versuche dadurch wesentlich zu stören.) Bei Verminderung des Luftdrucks fiel diesmal der Schenkelkopf etwas früher und ganz heraus, während vorher bei unvermindertem Luftdrucke das Gewicht des Schenkels sammt dem angehängten Gewichte sicher getragen worden war.

Wir beabsichtigten, diese Versuche an dem anderen Hüftgelenke noch mehrfach abgeändert anzustellen. Es zeigte sich jedoch, dass beim Herausnehmen des Gelenks die incisura acetabuli zu sehr entblösst worden war, so dass die Luft das in derselben befindliche Fett und Zellgewebe in sie hineindrängte, wenn man das Schenkelbein ausserhalb der Glocke mit einem Gewichte beschwerte, so dass das Gewicht schon in freier Luft beide Gelenkflächen etwas von einander entfernte. Die Anwesenden überzeugten sich jedoch, dass die Gelenkflächen fest an einander schlossen und nur mit grossem Kraftaufwande von einander gerissen werden konnten, sobald man die Incisur mit dem Finger bedeckte, und dadurch den Druck der Luft von ihr abhielt.

Diese Versuche bestätigen nicht nur im Allgemeinen die Richtigkeit der von ALEXANDER VON HUMBOLDT geäusserten Vermuthung, sondern können insbesondere auch dazu dienen, die Hauptfrage zu entscheiden, ob die Verdünnung der Luft auf hohen Bergen schon hinreichte, diese Erscheinung hervorzubringen. Diese Versuche haben nämlich ergeben, dass etwa 2 1/2 Pfund (das Gewicht des abgeschnittenen Schenkelbeins und des daran hängenden 2 Pfund-Gewichtes), bei etwa 3 Zoll Barometerstand noch getragen, bei einer geringen Verminderung des Drucks schon nicht mehr getragen wurden. Rechnet man das Gewicht des ganzen Beins zu 20 Pfund, d. i. acht Mal grösser, so würde ein Druck von 24 Zoll Quecksilber hinreichen, das ganze Bein zu tragen. Sinkt also das Barometer auf hohen Bergen unter 24 Zoll herab, so dürfen beim Gehen die Muskeln des vom Boden aufgehobenen nach vorn schwingenden Beins nicht gänzlich erschlaffen, sondern müssen so gespannt bleiben, dass sie für jeden Zoll tieferen Barometerstand wenigstens 5/6 Pfund mehr

tragen. In Folge dieser ungewohnten fortdauernden Spannung werden die Muskeln nicht allein ermüden, sondern es wird auch, weil diese Anspannung im Widerstreit steht mit der vom Beine auszuführenden Schwingung, eine Unannehmlichkeit und Unbequemlichkeit für den Gang selbst daraus hervorgehen, die sich in der beschriebenen Empfindung von Müdigkeit kundzugeben scheint.

Es verdient noch bemerkt zu werden, dass beim freiwilligen Hinken, wo das Bein auch nicht mehr durch den Luftdruck in seiner Lage erhalten wird, sondern schon beim Beginnen des Uebels so weit aus der Pfanne herabsinkt, als die Kapselmembran gestattet, gleichfalls eine baldige und grosse Ermüdung beim Gehen wahrgenommen wird, welche oft, nächst der Verlängerung des Beins, fast das einzige Merkmal ist, wodurch das beginnende Uebel sich äusserlich kund giebt.

## 7. Die Gebrüder Weber und ihr Anteil an der Gründung der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig (ab 1919 Sächsische Akademie)

Die Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig ist nach Berlin, Göttingen und München die vierte in der Reihe der deutschen Akademien. Schon 1704 hatte Leibnitz die Gründung einer Akademie in Sachsen für Dresden vorgesehen und einen fertigen Plan vorgelegt. An seinen Bemühungen beteiligte sich auch der Mathematiker und Physiker Tschirnhaus. Das Vorhaben hat sich nicht verwirklicht. Als mit der Aufklärung Leipzig Mittelpunkt des Buch-, Druck- und Verlagswesens und der Messe wurde, bemühte sich Gottsched zwischen 1730 und 1750 unter dem Aspekt der deutschen Sprache und Literatur um eine Akademie. 1788 wollten zwei Magister der Leipziger Theologischen Fakultät namens Höpfner und Kühnöl eine Gesellschaft der Wissenschaften an der Universität errichten. Sie scheiterte am Veto von namhaften Mitgliedern der Fürstlichen Jablonowskischen Gesellschaft, die seit 1774 in Leipzig bestand.

Mit der sächsischen Staatsreform von 1830 und der mit ihr verbundenen Umgestaltung der Universität wurde der Weg frei für die Gründung der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften. Geisteswissenschaftler: Klassische Philologen, Archäologen, Orientalisten, Juristen, Historiker und Germanisten, neben ihnen jüngere Naturwissenschaftler beginnen in dürftig eingerichteten Instituten ihre Fächer: Astronomie, Mathematik, Physik, Chemie, Botanik, Zoologie neu zu durchdenken.

Der Astronom August Ferdinand Möbius erneuert zwischen 1818 und 1821 die Sternwarte auf der Pleißenburg, lehrt daneben auch Mathematik und kommt mit einem bedeutenden Werk zur analytischen Geometrie heraus. Moritz Wilhelm Drobisch wird 1826, vierundzwanzigjährig, ordentlicher Professor für Mathematik. Die Physiker Gustav Theodor Fechner und Wilhelm Weber beginnen mit ihren Forschungen zwischen 1820 und 1825, ihre Laufbahn verläuft unterschiedlich; Wilhelm Weber - der einzige in dieser Reihe, der erst ab 1843 nach Leipzig gehört - treibt reine Physik, Fechner wechselt später zur Philosophie über. Chemie ist nicht länger nur eine Hilfswissenschaft der Medizin; nachdem Otto Linne Erdmann einige Jahre in der chemischen Praxis tätig war, erhält er 1830 den neu begründeten Lehrstuhl für technische Chemie, Carl Gotthelf Lehmann bleibt als physiologischer Chemiker noch in der medizinischen Fakultät. Der Botaniker Gustav Kunze, der Zoologe Eduard Pöppig und der Mineraloge Carl Friedrich Naumann vertreten nach der Aufteilung der naturgeschichtlichen Professur Schwägrichens ab 1835 als erste in Leipzig die genannten drei Fächer; zwischen 1822 und 1832 hatte Pöppig als Forschungsreisender Kuba, Peru, Chile und Brasilien durchquert. 1821 wird Ernst Heinrich Weber Professor für Anatomie, er erarbeitet mit seinem Bruder Wilhelm, damals noch Gymnasiast, die Wellenlehre - sie erscheint 1825, ein Jahr vor Wilhelms Studienabschluß in Halle - und wendet sie 1823 auf den Kreislauf des Blutes an; er erweitert, außergewöhnlich für seine Zeit, die Anatomie durch die Physiologie, die er ab 1840 auch offiziell lehrt.

Die Namen der Naturwissenschaftler wären fortzusetzen. Die uns wichtigen wurden angeführt: Es sind neben den Geisteswissenschaftlern Gottfried Hermann, Anton Westermann, Gustav Seyffarth, Wilhelm Adolf Becker, Heinrich Leberecht Fleischer, Hermann Brockhaus, Gustav Hänel, Wilhelm Wachsmuth, August Hasse und Moritz Haupt die Mitglieder des Gründungsvereins vom 3. April 1845, der sich ernsthaft um eine Sächsische Gesellschaft der Wissenschaften bemüht.

Die Universität Leipzig entfaltet in der Zeit nach 1830 alle ihr zu Gebote stehenden Möglichkeiten. Wilhelm Wundt erwähnt 1919 in seiner Geschichte der Universität beispielhaft für diese Jahre: Die Brüder Weber - wobei er den jüngsten, Eduard Friedrich, einbezieht -, die als erste in Deutschland in der Physiologie nach dem Vorbild der Physik

experimentieren; die psychophysikalischen Erkenntnisse Fechners, aus denen sich die neue Wissenschaft der Psychologie ergibt; Drobisch, Mathematiker und Philosoph, den Vertreter Herbarts.

Es fällt dem Gründungsverein nicht leicht, die Fronten zu scheiden: für die Gesellschaft "eine von der Universität unabhängige Stellung zu erhalten", und die Möglichkeiten nicht zu verspielen, die eine große Universität bieten, das Versammlungslokal, die Finanzverwaltung durch das Rentamt, auf vielen Lehrstühlen bedeutende Professoren, die als Mitglieder infrage kommen. Am besten und diplomatischsten bezeichnet "die uns engst verbundene Schwesterkorporation" das Verhältnis; denn die Universität hat keinerlei Anteil an der Entstehung der Gesellschaft, sie ist weder ihr "Stamm" noch ihre "Mutter". Diese Attribute kommen der Jablonowskischen Gesellschaft zu.

Auch sie muß sich von den 1774 erlassenen Statuten: Stellung von Preisaufgaben aus Geschichte, aus Mathematik und Physik, aus Sachsens Ökonomie und Prämiiierung der eingegangenen Aufgaben, lösen.

1844 besteht das vierköpfige Preiskollegium aus dem Professor für historische Hilfswissenschaften Hasse, Präses der Gesellschaft; aus dem Historiker Wachsmuth, der zugleich die klassische Philologie vertreten muß; aus dem Mathematiker Drobisch und dem Physiker Fechner. Neben ihnen gibt es seit 1843 ein einziges Mitglied: Wilhelm Weber. 1844 bleiben die Lösungen der angebotenen Aufgaben gänzlich aus, und wieder vermehren sich die Einkünfte - eine Unsinnigkeit in der Zeit bürgerlicher Aktivität in Wirtschaft und Technik und eine Zumutung für die gelehrten Preisrichter.

1844 liegt die Schlüsselposition der Jablonoviana, das Sekretariat, bei Moritz Wilhelm Drobisch; es ermächtigt ihn, endgültig einen Ausweg aus der Zwangslage zu überlegen.

Den Kampf gegen die erstarrte Formen der Jablonowskischen Gesellschaft eröffnet hingegen nicht Drobisch, sondern Wilhelm Weber. Er ist eine Hauptperson in den "bekannten Hannoverschen Begebenheiten im Jahre 1837", und in ihren weiteren Verlauf nennt er "eine Akademie der Wissenschaften in Leipzig" im Jahresbericht der Jablonowskischen Gesellschaft 1844-1845, zum ersten Mal offiziell beim Namen.

1837 widerruft König Ernst August von Hannover die 1833 noch unter dem Eindruck der Pariser Julirevolution gegebene Konstitution. Gegen den Bruch der Verfassung protestieren mit der Eingabe vom 18. November sieben Professoren der Universität Göttingen. Es sind berühmte Gelehrte darunter, der Historiker Dahlmann, die gefeierten Germanisten, Sprachforscher und Märchensammler Jacob und Wilhelm Grimm, der Historiker Gervinus; zu ihnen gehören der Orientalist Ewald, der Jurist Albrecht und ein einziger Naturwissenschaftler, der Physiker Wilhelm Weber.

Nicht drei Monate später werden die sieben Professoren entlassen, Dahlmann, Gervinus und Jacob Grimm binnen drei Tagen des Landes verwiesen.

Die Göttinger Sieben erfahren die Zustimmung und Sympathie der deutschen Öffentlichkeit, noch ehe ihre Entlassung am 14. Dezember 1837 überhaupt ausgesprochen wird. Ihre Protestnote vom 18. November geht von Hand zu Hand. Zehn Tage später schreibt der Leipziger Anatom und Physiologe Ernst Heinrich, der älteste Weber, an seinen Bruder Wilhelm: "Große Freude hat allen Wohlgesinnten die öffentliche Erklärung der sieben Professoren gemacht." Am nachhaltigsten wirken Verfassungsbruch und Professorenprotest auf Leipzig.

In der Stadt der erneuerten Universität, des Buchhandels, der Messen erfaßt das Interesse an dem Göttinger Ereignis weite Kreise. Ernst Heinrich Weber resumiert drei Jahre später: "Das Beispiel der sieben Göttinger Professoren hat viele für Wahrheit und Recht erwärmt. Der Verlust ihrer Stellung in Göttingen machte es ihren Freunden ... möglich, sich durch die Tat als Teilnehmer ihrer Gesinnung zu bekennen."

Gleich nach dem öffentlichen Beifallsschreiben an die Göttinger Professoren wird, einmalig in den deutschen Staaten, ein Verein gegründet, der den Sieben für den Fall der Entlassung ihr Gehalt weiterzahlt, bis sie eine neue Stellung gefunden haben. Die Geschäfte führt ein Ausschuß, das Comité: seine Mitglieder sind die Kaufleute Alfred Dufour-Feronce, Gustav Harkort und G.L. Preußner; der Vorsitzende Wilhelm Crusius und der Sekretär und Kassierer Konsul Carl Hirzel-Lampe sind eng verbunden; Buchhandel und Verlagswesen vertreten Hermann Härtel, Salomon Hirzel, Karl Reimer und Otto Wigand; die Universität stellt zwei Mitglieder, Otto Linne Erdmann und Ernst Heinrich Weber.

Am 8. Dezember ruft der Verein auf, sich unterschriftlich zu Geldspenden zu verpflichten. Die Summen werden sofort nach der Suspendierung der Göttinger Sieben eingezogen, dann setzt der Verein seine Sammeltätigkeit verstärkt fort. Aus den Akten sind die Personen bekannt, die zwischen Dezember 1837 und Dezember 1838 die Entlassenen finanziell unterstützt haben; sie gehören vorwiegend zu den im Comité vertretenen drei Gruppen. Neben den Kaufleuten zeichnen vom Verlagswesen außer den oben genannten Georg Wigand, Abrosius Barth, Philipp Reclam jun., Heinrich und Friedrich Brockhaus; von der Universität nächst Erdmann und Ernst Heinrich Weber die weiteren künftigen Gründungsmitglieder der Königl. Gesellschaft Gottfried Hermann, August Ferdinand Möbius, Moritz Haupt, Moritz Wilhelm Drobisch, Gustav Fechner und der 1846 in die Königl. Gesellschaft gewählte jüngste Bruder Weber, Eduard Friedrich.

Bis 1842 konnte der Göttinger Verein über insgesamt 22 357 Reichstaler, 5 Groschen Spendengelder verfügen. Sie sind ab Mai 1838 vom Kassierer Hirzel-Lampe ratenweise an Albrecht, Dahlmann, die beiden Grimms und Wilhelm Weber verteilt worden.

Ewald, seit 1838 in Tübingen, und Gervinus verzichten von Anfang an auf ihren Anteil. Die anderen haben den ihren nur mit Hemmungen angenommen. 1840 beginnt sich die Situation für einige der Sieben zu verbessern. Sie treten sofort von der Unterstützung durch den Verein zurück. Am 8. Dezember 1838 erklärt Ernst Heinrich Weber vor dem Comité, daß Albrecht sich "durch seine neuen Verhältnisse" - der Berufung nach Leipzig - imstande sähe, "die Annahme von Beträgen für die Zukunft dankend abzulehnen". Im Herbst 1840 gehen Jacob und Wilhelm Grimm an die Universität Berlin. Wilhelm Weber leitet daraus das Ende der politischen Verfolgung ab, mit dem sich nun die Absichten des Göttinger Vereins erübrigen. Obwohl selbst noch ohne Stelle und ohne eigenes Vermögen, will deshalb auch er auf weitere Zuwendungen verzichten. Das Comité lehnt die Begründung ab und wird fortfahren, "Herrn Prof. Weber seinen Göttinger Gehalt ferner so lange auszubezahlen, als die Mittel des Vereins eine solche Auszahlung gestatten". Der Freund Wilhelm Grimm zerstreut gleichfalls Webers Skrupel: "Es ändert sich Ihre Lage doch erst, wenn man Sie wirklich beruft, und die Folgen des Unrechts dauern bis dahin unverändert fort. Gerade gegen diese ist das Leipziger Komitee gerichtet". Aber kurz darauf läßt Weber die erste Rate 1841, 200 Taler, zurückgehen; er hält es "für Ehrensache", damit Dahlmanns Anteil zu erhöhen, der, so Comitémitglied Ernst Heinrich Weber, "noch jetzt politisch verfolgt wird, was bei meinem Bruder notorisch nicht mehr der Fall ist, und daß Dahlmann als Familienvater Verpflichtungen hat, von welchem mein Bruder frei ist. Ich finde es daher unbedenklich, daß unser Verein seine Kräfte auf Dahlmann konzentriert". Dahlmann folgt im November 1842 dem Ruf nach Bonn. Wilhelm Weber ist der letzte ohne Anstellung. Sie kommt Anfang 1843 zustande, wird aber schon seit Sommer 1841 durch Kulturminister von Wietersheim betrieben.

Nach Dahlmanns Versorgung offeriert der Verein Weber 1400 Taler, den ihm rechtmäßig zufallenden Anteil seit 1841 bis zur Einstellung in Leipzig. Das Angebot verdient zitiert zu werden: "Herr Professor Wilhelm Weber hatte, wie ihnen bekannt ist, zu Gunsten seines Herrn Kollegen auf einen großen Teil der ihm zustehenden Gelder verzichtet. Nach dem aber



welcher ihn zu dieser Verzichtleistung bewogen hatte, ... weggefallen ist, haben wir geglaubt, diejenigen 1400 Rthlr., welche bis zu seiner Anstellung in Leipzig auf seinen Anteil würden gefallen sein, zu seiner Disposition stellen zu müssen". Weber nimmt an, bittet aber die Auszahlung noch zurückzuhalten; den Grund wird er dem Comite später nennen.

Er kann "nach dem Sturm" mit Hilfe des Vereins seinen "wichtigsten Beruf, ... den, zur Erweiterung der Wissenschaften beizutragen, ungestört und sorglos" fortsetzen und sogar überlegen, sich "in Leipzig niederzulassen und längere Zeit wieder mit meinen Brüdern zusammen zu arbeiten". Generalpardon und Wiedereinstellung durch Gauß' Vermittlung weist er zurück, wiewohl mit seiner Entlassung die erfolgreiche Forschungsgemeinschaft mit Gauß abreißt; sie wird erst nach der Rehabilitierung der Sieben 1848 wieder aufgenommen, als Weber Ostern 1849 nach Göttingen zurückkehrt.

Seinen persönlichen Göttinger Vereinsanteil akzeptiert Weber am 4. Dezember 1842 mit der Bemerkung, daß er "dieser Summe eine allgemeine Bestimmung zu geben beabsichtige". Die Bestimmung wird 1844 in einer Notiz im Jahresbericht der Jablonowskischen Gesellschaft publik gemacht. Der wichtige Passus lautet im Zusammenhang: "Unser College hat zum Andenken an die bekannten Hannoverschen Begebenheiten im Jahre 1837 ein vom Verein für die sieben Göttinger Professoren zur ungestörten Fortsetzung seiner wissenschaftlichen Studien erhaltenes Capital, dessen er nicht mehr bedurfte, nachdem er durch die Liberalität unserer Regierung seinen Wirkungskreis erhalten hatte, zur Förderung ähnlicher Studien jüngerer Naturforscher, denen zur Ausführung ihrer Versuche die nothwendigen Hilfsmittel fehlen, verwenden wollen; er hat zu diesem Zwecke jenes Capital unter dem Namen 'Göttinger Stiftung' der Jablonowskischen Gesellschaft vermacht, jedoch mit der Bestimmung, daß, falls vom Staate eine Akademie der Wissenschaften in Leipzig gegründet werde, die Göttinger Stiftung auf die mathematisch-physikalische Classe jener Akademie übergehe."

