Wissenschaftliche Beilage zum Jahresbericht des Luisenstädtischen Realgymnasiums zu Berlin. Ostern 1894.

Die Sirenen.

Ein Beitrag zur Entwickelungsgeschichte der Akustik.

Teil II.

Die Arbeiten deutscher Physiker über die Sirene in dem Zeitraume von 1830 bis 1856.

Von

Dr. Ernst Robel,
Oberlehrer.

qbe
37

BERLIN 1894.
R. Gaertners Verlagsbuchhandlung
Hermann Heyfelder.

1894. Programm Nr. 98.

986/8

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

HT009779895

UNIVERSITÄTS- UND LANDESBIBLIOTHEK DÜSSELDORF

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Die im ersten Teile dieser Abhandlung erwähnten ausgedehnten Untersuchungen, welche Cagniard de la Tour mit Sirenen und akustischen Flugrädchen innerhalb eines Zeitraumes von 24 Jahren angestellt hatte, gerieten zum grofsen Teile bald in Vergessenheit und blieben, besonders aufserhalb Frankreichs, so gut wie unbekannt. Eine Ausnahme machen eigentlich nur seine Experimente mit der sirène ordinaire, über welche er im Jahre 1819 in den Annales de chimie et de physique berichtet hatte. Dafs die Kenntnis dieses merkwürdigen Apparates in weitere Kreise drang, dazu trug besonders der Umstand bei, dafs J. B. Biot eine Beschreibung desselben in die zweite Ausgabe seines Précis élémentaire de physique expérimentale, 2 vol. (Paris, 1821), aufgenommen hatte, eines vortrefflichen Lehrbuches, das bald darauf von G. Th. Fechner[1]) ins Deutsche übertragen und bearbeitet worden war. Es konnte nun nicht ausbleiben, dafs die neue Art der Tonerregung durch Luftstöfse, d. h. durch Eindrücke auf das umgebende Medium, deren Dauer sich nicht mehr über die ganze Periode wie bei den bisher bekannten Tonerregern erstreckte, die Aufmerksamkeit der Physiker in theoretischer Beziehung auf sich lenkte. Der Altmeister der deutschen Akustiker, E. F. F. Chladni[2]), ist der erste, welcher diesen wichtigen Punkt gebührend hervorgehoben hat. Er äufsert sich dahin, dafs diese besondere Art der Tonerzeugung eine Erweiterung der bisher gebräuchlichen Definition des Tones erfordere: „Den Begriff „ein Ton" mufs man in etwas weitläufigerem Sinne nehmen, als es gewöhnlich geschieht, indem nicht allemal (stehende) Schwingungen eines tönenden Körpers dazu erforderlich sind, sondern es im allgemeinen darauf ankommt, dafs hinreichend stark und schnell aufeinander folgende Stöfse auf irgend eine Art dem umher befindlichen Medium und durch dieses dem Ohre mitgeteilt werden." Ferner entwickelt Chladni, der damals in regem wissenschaftlichen Verkehr mit den Gebrüdern Weber stand, in diesem Aufsatze ganz richtige Ansichten über die Tonbildung in Zungenpfeifen, und er weist auch auf die Möglichkeit der Tonerzeugung durch Zahnräder mit folgenden Worten hin: „Wahrscheinlich möchte sich ein zwar sehr schnarrender und unange-

---

[1]) Lehrbuch der Experimentalphysik oder Erfahrungs-Naturlehre; 2. Aufl. 5 Bde. (Leipzig, Voss, 1828/29); cfr. Bd. II. p. 113. Die erste Notiz in deutscher Sprache über diese Sirene findet sich im Wiener Konversationsblatt, Jahrg. 1821, Nr. 31.

[2]) Chladni, Über Töne blofs durch schnell auf einander folgende Stöfse, ohne einen klingenden Körper. (Pogg. Ann. VIII, p. 453—460) (1826). Irrtümlicher Weise wird in den Lehrbüchern der Physik diese Abhandlung häufig als Quelle über die Sirene von Cagniard de la Tour zitiert.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

nehmer, aber doch wohl einigermafsen bestimmbarer Ton auch durch andere Arten eines schnellen und gleichförmigen Aufschlagens eines festen Körpers auf einen anderen hervorbringen lassen, z. B. durch Aufschlagen einer Feder auf die Zähne eines schnell und gleichförmig umgedrehten Rades". Merkwürdigerweise hat Chladni diesen Versuch nicht angestellt; er würde sonst F. Savart zuvorgekommen sein, der seine Arbeit über die Zahnradsirene erst im Jahre 1830 veröffentlichte.

In ähnlicher Weise wie Chladni, spricht sich der Berliner Physiker J. A. W. Roeber[1]) über die Beeinflussung der bisherigen physikalischen Definition des Tones durch die Ergebnisse der neuen Versuche der beiden französischen Forscher aus. „Zu diesem Zwecke sei es erlaubt, die bekannten Versuche Savarts und Cagniard de la Tours zur Erzeugung der Töne zu berühren. Suchen wir das Gemeinschaftliche dieser Versuche, sowohl derjenigen von Savart über die tiefsten und höchsten hörbaren Töne, als derjenigen von Cagniard de la Tour, welche den Gebrauch der Sirene betreffen, so finden wir, dafs die Erzeugung des Tones nur durch die regelmäfsige Wiederkehr irgend eines auf das Gehör einwirkenden Impulses bedingt wurde, wobei in allen Fällen dieselbe Abhängigkeit der Höhe des Tones von der Zahl der in einer Sekunde erfolgenden Impulse stattfindet. Dieser Impuls erscheint in den angeführten Versuchen entweder als Binomium einer Verdichtung und Verdünnung, oder als blofse Verdichtung, und insbesondere zeigt die Untersuchung Savarts über die tiefsten hörbaren Töne, dafs die Entfernung der beiden Maxima eines Binomiums keineswegs abhängt von der Dauer der einzelnen Impulse oder, mit anderen Worten, von der Entfernung der Maxima zweier aufeinander folgenden Binomien, wonach also die gewöhnliche Erzeugung musikalischer Töne, wo die verschiedenen Maxima der Verdichtung und der Verdünnung alle in gleichen Zeitintervallen einander folgen, nur als ein besonderer Fall der allgemeinen Wiederholung eines aus einer Verdichtung und Verdünnung zusammengesetzten Impulses betrachtet werden mufs. Folgen wir aber dieser allgemeineren Ansicht, so ist es offenbar der Natur der Sache angemessener, die Höhe eines Tones durch die Zahl der in einer Sekunde erfolgenden Impulse, oder, um ein den physikalischen Vorgang ohne Bezug auf unsere Empfindung bezeichnendes Wort zu gebrauchen, durch die Zahl der in einer Sekunde erfolgenden Wellen oder ganzen Schwingungen zu bezeichnen, anstatt, wie gewöhnlich, zu dieser Bezeichnung die Zahl der halben Schwingungen, welche gewöhnlich Vibrationen genannt werden, anzuwenden".

Zur Unterstützung dieser Ansicht führt Roeber noch an einer anderen Stelle[2]) im Berichte über eine Abhandlung von Seebeck über Klirrtöne[3]) an, dafs auch dieser Physiker das Wesen des Tones als die regelmäfsige Wiederkehr irgend eines Impulses erkläre, und den Nachweis führe, dafs die sachgemäfse Bezeichnung der Höhe eines Tones in der Angabe der Zahl der wiederholten einfachen oder zusammengesetzten Impulse, nicht aber in der gewöhnlichen Angabe der Verdichtungen und Verdünnungen bestehe.