Am 31. Dezember 1843 bescheinigt Weber 1484 Taler, die Raten samt der 4%igen Zinsen. Sie verbleiben beim Bankhaus Hirzel und Companie. Die Quittung übereicht er am 24. März 1844 der Jablonowskischen Gesellschaft. Sie wird in der eisernen cista, die noch aus der Anfangszeit der Jablonoviana stammt, aufbewahrt, "zugleich jedoch auf eine hypothekarische Unterbringung des Kapitals zu gleichem Zinsfuß Bedacht genommen." Die Akzeptionsurkunde unterzeichnen Präses Hasse, Wachsmuth, Drobisch und Fechner. Wilhelm Weber bestätigt mit seinem Namen die von ihm entworfene Stiftungsurkunde. Sodann informiert er den Göttinger Verein, den er "als den wahren Stifter" betrachtet, und legt die Notiz über den Stiftungszweck aus dem Jahresbericht der Jablonowskischen Gesellschaft bei. Moritz Wilhelm Drobisch nennt Webers Stiftungsurkunde "ein der Wissenschaft dargebrachtes, höchsterfreuliches und bedeutendes Geschenk". Nach Webers Willen soll die Stiftung vornehmlich das Gedächtnis der sieben Professoren wach halten, die 1837 ihres politischen Rechtsbewußtseins wegen ihr Amt verloren haben, zugleich an den liberalen Verein erinnern, der ihnen ermöglichte, ihre Arbeit fortzuführen (§ 1). Darum ist es Webers Wunsch, daß die Stiftung den Namen "Göttinger Stiftung" erhält. Das Geld dient nur der Wissenschaft (§ 6), sie erfährt in einer Akademie ihre beste Förderung. Verwirklicht sich in Leipzig mit staatlicher Hilfe eine Akademie oder Königliche Gesellschaft der Wissenschaften, so bestimmt Weber, "daß die physikalisch-mathematische Klasse derselben die Verwaltung dieses Fonds mit Verwendung seiner Rente übernehme" (§ 2). Bis dahin soll die mathematisch-physikalische Abteilung der Jablonowskischen Gesellschaft verantwortlich sein. Die Verwendung der Rente behält sich Weber auf Lebenszeit vor; nach seinem Tod fällt sie jener Klasse oder Abteilung zu (§ 3). Wie der Göttinger Verein die finanziellen Anteile vorbehaltlos vergeben hat, so knüpft sich an die Verleihung des Stipendiums keine äußere Bedingung; es kann jedem jungen Naturforscher an jeder deutschen Universität, vom

Studenten bis zum außerordentlichen Professor, zugute kommen sowie jedem anderen, der die Wissenschaft zu bereichern imstande ist und für seine Experimente Geldmittel nötig hat (§§ 6.1.). Allerdings darf die Rente nur zu einem der Stiftung gemäßen Zwecke verteilt werden; er wird nicht näher beschrieben, bezieht sich aber naturgemäß auf Physik und die ihr verwandten Maathematik und höhere Mechanik. Der Preis beträgt 200 Taler, die sich aus den Zinsen ergeben.

Auf eine kurze Formel gebracht: Als Folge eines politischen Vorfalles nimmt der Gedanke einer Sächsischen Akademie Gestalt an. Natürlich kommt er nicht von ungefähr: Weber ist Mitglied der drei deutschen Akademien, seit 1831 ordentliches Mitglied in Göttingen, seit 1834 und 1840 korrespondierendes Mitglied in Berlin und München. Jetzt sucht er über seine Stiftung das Göttinger Modell einer Gelehrten-Gesellschaft nach Leipzig zu übertragen, wo eine Universität es ergänzt und anders als im kleinen Göttingen, ein aufgeschlossenes Bürgertum mit wissenschaftlichem Interesse ihren Einfluß ausübt.

In Leipzig holt Wilhelm Weber nur ein Versäumnis nach. Er regt an, was längst fällig war und was bislang, begrenzt auf Preisaufgaben in drei Fächern, von jener Gesellschaft vertreten wurde, der er seine Göttinger Stiftung vorläufig anvertraut. Mit Geschick nehmen die Initiatoren der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften 1845 die Korektur vor, beantragen eine gelehrte Gesellschaft mit bescheidenen äußeren Ansprüchen und bringen sie einfach mit der größeren Universität in Verbindung, so wie es "durch das Beispiel Göttingens auf glänzende Weise bestätigt wird". Sie wissen, daß die Sozietät "mit mäßigen Mitteln" eine zeitgemäße Rolle in den modernen Wissenschaften nicht spielen, wohl aber eine zeitlose und bleibende Bedeutung durch den Austausch zwischen gesellschafts- und naturwissenschaftlichen Disziplinen erlangen kann, "in der Art, wie eine solche in Göttingen ... besteht", der Sekretär der Jablonowskischen Gesellschaft Drobisch: Die Leipziger Gesellschaft wird "nicht eine Pariser Akademie der Wissenschaften, aber doch ein der Göttinger Societät ähnliches Institut".

So kommt die uneingeschränkte Zustimmung für Webers Stiftung aus der Jablonoviana selbst. Von Anfang an steht sie der zukünftigen Gesellschaft nicht als "Rivalin" gegenüber, Hasse, Drobisch, Wachsmuth und Fechner gehören zu den Unterzeichnern des Gründungsantrags. Die Reaktion auf die offizielle Mitteilung durch Sekretär Drobisch Mitte Januar 1844 ist mit Fechner "Dank und Freude für das Geschenk". Lediglich bei der juristischen Seite gehen die Meinungen auseinander. Da die Stiftungsurkunde des Fürsten Jablonowski zum Rechtsstatus der Gesellschaft nichts aussagt, bezweifelt Drobisch ihre Befugnis, Schenkungen anzunehmen. Dagegen hält Präses Hasse ihre Rechtsfähigkeit für gewiß.

Wachsmuth übernimmt auf Webers Wunsch die lateinische Übersetzung der Notiz über die Göttinger Stiftung für den noch zweisprachigen Jahresbericht 1844. Der Bericht geht dem Senior der Jablonowskischen Gesellschaft zu: In der Einleitung wird diplomatisch auf die Art verwiesen, in der "Herr D. Wilhelm Weber, der Physik ordentl. Professor, früher in Göttingen, jetzt in Leipzig, ... sich dem wissenschaftlichen Zwecke des Durchl. fürstlichen Stifters angeschlossen hat".

Die Jablonoviana erweist sich in Übereinkunft mit der legitimen Erbin, der Königlich Sächsischen Gesellschaft, fast ein Jahrzehnt als redliche Hüterin der Stiftung, obwohl sie nach Rechnungsführer Wilhelm Roscher, den bekannten Leipziger Naturökonom, "nicht die mindeste Dispositionsbefugnis" besitzt und besitzen will. Ab Januar 1854 geht das Geld endgültig auf die mathematisch-physische Klasse über. 1908 werden Webers Statuten geringfügig verändert; die beachtlichste Neuerung lautet: "Das Stipendium gilt für alle in der Klasse vertretenen Fächer; den Physikern ist bei der Verleihung kein Vorrang einzuräumen". Hundert Jahre nach den Sammlungen des Göttinger Vereins zieht die Sächsische Akademie

der Wissenschaften aus der Weberschen Stiftung noch immer vollen Nutzen; in der öffentlichen Sitzung am 25. Juni 1938 erinnert der vorsitzende Sekretär Ludwig Weickmann an die "oft segensreiche Hilfe ... in dieser langen Zeit". Doch niemand erkennt, daß Wilhelm Weber 1842 mit der "allgemeinen Bestimmung" des Göttinger Anteils als Erster an eine Akademie in Leipzig vor der Verwirklichung 1846 gedacht hatte.

Nach dem Anstoß Webers kommt der Stein rasch ins Rollen. Von Januar bis März 1844 suchen die fünf Mitglieder der Jablonowskischen Gesellschaft nach einer Lösung aus den Fesseln der Stiftungsurkunde von 1774.

Das erste Wort hat der Sekretär Drobisch. Seine Erklärung aus der ersten Januarhälfte liegt uns im Original und in der Abschrift vor; ebenso sind die Antworten der Mitglieder vollständig erhalten. Drobisch verfolgt einen festen Plan. Aber er beginnt vorsichtig und führt zunächst den äußerlich glänzenden Stand der Finanzen ad absurdum: Im Laufe der Zeit erhöhte sich die Kapitalsumme von rund 8400 Thalern - sie entsprechen ungefähr den vom Fürsten gestifteten 2653 Golddukaten - auf 21000 Thaler, "ohne dem Zweck der Wissenschaft genügend zu dienen".

Nach einer langen Vorrede unterbreitet er seine eigenen Vorstellungen. Sie richten sich nach dem bewährten Modell Göttingen, mit dem "wir diese Gesellschaft am nächsten vergleichen könnten" und haben "die Erhebung der Jablonoviana von einem bloßen Preisinstitut zu einer mit der Universität eng verbundenen Gesellschaft der Wissenschaften" zum Ziel. Die Preisaufgaben bleiben, nur soll die Jablonowskische Gesellschaft ihren Ruf als eine Akademie sichern, indem "ihre Mitglieder selbst Abhandlungen schreiben, die eigene Untersuchungen enthalten". Der Kreis "gelehrter Männer" ist durch Zuwahlen zu vergrößern, davon profitiert auch die Universität, vor allem ihre philosophische Fakultät.

"Wenigstens ein paar Mal des Jahres sollen öffentliche Sitzungen gehalten" werden, um aus "der jetzigen zurückgezogenen Stellung in das Licht der Öffentlichkeit zu treten.

Allerdings würde die Reorganisation sogar die großen Mittel der Jablonowskischen Gesellschaft bei weitem überschreiten. Drobisch hält aber einen jährlichen Zuschuß, "einige hundert Thaler", durch das Kultusministerium nicht für ausgeschlossen und Kultusminister von Wietersheim durchaus geneigt, sich des Planes anzunehmen, "wenn nur die Sache in das rechte Licht gesetzt würde".

Zur Proklamation der Akademie könnte sich kein Zeitpunkt besser fügen als der zweihundertste Geburtstag von Leibniz am 1. Juli 1846: "Es muß zu diesem Tag schlechterdings etwas Bedeutendes geschehen, etwas Bleibendes und Ausgezeichnetes ... Ich wüßte nichts, was so ganz in Leibnizens Geiste wäre".

Drobischs Vorschlag fällt bei den vier anderen Mitgliedern auf unterschiedlich fruchtbaren Boden. Über eine Reform der Jablonowskischen Gesellschaft sind sich alle einig, über den Weg gehen die Meinungen auseinander.

Fechner plädiert wie Drobisch für die Entwicklung einer Gesellschaft der Wissenschaften aus der Jablonoviana. Aber an Radikalität in der Ablehnung der Jablonowskischen Aufgaben und in den vermeintlich noch nicht dagewesenen Ansprüchen an eine Akademie stellt er Drobisch weit in den Schatten. In Fechners Augen sind Akademien nur Publikationsanstalten von Mitgliederarbeiten und entsprechend nutzlos: "Ich glaube, wenn keine Gesellschaftsschriften existierten, die Wissenschaft um kein Resultat ärmer wäre, als jsie es jetzt ist ... Die Schriften sind gerade am wenigsten geeignet, wissenschaftliche Resultate leicht zu verbreiten".

Nach einigen ironischen Bemerkungen über die bestehenden Akademien als "Pensionsanstalten des Verdienstes oder Stiftungen früherer rühmlicher Tätigkeit" nimmt Fechner Stellung zu der von Drobisch vorgeschlagenen Änderung der Statuten. Die einzige Aufgabe "unserer neu zu konstituierenden Gesellschaft" ist die absolut freie Förderung der wissenschaftlichen Forschung. Sie hat das zu leisten, was im Idealfall die

Fakultäten bei den Universitäten leisten sollten, "nämlich Vertretung der Wissenschaft in allen Fällen und nach allen Beziehungen, wo eine Vertretung derselben durch eine Gemeinschaft nützlich und notwendig wird". Eine Akademie neben der Universität hat die Aufgabe, "eine Correction der Mängel, wo nicht gar einen Ersatz derselben" vorzunehmen; denn der glückliche Fall, daß die Fakultäten die Interessen der Wissenschaft vollkommen wahrnehmen, ist eine Utopie.

Erwartungsgemäß machen Präses Hasse und Wachsmuth, an Alters- und Mitgliedsjahren den anderen voraus, den Schritt von der Jablonoviana zur Gesellschaft der Wissenschaften nicht mit. Der Plan ist "schön", doch kann er sich nur auf zwei Wegen verwirklichen: Entweder stiftet und fundiert das Ministerium "eine besondere Klasse", wofür "unser Herr Prof. W. Weber" bereits ein Beispiel gegeben hat, oder das Ministerium erwirkt die Zustimmung des Seniors der Fürstlichen Jablonowskischen Familie. Was die Leibnizfeier angeht, so würde sie passender von der Universität ausgerichtet; allerdings könnte die Societas Jablonoviana in einer eigenen Feier den Geburtstag von Leibnitz mit dem Andenken an den Fürsten Joseph Alexander Jablonowski verbinden.

Die Feier findet 1846 statt, veranstaltet von zwei unabhängig voneinander bestehenden, doch eng miteinander verbundenen Gesellschaften. Die vielversprechende Konstellation ist in der Hauptsache das Werk des letzten Mitgliedes.

Das Pro und Contra löst Wilhelm Weber mit einem einzigen Satz: "Nicht die alten Statuten haben die Gesellschaft beschränkt, sondern die Gesellschaft hat sich, wie mir scheint, auf die alten Statuten mehr beschränkt, als notwendig war".

Damit ist die Debatte um die Vorschriften des Fürsten beendet. Die Statuten bedürfen keiner Erneuerung, legt man sie von nun an ohne Zwang im Sinne des Gründungszweckes, der "Förderung der Wissenschaften", aus. Die Jablonowskische Gesellschaft stellt also nach wie vor ihre Preisaufgaben, auch wenn sie als "Mittel" der Wissenschaft nur begrenzt taugen. Aber sie häuft kein Vermögen mehr an, sondern gibt es "im Geist des Stifters" aus: Die Zinsen des ursprünglichen Kapitals, der von Drobisch genanneten 8400 Taler, für die Preise, wie die Urkunde es vorschreibt; die Rente der Ersparnisse, der übrigen 13000 Taler, zu der die Urkunde nichts aussagt, für noch nicht näher bestimmte wissenschaftliche Zwecke.

Webers Antwort geht den Mitgliedern im März 1844 zu, wahrscheinlich am 24., zusammen mit der Quittung über die 1484 Taler der Göttinger Stiftung. Indem Weber die Jablonoviana aufwertet, ihr durch den freien Gebrauch der Überschüsse den Weg zu neuer Tätigkeit eröffnet, macht er die künftige Gesellschaft der Wissenschaften möglich und entbindet sie zugleich vom Ballast der Preisfragen. Die Gesellschaft wird frei für die eigentlichen, in Drobischs Erklärung dargelegten Aufgaben. Mit Nachdruck verteidigt Weber in diesem Zusammenhang gegen Fechner auch die eigenen Schriften der Mitglieder und beweist ihre Bedeutung durch den Vergleich mit den "Abhandlungen von Euler, Lagrange, Gauß usw. in den Petersburger, Berliner und Göttinger Commentationen". Eine erfolgreiche "Erhebung" der Jablonoviana zu einer Gesellschaft der Wissenschaften hat der erfahrene Weber in Wirklichkeit nie erwogen. Seine "Göttinger Stiftung" ist von Anfang an einer "vom Staate gegründeten Akademie der Wissenschaften in Leipzig" zugeacht.

Zur weiteren Regelung der inneren Angelegenheiten mahnt Weber an das verbriefte Recht auf neun Mitglieder.

Von Göttingen her an Wahlvorgänge gewöhnt, sollen "nur das rein wissenschaftliche Interesse und die Würde der Gesellschaft in der wissenschaftlichen Welt" bei der Auslese der Kandidaten maßgebend sein und "alle persönlichen und collegialischen Rücksichten dabei zurücktreten". Der Satz wird verständlich: Die neuen Mitglieder sind die Professoren der Universität Leipzig Ernst Heinrich Weber, Anatomie und Physiologie, außerdem August Ferdinand Möbius, Mathematik und Astronomie, und Karl Friedrich Naumann, Mineralogie.

Offensichtlich hat man sich an Drobischs Hinweis auf die Vertreter bestimmter Fächer gehalten, wobei Ernst Heinrich Weber ungefähr dem "Chemiker" entspricht. Immerhin beginnt mit der Vereinigung der Weberbrüder in einer Gesellschaft jene "Präponderanz der Weberbrüder" die Drobisch auch in der Sächsischen Gesellschaft zeitweilig irritiert und die auch nach 1849, dem Jahr der Rückkehr Wilhelm Webers nach Göttingen, andauert. Denn 1846 wird auch der jüngere Weberbruder, Eduard Friedrich, Anatom, Mitglied der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften. Es ist aber nicht zu verkennen, daß sich Ernst Heinrich Weber auch ohne seinen Bruder, "Weber I" wie Drobisch Wilhelm nannte, in der Jablonoviana wie in der künftigen Gesellschaft der Wissenschaften als ein Mitglied von hohen Qualitäten und ohne Tadel erweist. Insgesamt gehören der Jablonowskischen Gesellschaft nun acht Mitglieder an: der "Camerallist" fehlt wiederum. Diese acht bilden mit weiteren fünf 1845 den Verein der dreizehn Professoren zur Gründung einer Sächsischen Akademie.

Wilhelm Weber, von dem Drobisch auch sagt, daß er "die Leute bei der rechten Stelle zu fassen weiß", bringt zum Schluß noch die Skrupel wegen der freien Auslegung der fürstlichen Bestimmungen zum Schweigen. Die Statuten bleiben, wie sie sind; "die Interpretation des Geistes und Zwecks der Stiftung kommt aber keinem Juristen oder Gerichtshofe, ... sondern uns allein zu". Weder das Ministerium noch der Senior sind dafür kompetent, "wir bedürfen dazu der Konkurrenz keiner Regierung und keines Seniors der fürstl. Jablonowskischen Familie". Es liegt aber im Interesse der Wissenschaft und der Gesellschaft, "eine solche Einmischung, wo möglich ganz zu vermeiden".

Der Gegenstand des permanenten zweifels ist und bleibt das ständig wachsaende Vermögen, über dessen Hauptanteil, die Überschüsse, von nun an "zeitgemäß", nicht mehr buchstabengetreu verfügt werden soll. Weber sagt expressis verbis das gleiche und rückversichert sich namens der Mitglieder bei dem Juristen und Staatsrechtler Eduard Albrecht, dem Göttinger Gefährten von 1837. Albrechts Gutachten ergeht am 14. November 1845, als die Verhandlungen über die Gründung der Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften schon einige Monate im Gang sind. Zweifellos steht die Einforderung des Gutachtens mit der beabsichtigten finanziellen Unterstützung der künftigen Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften in einem ursächlichen Zusammenhang. Das Ergebnis ist von vorn herein sicher. Das für uns maßgebende Resultat aus Albrechts Gutachten lautet: Wenn die Erhöhung der Prämien durch die Überschüsse keinen besseren Erfolg zeitigt als bisher, "erscheint ... eine anderweitige Anwendung der Überschüsse nicht bloß gerechtfertigt, sondern selbst notwendig". Aus dem liberalen Geist des Göttinger Vereins interpretiert, heißt das: Die Verwendung des Geldes ist ein Gebot zugunsten des wissenschaftlichen Fortschritts. Unter diesem Aspekt betreibt die Jablonoviana nun endgültig eine Sächsische Akademie.

Von nun an ist nicht mehr von "Erhebung" die Rede, von "Erneuerung, Erweiterung", sondern von der "Idee zur Errichtung" einer Akademie. Drobisch bringt sie in der Sitzung am 9. Februar 1845 zur Sprache und erwähnte die Bereitschaft des Ministers von Wietersheim, den Vorgang zu begünstigen. Er regt an, daß die Mitglieder der Jablonowskischen Gesellschaft "mit noch einigen andern ausgezeichneten Gelehrten, namentlich aus den philologischen Wissenschaften", ein Gesuch mit "angemessenen Vorschlägen" an das Kultusministerium richten.

Zwei Monate danach, am 3. April, tritt der "Verein von Professoren der Universität Leipzig um Begründung einer Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften" an das Ministerium heran. Er besteht aus den acht Mitgliedern der Jablonowskischen Gesellschaft, die beiden Geisteswissenschaftler erhielten Verstärkung durch die "die Gebiete der deutschen, classischen und orientalischen Philologie vertretenden Leipziger Gelehrten" Haupt, Hermann, Westermann, Becker und Fleischer. Den "harten Kern" aber bilden die acht Männer der

Jablonoviana; die Papiere beweisen, daß sie die Vorbereitungspolitik selbst betrieben haben.

Bei gänzlicher Trennung der Fronten - hier Jablonoviana, da Gesellschaft der Wissenschaften - steht ihrer Mitwirkung in der neuen Gesellschaft nichts im Wege. Drobisch zieht am 1. Juli 1846 eine saubere Grenze: Der "andere gelehrte Verein" wird "seine bisherige Wirksamkeit" fortsetzen. Aber er tritt mit der Königlichen Gesellschaft "in enge Verbindung" und wird "ihre Bestrebungen unterstützen". Noch präziser stellt das Vorwort zum Abhandlungsband 1846 das Verhältnis dar: Beide Vereine behaupten "die gleiche Selbständigkeit", werden "Aber fortwährend in enger Verbindung für den gemeinschaftlichen Zweck der Beförderung wissenschaftlicher Forschungen zusammenwirken und sich zur gegenseitigen Ergänzung dienen". Sie wird deutlich in "eine Sammlung neuer wissenschaftlicher Abhandlungen von sächsischen Gelehrten".

Die "Abhandlungen bei Begründung der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften am Tage der zweihundertjährigen Geburtsfeier Leibnizens, herausgegeben von der Fürstlich Jablonowskischen Gesellschaft, Leipzig: Weidmannsche Buchhandlung, 1846", 484 Seiten, 9 Tafeln, und viele Textfiguren, haben eine zweifache Bedeutung: Mit ihnen verwirklicht sich zum ersten und einzigen Mal in der Jablonoviana, daß Mitglieder im Rahmen der Jablonowskischen Gesellschaft eigene Aufsätze verfassen und publizieren. Es geschieht das, was Drobisch in seiner Erklärung 1844 gewollt und wogegen Fechner opponiert hatte. Zum anderen gilt der Festband als "Vorläufer der künftigen Schriften der Königlichen Gesellschaft" und eröffnet die Reihe der Abhandlungen, vor allem "ihrer mathematisch-physischen Klasse". Die Wechselbeziehung ist unverkennbar: Die Mitglieder der Jablonowskischen Gesellschaft gewinnen für ihre wissenschaftlichen Arbeiten die Akademieschriften.

Noch nach Jahren sind sie stolz auf ihre Leistung. 1853 verbindet der Sekretär der mathematisch-physischen Klasse, Ernst Heinrich Weber mit einem Gesuch um Erhöhung des Jahresetats für die Akademie das Beispiel des "ersten Bandes der Abhandlungen", der "auf Veranstaltung und auf Kosten der Fürstlich Jablonowskischen Gesellschaft bei der Eröffnung der Königlichen Gesellschaft erschienen ist".

Für seine hohe Qualität bürgen die Verfasser der Beiträge, die Mitglieder der Jablonowskischen Gesellschaft Wachsmuth, Möbius, Drobisch, Naumann, W. Weber und E.H. Weber, und die von der Gesellschaft eigens dazu aufgeforderten Sächsischen Gelehrten Karl Gotthold Lehmann, Chemiker in Leipzig, Ferdinand Reich aus Freiberg und August Seebeck aus Dresden, beide Physiker, zur Zeit, als der Band erscheint, alle Mitglieder der Königlichen Gesellschaft. Fechner, der Gesellschaftsschriften a priori ablehnt, beteiligt sich nicht. Einzelne Beiträge, so der von Wilhelm Weber, sind später mit Genehmigung der Jablonowskischen Gesellschaft nachgedruckt worden.

Ernst Heinrich Weber führt die Verhandlungen mit den Verlegern und einigt sich mit Karl Reimer (Weidmannsche Buchhandlung); er sorgt für die Ablieferung der Manuskripte "Weihnachten dieses Jahren" (1845), "lieber schon zu Michael", "für eine glänzende Ausstattung" und für die "Prachtexemplare" des Königs und des Prinzen Johann.

Damit wartet die Jablonoviana der wissenschaftlichen Welt mit ihrem ersten großen öffentlichen Erfolg seit Jahrzehnten auf.

Für ihr gewachsenes Selbstbewußtsein spricht auch, daß sie einen Teil des Eröffnungszeremoniells der Königlichen Gesellschaft selbst bestreitet: Sie gibt die Lösung einer mathematischen Preisaufgabe und ihres Bearbeiters bekannt und kehrt damit zu ihrem eigentlichen Programm zurück.

Zwischen beiden Gesellschaften besteht eine enge Personalunion. Die maßgebenden Mitglieder sind Drobisch und Ernst Heinrich Weber, der Präses der Jablonoviana und der

Sekretär der mathematisch-physischen Klasse der Gesellschaft der Wissenschaften - Kollegen, kaum Kontrahenten.

Ernst Heinrich Weber, 1848 Nachfolger seines Bruders im Sekretariat der mathematisch-physischen Klasse der Königlichen Gesellschaft und Erbe des Göttinger Akademiegedankens, hält sich an den Entschluß, mit der Zuwendung des überschüssigen Geldes der Sozietät der Wissenschaften nach ihrer Errichtung zur Seite zu stehen.

Ein Jahr später gibt "Weber sen." noch einmal eine grundsätzliche Erklärung ab, die für die Zukunft gilt: "Es ist ohne Zweifel die erfolgreiche Tätigkeit ... der Fürstlich Jablonowskischen Gesellschaft ..., die zur Begründung der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften die Veranlassung gegeben hat. Diese Tätigkeit gereicht ihr zur Ehre und ist ganz im Geiste des Stifters unternommen worden. Dazu, daß die Königliche Gesellschaft der Wissenschaften durch ihre Schriften sich Anerkennung erwerben könne, Beihilfe zu gewähren, ist die Vollendung dessen, was die Jablonowskische Gesellschaft begonnen hat."

Die Sprache des 19. Jahrhunderts findet für die Begünstigung bildkräftige Vergleiche: Die Jablonoviana, der "Stamm ..., aus dem mit verstärkter und verjüngter Kraft neue Zweige hervortreiben werden", ist eine Prägung Drobischs zur Eröffnungsfeier der Königlichen Gesellschaft am 1. Juli 1846; bei Roscher und Möbius ist sie die "Mutter". Ernst Heinrich Weber nennt im kritischen Jahr 1852 die Königliche Gesellschaft "die schönste Blüte, welche die Fürstlich Jablonowskische Gesellschaft getrieben hat" und "die zarte Pflanze, die jetzt von einer rauhen Winterluft angeweht wird". Ein Außenstehender aus der philologisch-historischen Klasse, Theodor Mommsen, ab 1852 auswärtiges Mitglied in Berlin, doch noch lange Zeit als Autor in den sächsischen Gesellschaftsschriften vertreten, drückt sich in einem Brief an Otto Jahn weniger poetisch, aber umso treffender aus: "Wir haben zwar, soviel ich weiß, gar kein Geld, aber Schwester Jablonowsky wird vor den Riß treten".

Der Betrachter der Sächsischen Akademie stellt sich dabei die Frage, ob das Jahr 1846 wirklich ein Anfang, nicht eher, mit Webers Worten, die notwendige "Vollendung" gewesen ist. Die Sächsische Akademie tritt in der Mitte des 19. Jahrhunderts ungezwungen zutage, sie schließt sich so selbstverständlich ihren Vorgängerinnen an, daß der Eindruck entsteht, als sei sie längst existent. Sie wird nicht der Ort für große Würfe und radikale Fragestellungen, die in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts für die deutsche Wissenschaft bezeichnend sind, sondern sie beschränkt sich wie Göttingen auf die Mitteilung regelmäßiger Fortschritte der Wissenschaft in den Sitzungen; auf die Erfüllung übersehbarer Aufgaben in den Unternehmungen; auf die Verbreitung von Forschungsergebnissen in den Schriften. Man kann nicht leugnen, daß diese Begrenzung ein Erbe des 18. Jahrhunderts, der Jablonowskischen Gesellschaft und damit auch Wilhelm Webers ist.

*von Elisabeth Lea  
und Gerald Wiemers*

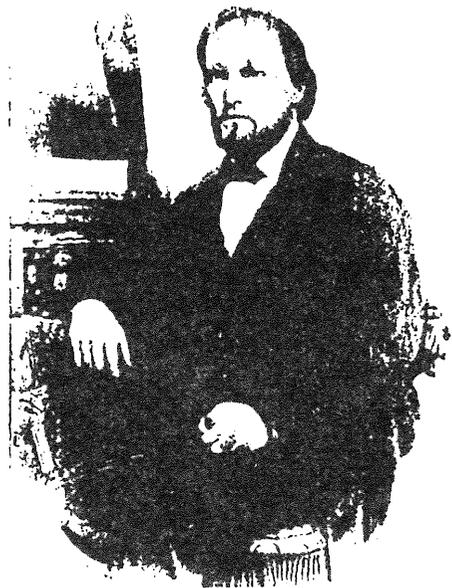
## 8. Ein Schüler der Gebrüder Weber - Theodor Weber in Halle

Werner Piechocki:

*Die kommunalärztliche Tätigkeit des Klinikers Theodor Weber in Halle während der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts.  
(Auszüge)*

Als Nachfolger von Julius Vogel, der der halleschen Klinik seit 1855 vorgestanden hatte, berief das preußische Kultusministerium durch einen Erlaß vom 18. Juli 1861 Theodor Weber nach Halle, um als Ordinarius die Leitung der Medizinischen Abteilung "der vereinigten medizinisch-chirurgischen Klinik" zu übernehmen...

Theodor Weber stammte aus Leipzig, wo sein Vater Ernst Heinrich Weber (1795-1878) als Anatom und Physiologe an der Universität wirkte. Dort wurde er am 18. August 1829 geboren und besuchte das Nikolaigymnasium. 1848 ging er nach Göttingen, um /Naturwissenschaft zu studieren - W.E./...



Theodor Weber (1829-1914)



Theodor Weber, erst wenige Jahre an seinem neuen Wirkungsort, nahm diese Tradition auf, als er Anfang August 1866 in der Presse einen "Aufruf zur Begründung eines Hilfs-Vereins für arme Cholera-Kranke und ihre Familien" veröffentlichte, den er wohl allein verfaßte, da er als einziger unterzeichnete. In ihm heißt es:

*"Obgleich jetzt mehr Wohlthätigkeits-Vereine in unserer Stadt bestehen als jemals und die gewünschten und geforderten Unterstützungen verschiedenster Art unsere Mitbürger in hohem Grade in Anspruch nehmen, macht doch die furchtbare Krankheit, welche in unseren Mauern Platz zu greifen beginnt, neue Opfer für die armen Erkrankten und ihre Familien, theils um das Elend zu lindern, theils um die Ausbreitung der Epidemie zu beschränken, dringend nothwendig.*

*Der Verein würde namentlich die Aufgabe haben, durch Beschaffung von warmen Bedeckungen und Kleidungsstücken, von gesunden Nahrungsmitteln, besonders Suppen, durch Geldunterstützungen, durch Sorge für Reinlichkeit und Desinfection und für Controllirung derselben, die ungünstigen Verhältnisse, die so vielfach bestehen, zu verbessern und segensreich einzuwirken, wo ärztliche Hilfe nicht ausreicht."*

Weber forderte schließlich zu zahlreicher Beteiligung auf und erklärte sich bereit, sofort Kleidungsstücke, wollene Decken und Geld in seiner Wohnung, Große Märkerstraße 12, entgegenzunehmen. Der Verein selbst sollte am 6. August im Saal des städtischen Schießgrabens unmittelbar am Leipziger Turm konstituiert werden. Aus den z.T. ausführlichen Presseberichten geht hervor, daß dies tatsächlich unter großer Anteilnahme arbeitswilliger Bürger geschah und Professor Weber den Vorsitz der Versammlung übernommen hatte. Er referierte eingangs und, wie es im Hallischen Tageblatt heißt, *"schilderte in ausführlichem Vortrage die Leiden der armen von der Cholera befallenen Familien, und wies darauf hin, wie grade die bittere Noth die diese, theils in Bezug auf Nahrung, theils in Bezug auf warme Lagerstätte und Bekleidung erlitten, zum Umsichgreifen der Seuche wesentlich beitrage"*.

Professor Weber unterrichtete sein Publikum schließlich auch über den Stand der wissenschaftlichen Forschung in der Cholerafrage und unterbreitete ihm praktische Vorschläge, wie die bisher bekannten Mittel und Erfahrungen, diese Seuche einzudämmen, sich in Halle verwerten ließen.

Die intensivsten Bemühungen Webers galten aber doch wohl dem Problem einer gründlichen Desinfection und deren Organisation sowie Überwachung. Auch hier sah er nur einen Erfolg, wenn die verantwortlichen Männer das soziale Moment und die Not der armen Bevölkerung in ihren Überlegungen berücksichtigten. Der erwähnte Bericht an den Magistrat stellt dieses ungeschminkt dar, wenn er folgendes schreibt:

*"Die größte Gefahr für das Umsichgreifen der Seuche ist die Vernachlässigung der Cholera-Wäsche. Hier giebt es blos ein Mittel, das mehrstündige Auskochen derselben. In den Häusern der Wohlhabenden sorgen die Aerzte daür. Bei den Armen, welche nicht ein Mal den Kessel dazu haben, kann diese große Gefahr für das Publicum nur durch öffentliche Anstalten beseitigt werden. Mit großem Danke erkennen wir an, daß Ein Wohlloblicher Magistrat bereits am Steinthor einen solchen Kessel eingerichtet und mit Bedienung versehen hat. Leider hat aber der große nicht zu bewältigende Andrang zu dieser einzigen Anstalt bei*

*einer Einwohnerzahl von circa 50 000 Menschen ergeben, daß dieselbe den Bedürfnissen nicht genügt.*

*Wir bitten ganz gehorsamst, mindestens in jedem der dreizehn Armenbezirke eine solche einzurichten, und in den ärmeren Bezirken mit mehreren Kesseln auszustatten.*

*Es ist von allen Sachverständigen anerkannt, daß durch unvorsichtige Behandlung der Cholera-Wäsche die Seuche am intensivsten verbreitet werde."*

Ebenso mit Nachdruck weist das Gutachten auf die ernsten Folge der unglaublich vernachlässigten Wasserversorgungsverhältnisse hin. In der Tat herrschten auf diesem Gebiet in Halle wahrhaft mittelalterliche Verhältnisse. Der größte Teil des Stadtgebietes wurde durch die Wasserkunst unterhalb der Moritzburg mit Wasser aus der Saale versorgt. Man entnahm es damit an einer Stelle ihres Laufs, "wo der Fluß bereits durch Einmündungen städtischer Kanäle, durch die Abwässer von Fabriken, Krankenhäusern und der Anatomie auf das gründlichste verdorben war".

Im September 1866 veröffentlichte der Verein mehrmals Listen der überaus reichlich eingetroffenen Sachspenden, vor allem Kleidung aller Art, sowie die Namen der Spender von Geldsummen. Nach drei Wochen hatte der Verein bis zum 25. August den erstaunlichen Betrag von rund 1 200 Talern zusammengebracht. Bei Professor Weber, der selbst 10 Taler einzahlte, waren fast 300 Mark eingegangen. Unter den Hilfsbereiten finden sich besonders zahlreich Professoren der Universität oder Witwen verstorbener Gelehrter sowie hallesche Ärzte und Fabrikanten. An Namen, die im Rahmen der Medizingeschichte interessieren, seien genannt: Dr. med. Gutike, ein überaus geschickter und angesehener Praktiker in Halle, Frau Geh.-Rätin Meckel von Hemsbach, Professor Welcker, Frau Professor Dzondi, Professor Graefe, Frau Geh.-Rätin Krukenberg (20 Taler!), Dr. Hohl und Professor von Schlechtendal.

Außerordentlich schwierig gestalteten sich in Halle auch die Krankenhausverhältnisse, die einem solchen Katastrophenfall keineswegs gewachsen waren. Seit frühester Zeit war das städtische Krankenhaus lediglich ein Teil des Hospitals St. Cyriaci et St. Antonii, das in Glaucha lag. Die 1614 neu erbaute Krankenanstalt war ebenso wie das Hospital am Anfang des 19. Jahrhunderts völlig veraltet. 1824 riß man die alten Gebäude nieder und errichtete einen Neubau, der sich an die Pläne des damals modernsten deutschen Hospitals in Hamburg anlehnte. Die Weihe des fertigen Hospitals vollzog der Magistrat am 1. Oktober 1826. Der südliche Flügel enthielt die Krankenzimmer, Stuben für die Krankenwärter sowie abgesonderte Räume für irrsinnige und an ansteckenden Krankheiten leidende Personen. Das Zimmer für den Arzt, der nicht nur das eigentliche Krankenhaus, sondern auch das Hospital zu betreuen hatte, lag praktischerweise im Mittelbau der Gesamtanlage. Erster Institutsarzt war der spätere Kreisphysikus Dr. med. Hertzberg, dem ein Wundarzt, ein Krankenwärter und eine Wärterin zur Seite standen. Das Stadtkrankenhaus besaß 70 Betten, von denen 24 das Hospital täglich als Freiplätze beanspruchen konnte. Im Jahre 1862 versorgte es 387, 1863 392 und 1864 377 Kranke. Im Jahre 1857 schließlich gründeten "Freunde des Diakonissenwerkes" in Halle eine evangelische Diakonissen-Anstalt. Sie wurde in einem kleinen Grundstück, Weidenplan 4, mit zwei Diakonissen, 3 Pflegerinnen eröffnet und besaß zunächst 12 Krankenbetten für Erwachsene und 6 für Kinder sowie 3 separate Zimmer in einer Art Privatstation. Diese christliche Anstalt, der u.a. eine jährliche Kollekte der Kirchenprovinz Sachsen zufließ, verfolgte das Ziel, für dieses Gebiet Diakonissen in der Krankenpflege auszubilden. An medizinischem Personal gab es 1864 zwei Ärzte, eine Oberin, zwölf Pflegerinnen (davon sechs Diakonissen) und einen Krankenwärter. 1864/65 nahm dieses Krankenhaus 214 Patienten auf, während die Betreuung von Kranken außerhalb der Station vergleichsweise gering war. Da sie sich intensiv auch der kostenlosen Pflege armer

Kranker widmete, rechnet sie Hagen zu den "überaus wohlthätigen Anstalten", jedoch war ihre Lage durchaus nicht günstig. Der Vorstand bot Anfang August 1866 "nur irgend disponibele Kräfte" dem Magistrat unentgeltlich zur Pflege von Cholerakranken an, das Anerbieten wurde jedoch unter dem Einfluß des Gutachtens von Kreisphysikus Dr. Kraemer rundweg abgelehnt. Kurz zuvor griff der schon erwähnte Artikel im Halleschen Tageblatt vom 18. Juli, der wahrscheinlich Professor Weber als Verfasser hatte, auch das Diakonissenhaus an. Der Autor befürchtete, daß es wegen seiner Lage in einem gesundheitsgefährdeten Stadtviertel Halles, das zu einem Zentrum der Cholera werden könnte, besonders bedroht sei.