Schliefslich möge hier noch eine Auseinandersetzung von Wilhelm Weber[4]) über die Bestimmung der Höhe der Sirenentöne eine Stelle finden. „Zwischen der Tonerregung beim Monochord und bei der Sirene findet der Unterschied statt, dafs bei der ersten zwischen je zwei verdichtenden Wellen eine verdünnende Welle eingeschaltet wird, während bei der letzteren blofs

---

[1]) Dove, Repert. d. Phys. III, p. 30—31. (Berlin, 1839).
[2]) ibid' p. 53.
[3]) Pogg. Ann. XL, p. 539—547. (1837).
[4]) Artikel „Akustik" in G. Schilling, Universal-Lexikon der Tonkunst, Bd. I, p. 107. (Stuttgart, 1840).

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

verdichtende Wellen hervorgebracht werden. Man sieht aus der Vergleichung, dafs durch Einschaltung einer verdünnenden Welle zwischen je zwei verdichtenden Wellen die Tonhöhe nicht verändert wird — wie das auch der Natur der Sache nach vorauszusetzen war. Man begreift nämlich, dafs Verdichtung und Verdünnung Begriffe sind, die nur Bedeutung haben, wenn man sich auf eine normale Dichtigkeit der Luft bezieht, z. B. auf die Dichtigkeit der atmosphärischen Luft. Die Wirkung der an das Ohr anschlagenden Wellen beruht aber gar nicht darauf, dafs die Luft am Ohre das eine Mal dichter, das andere Mal dünner als die atmosphärische Luft sei, sondern blofs darauf, dafs überhaupt ein Wechsel gröfserer und geringerer Dichtigkeit in der das Ohr begrenzenden Luftschicht hervorgebracht werde. Die Dichtigkeit der das Ohr begrenzenden Luftschicht kann daher „immer" gröfser, oder auch „immer" kleiner sein, als die der atmosphärischen Luft; die Tonhöhe hängt blofs davon ab, wie oft in einer Sekunde die das Ohr begrenzende Luftschicht am dichtesten und am wenigsten dicht ist, und diese Zahl ist dieselbe, es mag zwischen zwei verdichtenden Wellen eine verdünnende Welle eingeschaltet werden, oder nicht. Man sagt demgemäfs: ein Stofs gelte zwei einfachen Schwingungen (eine Hin- und Rückschwingung zusammengenommen) gleich".

Wie man aus dem Vorhergehenden ersieht, waren es in erster Linie theoretische Betrachtungen, zu welchen die deutschen Physiker durch die Arbeiten von Cagniard de la Tour und Savart angeregt worden waren; nach und nach traten sie aber mit neuen Sirenenformen hervor, um sie zur Untersuchung der verschiedenartigsten akustischen Probleme zu verwenden. Wie dadurch die gesamte Akustik gefördert worden ist, soll in diesem zweiten Teile meiner Abhandlung dargelegt werden. Ich werde deshalb die mehrstimmigen Sirenen von Opelt, Seebeck, Dove und v. Helmholtz ausführlich besprechen, und am Schlusse auf die denkwürdigen theoretischen Untersuchungen von G. S. Ohm und seinen Streit mit Seebeck eingehen, wodurch die Betrachtungen über die Natur der Sirenentöne im besonderen und des Tones im allgemeinen zu einem festen Abschlusse gebracht wurden.

Als erster in der Reihe dieser deutschen Physiker ist Friedrich Wilhelm Opelt[1]) zu erwähnen, ein Mann, dessen wissenschaftliche Leistungen niemals so bekannt und so anerkannt worden sind, als sie es in der That verdient hätten. Die erste Nachricht über die Sirene von Opelt findet sich in der Leipziger Allgemeinen musikalischen Zeitung vom 29. Februar 1832, Nr. 9, worin der Herausgeber Fink[2]) auf die Wichtigkeit des demnächst erscheinenden Opeltschen Werkes hinweist. Opelt selbst erliefs am 6. Dezember 1832 eine Subskriptionsanzeige[3]), um bei genügender Beteiligung seine „Allgemeine Theorie der Musik" durch den Druck veröffentlichen

---

[1]) Opelt wurde 1794 zu Rochlitz in Sachsen geboren, und starb 1863 als Geh. Finanzrat zu Dresden. Eine kurze, von Fürstenau verfafste biographische Skizze dieses Mannes, der ein echter Autodidakt war und sich durch Energie und Fleifs aus sehr bescheidenen Verhältnissen heraus zu einer angesehenen Lebensstellung emporgearbeitet hatte, findet man in der Allgemeinen Deutschen Biographie, Bd. XXIV, p. 366. (Leipzig, 1887). Eine Aufzählung seiner Schriften giebt Poggendorff im Biographisch-literarischen Handwörterbuche, Bd. II. p. 327—328. Eine Würdigung seiner auf dem Gebiete der Musik liegenden Leistungen hat Fétis in seiner Biographie universelle des musiciens, tome VI. (Paris, 1864), p. 371—373 zu geben versucht.

[2]) Neu Aufgefundenes und systematisch Durchgeführtes im Gebiete der Tonkunst, oder „Über eine allgemeine Theorie der Musik, begründet auf den Rhythmus der Klangwellenpulse und ihrer Systeme". Von Wilhelm Opelt. (XXXIV. Jahrg. p. 129—135.)

[3]) Intelligenzblatt zur Allgem. musik. Zeitg. 1833, Nr. I.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

zu können; allein die Teilnahmlosigkeit des Publikums vereitelte diesen Plan, und so entschlofs sich denn der Verfasser, „weniger seiner eigenen Ansicht über den Wert derselben, als wiederholten ehrenwerten Aufforderungen folgend", die Grundzüge jener allgemeinen Theorie vorläufig im Jahre 1834 auszugsweise zu veröffentlichen[1]). Erst im Jahre 1852 ward ihm noch die Genugthuung, jenes Hauptwerk[2]) vollständig veröffentlicht zu sehen, welches, wie aus der Vorrede hervorgeht, im ganzen und grofsen bereits im Jahre 1830 im Manuskript vollendet gewesen ist. Da Opelt seine Sirene in beiden Schriften beschrieben hat, so geht aus der letzten Zeitangabe hervor, dafs dieser Apparat spätestens im Jahre 1830 konstruiert worden sein kann.

Wie Opelt auf die Ausführung und die Benennung desselben gekommen ist, darüber geben seine charakteristischen eigenen Worte[3]) die beste Auskunft: „Schliefslich erlaube ich mir noch auf eine Ausstellung zu antworten, welche mir in Betreff des Namens für das hier beschriebene neue Instrument von mehreren Seiten gemacht worden ist. Allerdings hat solches mit der Latourschen Sirene nur eine entfernte Ähnlichkeit, auch war es nicht diese Latoursche Vorrichtung, welche mich auf die Erfindung jenes Instrumentes leitete. Die erste Idee dazu entwickelte sich gleichsam von selbst aus der blofsen Betrachtung der Pulsgruppen [wie sie später gezeichnet werden sollen]; es lag auf der Hand, sich diese Gruppen auf einem rotierenden Kreise zu denken, um sich ihre stete Wiederkehr in ununterbrochenem Flusse zu versinnlichen; hieran knüpfte sich dann sogleich auch die Erinnerung an die Wirkung des sogenannten Schnurr-Rädchens u. s. w., und damit war dann ohne weiteres die Frage gegeben, ob ein auf obige Weise durchbohrter und schnell rotierender Kreis, durch Vermittelung eines Luftzuges, den vermuteten Akkord nicht auch für das Gehör darstellen werde. In wenig Minuten war dann aus einem Wandkalender eine Scheibe geschnitten, mit einigen durchbohrten Kreisen versehen u. s. w. und die Vermutung bestätigt. Da ich indes späterhin fand, dafs Latour eine mit Löchern durchbrochene Scheibe zur Darstellung eines bestimmten Tones unter dem Namen „Sirene" bereits eingeführt hatte, und ich selbst auf die Ehre der Erfindung meiner Sirene um so weniger einen hohen Wert legen konnte, als dieses Hülfsmittel so äufserst nahe lag, so wollte ich auch noch den letzten Schein von Eitelkeit vermeiden, der mir vielleicht wäre beigemessen worden, wenn ich mein Instrument unter einem völlig neuen Namen hätte bekannt machen wollen; ich behielt daher den Namen Sirene bei und betrachtete meine Versuche nur als eine Fortsetzung oder Erweiterung der Latourschen. Ich selbst finde den Namen Sirene wenig passend und würde eher für das Wort „Rhythmometer" stimmen: es thut indes der Name vor der Hand nichts zur Sache, möge er immerhin mangelhaft sein, wenn es nur die Sache selbst nicht ist."

---

[1]) Über die Natur der Musik. Ein vorläufiger Auszug aus der bereits auf Unterzeichnung angekündigten „Allgemeinen Theorie der Musik" von Wilhelm Opelt, Königl. Sächs. Kreis-Steuer-Einnehmer, Plauen. Gedruckt auf Kosten des Verfassers und in Kommission bei Hermann und Langbein in Leipzig, 1834. Besprochen von Fink in der Allgem. musik. Zeitg. XXXVI. Jahrg. (1834), Nr. 47, p. 785—789; von C. F. Becker in der Neuen Zeitschr. für Musik. III. Jahrg. (1835), Nr. 31, p. 121—123.

[2]) Allgemeine Theorie der Musik auf den Rhythmus der Klangwellenpulse gegründet und durch neue Versinnlichungsmittel erläutert. Ein Lehrbuch für höhere Bildungsanstalten, sowie zum Selbstunterricht für Freunde der Akustik und Tonkunst. Von F. W. Opelt, Königl. Sächs. Geheimen Finanzrath. Mit drei lithographirten Tafeln. Leipzig, 1852. Verlag von Joh. Ambr. Barth. — (Referat von Beetz in den Fortsch. d. Physik. VIII (1852). p. 154—156.)

[3]) Über die Natur der Musik, p. 7—8.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Aus diesen Worten Opelts geht klar hervor, dafs er ganz unabhängig von Cagniard de la Tour seine Sirene in der denkbar einfachsten Weise hergestellt hat; noch weniger kann an einen Zusammenhang der Opeltschen Erfindung mit dem Prinzip der Savartschen Akkordsirene gedacht werden, weil die erste Nachricht über letztere erst 1830 in den Annales de chimie et de physique in die Öffentlichkeit gelangt war. Man darf daher mit vollem Rechte Opelt als den selbständigen Erfinder der mehrstimmigen Lochsirene ansehen.

Da die Arbeiten Opelts bis auf den heutigen Tag in den Kreisen der Physiker fast ganz unbekannt geblieben sind, so ergreife ich diese Gelegenheit, mich nicht blofs auf eine Beschreibung seiner Sirene zu beschränken, sondern auch gleich nachzuweisen, wie der Erfinder seinen Apparat benutzt hat, um die theoretischen Grundlagen seiner Ansichten über die Natur der Musik experimentell zu beweisen. Auf dem Boden der Leibnitz-Eulerschen Theorie stehend, welche das musikalische Hören als ein unbewufstes Zählen auffafst, hatte Opelt sich die vor ihm schon vielfach in Angriff genommene, aber niemals befriedigend gelöste Aufgabe gestellt, erstens den zwar bekannten, aber in seinen Ursachen noch nicht erkannten Zusammenhang zwischen den Schwingungszahlen der Intervalle und Akkorde bildenden Töne zu erklären, und zweitens den Grund zu finden, warum aus dem mehr oder weniger einfachen Verhältnisse dieser Schwingungszahlen sich auch ein mehr oder weniger wohlgefälliger Klang ergeben müsse. Zur Lösung dieses Problems schlug er einen neuen Weg insofern ein, als er die Gesetze des Rhythmus zur Grundlage der Theorie der Musik zu machen versuchte. Opelt beginnt deshalb mit einer Betrachtung über das Wesen des Rhythmus, und knüpft hieran eine systematische Aufstellung der verschiedenen Rhythmen. Bewegungen, die überhaupt einen Schall erzeugen, nennt er Pulse, und speziell Klangwellenpulse sind periodische Pulse, die einen musikalischen Ton oder Klang erzeugen; Pulsmenge ist die Schwingungszahl eines Tones, Pulsgeschwindigkeit die Schwingungsdauer, Klangpulsverhältnis zweier Töne ihr Intervall. Damit ein Rhythmus entstehe, müssen stärkere Pulse mit schwächeren abwechseln; stärkere Pulse können aber durch Zusammenfallen zweier oder mehrerer, verschiedenen Pulsreihen angehörender Pulse hervorgebracht werden, und die graduell verschiedene Stärke hängt wiederum von der Anzahl der zusammenfallenden einfachen Pulse ab. Werden nur solche Rhythmen betrachtet, welche aus der vereinigten Wirkung zweier oder mehrerer gleichzeitig beginnender, periodischer Pulsreihen von gleicher oder verschiedener Geschwindigkeit der aufeinander folgenden Pulse entstehen, so ergeben sich folgende rhythmische Gruppen[1]):

1) Aus dem Zusammenwirken zweier periodischer Pulsreihen von gleicher Geschwindigkeit der aufeinander folgenden Pulse entsteht Monotonie.

2) Aus dem Zusammenwirken zweier periodischer Pulsreihen, wo die Geschwindigkeit der aufeinander folgenden Pulse der einen Reihe ein ganzes Vielfaches der Pulsgeschwindigkeit der anderen Reihe ist, entsteht der einfache laufende Rhythmus.

3) Aus dem Zusammenwirken dreier oder mehrerer periodischer Pulsreihen, wo die Pulsgeschwindigkeiten in den verschiedenen Reihen ganze Vielfache der Pulsgeschwindigkeit der einen Reihe sind, entsteht der zusammengesetzte laufende Rhythmus.

4) Aus dem Zusammenwirken zweier resp. mehrerer periodischer Pulsreihen, wo die Puls-

---

[1]) Über die Natur der Musik, p. 18—20. Allgemeine Theorie der Musik, p. 24—25.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

geschwindigkeiten sich wie beliebige ganze, aber von der Einheit verschiedene Zahlen verhalten, entsteht der einfache resp. zusammengesetzte hüpfende Rhythmus.

5) Aus der Vereinigung laufender und hüpfender Rhythmen entsteht der gemischte Rhythmus.

Jeder dieser Rhythmen kann durch eine einfache Zeichnung versinnlicht werden. Soll beispielsweise der hüpfende Rhythmus 5/4 gezeichnet werden, d. h. derjenige Rhythmus, dessen komponierende Pulsgeschwindigkeiten sich wie 5 zu 4 verhalten, so teile man eine Strecke, oder auch einen Kreisbogen, erstens in 4, zweitens in 5 gleiche Teile, und markiere die Teilpunkte in der Weise, dafs das Zusammentreffen zweier Teilpunkte durch einen gröfseren Punkt veranschaulicht wird; der letztere gröfsere Punkt bezeichnet dann den Anfang der genauen Wiederholung der vorhergehenden Punkte. Die ganze geteilte Strecke resp. Bogen ist ein Mafs für die ganze Zeitdauer des Rhythmus, und die zwischen zwei aufeinander folgenden Punkten liegenden Abschnitte sind ein Mafs für die Zeit, welche zwischen den entsprechenden Pulsen verfliefst. Genau in derselben Weise wird der gemischte Rhythmus 8 : 6 : 5 : 4 dargestellt, indem man dieselbe Strecke resp. denselben Bogen nacheinander in 4, 5, 6, 8 gleiche Teile teilt und die Gröfse der Teilpunkte proportional der Anzahl der dort zusammenfallenden Pulse macht. Diese Konstruktion ist auch auf den Fall anwendbar, wenn die Anfangspulse der Pulsreihen nicht zusammenfallen[1]). Opelt nennt die auf solche Weise entstehenden Pulsgruppen rhythmische Systeme.