Er schildert die Situation:

*"Bekanntlich liegt diese schöne, wahrhaft christliche Anstalt am Weidenplan, einer ungepflasterten Straße, auf der man im Winter und bei nassem Wetter die vor die zahlreichen Fuhrwerke mit Bausteinen, welche in dem aufgewickten Boden bis an die Achsen versinken, gespannte Pferde täglich halb todt prügeln sieht, und wohn zu fahren unsere Droschkenkutscher sich definitiv zu weigern pflegen. Diese Straße entlang fährt ein offener Graben fast ohne alles Gefälle, dessen Boden außer mit dem natürlichen Schlamm mit allem Ausguß und Auswurf der an ihm entlang liegenden Häuser gefüllt ist. Der aus ihm aufsteigende Gestank ist, wenn nicht etwa ein Regenguß den Graben vorübergehend mit Wasser gefüllt oder längere Dürre ihn ausgetrocknet hat, so pestilenzialisch, daß die Bewohner der Erdgeschosse genöthigt sind, ihre Fenster Tag und Nacht geschlossen zu halten. Unterstützt werden die Leistungen dieses Straßengrabens durch einen zweiten, der mit gleich aromatischen Essluxien angefüllt, von der Lucke her sich durch die Gärten der Häuser an der Südseite des Weidenplans nach der Gartengasse hinzieht; der Extract von beiden sickert aber in die dort belegenden Brunnen."*

Die vorhandenen klinischen Anstalten der Stadt Halle sowie ihre personelle Besetzung in ärztlicher Hinsicht reichten in keiner Weise aus, einer Katastrophe wie der Choleraepidemie mit aller Kraft wirksam entgegenzutreten. Der Magistrat selbst richtete, nachdem am 19. Juli der erste Krankenfall amtlich registriert worden war, im alten halleschen Arbeitshaus in der oberen Großen Steinstraße ein städtisches Choleralazarett ein. Es stand unter Leitung des Gasanstaltdirektors Schröder und wurde am 7. August eröffnet. Sein Leiter meldete später, daß es bis zum 27. August 146 Personen aufnahm, von denen 55 als geheilt entlassen werden konnten, 73 dagegen gestorben waren, während sich 18 noch im Hause befanden. Nachdem die Seuche ihren Höhepunkt überschritten hatte, schloß man dieses Choleralazarett am 12. September wieder und überwies die neuen Kranken dem Stadtkrankenhaus. Nach Ausweis des Krankenjournal betreute diese Hilfsstation insgesamt 219 Kranke. Von den Patienten starben 119, 37 gesundeten, während 67 dem städtischen Krankenhaus zur weiteren Behandlung zugeführt wurden. Aus der von Weineck veröffentlichten Tabelle "der an epidemischen Krankheiten von der Poliklinik behandelten Kranken aus den Jahre 1862-1871" geht hervor, daß diese Einrichtung während der Choleraepidemie 1866 im Juli 9, im August 826, im September 326, im Oktober 98 und im November 15 Erkrankte aufnahm.

Auf dem Höhepunkt der Seuche, Ende August, unterrichtete Professor Weber den Magistrat über den Notstand, der durch die unzureichende Anzahl junger Kliniker für die Behandlung der Cholera eingetreten sei. Namentlich die entfernteren Stadtteile, wie Glaucha und Neumarkt, hätten darunter zu leiden. Weber beklagt, daß einige junge Ärzte auf ausdrücklichen Befehl ihrer Eltern Halle verlassen hätten, die "übrigen durch Überanstrengung verdrossen und ermüdet" seien. Er will nun ärztliche Hilfe aus anderen Städten, besonders aus Leipzig, besorgen und bittet den Magistrat, wegen der Honorierung dieser Tätigkeit Mittel bereitzustellen. Außerdem fordert Weber für die Klinik einen

Wagen, zumindest für die Zeit von morgens sechs Uhr bis mittags zwölf Uhr und ab nachmittags fünf Uhr bis Mitternacht. Das Protokoll vermerkt schließlich, Weber habe, "um die Kliniker bei Eifer zu erhalten", ihnen Rotwein und Geldzulagen aus eigenen Mitteln bewilligt!

Am 16. November 1866 konstatierte man in Halle die letzte Choleraerkrankung. Damit klang die schwerste der insgesamt sechs Choleraepidemien, die Halle zwischen 1832 und 1867 erleben mußte, aus. Trotz aller Bemühungen der Behörden, der Ärzte, besonders der halleischen Unversitätspoliklinik unter Leitung Professor Webers und privater Vereine, hatte die Saalestadt empfindliche Verluste zu beklagen. An der Seuche starben im Juli 12, im August 1018, im September 346, im Oktober 118 und im November 14 Personen, also insgesamt 1508, darunter 593 im Alter bis zu 19 Jahren. Halle registrierte im Jahre 1866 bei knapp 50 000 Einwohnern insgesamt 3066 Sterbefälle (1865 waren es 1587 weniger). Wie schon für das Epidemiejahr 1855 publizierte der Kreisphysikus des Saalkreises Dr. Ernst Delbrück in Halle auch für 1866 einen ausführlichen Bericht, der vom Verein der Ärzte im Regierungsbezirk Merseburg herausgegeben wurde.

Neben Weber füllte jedoch vor allem der Physikus des Stadtkreises Halle einen weiten Pflichtenkreis aus und verdiente sich Dank und Anerkennung der Bürgerschaft Halles.

Am Ende dieses tragischen Cholerajahres statteten die städtischen Behörden in aller Form Professor Weber, Professor und Kreisphysikus Kraher sowie dem Verwaltungsleiter des Choleralazarets, Direktor Schröder, den Dank der Stadt Halle ab. In der Begründung des Magistrats heißt es über Weber, daß ihm "für seine während der Cholerazeit der Stadt überhaupt, und zumal deren ärmeren Bevölkerung gewidmete Thätigkeit der wärmste Dank Seitens der städtischen Behörden ausgesprochen werde". Die Stadtverordnetenversammlung billigte die vorgeschlagen Ehrung und schlug vor, die Schreiben von Künstlerhand ausführen zu lassen, was dann tatsächlich geschah.

Professor Weber erhielt folgende von Magistratsmitgliedern und Stadtverordneten unterzeichnete Urkunde, die am 17. Januar 1867 überreicht wurde:

*"Dem Herrn Professor der Medicin Dr. Weber können die städtischen Behörden von Halle nicht unterlassen am Schlusse der verderblichen Cholera-Epidemie dieses Jahres, für die während derselben in so reichem Maaße bewiesene hingebende Treue in der Erfüllung des ärztlichen Berufes für die Entschlossenheit im Kampfe gegen die tödtliche Seuche und deren Entstehungsursachen, und für die aufopfernde, herzugewinnende, liebevolle und unermüdliche Sorge und Bemühung um die erkrankte Armuth hierdurch ihren wärmsten und tiefgefühltesten Dank noch besonders auszusprechen."*

Der Theologe Willibald BEYSCHLAG hat in seinen schon angeführten Lebenserinnerungen auch das Cholerajahr 1866 nicht vergessen und von dem Druck, der auf allen Menschen lag, berichtet:

*"Die Seuche, von früherher in Halle wohlbekannt, ging bereits im Stillen um; nun aber durch die Einquartierung steigerte sie sich zu einer furchtbaren Höhe. Noch ist mir in Erinnerung, wie ergreifend in der Marktkirche in einer von Hermann Dryander veranstalteten Betstunde das tausendstimmige 'Aus tiefer Noth schrei' ich zu Dir' aus dem Herzen kam. Wer flüchten konnte, flüchtete; auch ich schickte Frau und Kinder in eine Sommerfrische nach Thüringen; ich selbst hatte als Rector auch während der Ferien auf*

*meinem Posten auszuharren, aber es widerfuhr mir nichts."*

Nach dieser so große Opfer an Menschenleben fordernden Katastrophe nahm die Stadt Halle nach jahrzehntelangen Verzögerungen nun endlich die dringendste kommunale Aufgabe jener Zeit in Angriff. Man fand in der Aue zwischen Saale und Elster auf der zu dem stadteigenen Rittergut Ammendorf-Beesen gehörigen Flur eine mächtige wasserhaltende Kiesschicht, die nicht zu erschöpfenden Wasserfluß zu besitzen schien. Trotz umfangreicher Bauten waren die nötigen Wasserleitungen, die Pumpstationen und ein Wasserturm im Süden der Stadt 1868 fertiggestellt worden. Vom September dieses Jahres an konnten sämtliche Wohnhäuser durch Anschlüsse an das städtische Rohrnetz das benötigte Wasser kostenlos entnehmen. Alle öffentlichen Ausflußstellen und Brunnen der ehemaligen Saaleleitung wurden für immer geschlossen. 1891 schreibt Stadtrat Dr. SCHRADER über die hallesche Wasserversorgung, daß die neue Leitung "den heilsamsten Einfluß auf den Gesundheitszustand der Stadt Halle ausgeübt hat". So blieb die Stadt Halle schon im Jahre 1873, als die Cholera z. B. in Magdeburg heftig wütete, vollständig verschont.

## 9. Anhang

### *Kurzbiographien*

#### 1. Weber, Ernst Heinrich (1795-1878)

geb. am 24. Juni 1795 in Wittenberg

1815 Promotion in Wittenberg

1817 Habilitation in Leipzig

1818 a.o. Prof. der vergleichenden Anatomie

1821 Nachfolger Rosenmüllers

1825 Herausgabe der "Wellenlehre" von Ernst Heinrich und Wilhelm Weber

1840 o. Prof. der Anatomie und Physiologie

1866 Niederlegung des Lehrstuhls für Physiologie (Anatomie 1871)

gest. am 28. Januar 1878 in Leipzig

Begründer der neueren Physiologie (Lehre vom Puls, Gefühl, Gehör u.a.)

Verdienste um die Anatomie (Bau der Drüsen, der Leber, des Nervensystems u.a.)

Sammlung seiner Schriften: *Annotationes anatomicae et physiologicae*. Leipzig 1851.

#### 2. Weber, Eduard Friedrich Wilhelm (1806-1871)

geb. 1806 in Wittenberg

Medizinstudium in Halle

1829 Promotion (Diss. inaug., Halle 1830)

Praktischer Arzt

1836 Herausgabe der "Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge"

1836 Prosektor der anatomischen Anstalt zu Leipzig

1847 a.o. Prof. der Anatomie

gest. am 18. Mai 1871

Arbeiten zur Biologie; über Muskelbewegung (1846)

### 3. Wilhelm Eduard Weber (1804-1891)

geb. am 24. Oktober in Wittenberg

Besuch des Pädagogiums der Franckeschen Stiftungen

1822 Student der Philosophie an der Hallenser Universität

1825 Herausgabe der "Wellenlehre" von Ernst Heinrich und Wilhelm Weber

1826 Promotion zum Thema "Zungenpfeifen"

1827 Habilitation unter dem Hallenser Physiker, dem Leopoldina-Mitglied J.C.S. Schweiger, zum Thema: "Wellen"

1828 a.o. Prof. der Maschinenlehre(Physik)

1828 Begegnung mit A.v.Humboldt und C.F.Gauß auf der 7. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte in Berlin

1831 o. Prof. der Physik in Göttingen. Fruchtbare Zusammenarbeit mit Gauß.

1836 Herausgabe der "Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge" von Wilhelm Eduard und Eduard Friedrich Wilhelm Weber

1837 Verlust des Lehrstuhls in Göttingen. Sieben Göttinger Professoren, darunter Wilhelm Weber, erhoben Einspruch gegen das Außerkraftsetzen des Staatsgrundgesetzes durch den König von Hannover im Jahre 1837 - und wurden entlassen.

1838 Reise nach England zu John Herschel

1837-1843 Privatmann in Göttingen

1843 Nachfolger des Physikprofessors G.T. Fechner in Leipzig

1846 Grundgesetz der elektrischen Wirkung: Webersches Gesetz

1849 Rückkehr nach Göttingen als Prof. der Physik. Zusammenarbeit mit R. und F. Kohlrausch

1854 B. Riemann - Assistent von Weber

gest. am 23. Juni 1891 in Göttingen

Sammlung seiner Schriften: Wilhelm Weber's Werke, Bd. 1-6 (1892 ff.)

#### 4. Theodor Weber (1829-1914)

geb. am 18. August in Leipzig

Besuch des Nikolaigymnasiums

1848 Studium der Naturwissenschaften in Göttingen, auch beim Onkel W.E.Weber

1849 Studium der Pathologie und Therapie in Halle

1850 Studium der Medizin in Leipzig, auch beim Vater E.H.Weber

1854 Promotion

1855 Habilitation und Privatdozent

1858 Leitung der Medizinischen Poliklinik in Leipzig

1859 a.o. Prof.

1861 o. Prof. der Praktischen Medizin und Direktor der medizinischen Klinik und Poliklinik an der Universität zu Halle

1861/62 Vorlesungen zur Institution "Poliklinik"

1866 Choleraepidemie in Halle. Aufruf zur Begründung eines Hilfs-Vereins für arme Cholera-Kranke und ihre Familien von Prof. Weber

1904 Verleihung der Ehrenbürgerschaft der Stadt Halle durch den Magistrat der Stadt Halle (2. Mai 1904)

1911 Fünfzigjähriges Doktorjubiläum. Benennung einer Hallenser Straße als Theodor-Weber-Straße

gest. am 4. September 1914 in Halle

Arbeiten zur Prakt. Medizin. Über die Entstehung der Geräusche in den Blutgefäßen (1855).

## Auswahlbibliographie

### *Wilhelm Eduard Weber (1804-1891)*

#### 1. Schriften von Wilhelm Eduard Weber

W. Weber und E.F. Weber: *Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge*. Göttingen 1836. Werke. Hrsg. von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. 6 Bände. - Berlin: Springer 1892-1894.

1. Akustik, Mechanik, Optik und Wärmelehre. 1892.
2. Magnetismus. 1892.
3. Galvanismus und Elektrodynamik. T1. 1893.
4. Galvanismus und Elektrodynamik. T2. 1894.
5. Wellenlehre. 1893.
6. Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge. 1894.

Wilhelm Weber und Rudolf Kohlrausch: *Fünf Abhandlungen über absolute elektrische Strom- und Widerstandsmessung*. Hrsg. von Friedrich Kohlrausch. - Leipzig: Engelmann 1904 (Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften. N. 142)

#### 2. *Über Wilhelm Eduard Weber*

Eduard Riecke: *Wilhelm Weber*. Rede, geh. in der öffentlichen Sitzung der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften am 5. Dez. 1891. - Göttingen: Dieterich 1892.

Heinrich Weber: *Wilhelm Weber*. Eine Lebensskizze. - Breslau: Trewendt 1893.

Allgemeine Deutsche Biographie. Auf Veranlassung... d... Königs... von Bayern. Hrsg. durch die Historische Kommission bei der Königlichen Akademie der Wissenschaften. Bd. 41. - Leipzig: Duncker & Humboldt. 1896. Darin über Wilhelm Weber. S. 358-361.

G. Musmacher: *Kurze Biographien berühmter Physiker*. - Freiburg: Herder 1902. Darin über Wilhelm Weber S. 196-198.

Karl Heinrich Wiederkehr: *Wilhelm Webers Stellung in der Entwicklung der Elektrizitätslehre*. - Hamburg 1962.

Karl Werner: *Wilhelm Weber (dtsh. Physiker, 1804-1891)*. - In: *Physik in der Schule* 1964, H. 9, S. 389-384.

Karl Heinrich Wiederkehr: *Wilhelm Eduard Weber. Erforscher der Wellenbewegung und der Elektrizität 1804-1891*. - Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft 1967 (Große Naturforscher.Bd. 32).

Karl Werner und Konrad Werner: *Wilhelm Weber* - Leipzig: Teubner 1976. (Biographien hervorragender Naturwissenschaftler, Techniker und Mediziner. Bd. 22).

Karin Reich: Carl Friedrich Gauß. 1777-1977. - Bonn-Bad Godesberg: Inter Nationes 1977.  
Darin: Zusammenarbeit mit Wilhelm Eduard Weber. S. 39-43.

Tomas Boree: Guten Tag, Herr Ampere. Wissenswertes und Unterhaltsames über berühmte  
Wissenschaftler und nach ihnen benannte Maßeinheiten. Aus d. Tsch. - Leipzig:  
Fachbuchverlag 1979. Darin über Wilhelm Eduard Weber. S. 292-299.

Wolfgang Greiner: Der Wittenberger "Orgelpfeifen" - Physiker. In: Meier-Zeitung. Stadt und  
Landkreis Wittenberg. 1. Ausgabe. 1. Jahrgang. 6. Oktober 1991.

*Ernst Heinrich Weber (1795-1878)*

#### *Schriften*

Ernst Heinrich Weber und Wilhelm Weber: Wellenlehre... Leipzig 1825.

Ernst Heinrich Weber (Überarbeitung): Hildebrandts Handbuch der Anatomie d. Menschen.  
Braunschweig 1830-1832.

Ernst Heinrich Weber (Überarbeitung): Rosenmüllers Handbuch des menschlichen Körpers.  
Leipzig 1840.

Ernst Heinrich Weber: Eduard Weber's Entdeckungen in der Lehre von der  
Muskelcontraktion. In: Joh. Müller's Archiv 1846. S. 482-527.

Ernst Heinrich Weber: Annotationes anatomicae et physiologicae. Leipzig 1851.

*Eduard Friedrich Weber (1806-1871)*

#### *Schriften*

Quaestiones physiologicae de phaenomenis galvano-magneticis in corpore humano observatis,  
Lipsiae 1836 (physiologische Fragen über die im menschlichen Körper beobachteten  
galvanomagnetischen Erscheinungen Leipzig 1836.)

Wilhelm Weber und Eduard Friedrich Weber: Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge.  
Göttingen 1836.

Eduard Friedrich Weber: Über Muskelbewegung. In: R. Wagners Handwörterbuch der  
Physiologie und wiss. Medizin 1846.