Wenn man Rhythmen hört, so kann man die Aufeinanderfolge der stärkeren Pulse deutlich unterscheiden: man kann sie zählen. Nach der allgemeinen Erfahrung sind nun die Rhythmen für das Gefühl entweder wohlgefällig, oder lebendig, oder weniger resp. mehr aufregend, oder störend und widrig, jenachdem die zwischen den aufeinander folgenden Pulsen verfliefsenden Zeiten durch ganze Zahlen gemessen werden können, die entweder grade Vielfache der Einheit, oder kleine, oder allmählich gröfser werdende Primzahlen sind. Indem nun Opelt diese Erfahrungssätze als die Gesetze des Rhythmus auffafst, geht er von der Entstehung des Rhythmus zu der Entstehung des Tones in folgender Weise über[2]):

„Die Erfahrung lehrt nun überzeugend, dafs die Töne nichts anderes sind, als die Wirkung unzählbar schneller, pendelartig gleichförmiger Schwingungs- oder Vibrationspulse klingender Körper. Aus der Vereinigung zweier oder mehrerer solcher schnellen Pulsfolgen von gleicher oder verschiedener Geschwindigkeit mufs daher notwendig auch dieselbe Monotonie resp. derselbe Rhythmus entstehen, welchen wir für dieselben Verbindungen im Gebiete des Zählbaren fanden. Sehr nahe lag daher die Vermutung, dafs das Wohlgefällige oder Störende in der Wirkung solcher schnellen Pulsreihen (Klangpulsreihen) oder das Kon- und Dissonieren der Tonverbindungen ebenfalls dem Gesetze des Rhythmus folgen müsse, und es kam nun darauf an, ein Mittel zu erfinden, wodurch wir die Erscheinungen, welche aus der vereinigten Wirkung solcher Pulsreihen im Gebiete des Zählbaren und des Unzählbaren entstehen, sinnlich genau prüfen können".

„Wenn man eine Scheibe, auf welcher ein konzentrischer Kreis mit kleinen, gleich weit voneinander abstehenden Löchern durchbrochen ist, um den Mittelpunkt dieses Kreises sehr schnell und gleichförmig dreht und während ihres Umlaufs mittels einer engen Röhre einen Luftstrom auf irgend eine Stelle des durchbrochenen Kreises richtet, so wird dieser Strom in stetem

[1]) Man vergleiche hiermit die von Seebeck gegebene Entwickelung und Zeichnung in Dove, Repert. d. Phys. VI, p. 3—4, Fig. 1.

[2]) Über die Natur der Musik, p. 20—21.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

gleichförmigen Wechsel unterbrochen und wieder freigegeben, oder in einzelne gleichförmig aufeinander folgende Pulse abgeteilt. Bei hinreichend schnellem Umlauf der Scheibe hört man dann einen Ton, dessen Höhe von der Geschwindigkeit der Aufeinanderfolge dieser Pulse abhängt. Diese von Cagniard-Latour angegebene und Sirene benannte Vorrichtung mufs, wie man jetzt schon von selbst einsehen mufs, das einfachste und sicherste Mittel abgeben können, um die vorhin aufgestellte Vermutung vollständig zu prüfen."

„Da man nämlich die Öffnungen in beliebiger Menge und Ordnung und von gleicher oder verschiedener Gröfse bohren, auch die Scheibe selbst beliebig schnell drehen kann, so steht es in unserer Gewalt, mittels einer solchen Scheibe die Pulse in beliebiger Geschwindigkeit, Ordnung und Stärke aufeinander folgen zu lassen, oder mit anderen Worten: wir können sämtliche betrachtete Pulsfolgen und Rhythmen mit Hülfe der Sirene in beliebiger Geschwindigkeit darstellen, folglich auch die Wirkungen dieser Pulsreihen im Gebiete des Zählbaren und des Unzählbaren sinnlich streng prüfen."

„Und in der That wird auch dadurch jene Vermutung so überzeugend bestätigt, dafs es befremden mufs, warum dieses so nahe liegende Hülfsmittel nicht schon längst zu diesem interessanten Zwecke benutzt worden ist. Ebendieselben Pulsfolgen nämlich, welche für das Ohr bei einer zählbaren Geschwindigkeit der Pulse wohlgefällig, aufregend, störend oder widrig waren, erscheinen auch bei gröfserer, nicht mehr zählbarer Schnelligkeit und zwar in völlig analogem Grade wohlgefällig, aufregend, störend und widrig; sie werden dann als Klänge empfunden."

Opelt kam bei seinen Versuchen mit solchen durchlöcherten Scheiben zu folgenden Resultaten:

1) Unregelmäfsige Pulse erzeugen ein Geräusch.

2) Pendelartige, gleich starke Pulse, die auf rhythmischem Gebiete Monotonie geben, erzeugen einfache Klänge. Vier solcher Pulsreihen von den Geschwindigkeitsverhältnissen 4, 5, 6, 8 resp. 10, 12, 15, 20 geben die Töne des Dur- resp. Molldreiklangs mit Verdoppelung des Grundtones, und 8 solcher Pulsreihen von den Geschwindigkeitsverhältnissen 24, 27, 30, 32, 36, 40, 45, 48 bringen die Töne der diatonischen Durtonleiter hervor.

3) Rhythmisch geordnete Pulse erzeugen Polytonie, konsonierende und dissonierende Akkorde. Die einfachen laufenden Rhythmen geben den Zusammenklang des Grundtones mit einem höheren Tone, der für den Rhythmus 7/1 eine scharfe Dissonanz, für die Rhythmen 11/1, 13/1, 17/1 u. s. w. „unverständlich" wird. Zusammengesetzte laufende Rhythmen, wie (4, 2, 1), (6, 2, 1), (12, 4, 2, 1), (9, 3, 1) bringen drei- oder vierstimmige Akkorde hervor. Hüpfende Rhythmen, wie 3/2, 4/3, 5/4, 5/3, 6/5 erzeugen die Konsonanzen der Quinte, Quarte, grofsen Terz, grofsen Sexte, kleinen Sexte „mit dem Kombinationston". Gemischte Rhythmen, wie (4, 3, 2), (6, 4, 3), (8, 6, 5, 4), (6, 5, 4, 3), (20, 15, 12, 10), (30, 24, 20, 15) geben drei- und vierstimmige Akkorde „mit dem Kombinationston". Besondere Beachtung verdient der ausdrückliche Hinweis auf das Auftreten „des Kombinationstones" bei den Versuchen mit den Systemen der hüpfenden und gemischten Rhythmen[1]). Die Gesetze über die Entstehung der Kombinationstöne waren damals allerdings unbekannt. Opelt folgte noch der von Chladni[2]) gegebenen Regel: „Dem Kombinationston kommt stets die Pulszahl 1 zu, wenn das Pulsverhältnis der erzeugenden

[1]) Über die Natur der Musik, p. 23, 25, 28. Allgemeine Theorie der Musik, p. 12, 34, 37.

[2]) Chladni, Akustik. (Leipzig, 1802), p. 207.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Töne in kleinsten ganzen Zahlen gegeben ist"; deshalb findet er das Auftreten dieser Töne nur bei den hüpfenden und gemischten, aber nicht bei den laufenden Rhythmen, in welchen letzteren die Pulszahl 1 schon gegeben ist. Im weiteren Verlaufe seiner Untersuchungen machte Opelt die merkwürdige Beobachtung, dafs die Systeme der hüpfenden und gemischten Rhythmen selbst dann noch Kombinationstöne hervorbringen, wenn auch das Zusammenfallen von Pulsen durch vergröfserte Löcher nicht besonders hervorgehoben wird; daraus zog Opelt den Schlufs, „dafs das Gefühl auch bei unzählbarer Folge gleich starker Pulse noch den Rhythmus derselben empfinden mufs". Auf diese Weise fand Opelt, dafs das Ohr im Stande ist, eine zusammengesetzte periodische Bewegung in ihre isochronen Teilbewegungen zu zerlegen. Und wenn er auch die Erklärung der Kombinationstöne selbst nicht gefördert hat, so bleibt ihm doch das Verdienst, zuerst die Aufmerksamkeit der Physiker auf die Sirene als Hülfsmittel bei der Untersuchung dieser Töne gelenkt zu haben.

Was nun die besondere Konstruktion der an und für sich so einfachen Opeltschen Sirene anbetrifft, so besteht sie aus der Sirenenscheibe, der Rotationsvorrichtung und dem Anblaseröhrchen. Zur Umdrehung der Sirenenscheibe kann man jeden einfachen Zentrifugalapparat benutzen; und auch Opelt hat einen solchen verwendet[1]). Die Scheibe safs auf einer horizontalen stählernen Achse, und Kurbelrad, sowie Achsenrad des Zentrifugalapparates lagen in einer Vertikalebene. Um jedes störende Schleudern der rotierenden Scheibe zu verhindern, ist eine genaue Zentrierung derselben erforderlich; gegebenen Falles mufs eine unvermeidliche Exzentrizität durch ein an geeigneter Stelle angebrachtes Gegengewicht aufgehoben werden.

Zum Anblasen benutzte Opelt einen Federkiel, dessen Öffnung nicht viel weiter als die anzublasenden Löcher zu sein brauchte. Beetz ersetzte den Federkiel durch eine spitze Glasröhre mit Kautschukmundstück, und Koenig führte dafür Messingröhrchen von 1 bis 3 mm Öffnung ein. Beim Anblasen ist darauf zu achten, dafs die Öffnung des Röhrchens möglichst nahe an die Scheibe gehalten werde. Bläst man das Röhrchen mit dem Munde an, so erhält man nur auf kurze Zeit unveränderliche Töne; deshalb ist es praktischer, den erforderlichen Luftstrom von einem Blasetisch her durch einen Kautschukschlauch in das Röhrchen zu leiten.

Um die zahlreichen Öffnungen ohne grofse Mühe und Kosten stechen oder bohren zu können, verfertigte Opelt die kreisförmigen Sirenenscheiben aus starker, auf beiden Seiten mit Papier überzogener Pappe. Die Reinheit der erzeugten Töne hängt von der genauen Teilung der Kreise und von der sorgfältigen Durchlöcherung der Scheibe ab, während die Intensität der Töne durch die Weite der Öffnungen bedingt ist. Eine dieser Scheiben[2]) mit 13 konzentrischen Löcherreihen hatte einen Durchmesser von 12 Par. Zoll (= 0,325 m) und kreisförmige Öffnungen von $^2/_3$ Par. L. (= 1,5 mm) bis $^3/_4$ Par. L. (= 1,67 mm) Weite. Die sechs innersten Kreise, welche die laufenden Rhythmen 2/1, 3/1, 4/1, 5/1, 6/1, 8/1 darstellen, zeigen resp. 4, 6, 8, 10, 12, 16 äquidistante Öffnungen, und in jedem Kreise sind zwei um 180° entfernte, aber in allen sechs Kreisen auf demselben Durchmesser liegende Löcher etwas weiter gebohrt als die anderen; beim Anblasen erhält man die Zweiklänge Cc, Cg, $C\bar{c}$, $C\bar{\bar{c}}$, $C\bar{g}$, $C\bar{\bar{c}}$. Die fünf nächsten Kreise, mit lauter gleichweiten Öffnungen, stellen die einfachen hüpfenden Rhythmen 5/4, 4/3, 3/2, 5/3, 7/4 dar, und geben beim Anblasen den Grundton in Verbindung mit der grofsen Terz, Quarte, Quinte,

---

[1]) Über die Natur der Musik, Fig. 7. Allgemeine Theorie der Musik. Tafel V, Fig. 17.
[2]) Über die Natur der Musik, p. 24—25, Fig. 6.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

grofser Sexte und natürlicher Septime, von den Kombinationstönen abgesehen. Der 12. und 13. Kreis stellen die gemischten Rhythmen (3, 4, 5, 6) und (4, 5, 6, 8) dar, und bringen den Quartsextenakkord c f a $\bar{c}$ resp. den Durakkord c e g $\bar{c}$ hervor. Bei einer anderen nach denselben Gesichtspunkten konstruierten Scheibe[1]) mit 23 konzentrischen Löcherkreisen stellen die zwölf innersten Kreise mit 6, 9, 12, 15, 18, 24, 30, 36, 48, 60, 72 und 96 äquidistanten Öffnungen einfache laufende Rhythmen, der 13. bis 17. Ring dieselben einfachen hüpfenden Rhythmen wie vorhin, und Kreis 18 und 19 dieselben gemischten Rhythmen wie vorhin dar. Auf den vier äufsersten Kreisen waren die zusammengesetzten hüpfenden Rhythmen (3, 4, 5) und (4, 5, 6), und ihre Verdoppelung für die nächst höhere Oktave aufgetragen; beim Anblasen erzeugten sie die Akkorde c f a, c e g, resp. $\bar{c}$ $\bar{f}$ $\bar{a}$ und $\bar{c}$ $\bar{e}$ $\bar{g}$.

Auf den beiden beschriebenen Sirenenscheiben sind nur solche rhythmische Systeme dargestellt, deren Anfänge auf denselben Radius bezogen waren, um eine allgemeine Anschauung von der regelmäfsigen Aufeinanderfolge der Pulse zu geben. Davon abweichend wurden auf einer dritten Scheibe[2]) die Pulsreihen für die zum Durakkord gehörigen Töne dergestalt gezeichnet, dafs ihre Anfänge nicht mehr zusammenfielen; das gleichzeitige Anblasen zweier oder mehrerer solcher Kreise gab dann die rhythmische Periode und ihre Wirkung.

Ferner konstruierte Opelt eine Scheibe zur Erzeugung der diatonischen Durtonleiter[3]) mit acht konzentrischen Kreisen, die resp. 24, 27, 30, 32, 36, 40, 45, 48 äquidistante, gleichweite Löcher zeigten; aufserdem waren auf derselben Scheibe noch die gemischten Rhythmen (30, 36, 45, 60) und (30, 40, 48, 60) zur Erzeugung der Mollakkorde c es g $\bar{c}$ und c f as $\bar{c}$ aufgetragen. Schliefslich hat Opelt noch Scheiben[4]) angefertigt, welche zur Erzeugung der Töne der 16stufigen harmonischen, der 12stufigen diatonisch-chromatischen und der 19stufigen diatonisch-chromatisch-enharmonischen Tonleiter dienten. Wie für die beiden zuletzt genannten Tonleitern die etwas umständliche Teilung der konzentrischen Kreise ausgeführt wurde, kann als nebensächlich für unseren Zweck an dieser Stelle übergangen werden.

Um die Einführung seiner Sirene in weitere Kreise zu erleichtern, liefs Opelt in späterer Zeit von genau ausgeführten Sirenenscheibenzeichnungen Lithographieen anfertigen, die nur auf starke Pappe aufgeklebt, dann ausgeschnitten und durchlocht zu werden brauchten. Mit der Herstellung Opeltscher Sirenen hat sich besonders der Akustiker und Physiker Rudolf Koenig[5]) in Paris beschäftigt, der die Scheiben anfangs ebenfalls aus Pappe, später aber aus Messing verfertigt hat. Die Sirenenscheibe hat einen Durchmesser von 50 cm, und zeigt nicht weniger als 1638 Löcher, die in einer für das Auge sehr wohlgefälligen Anordnung auf 24 konzentrische Kreise, jeder mit gleichweiten Öffnungen, verteilt sind und zwar in folgender Weise: auf den 15 inneren Kreisen befinden sich der Reihe nach 6, 9, 12, 15, 18, 24, 30, 36, 48, 60, 72, 96, 120, 144, 192 Löcher, die zur Erzeugung einfacher Töne und zur Demonstration der verschiedensten Intervalle dienen. Auf dem 16. bis 20. Kreise sind, wie auf einigen der früher beschriebenen Scheiben,

---

[1]) Allgemeine Theorie der Musik, p. 33—34.