*Theodor Weber (1829-1914)*

*Schriften*

Theodor Weber: Physikal. und physiolog. Experimente über die Entstehung der Geräusche in den Blutgefäßen. A.G. phys. Heilkunde 1855. XIV.

Theodor Weber: Nasendusche. Ber. über die Giessener Naturf. - Vers. 1864. Giessen 1865. S. 206.

Theodor Weber: Zur Theorie des Bronchial-Asthmas. Vortrag. Leipzig. Naturforscher-Versammlung 1873.

Theodor Weber: Über die operative Therapie der Pleuritis. Verh. d. Kongr. f. innere Medizin. 1886.

## Liste der Tafeln, Figuren und Abbildungen

Zur Wellenlehre: Tafel I

Tafel IV

Tafel IX

Tafel XI

Tafel XVIII

Tafel VI und Fig. 51

Tafel VII und Fig. 53

**Zur Mechanik menschlicher Gehwerkzeuge: Tafel I**

**Tafel XIII**

**Tafel XIV**

**Tafel XV**

**Tafel XVI**

**Briefe und andere Dokumente:**

**1. Brief Chladnis an Ernst Heinrich Weber vom 27.1.1820**

**2. Vorlesungsankündigung Wilhelm Eduard Webers**

**3. Briefliche Ankündigung einer Göttingen - Reise Ernst Heinrich Webers  
(gemeinsam mit Theodor Weber) vom 30. Mai 1857**

**4. Gesuch der dreizehn Professoren zur Konstituierung einer Wissenschaftlichen  
Gesellschaft zu Leipzig**

Fig. 1 p. 1

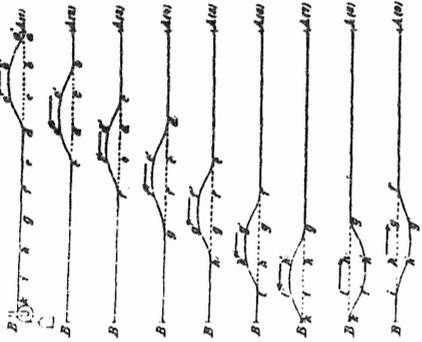


Fig. 2 p. 5

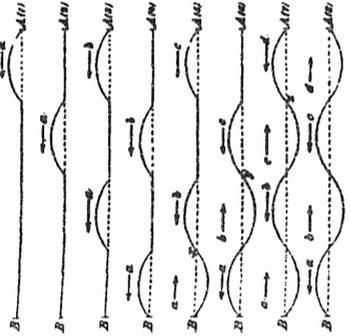


Fig. 3 p. 7

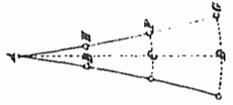


Fig. 4 p. 7



Fig. 5 p. 7

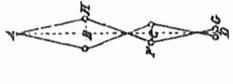


Fig. 6 p. 8

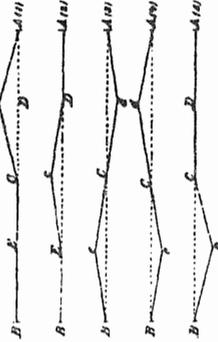


Fig. 7 p. 10

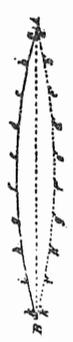


Fig. 8 p. 10



Fig. 9 p. 15



Fig. 10 p. 20



Fig. 11 p. 20



Fig. 12 p. 22, 23

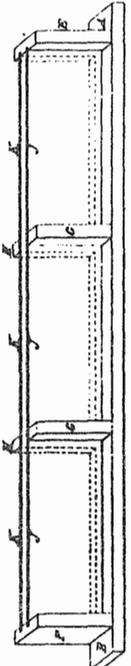
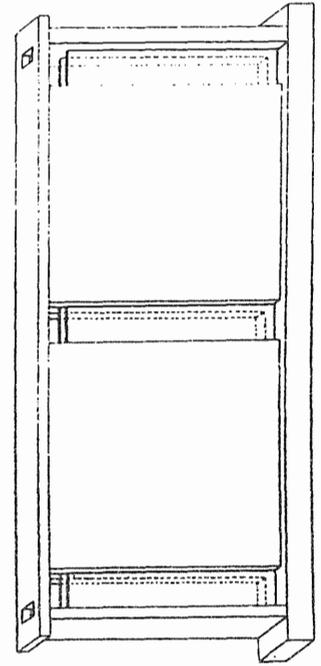


Fig. 13 p. 22, 23



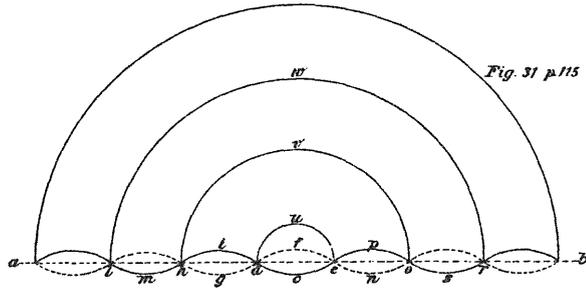


Fig. 32 p. 141

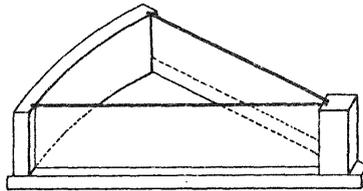


Fig. 35 p. 155

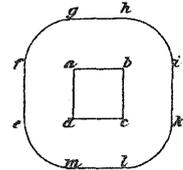


Fig. 33 p. 143, 288, 296

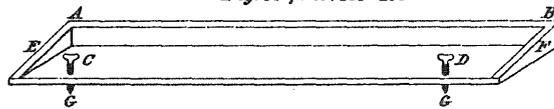


Fig. 36 p. 155

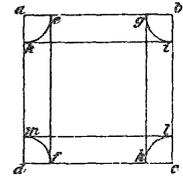


Fig. 34 p. 153, 312

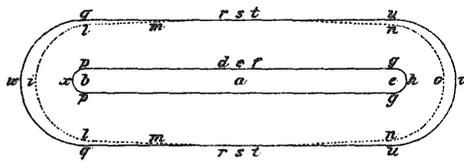


Fig. 37 p. 155

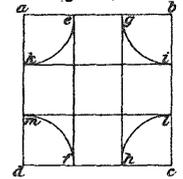
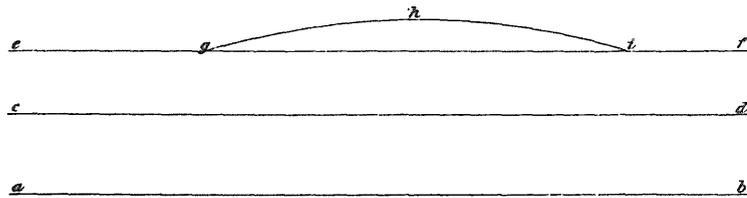


Fig. 38 p. 157, 316



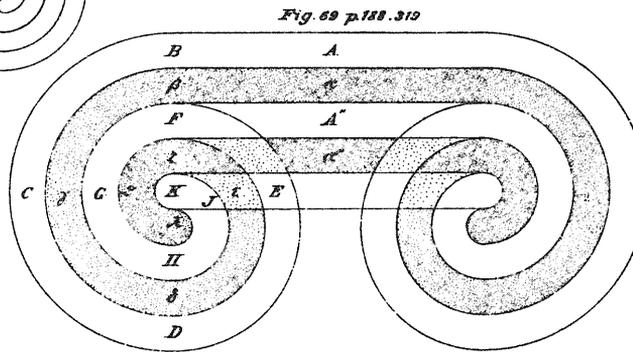
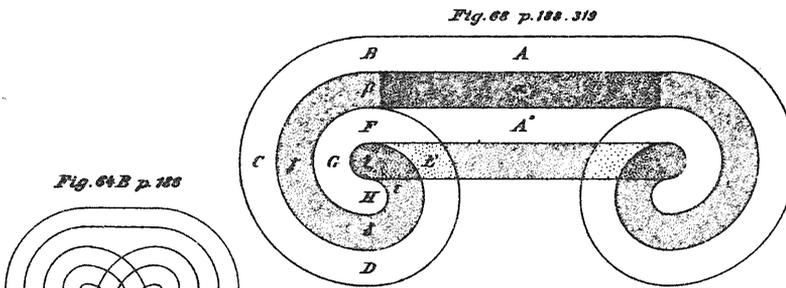
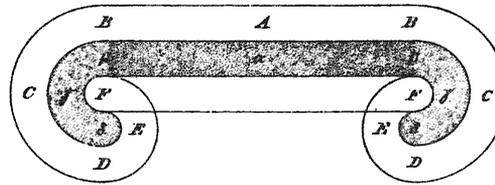
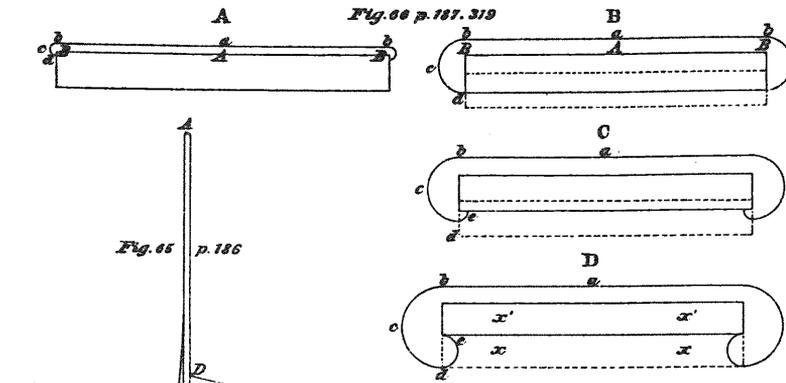


Fig. 73 p. 197.

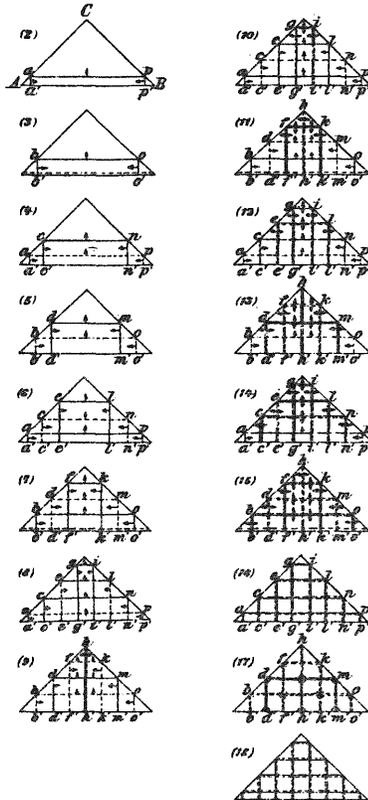


Fig. 74 p. 192.

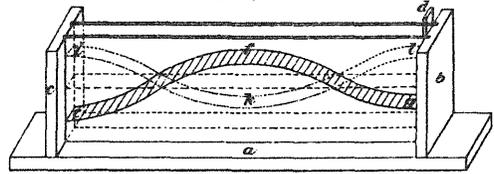


Fig. 75 p. 193.

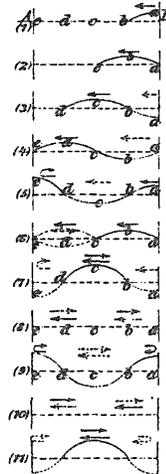


Fig. 76 p. 195.

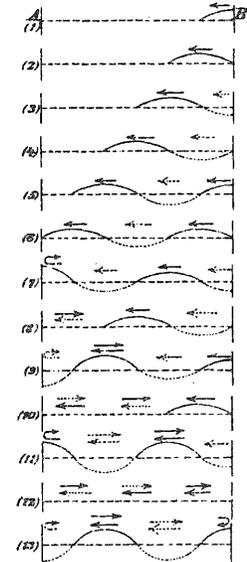


Fig. 78 p. 195.

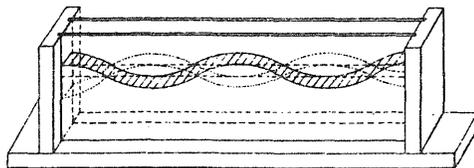


Fig. 77 p. 195.

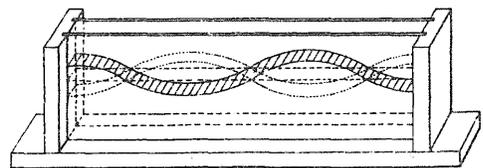


Fig. 79 p. 196.

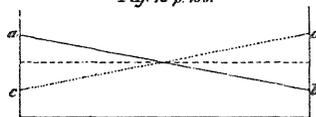


Fig. 194 p. 388.

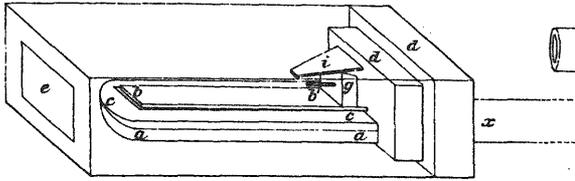


Fig. 207 p. 416.



Fig. 200 p. 410.

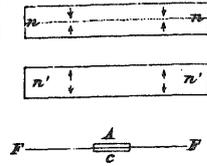


Fig. 195 p. 394.

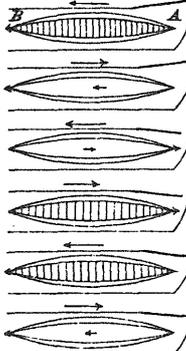


Fig. 196 p. 399.

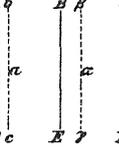


Fig. 209 p. 418.

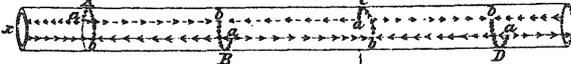


Fig. 208 p. 417.

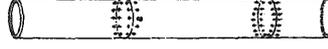


Fig. 199 p. 409.

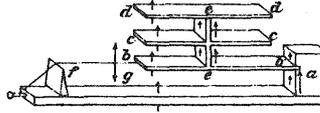


Fig. 204 p. 411.

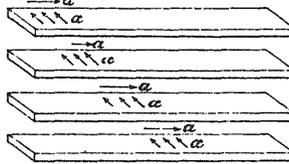


Fig. 197 p. 402.



Fig. 198 p. 408.

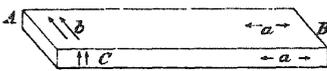


Fig. 205 p. 411.

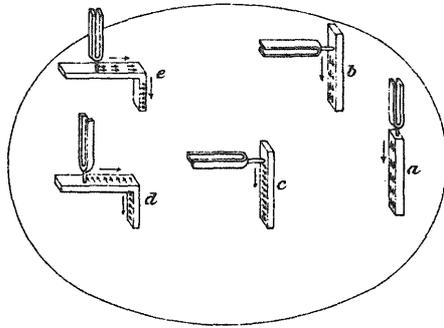


Fig. 201 p. 410.

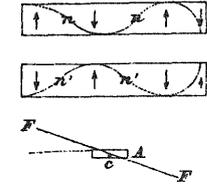


Fig. 202 p. 410.

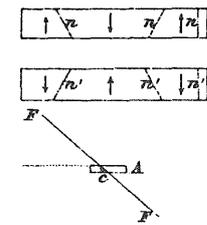


Fig. 203 p. 410.

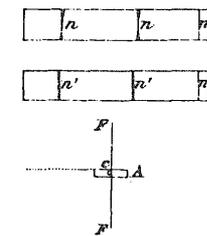


Fig. 206 p. 415.