[2]) Allg. Theorie d. Mus. § 48.

[3]) ibid. § 51.

[4]) ibid. § 65—67.

[5]) J. J. Pisko, Die neueren Apparate der Akustik. (Wien, 1865), p. 234. — R. Koenig, Catalogue des appareils d'acoustique. (Paris, 1889), Nr. 29, Fig. 8.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

die einfachen hüpfenden rhythmischen Systeme 5/4, 4/3, 3/2, 5/3, 7/4, mit resp. 48, 48, 48, 56, 60 Öffnungen aufgetragen. Auf dem 21. bis 24. Kreise sind die gemischten Rhythmen (3, 4, 5, 6) und (4, 5, 6, 8), sowie die zusammengesetzten hüpfenden Rhythmen (3, 4, 5) und (4, 5, 6) dargestellt mit resp. 96, 96, 160, 144 Löchern.

Eine derartige von Koenig angefertigte Sirenenscheibe legte W. Ladd[1]) im Jahre 1863 auf der 33. zu Newcastle-upon-Tyne abgehaltenen Versammlung der British Association for the advancement of science vor, ohne aber den Namen des Erfinders zu erwähnen. Am Schlusse seines Vortrages hebt er ausdrücklich die Reinheit der erzeugten Töne und den Wohlklang der Akkorde hervor: „The exact intonation of the notes given out by the inner cercles, and the exquisite harmonies produced by the outer ones, were remarkable".

Wie aus der Beschreibung hervorgeht, ist die Opeltsche Sirene bei ihrer einfachen Konstruktion ein für Unterrichtszwecke recht brauchbarer Apparat, weil mittels derselben die Grundlehren der Intervallen- und Akkordlehre in leicht fafslicher und ausgiebiger Weise dargelegt werden können; und weil ferner durch dieselbe sich ganz evident die für die physiologische Akustik wichtige Thatsache nachweisen läfst, dafs das Ohr eine zusammengesetzte Tonmenge ohne weiteres in ihre Komponenten zerlegen, d. h. eine Klanganalyse unmittelbar zu Stande bringen kann.

Auf den vorhergehenden Seiten sind die Ansichten Opelts, soweit sie mit der Einrichtung seiner Sirene in Verbindung stehen, auseinandergesetzt worden; wie nun aber Opelt die moderne Tonleiter aus dem Gesetze des Rhythmus entwickelt, wie er Melodie und Harmonie ebenfalls als den rhythmischen Gesetzen unterworfen zeigt, so dafs er zu dem Endergebnis kommt, „dafs die Musik von der einzelnen Konsonanz an bis zum vollendeten Tongebäude einzig auf rhythmischer Bewegung beruht", — das kann und darf hier ebensowenig dargelegt, als wie einer Beurteilung unterzogen werden. Sollten aber diese Zeilen dazu beitragen, die Aufmerksamkeit einzelner Leser auf die in Vergessenheit geratenen Opeltschen Schriften zu lenken, so dürfte ihnen das Studium derselben auch heutigen Tages noch manche Anregung bieten.

Dem Schicksal, unbeachtet und unbekannt zu bleiben, verfielen aber diese Schriften gleich nach ihrem Erscheinen[2]); zwar sprachen sich einige Musikrezensenten, wie Fink und C. F. Becker[3]),

---

[1]) W. Ladd, On a new form of syren. (Brit. Assoc. Report. 1863) (London, Murray, 1864). Notices and abstracts of miscellaneous communications of the sections, p. 141. (cfr. Ref. von Roeber in Fortsch. d. Phys. XX, p. 129—130).

[2]) Charakteristisch ist in dieser Beziehung eine Bemerkung von Fétis (Biogr. univ. t. VI, p. 373): „Je crois que Fink [der Rezensent der ersten Opeltschen Schrift] et moi fûmes les seuls lecteurs de l'ouvrage de M. Opelt". Und selbst G. Th. Fechner, einer der gründlichsten Kenner der physikalischen Litteratur, hat von den Opeltschen Arbeiten nicht die geringste Kenntnis gehabt. (Elemente der Psychophysik, 2. Aufl. (Leipzig 1889), Bd. II, p. 180. Note.)

[3]) So schreibt Fink: „Das Werk erscheint uns als ein abermaliges Zeugnis, dafs man von unserer Zeit nicht wird sagen können, sie habe gar nichts geleistet". (Leipzig, Allg. musik. Zeitg. XXXIV. Jahrg. (1832), p. 135.) — Und Becker schliefst seine Rezension der Schrift „Über die Natur der Musik" mit folgenden Worten: „Übersieht man den Inhalt dieser Schrift, so mufs man den Scharfsinn des Verfassers bewundern, der seine Aufgabe so meisterlich löste und so wichtige Resultate fand. Die innigste Achtung wird jeder tüchtige Theoretiker und Akustiker für den Schöpfer dieser Theorie hegen, und wahre Freude macht es uns, durch diese Anzeige auf den Gehalt dieser Schrift aufmerksam zu machen". (Neue Zeitsch. für Musik, III (1835), Nr. 31, p. 123).

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

in höchst anerkennenswerter und lobender Weise über die Opeltsche Theorie aus; mochte es aber nun sein, dafs die physikalische Begründung und die mathematische Form die Musiker vom näheren Eindringen in diese Theorie abhielt, oder dafs allgemeine Teilnahmlosigkeit des musikalischen Publikums derartigen Werken gegenüber ihrer Verbreitung hinderlich war: genug, die Opeltschen Arbeiten gingen an den Musikern spurlos vorüber, wie sie auch den Physikern gänzlich unbekannt blieben, besonders wohl deshalb, weil sie ausschliefslich in Musikzeitschriften angezeigt und besprochen worden waren.

So kam es, dafs August Seebeck[1]) im Jahre 1841 bei der ersten Veröffentlichung von Versuchen, die er mit einer der Opeltschen sehr ähnlichen Sirene angestellt hatte, von der Erfindung seines Vorgängers nicht die geringste Kenntnis hatte; erst nachträglich ist ihm die Opeltsche Sirene bekannt geworden, wie aus seinen eigenen Worten hervorgeht[2]). Die erste kurze Notiz über seine Sirene giebt Seebeck in einer Anmerkung seiner Abhandlung „Über die Erzeugung von Tönen mittels der Wärme“[3]); und kurz darauf veröffentlichte er einen besonderen Aufsatz über Versuche mit dieser Sirene[4]), in welchem aufser einer Beschreibung[5]) seines Apparates die Ergebnisse seiner in der wissenschaftlichen Welt so grofses Aufsehen erregenden Experimente mitgeteilt sind.

Anknüpfend an die Erfindungen der französischen Physiker, beginnt Seebeck seine Abhandlung folgendermafsen: „Die Sirene von Cagniard Latour, sowie die Zahnräder und die Stabvorrichtung, deren sich Savart zur Erzeugung sehr hoher und sehr tiefer Töne bediente, sind, wie man weifs, von ihren Erfindern zu verschiedenen interessanten Beobachtungen über die Natur der Töne angewendet worden. Diese Apparate geben gewisse Umstände bei der Erzeugung eines Tones auf eine einfache Weise in die Hand des Beobachters, und können daher zur Beantwortung mancher Fragen in der Akustik benutzt werden, über welche die gewöhnlichen Arten der Tonerzeugung nicht geeignet sind Aufschlufs zu geben. Dabei darf allerdings nicht vergessen werden, dafs die von jenen Apparaten ausgehenden Wellen nicht ganz von derselben Natur sind, wie die durch stehende Schwingung eines elastischen Körpers erzeugten Wellen zu sein pflegen, und dafs daher die an ihnen erhaltenen Resultate nicht unbedingt auf jede andere Art der Tonerzeugung übertragen werden dürfen, ein Umstand, welcher namentlich bei den meisten der nachfolgenden Beobachtungen nicht aufser Acht zu lassen ist.“

Bevor diese Beobachtungen hier mitgetheilt werden, dürfte eine Beschreibung dieser Sirene am Platze sein. Um mit seinem Apparate Einfachheit und Mannigfaltigkeit der Versuche zu erreichen, hat ihm Seebeck folgende Einrichtung gegeben: Auf einem starken, viereckigen horizontalen Brette sind zwei Holzgestelle in Gestalt rechteckiger Rahmen befestigt. In der Ebene des ersten vertikalen Rahmens liegt eine horizontale Achse, deren spitze Enden in stählernen Lagern

---

[1]) Ludwig Friedrich Wilhelm August Seebeck wurde am 27. Dezember 1805 zu Jena geboren; er starb am 19. März 1849 zu Dresden, als er im Begriff stand, einem Rufe als Professor der Physik an die Universität Leipzig zu folgen.