Fig 50 p. 176

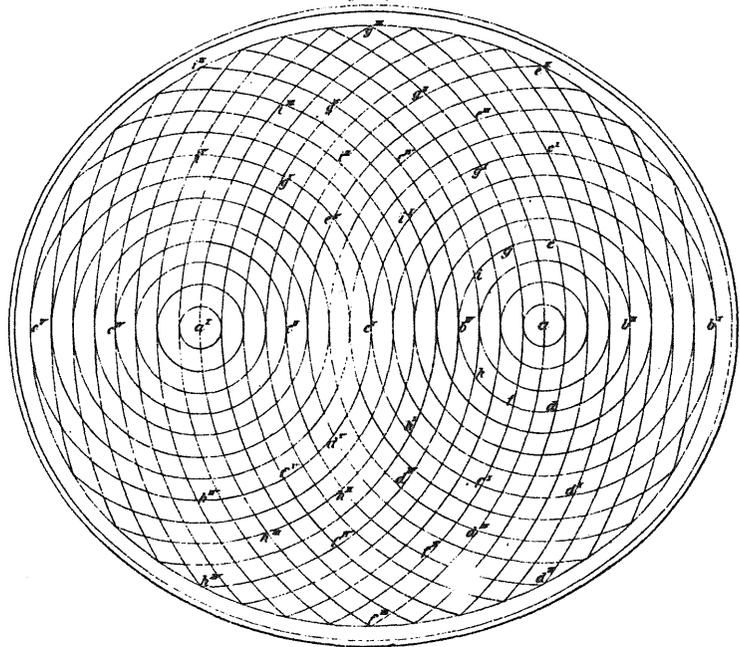
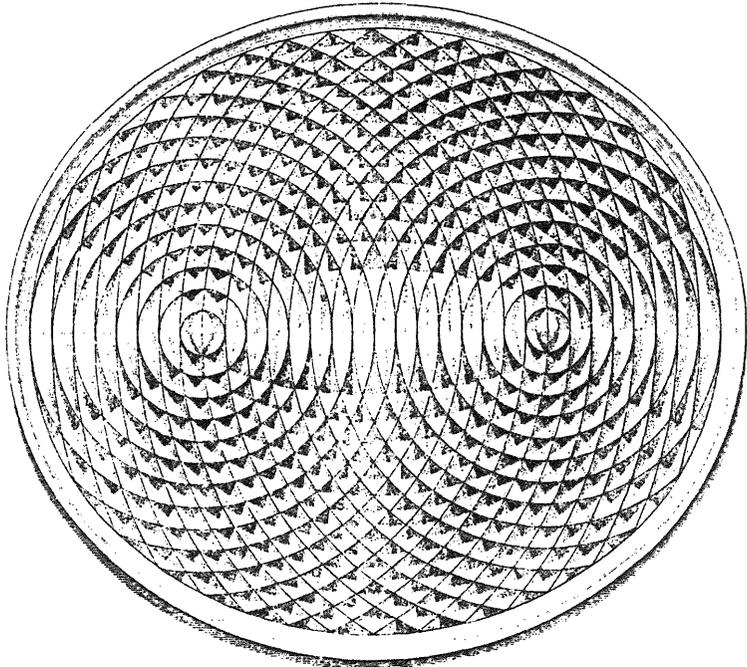
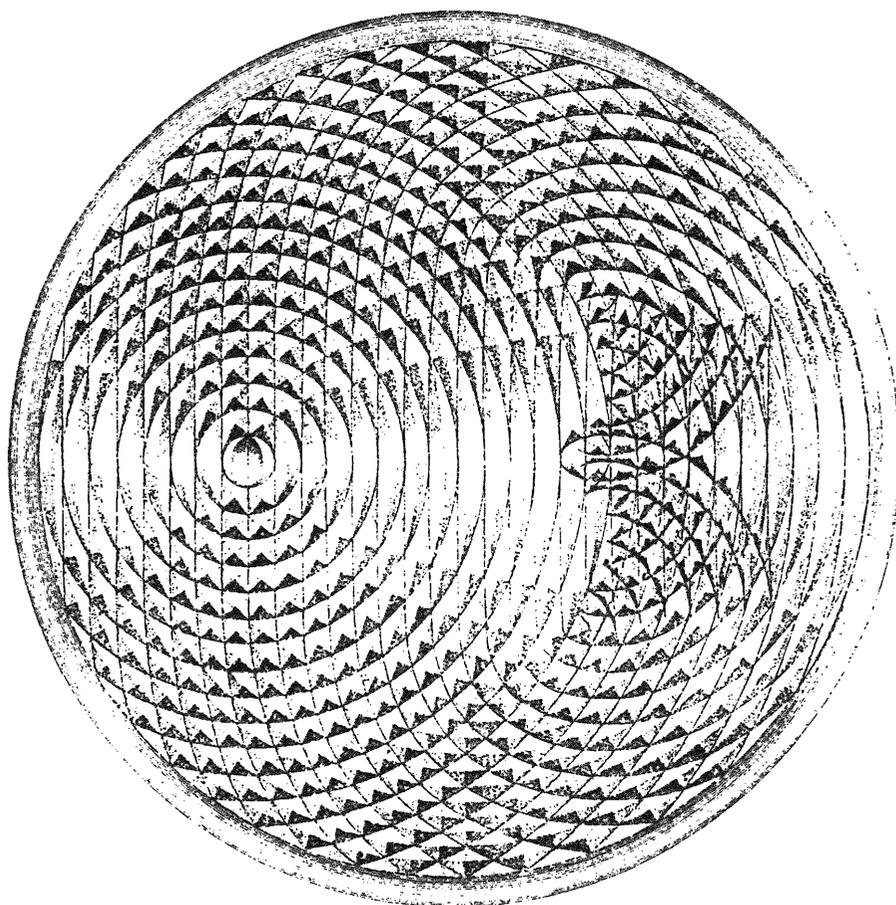
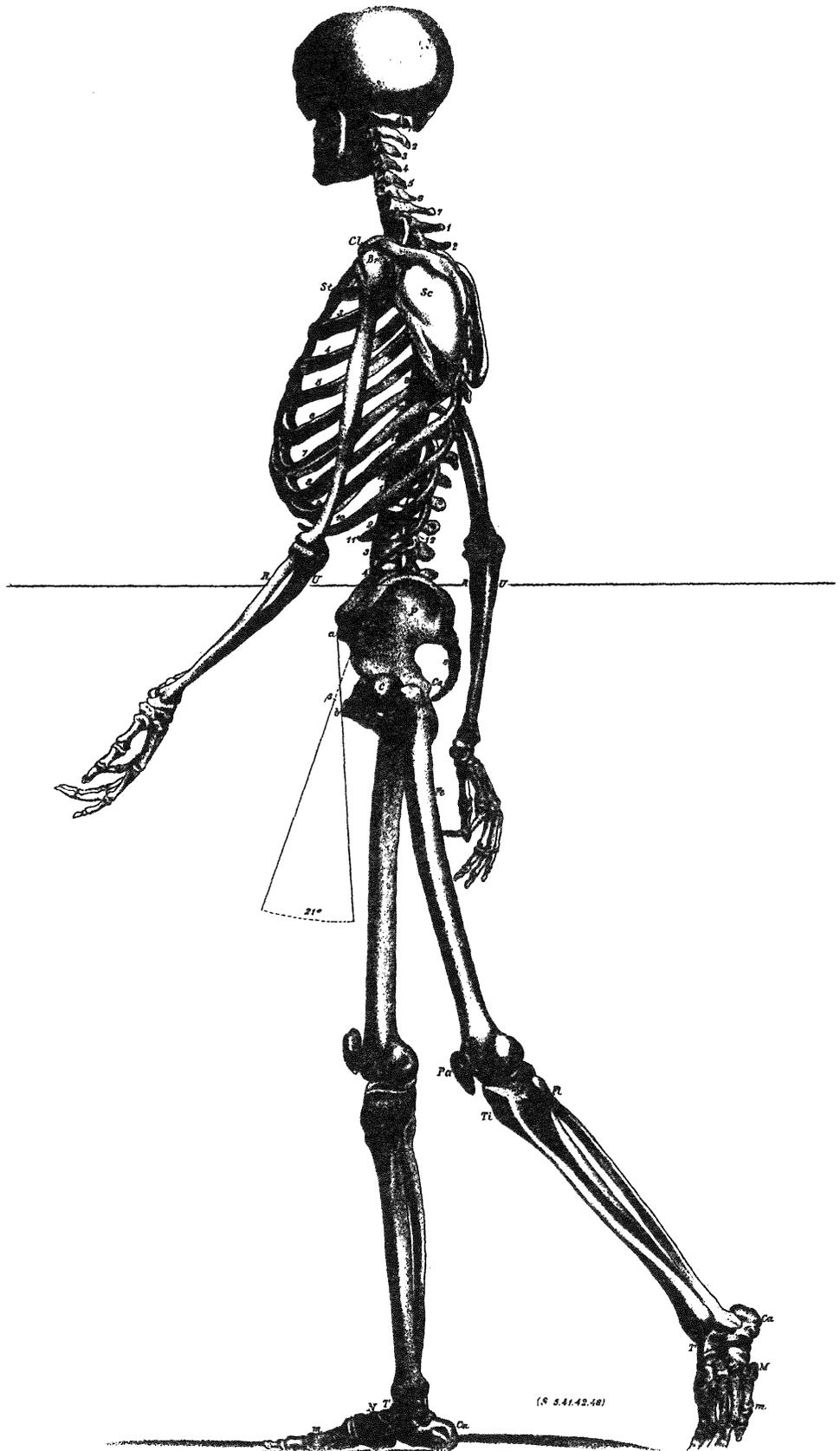


Fig 51 p. 177



*Fig. 53 p. 178. 313*





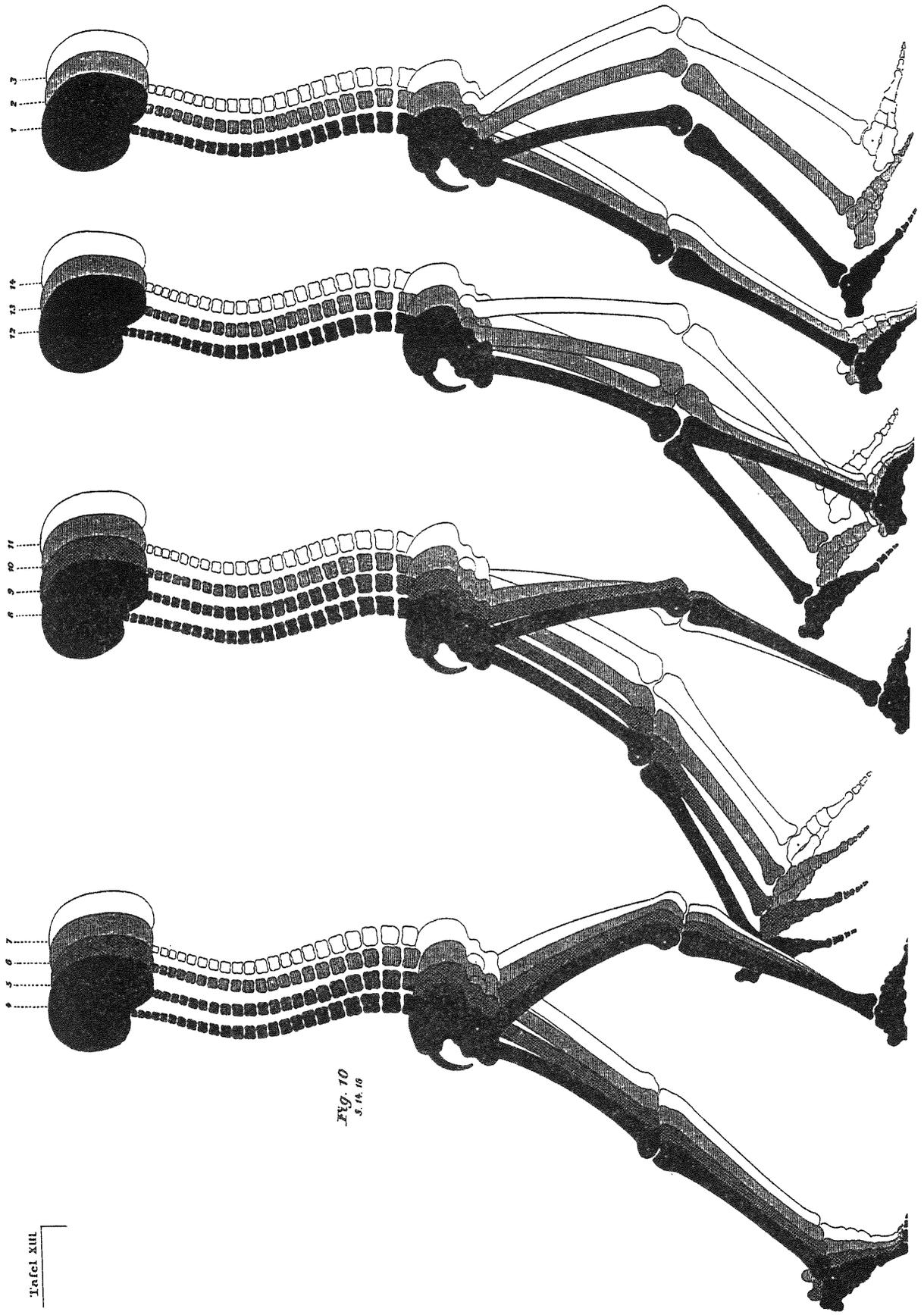
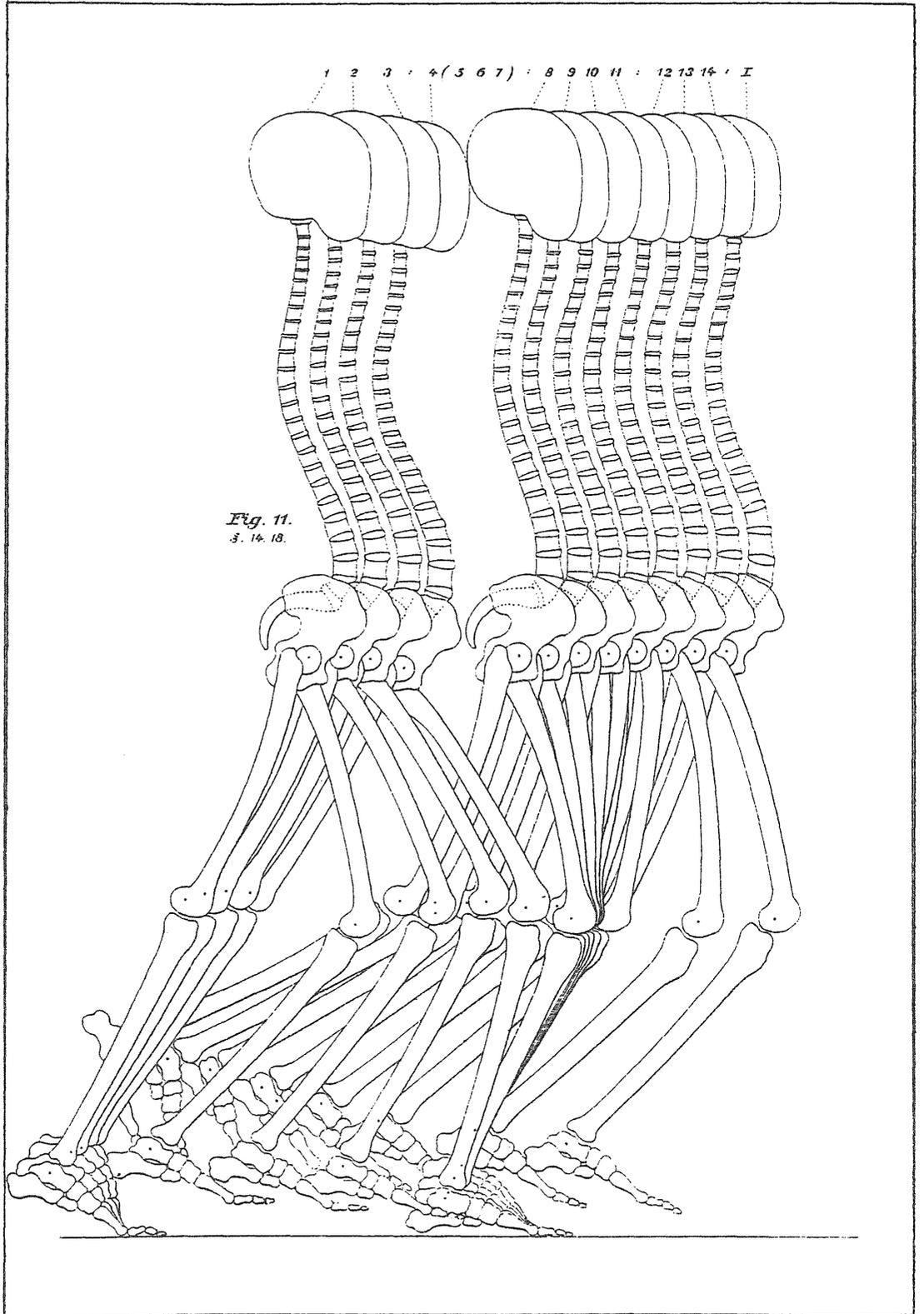


Fig. 10  
S. 14, 16



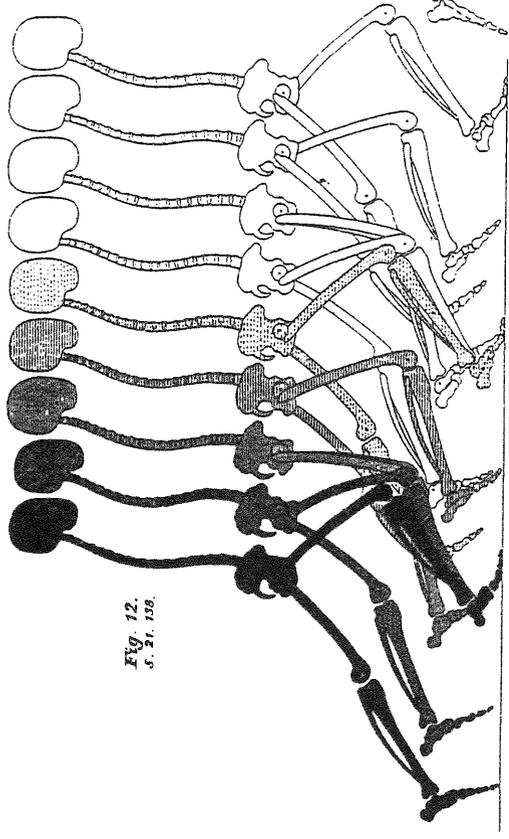


Fig. 12.  
S. 21. 136.

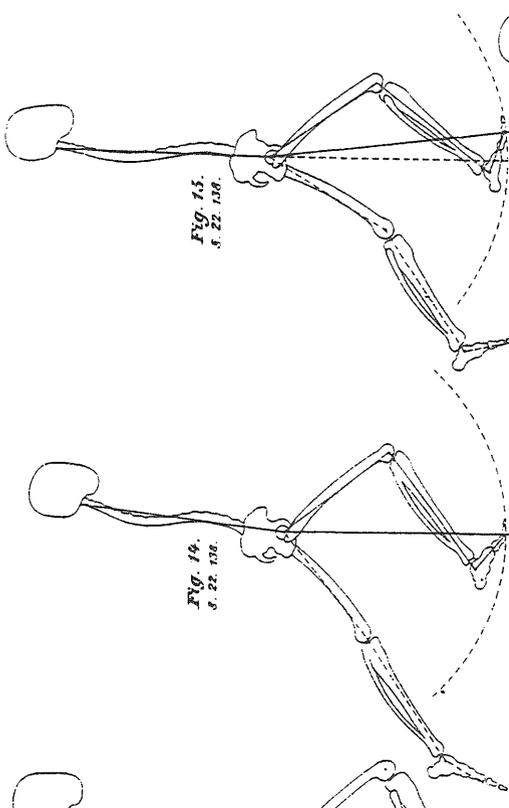


Fig. 13.  
S. 22. 136.

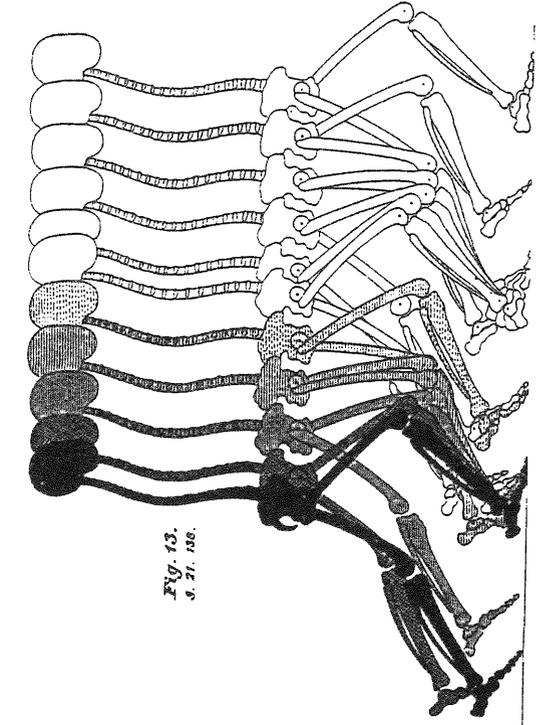


Fig. 14.  
S. 21. 136.

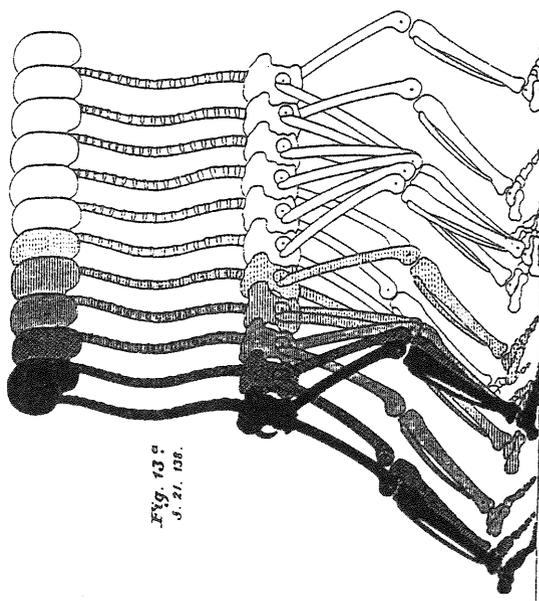


Fig. 15.  
S. 21. 136.