[2]) Dove, Rep. d. Physik, VIII. (Berlin, 1849), p. 25. [3]) Pogg. Ann. LI, p. 15, Fufsnote.

[4]) Betrachtungen über einige Bedingungen der Entstehung von Tönen. (Pogg. Ann. LIII. (1841), p. 417—436.) cfr. Dove, Rep. d. Phys. VI. (Berlin, 1842), p. 6—15.

[5]) Eine zweite Beschreibung mit Abbildung in ⅛ der natürlichen Gröfse giebt Seebeck in Dove, Rep. d. Phys. VIII, p. 25—27; dieselbe ist reproduziert in Marbach u. Cornelius, Physikalisches Wörterbuch, VI, p. 399—400.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

laufen. Auf dieser Achse sitzt eine starke hölzerne Scheibe von 7¼ Zoll (= 19,6 cm) Durchmesser, welche zur Vermehrung des Trägheitsmomentes mit einem konzentrischen Bleiringe von etwa halb so grofsem Durchmesser verbunden ist, und an welcher die aus dünner glatter Pappe (Prefsspahn) verfertigte Sirenenscheibe vermittelst einiger Schrauben befestigt werden kann. Die Achse kann herausgenommen werden, um die Scheiben nach Belieben auswechseln zu können. Die Umdrehung der Sirenenscheibe wird durch ein sinkendes Gewicht bewirkt; dasselbe greift an der in dem zweiten Holzrahmen horizontal liegenden Welle eines Rades an, von welchem ein Schnurlauf nach der Achse der Sirenenscheibe hinüberführt. Die Bewegung der Scheibe wird durch ein Paar an ihrer Achse befestigte Windflügel in Verbindung mit der Reibung reguliert. Später hat man das sinkende Gewicht als Treibwerk durch einen Zentrifugalapparat ersetzt.

Die von Seebeck verwendeten Pappscheiben hatten meistens einen Durchmesser von 12 Zoll (= 0,325 m); die auf den Kreisen befindlichen Löcher wurden mittels eines Transporteurs aufgetragen und mit dem Locheisen geschlagen. Das Anblasen geschah mit einem Glasröhrchen von derselben Weite. Bei seinen späteren Versuchen, auf welche wir bei der Besprechung seines Streites mit G. S. Ohm zurückkommen werden, änderte Seebeck Weite, Form und gegenseitige Entfernung der Öffnungen, sowie die Mündung des Anblaseröhrchens in mannigfaltiger Weise ab; und er liefs auch, um recht getrennte Eindrücke zu erhalten, nach dem Vorgange von Savart die Spitze eines Kartenblattes oder einer Feder in die Löcher der rotierenden Scheibe einschlagen.

Mit dieser Sirene lassen sich nun, wie mit der Opeltschen, alle Veränderungen des Tones untersuchen, welche von den Veränderungen und den Verhältnissen der Schwingungszahlen abhängen, und dazu hat sie Seebeck auch während seiner Lehrthätigkeit benutzt. Neu waren aber seine Versuche über Interferenz zweier Töne und über die Erscheinungen bei gestörtem Isochronismus der Impulse[1]), von denen namentlich die letzteren bei ihrer Veröffentlichung in den Kreisen der Physiker ungewöhnliches Aufsehen erregten.

In Anbetracht ihrer Bedeutung für die gesamte Geschichte der Akustik werde ich sie vollständig hier mitteilen, und zwar in der Fassung, wie sie G. S. Ohm in seinem grundlegenden Aufsatze über die Theorie der Sirene gegeben hat[2]):

1) Man richte gegen eine Löcherreihe der Sirene zwei Röhren von den beiden entgegengesetzten Seiten her, senkrecht gegen die Scheibe, und zwar so, dafs wenn die eine sich vor einem Loche befindet, auch die andere einem Loche gegenüber sei. Bläfst man mit „einer" dieser Röhren gegen die in Umdrehung befindliche Scheibe, so geben sie, jede einzeln, denselben Ton; bläfst man aber mit beiden zugleich, so verschwindet der Ton, und man hört immer, oder fast nur das Sausen, welches das Durchströmen der Luft verursacht. Stellt man die Röhren dagegen so auf, dafs ihre Stöfse nicht gleichzeitig, sondern alternierend erfolgen, so hört man den ursprünglichen Ton, und zwar verstärkt.

2) Wenn man auf eine Scheibe konzentrisch zwei Löcherreihen setzt, von denen die eine doppelt so viel Löcher hat als die andere, so giebt sie die Oktave von dem Tone der letzteren, und man hört, wenn beide gleichzeitig angeblasen werden, in der Regel auch beide Töne zugleich. Nur wenn das Anblasen von den beiden entgegengesetzten Seiten her, und zwar so erfolgt, dafs

---

[1]) Pogg. Ann. LIII, p. 419—425. (cfr. Dove, Repert. d. Phys. VI, p. 6—9.)
[2]) Pogg. Ann. LIX, p. 515—517.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

jeder Luftstofs des tieferen Tones mit einem des höheren genau zusammentrifft, verschwindet der höhere Ton und man hört den tieferen allein.

3) Wenn eine Reihe schnell aufeinander folgender Impulse nicht isochronisch zum Ohre gelangen, sondern so, dafs die Zwischenzeit zwischen je zweien abwechselnd t und t' beträgt, so tritt ein Ton auf, als ob die Zwischenzeit $t + t'$ wäre, und wenn t und t' nicht zu sehr verschieden von einander sind, so hört man zugleich noch einen Ton von der Schwingungsdauer $\frac{t + t'}{2}$, also die höhere Oktave des ersteren. Dabei machte Seebeck die Bemerkung, dafs der höhere oder tiefere Ton mehr hervortönt, je nachdem die Werte t und t' einander gleicher oder ungleicher waren.

4) Wenn eine Reihe von Stöfsen so aufeinander folgen, dafs die Zwischenzeiten von je dreien abwechselnd t, t' und t'' sind, so hört man den Ton von der Schwingungsdauer $t + t' + t''$, und zugleich auch, wenn die Zwischenräume nicht zu ungleich sind, den Ton von der Schwingungsdauer $\frac{t + t' + t''}{3}$, wobei wiederum die Bemerkung gemacht wurde, dafs der höhere oder der tiefere Ton um so mehr hervortrat, je gleicher oder ungleicher die drei Zwischenzeiten t, t' und t'' einander waren.

5) Läfst man die Abstände zwischen den Löchern in unregelmäfsiger Folge wechseln, doch so, dafs sie sich nicht zu sehr von einem Mittelwert entfernen, so hört man nur „einen", mehr oder weniger unvollkommenen Ton, dessen Höhe jenem Mittelwerte entspricht.

6) Wenn bei den sub 3) beschriebenen Versuchen t' ein Vielfaches von t war, wurde zwar stets noch der Ton von der Schwingungsdauer $t + t'$ gehört, aber anstatt des Tones $\frac{t + t'}{2}$ kam jetzt der Ton von der Schwingungsdauer t zum Vorschein.