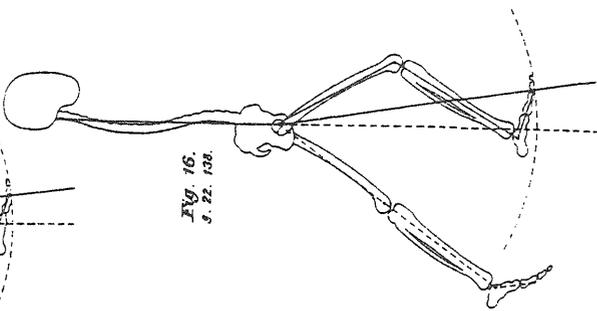
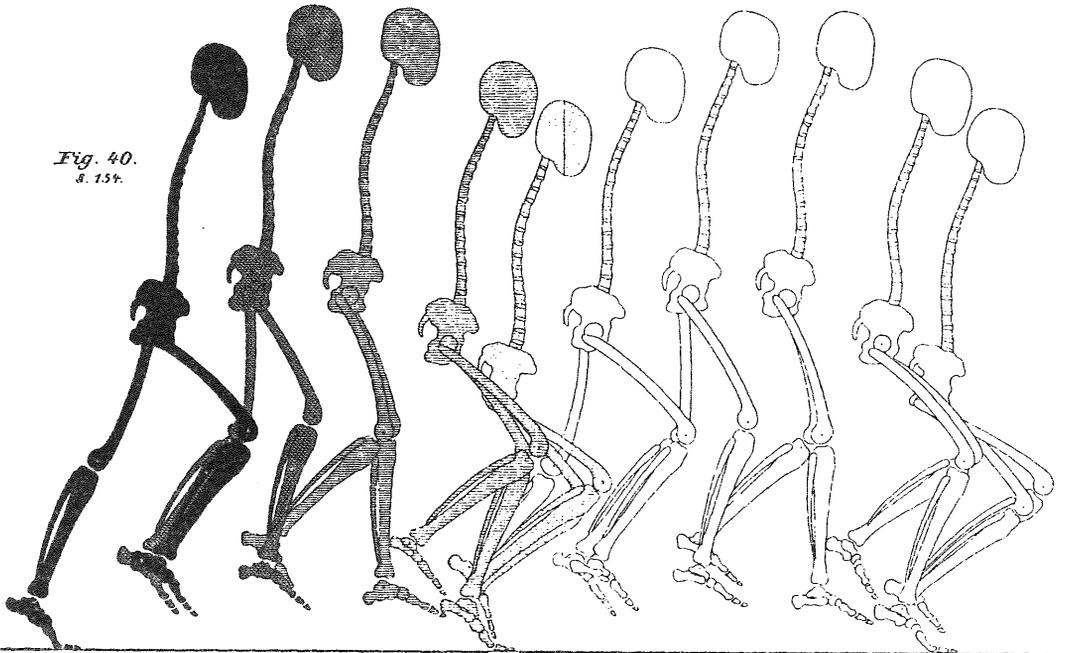
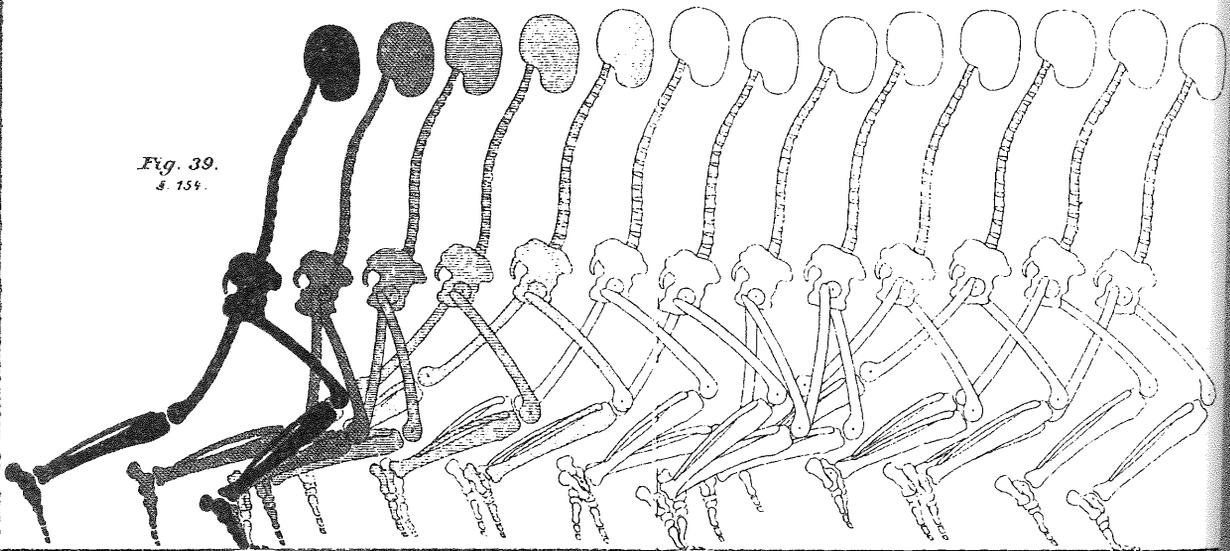


Fig. 16.  
S. 22. 136.

*Fig. 40.*  
S. 157.



*Fig. 39.*  
S. 154.



10

H. mit  
in  
den 74  
Lithen.

Dr. Maffgrobom

der Herr St. Paul. Feinw. Albert  
Professor der mathematischen Anatomie

Feinw. Albert  
ist ein die ganze

Dr. Maffgrobom  
in 1874  
2. 1. 1874

Chlodni  
zu Brief 27. 7.

74  
Freitag, den 27. Januar 1820.

Mein verehrtester Freund,



Ihre gütige Zuschrift hat mir sehr gerne gemacht, besonders wegen der darin  
größtenteils unverändert fortwährenden Gesinnungen, wie ich denn auch nicht unter-  
steht, nur, so wenig Sie und Andre betreffende Nachrichten zu empfangen. Ich  
ist gewünscht, daß Sie mir diese nach Genova. unsere Willen, so wie ich bereit gewesen  
Herrn dortigen Feststellungen mitzugeben an den Professor Nicconi, inwiefern an Benedetto  
Major, Professor der Medizin und an dessen Bruder Francesco Major, Professor der Physik;  
indessen werden Sie diese wohl schon auf sehr kurze Zeit geleistet. Unvollständig werden  
Sie wohl auch eine kleine Zusammenfassung erhalten, und die botanische Gärten der  
großen Grimaldi in Pogli. aufsuchen, wo in dem weit entfernten Klima fast alle  
tropischen Gewächse in großer Anzahl zu finden sind. An dem Orte, an dem der Professor Nicconi,  
wiewohl Herr von Feststellung mitgeben können. An dessen ganz fernhin sind es aber  
nicht möglich, da es denn in einer unangenehmsten Lage von Genova ab nicht  
möglich, umsofort ganz in der Nähe wirklich, nur meine ganze Reise ist, und die gütige  
Herr Professor, nach welchem Ort auf Montagne Santa Lucia, Romina Santa Fe de  
e Donna Santa Veronique. Ich selbst aber doch nicht so ganz allgemein empfindet.  
daß Sie mir außerordentlich Professor der anglicanischen Anatomie (unvollständig  
dies mit mirer Gefalt) erhalten haben, was mir sehr angenehm zu empfangen  
und ist gewünscht, nicht daß man Herrn wissenschaftlichen Arbeit und Arbeit auch  
in der Folge immer mehr und mehr Wohlthat, zurücksetzen lassen.

Sie haben die Gefälligkeit gehabt, zu erfahren, daß, wenn ich nach Leipzig käme,  
ich bei Herrn Professor wüßte. Nun würde ich, wenn es auch ohne unbilligen Aufwand  
sollte, gerne Ihre gütige Anbete empfangen, weil es mir interessant sein würde,  
in Ihrer Nähe zu sein, da ich Sie als Freund und als wissenschaftlichen Mann sehr  
in Ehren halte; es hat aber der Herr v. Spretzenburger, gewissermaßen d. d. 1. d. d. d. d.  
gefaßt, mir nur wenig Zeit, ich weiß nicht, wie ich diese Gelegenheit nicht zu  
lassen, daß, wenn ich nach Leipzig käme, ich überhört, mir vorzuziehen, um die  
in ihrem Lande empfangen wüßte; es wird also von mirer Seite als ein Vorwand.  
mich der Formidität und der Furcht angestrichen, wenn ich nicht nicht empfangen

Alles die am Ernst Heinrich  
Weiler in Leipzig  
(Autographensammlung. Roemer)

wollt. In dem Falle aber, daß es nicht durch gehend, wird ich kein Bedenken  
tragen von Ihnen so gefälligen Lumbischen Gebühre zu empfangen, aber, wie es sich von  
selbst versteht, auf eine solche Art, daß Sie nicht in der Hoffnung auf diesen  
Satz dürfen.

Dem Vorsteh Ihrer unterfertigten hier Michas fater ist Ihre Längst verlassene, und  
sich bedienend, und daß Ihre Frau Mutter nicht eine recht besser Gedächtnis sehr verläßt ist  
in Wien, obwohl ich mich nicht, von Herrn Dr. Hoffmann in Luzzig. Auf der Zeit  
Ihre Frauen Frau Gotsche, die Frauengast-Hausfrau, der mich vor mich in  
dortem Ort, immer als eine Frau freudigend anfang, was mich sehr bezaubert und  
ich sehr ich sehr bedient. Alle andern mich guttätig und gefälliger Herrschaften von  
mir noch zu bezaubern.

Oben dem nicht mit von Herrn, bei Haly, am 13. October gehaltenen Mitbe-  
rater wurde ich, so sehr ich es auf mich, auch sehr viel Gelegenheit haben, ein  
Briefchen für meine Sammlung zu bekommen, da die Regierung in Wien ich in Luzzig  
genau und auf der dreyen, Capitalblättern als ob ich unachtsam und unglücklich ist.

Die meine letzten Anwesenheit in Luzzig sehr ich nicht, erst in und außer dem  
Land freudig, und sehr mich geübt, so daß ich dem Herrn Gott die Hand (und  
die gestandenen Freuden, Wien an. s. u. auf mich sehr empfindlich) nicht mit  
Viele ergriffen sehr. Die Brief ging über sehr und sehr auf sehr, was ich  
Monat, so wie sonst in Göttingen 3 Monate blieb, um in der dortigen Bibliothek zu  
wissen von fremden, und freudigsten Massen zum Besuche nicht anzuwenden,  
die Brief zu sammeln; ging sehr auf sehr, was ich 2 Briefe von Göttingen  
(Luzzig 14) über Akzept und über freudigsten Massen sehr, was mich nicht  
mit sehr Aufseher nahm, wie auf mich in Altona; sonst auf in Münster, Köln,  
Lyon, Coblenz, Frankfurt, Emden (von was ich mich klein Akzept auf sehr  
macht, und 11 Tage dort blieb), Metz, Wien, Pest, Brinn, und ganz  
in Wien. In Wien bin ich nicht lange geblieben, wegen der Freuden nicht  
dort in der Lumbischen Freuden, was mich Brief über fremden und ich die  
mit dem freudigsten Massen, dessen Anwesenheit ich dort nicht, und die  
Erreichte ich nicht zu besorgen sehr nicht. In Wien sind ich nicht Freuden  
die meine Freuden; die Freuden ist, so wie in Wien, Pest, und Brinn, 20 fl. Wien  
Anwesenheit, welche gibt mich freudigsten an Meiste vollkommen gleich ist, wie ich dem

Chlodwig  
im Brief 27. 7. 1820

auf dessets Jaraer andromäts beschränkt setze. der D. Gull set. die die für Nor-  
Lügen andromäts mit wof beschränkt lasten des was ist aber nicht. Zu find der künfti-  
gen Beschränkung undromäts beschränkt setze, und nicht lange Jaraer ge-  
druck ist nach andromäts zu setzen. Wie lange ist der Bletter, und ob ist der andromäts,  
krist in Jaraer, auf Beschränkung setze, nicht ist wof nicht. Andromäts geduck ist nicht  
auf nicht Jaraer nach andromäts, wo ist wof nicht nach setze, Jaraer beschränkt, und nicht  
mit Beschränkung über die Beschränkung, mögliche Beschränkung mit Beschränkung (un-  
nüt ist für Jaraer lasten auf andromäts <sup>nicht</sup> Geduck zu beschränkt und nicht auf nicht andromäts  
bei nicht Jaraer nicht eingestränkt Beschränkung dieser last nicht zu beschränkt  
ob ist nicht nur andromäts auf, oder nicht Jaraer Geduck, was ist wof nicht aber  
auf alle setze geduck ist wof in Jaraer aber zu Beschränkung des Beschränkung andromäts  
nicht nach Jaraer zu Beschränkung was ist nicht andromäts Geduck nicht, die eingestränkt.

Der Brief an Jaraer set nicht auf in andromäts Geduck sondern ist nicht  
was die nach Jaraer nach setze. D. andromäts

Wenn die nicht nach mit andromäts Geduck, was ist wof nicht, wenn die  
ob nicht eingestränkt Geduck Jaraer nicht, was ist wof nicht, was ist wof nicht in der  
Eulerischen Beschränkung, was ist wof nicht, was ist wof nicht, was ist wof nicht  
in der Beschränkung, was ist wof nicht, was ist wof nicht, was ist wof nicht  
Jaraer nicht, was ist wof nicht, was ist wof nicht, was ist wof nicht.

Jaraer die nicht beschränkt, was ist wof nicht, was ist wof nicht, was ist wof nicht  
mit auf Jaraer nach Geduck, was ist wof nicht, was ist wof nicht, was ist wof nicht  
obromäts in Jaraer nicht.

übrigens leben die nicht nach, was ist wof nicht, was ist wof nicht, was ist wof nicht  
Beschränkung Jaraer nicht, was ist wof nicht, was ist wof nicht, was ist wof nicht  
Jaraer Geduck und Beschränkung, was ist wof nicht, was ist wof nicht, was ist wof nicht.

Chlorobri  
zu Brief 27.7. 782

Guitielmus Weber, P. P. O.

Comonitionibus Humanissimis

J. P. D.

---

Die im bevorstehenden Sommer-falljahre zu haltenden Vorträge über die

Leguminosul-Physik

eröffnet im Locale des physikalischen Cabinets, Mittwochs den 6<sup>ten</sup> Mai,  
Kaufmännisch um 4 Ufr. beginnen. Die Vorlesung, welche mich vorber zu ehren  
würdigen, finden mich des Morgens vor 11 Ufr. im physikalischen Cabinet,  
währe in meiner Wohnung.

Walth. Ed. Weber  
Sammbl. Litterat.-a, Bd. XII

Verabschiede Freund,

Indem ich im Begriff bin gams in's  
Lied mit Theodor nach Göttingen zu  
reisen, so verzeihe ich noch in wenigen  
Zeilen unsern frohlichen Glück-  
wunsch zu dem festlichen und  
guten Eintritte.  
Mögen die Göttinger und  
Hannoverer, welche das liebe Paar  
wünscht dem neuen Labium ungen  
begleiten, recht herzlich in Ge-  
sellschaft gehen! Mit vielen

20. Mai 1857 (den 37,  
Ernst Heinrich Weber  
Samml. Clodius, Gelehrte.

Amstufungen von der Braut  
und dem Bräutigam

Jfr

Leipzig  
den 30 Mai 1857.

gegeben von  
Dr. Weber.

E. Heln. Weber  
Samm. Clodivs gelehrte



## Aphorismen

von

Wilhelm Eduard Weber

Von den Kategorien Zahl, Raum und Zeit gehört die Zahl allein der reinen Logik oder Wissenschaft an, Raum enthält schon etwas Hypothetisches oder aus der Anschauung Entnommenes (z.B. die Euklidische Hypothese der Parallelentheorie, ferner die Vorstellung von links und rechts, die keine logisch definirbare Begriffe sind). Ebenso wie mit dem Raum dürfte es sich auch mit der Zeit verhalten. Die Verhältnisse von Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft nach unserer für die physische Welt gebildeten Vorstellung von der Zeit dürften also ebenfalls etwas Hypothetisches enthalten, wass für die geistige Welt (für die Gedankenwelt, noch mehr aber für das Denken selbst) keine unbedingte Gültigkeit besässe. Wir fassen unsere Gedankenwelt in den Rahmen von Zahl, Raum, Zeit, Bewegung u.s.w., wobei Stetigkeit und Einfachheit der Bewegung (dass kein Ding zweierlei Bewegung zugleich machen könne) für den Zusammenhang wesentlich ist.

Dieser Rahmen genügt nicht mehr, wenn diese unsere Gedankenwelt auch auf geistiges Leben und auf die Gottheit ausgedehnt und erstreckt werden soll.

Die geistige Bewegung des Denkens kann nicht in der Art beschränkt werden, dass sie ebenso wie die physische Bewegung dem Princip der Stetigkeit und Einfachheit (wonach kein denkendes Wesen zwei Gedanken zugleich haben könnte) unterworfen würde. Die Möglichkeit eines Schlusses, fordert drei Sätze zusammen im Bewusstsein gegenwärtig zu haben.

Nach jenem ersteren, für die physische Welt gebildeten Rahmen, ist die Gegenwart gar nichts, nämlich blosse Grenze zwischen Vergangenheit und Zukunft ohne eigenen Inhalt.

Im geistigen Leben gehört das Bewusstsein der Gegenwart an, was einen wesentlichen Inhalt hat (dem auch alle Erinnerung angehört). Im geistigen Leben ist also die Gegenwart etwas Wirkliches und nicht blos Grenze zwischen Vergangenheit und Zukunft, sie hat einen wirklichen Inhalt.

Ohne Bewusstsein als Inhalt der Gegenwart giebt es gar kein geistiges Leben, und für die Gottheit muss sogar der im Bewusstsein gegebene Inhalt der Gegenwart unendlich ausgedehnt werden.

Ein solcher Inhalt fordert aber Zeit; im geistigen Leben ist daher die mit Bewusstsein erfüllte Gegenwart keine blosse Grenze zwischen Vergangenheit und Zukunft, sondern sie ist eine Grenzschrift zwischen Vergangenheit und Zukunft, sie ist ein wirkliches Zeitelement.

In der Gottheit muss diese mit Bewusstsein erfüllte Gegenwart unendlich ausgedehnt sein. Die Gottheit, die blos in der Gegenwart, in dem für die physische Welt angenommenen Sinne (wo sie nämlich die blosse Grenze von Vergangenheit und Zukunft ist), existirte, in der Vergangenheit existirt hätte und in der Zukunft erst noch zur Existenz gelangen müsste, würde geistig Null oder nur ein Scheinwesen sein.

Unser Denkvermögen, Empfindungsvermögen und Erinnerungsvermögen sind das uns verliehene Pfund, mit dem wir wirthschaften sollen. Wir bilden aus eine Gedankenwelt in wunderbarem Zusammenhange mit unseren Empfindungen. Wir lernen dadurch das uns verliehene Pfund schätzen und den Geber verehren und ihm vertrauen, der es verliehen. Diese im Zusammenhange mit unseren Empfindungen gebildete Gedankenwelt umfasst auch eine Vorstellung von uns selbst, die aber durch die Vorstellung von unserer Geburt und

unserem Tode auf den Zeitabschnitt zwischen beiden beschränkt ist. Jene Gedankenwelt enthält zwar viele Vorstellungen, auch von dere Zeit vor unserer Geburt und nach unserem Tode, aber unter diesen Vorstellungen ist keine von uns selbst. So lange wir leben wirthschaften wir mit dem uns verliehenen Pfunde und suchen unsere Gedankenwelt fortwährend zu berichtigen und zu vervollständigen; was wir aber schon erreicht haben, genügt, um uns die höchste Schätzung des verliehenen Pfundes und das höchste Vertrauen in den Verleiher einzuflößen, insbesondere das Vertrauen, dass, wer dieses Pfund verliehen, auch weiter sorgen werde. Auf dieses Vertrauen gründet sich die Ueberzeugung, dass die wahre Weltordnung die Ordnung unserer Gedankenwelt noch weit übertreffe.

Wenn materielle Wesen, die räumlich und zeitlich von einander getrennt sind, in Wechselwirkung stehen, so liegt der Grund dieser Wechselwirkung in dem Wesen beider als einem Ganzen. Die von einander abhängigen Theile dieses Ganzen existiren in verschiedenen Raum- und Zeitpunkten. Giebt es materielle Wesen, die als Ganzes nicht auf einen Raumpunkt und Zeitpunkt beschränkt werden können, so gilt dies noch weit mehr von geistigen Wesen.

Verliehen ist uns das Empfindungs-, Denk- und Erinnerungsvermögen. Wir erwerben damit überhaupt eine Gedankenwelt, insbesondere eine gedachte Welt, materielle und geistige in kausalem Zusammenhange. Der kausale Zusammenhang führt auf eine letzte Ursache - Gott. Die Möglichkeit einer tieferen Einsicht in das Woher und Wozu scheint uns durch das Empfindungs- und Denkvermögen nicht verliehen zu sein. Eine gedachte Welt in kausalem Zusammenhange, welche nicht auf eine letzte Ursache führt, sondern auf viele letzte Ursachen, Eigenschaften aller im Raume vorhandener Dinge, ist auf eine gedachte Körperwelt beschränkt; alles Denkende ist davon ausgeschlossen, folglich ist davon auch ausgeschlossen jede Erklärung der gedachten Körperwelt. Denn eine Körperwelt könnte existiren, ohne dass sie gedacht wird.

In der beschreibenden Naturlehre (inkl. Chemie), wird der durch eine Regel gegebene Zusammenhang für eien Erklärung genommen, ohne dass der Grund der Regel in der Natur der gedachten Körper nachgewiesen sei, geschweige der Grund alles Empfindens und Denkens.

## *Inhalt*

*Seiten*

<b>Vorwort</b>	<b>3</b>
<b>2. Vorbemerkungen des Herausgebers</b>	<b>4 - 7</b>
<b>3. K.H.Wiederkehr: Wilhelm Eduard Weber. Erforscher der Wellenbewegung und der Elektrizität(Auszüge).</b>	<b>8 - 11</b>
<b>4. Wellenlehre auf Experimente gegründet oder über die Wellen tropfbarer Flüssigkeiten mit Anwendung auf die Schall- und Lichtwellen. Von den Brüdern Ernst Heinrich Weber und Wilhelm Weber (Auszüge).</b>	<b>12 - 57</b>
<b>5. Mechanik der Menschlichen Gehwerkzeuge. Eine anatomisch-physiologische Untersuchung. Von den Brüdern Wilhelm Weber und Eduard Weber (Auszüge).</b>	<b>58 - 85</b>
<b>6. Rezensionen und Ergänzungen von E.F.F.Chladni und den Gebrüdern Weber</b>	<b>86 - 97</b>
<b>7. Die Gebrüder Weber und ihr Anteil an der Gründung der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig (ab 1919 Sächsische Akademie)</b>	<b>98 - 107</b>
<b>8. Ein Schüler der Gebrüder Weber - Theodor Weber in Halle</b>	<b>108 - 114</b>
<b>9. Anhang</b>	
<b>Kurzbiographien</b>	<b>115 - 117</b>
<b>Auswahlbibliographie</b>	<b>118 - 120</b>
<b>Tafeln</b>	<b>121 - 132</b>
<b>Briefe</b>	<b>133 - 140</b>
<b>Aphorismen von W. Weber</b>	<b>141 - 142</b>

# Der Wittenberger "Orgelpfeifen"-Physiker

In diesem Monat (am 24.) hätte W.E. Weber - "Vater" heutiger Elektrotechnik- Geburtstag gefeiert

**Wittenberg-mz.** Mit einem völlig ernstem Vortrag über die "Kompensation der Orgelpfeifen" machte auf der 7. Versammlung der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte, die im Herbst 1828 unter der Leitung von A. v. Humboldt in Berlin durchgeführt wurde, ein junger Physiker aus Halle auf sich aufmerksam - Wilhelm Eduard Weber, Professor für "Maschinenlehre" (Physik) an der "Vereinigten Friedrichs-Universität Halle/Wittenberg" mit dem Spezialgebiet Akustik und auf diesem Gebiet mit der besonderen Fähigkeit, Schallwellen im Musikinstrument der Messung zugänglich zu machen.

W.E. Weber wurde am 24. Oktober 1804 in Wittenberg geboren, in der "Goldenen Kugel" (einer Pension in der Nähe der Schloßkirche). Weber wuchs auch dort auf. Einer seiner Nachbarn war Florenz Friedrich Chladni, dessen Name Physikern durch Klangfiguren bekannt geblieben ist. Chladnische Klangfiguren sind symmetrische Anhäufungen feinen Sandes auf Metallplatten, die mit Saiten angestrichen werden. Sie sind vielen hierzulande unbekannt, da sie in den vergangenen Jahrzehnten nicht mehr in der Schule gezeigt wurden. Die Lehrpläne sahen dies nicht vor. Dabei ist Akustik ein wertvolles Gebiet der Physik und nicht nur für Musiker wichtig.

Die Verbindung mit der Akustik war für Weber der Anfang eines an Entdeckungen und wichtigen wissenschaftlichen Erkenntnissen reichen Lebensweges. In Halle, zuerst als Schüler am Pädagogium der Fränkischen Stiftung, wo er Mittel für das Experimentieren fand, dann als Studierender und Lehrender an der Universität, erforschte Weber die allgemeinen Gesetze der Wellenbewegung mit Anwendung auf Schall- und Lichtwellen. Durch zahlreiche wissenschaftliche Abhandlungen, insbesondere durch die gemeinsam mit seinem Bruder Ernst Heinrich verfaßte "Wellenlehre" wurde Wilhelm Eduard Weber weit über die Grenzen der Saalestadt hinaus bekannt.

Alexander v. Humboldt und der Göttinger Carl Friedrich Gauß waren auf der bereits erwähnten Naturforscherversammlung von der Arbeitsweise und der Persönlichkeit des jungen Weber tief beeindruckt. In Weber sah Gauß den geeigneten Naturforscher, der die für den Hum-

boldtschen Plan der weltweiten Vermessung des erdmagnetischen Feldes geeigneten Methoden und Geräte finden und herstellen würde. Vortreffliches hatte Weber ja schon in der Akustik bei der Bestimmung von Meßgrößen und Meßmethoden geleistet. Gauß holte Weber nach Göttingen. Mit Webers Berufung zum Professor für Physik, die Gauß förderte, begann für beide eine äußerst fruchtbare wissenschaftliche Zusammenarbeit - weit über die anfänglichen Absichten hinausgehend.

Eine der zahlreichen Entdeckungen der beiden Wissenschaftler war beispielsweise die für die Entwicklung moderner Elektrotechnik bedeutende elektronische Nachrichtenübertragung (Nadentelegraph). Weber und Gauß konstruierten verschiedene Magnetometer, mit denen Größen des erdmagnetischen Feldes mit hoher Genauigkeit gemessen werden können. Hierbei folgten sie dem Programm, die Größen des Magnetismus mit Hilfe der in der Mechanik verwendeten Einheiten Millimeter, Milligramm und Sekunde darzustellen. So konnten Magnete mit einheitlichen, aber auch schwankenden Polstärken, die lange Zeit als Vergleichsobjekte dienten, ausgeschaltet werden. Der Übergang zu absoluten Maßen in der Magnetik war beispielgebend auch für andere Bereiche der Physik. Gleichzeitig war es der Anfang für eine grundsätzlich neue Art der Bestimmung und Verknüpfung der Einheiten physikalischer Größen. Diese Entwicklung hat am Ende zum weltweit anerkannten SI (Système International) nach dem wir uns heute in Einheitsfragen (physikalischen - d.Red.) richten.

Weber verfolgte die Möglichkeiten der Messung magnetischer und elektrischer Größen weiter. In epochemachenden Arbeiten zu "Elektrodynamischen Maßbestimmungen" entwickelt und zeigt er Methoden, wie die Größen des Ohmschen Gesetzes in absoluten Maß gemessen und dargestellt werden können. Er legt die Einheit des Stromintensität im absoluten Maß fest und findet über das Ohmsche Gesetz eine gleichartige Einheit des elektrischen Widerstandes, die nun nicht mehr durch spezielle Widerstandsnormale (Widerstandsdrähte) dargestellt werden muß.

Webers Verdienste in der Elektrodynamik sind im zwanzigsten Jahrhundert nur wenigen bekannt geblieben. Hierzu hat ein Ereignis

beitragen, daß kurz darzustellen ist, um die Rolle Webers deutlich zu machen. Bis zum Jahre 1881 wird (in Deutschland, England und in anderen Ländern) die Stromstärkeinheit "1 Weber" genannt. Auf Vorschlag Helmholtz' wird dann aber - auf dem Pariser Elekrikerkongreß, der zur Klärung von Einheitenfragen einberufen wurde - die Bezeichnung "Weber" durch die heute verwendete "1 Ampere" ersetzt. Das führte trotz der damals sehr diffusen Umstände der Umbenennung dazu, daß Weber im heutigen Schulunterricht kaum noch erwähnt wird. Behandelt werden nur die Wissenschaftler, nach denen in der Schule gelehrt Einheiten benannt sind. An dieser geringen Würdigung der überragenden Leistungen Webers auf dem Gebiet der Elektrodynamik ändert auch die Benennung der SI-Einheit des magnetischen Flusses nicht viel.

Von den wegbereitenden Entdeckungen und Vorstellungen Weber verdienen noch zwei unsere besondere Beachtung.

Im Rahmen der Maßbestimmungen erlangte das Verhältnis des elektrostatischen Wege ermittelten absoluten Maßes der elektrischen Ladung zum elektrodynamisch bestimmten Maß der gleichen Größe wesentliche Bedeutung. In diesbezüglichen Experimenten, die er mit seinem Assistenten R. Kohlrausch durchführte, wurden Zusammenhänge zwischen der Elektrizität und der Lichtgeschwindigkeit sichtbar. Maxwells Theorie des Lichtes als elektrodynamischer Sachverhalt stützt sich auf die experimentellen Resultate Webers. Versuche, ein Grundgesetz der Elektrizität aufzustellen mißlingen, Überlegungen in diesem Zusammenhang zur Natur der in Drähten fließenden Elektrizität führten Weber aber zu atomistischen Vorstellungen.

Rieke, einer der Schüler Webers, entwickelt später - gemeinsam mit H.A. Lorentz - die Elektronentheorie der metallischen Stromleitung, deren Weiterentwicklung im zwanzigsten Jahrhundert zu den Grundlagen der modernen Elektronik zu zählen ist.

**Beilage zu Publikation**

"Die Gebrüder Weber—Wegbereiter interdisziplinärer Forschung"

## 1. Historische Einordnung der Publikationsthematik

Die drei in der Publikation genannten Brüder Wilhelm, Ernst und Eduard Weber befruchteten sich in ihren Forschungen gegenseitig und erreichten wesentliche Resultate in ihren Gemeinschaftsarbeiten. Der Schüler dieser Brüder, Theodor Weber, erhielt bei ihnen seine wissenschaftliche Ausbildung und nutzte diese in sehr praktikabler Weise während seiner Hallensere Zeit.

Die kreative Zusammenarbeit spielte sich hauptsächlich zwischen den drei bedeutenden mitteldeutschen Universitäten Göttingen, Halle-Wittenberg und Leipzig ab. Sie förderte den Aufschwung der klassischen Physik und prägte eine neue Form der Interdisziplinarität.

Die Geschichte der Naturwissenschaften kennzeichnet an der Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert einen Übergang von der "Naturlehre" zur klassischen Naturwissenschaft, der bedeutsam für die Forschung und Lehre des 19. Jahrhunderts war. Eine Besonderheit dieser historischen Etappe ist die Formierung der Fachwissenschaft Physik (Ausbau der Mechanik; Wellentheorie des Lichtes; Aufschwung der Elektrophysik; Grundlegung des neuen Konzeptes auf der Basis der elektromagnetischen Feldtheorie; Entwicklung der Thermodynamik; Energieerhaltung).

Dieses erreichte Entwicklungsniveau der Naturwissenschaft ermöglichte die naturwissenschaftliche Fundierung der Medizin und eine neue Qualität der Interdisziplinarität. Im Ergebnis dieser Prozesse entwickelte sich aus der Anatomie eine neue Physiologie, deren Wegbereiter und Begründer in Deutschland Johannes Müller (1801-1858) war. Eine Richtung dieser neuen Physiologie, die physikalisch-experimentelle Schule, zählte zu ihren Pionieren die drei Brüder Weber. Sie wandten erfolgreich die mathematisierte Physik auf differenzierte Funktionen der Organe und Systeme der höheren Organismen an.

Zwei Gemeinschaftsarbeiten aus den Jahren 1825, "Die Wellenlehre auf Experimente gegründet...", und 1836, "Die Mechanik der menschlichen Gewerkezeuge", repräsentieren diese neue Form Interdisziplinarität.

Das Thema "Wellenlehre" motivierte beide Forscher, Ernst Heinrich (Puls als Wellenbewegung des Blutes) und Wilhelm Eduard Fehlen (umfassender Erkenntnis über mechanische Wellen). Sie arbeiteten Ähnlichkeiten zwischen Seil-, Wasser-, Schall- und Lichtwellen heraus. Bei Experimenten mit der Wellenrinne erkannten sie die Abhängigkeit der Wellengeschwindigkeit von der Wassertiefe und beschrieben die Dispersion der Wellenerscheinung. Ihre Erklärung der Wirbel der Wellenerscheinung bewahrheitete sich nicht. Die akustische Forschung der beiden Gelehrten (Tonentstehung in Lippen- und Zungenpfeifen und die Erweiterung der Resonanztheorie F. Savates) brachten Wilhelm Weber berufliche Anerkennung, die Ernennung zum a.o. Professor in Halle (1828). Ernst Heinrich Weber konnte in seinen Untersuchungen die

Geschwindigkeit der Pulswellen mit ca. 9m/s richtig bestimmen. Sie bilden noch heute die Grundlage der Blutdynamik, so auch der zeitlichen Blutdruckkurven, aufgezeichnet mit dem Pulsschreiber.

Zur Thematik "Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge" führten Wilhelm und Eduard Weber Versuche in einer Halle der Leipziger Anatomie mit Göttinger Instrumenten, (Tertienuhr, Fernrohr) aus. Sie beobachteten Bewegungsabläufe (Gehen, Laufen, Springen) und erzielten anatomischen Erkenntnisse (Stütz- und Spielbein). Die Hinweise für rationelle Körperhaltung, roboterähnliche Bewegungsmaschinen mit Füßen, die Aufstellung von Differentialgleichungen für die Gehbewegung und die Veranschaulichung der Bewegungen mit stroposkopischen Mitteln haben fruchtbar gewirkt, auch wenn manche Resultate überlebt sind.

Unverkennbar ist aber das Bestreben der Gebrüder Weber in beiden Werken, die wissenschaftliche Untersuchung bis zu praktikablen Hinweisen zu treiben - ein Vermächtnis des Freundes der Weber-Familie, E.F.F. Chadni (1756-1827), dem Erforscher der Akustik. Seine technisch orientierten oder gefundenen Regeln physikalisch exakt zu begründen oder zu hinterfragen blieb offensichtlich die wissenschaftliche Maxime der Gebrüder Weber. Das verleiht der Publikation "Die Gebrüder Weber-Wegbereiter interdisziplinärer Forschung" ihren aktuellen Bezug und macht sie auch für uns heute lesens- und bedenkenswert, insbesondere für Pädagogen, Schüler und historisch interessierte Naturwissenschaftler und Mediziner.

## 2. Übersetzung der lateinischen Zitate:

S. 52, Z. 18-31: Wenn das Licht in Druck oder Bewegung bestünde, die sich augenblicklich oder in einem Zeitraum fortpflanzte, würde es sich in den Schatten umbiegen. Denn Druck oder Bewegung kann sich in einem Fluidum nicht in geraden Linien über ein Hindernis hinaus fortpflanzen, das einen Teil der Bewegung aufhält, sondern es wird sich umbiegen und nach allen Richtungen in das ruhige Medium, das jenseits des Hindernisses liegt, ausbreiten. Die Schwerkraft strebt nach unten, aber der Druck des Wassers, der aus der Schwerkraft entspringt, strebt mit gleicher Kraft nach allen Richtungen und pflanzt sich ebenso leicht und mit ebensoviel Kraft seitwärts wie nach unten und durch krumme Kanäle wie durch gerade fort. Die Wellen, Schläge und Schwingungen der Luft, worin Töne bestehen, biegen sich offenkundig um, wenn auch nicht so sehr wie die Wellen des Wassers. Töne pflanzen sich ebenso leicht durch krumme wie durch gerade Rohre fort. Die Fixsterne kann man nicht mehr sehen, wenn irgendeiner der Planeten dazwischentritt. Die Strahlen, die sehr nah an den äußersten Rändern irgendeines Körpers vorbeigehen, werden durch die Wirkung des Körpers ein wenig umgebogen, wie wir oben zeigten, aber diese Biegung geschieht nicht zum Schatten hin, sondern von ihm weg.

S.54, Z. 1-3: Wenn das Licht in Bewegung bestünde, die sich augenblicklich zu allen Entfernungen fortpflanzte, wäre schon, um diese Bewegung zu erzeugen, in jedem Augenblick in jedem leuchtenden Teilchen eine unendliche Kraft erforderlich.

S. 55, Z. 9-10: Wenn das Licht nur in Druck bestünde, der sich ohne wirkliche Bewegung fortpflanzte, könnte es die Körper, die es brechen und reflektieren, nicht in heftige Bewegung setzen und erhitzen.

### 3. Weitere Bemerkungen

Die Liste der Autoren:

- Dr. rer. nat. Wolfgang Eisenberg; Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg; 0-4010 Halle; Universitätsplatz 10,
- Dr. Karl Heinrich Wiederkehr; W-2000 Hamburg 76; Birkenau 24
- Dr. Gerald Wiemers; Universitätsarchiv; 0-7010 Leipzig; Beethovenstr. 6;
- Dr. Elisabeth Lea; Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig; 0-7010 Leipzig; Goethestr. 3-5;
- Dr. Werner Piechocki; Stadtarchiv; 0-4010 Halle; Rathausstr. 1

Allen, die mich bei meiner Arbeit an der Publikation unterstützten, sei hier gedankt; Herrn Professor Beintker, unter dessen Obhut die Publikation entstand, sowie Herrn Professor Berg, dem Leiter des Fachbereiches Physik der MLU Halle-Wittenberg, der mit konstruktiven Hinweisen die Entstehung der Publikation förderte und Herrn Doktor Wiemers, dem Leiter des Universitätsarchivs der Universität Leipzig, der viele Anregungen gab.

Herrn St. Hoffmann, Handschriftabteilung der Universitätsbibliothek der Universität Leipzig danke ich für die Bereitstellung von Handschriften der Gebrüder Weber. Mein Dank gebührt auch dem Leiter der Abteilung Wissenschaftspublikation der Martin-Luther-Universität, Herrn Dr. Detlef Schubert, der Mitarbeiterin, Frau Heidrun Beier und dem Verlag.

Halle, September 1992

Wolfgang Eisenberg