7) Wenn t' zwar viel gröfser als t, aber nicht ein Vielfaches von t war, so schien es Seebeck, dafs neben dem Tone $t + t'$ teils ebenfalls der der Schwingungsdauer t entsprechende Ton vorhanden sei, teils auch wohl ein noch höherer, dem gemeinsamen Mafse von t und t' entsprechender Ton schwach mitklinge; jedoch haben ihm die Resultate seiner Beobachtungen hierüber noch einigen Zweifel gelassen.

8) Wurden die Zwischenzeiten von je drei Impulsen abwechselnd t, t und t' gemacht, so wurde jederzeit der Ton von der Schwingungsdauer t gehört, t mochte kleiner oder gröfser als t' sein.

Aus diesen Versuchen schien hervorzugehen, dafs, entgegen der bisherigen Ansicht über die Entstehung des Tones, die Gleichheit der Zeitintervalle, in denen die einzelnen, einen Ton erzeugenden Impulse aufeinander folgen, zur Bildung des Tones unwesentlich sei, und Seebeck selbst zog hieraus den Schlufs[1]): „Man sieht aus diesen Versuchen, dafs das Gehörorgan einerseits die Fähigkeit besitzt, ein System von Impulsen in zwei oder drei Systeme von isochronen Impulsen zu zerlegen; dafs es aber andererseits auch durch einen nur einigermafsen angenäherten Isochronismus den Eindruck einer bestimmten Tonhöhe empfängt, wie vom vollkommenen Isochronismus."

---

[1]) Pogg. Ann. LIII, p. 423.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Seebeck hat ferner seine Sirene benutzt, um eine von Savart[1]) aufgestellte Ansicht zu widerlegen[2]). Savart wollte durch zahlreiche, mit seiner Zahnradsirene und seinem Schlagapparate und dem musikalischen Hammer von Cagniard de la Tour ausgeführte Versuche gefunden haben, dafs die Tonhöhe nicht nur von der Schwingungszahl allein abhängig, sondern dafs zur Bestimmung des Grades der Tonhöhe auch noch erforderlich sei, dafs die zum Gehörorgan gelangenden Wellen nicht abwechselnd von zwei oder mehreren verschiedenen Punkten ausgehen. Seebeck stellte nun mit seiner Sirene zahlreiche sorgfältige Versuche an, und kam stets zu einem gleichen, aber dem Satze Savarts widersprechenden Resultate, und er äufserte deshalb die Vermutung, „dafs der Apparat, dessen sich dieser ausgezeichnete Physiker bei seinen Versuchen bediente, nicht geeignet war, für den vorliegenden Zweck die erforderliche Genauigkeit zu geben". „Ich zweifle nicht, dafs Savart bei einer etwas abgeänderten Wiederholung seiner Versuche die entgegengesetzte Behauptung zurückgenommen haben würde."

Die Einrichtung der Seebeckschen Sirene ist, wenn man von der zur Umdrehung der Sirenenscheibe dienenden Vorrichtung absieht, von der Opeltschen nicht wesentlich verschieden, und beide geben im Vergleich mit der sirène ordinaire von Cagniard de la Tour nur schwache Töne, weil bei der Drehung der Scheibe jedesmal nur eine Öffnung angeblasen wird. Aus Gründen, die früher schon erwähnt worden sind, war die Opeltsche Sirene zu der Zeit, als Seebeck seine Versuche veröffentlichte, den Physikern gänzlich unbekannt und wurde erst später der Vergessenheit entrissen, und hieraus erklärt sich auch die Thatsache, dafs in den Lehrbüchern der Physik der Opeltsche Apparat nur ausnahmsweise, der Seebecksche regelmäfsig erwähnt wird.

Dadurch, dafs Seebeck die Neuerung einführte, die Löcherreihen der Sirenenscheibe von entgegengesetzten Seiten durch zwei Röhren gleichzeitig anzublasen, zeigte er, dafs die Sirene sich auch zu Untersuchungen über die Interferenz des Schalles verwenden lasse: ein Zweig der Akustik, der seit der ersten Beobachtung von Vieth im Jahre 1804 von den Gebrüdern Weber, Kane, Wheatstone und Dove weiter gepflegt worden war. Von hervorragender Bedeutung für die ganze Entwicklungsgeschichte der Akustik sind aber Seebecks Versuche über die Erscheinungen bei gestörtem Isochronismus der Impulse, weil sie den unmittelbaren Anstofs zu den epochemachenden theoretischen Untersuchungen G. S. Ohms über die Natur des Tones gegeben haben[3]).

Was die weitere Entwickelung der Seebeckschen Sirene anbetrifft, so hat in Deutschland sich der bekannte Mechaniker und Akustiker Georg Appunn in Hanau mit der Anfertigung grofser derartiger Apparate befafst: unter anderen hat er eine Sirenenscheibe mit 1024 Löchern konstruiert[4]).

---

[1]) F. Savart, Note sur les causes qui déterminent le degré d'élévation des sons. (Ann. de chim. et de phys. LXV. (1840), p. 205—211; Pogg. Ann. LI, p. 555—560.) Die in diesem Aufsatze beschriebenen Versuche wurden schon im Jahre 1830 angestellt, aber verschiedene Ursachen verzögerten ihre Veröffentlichung.

[2]) Aug. Seebeck, Beobachtungen über einige Bedingungen der Entstehung von Tönen. III. Dürfen die zu einem Tone gehörenden Impulse von verschiedenen Punkten ausgehen? (Pogg. Ann. LIII. (1841), p. 425—436.) cfr. Dove, Repert. d. Phys. VI, p. 10—15.

[3]) Hier möchte ich noch darauf aufmerksam machen, dafs die ausgedehnten Versuchsreihen von Cagniard de la Tour über den Klang der Sirenentöne Seebeck bei der Veröffentlichung seiner Versuche gänzlich unbekannt waren und bis auf einen einzigen Fall, auf welchen ich später zurückkommen werde, auch unbekannt geblieben sind.

[4]) Müller-Pfaundler, Lehrbuch der Physik und Meteorologie, 8. Aufl. Bd. I, p. 472.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Durchgreifende Änderungen hat Rudolf Koenig mit der Seebeckschen Sirene wiederholt vorgenommen, und zwar bezweckten diese Veränderungen in erster Linie eine Verstärkung des erzeugten Tones. Koenig gab deshalb dieser Sirene anfänglich folgende Einrichtung[1]): Die Scheiben wurden nicht mehr aus Pappe, sondern aus Messing verfertigt, und jedem Apparate wurden neun solcher Scheiben beigelegt. Die erste Scheibe hat acht Reihen äquidistanter Löcher und dient zur Erzeugung der Töne der diatonischen Durtonleiter; die zweite, ebenfalls mit acht Löcherreihen, ist zur Hervorbringung der harmonischen Töne bestimmt; die nächsten vier Scheiben dienen zur Demonstration der Resultate, wenn der Isochronismus der Impulse auf irgend eine Weise gestört ist; mit der siebenten Scheibe läfst sich nachweisen, dafs die Impulse von verschiedenen Punkten ausgehen und dennoch einen Ton erzeugen können; die achte Scheibe ist für Interferenzversuche bestimmt, und endlich die neunte für die Erzeugung von Schwebungen. Jede dieser Scheiben läfst sich an einer aus einem Kasten herausragenden horizontalen Achse befestigen, welche von einem in letzterem befindlichen Uhrwerke beliebig schnell herumgedreht werden kann. Zur Regulierung und Messung der Umlaufsgeschwindigkeit der Scheiben dient ein an der Vorderseite des Kastens angebrachtes Zählwerk, wie es schon Cagniard de la Tour für seine sirène ordinaire angegeben hatte[2]). Um das vom Treibwerke herrührende Geräusch unhörbar zu machen, giebt man dem Kasten doppelte Wände und füllt den Zwischenraum mit guten Schallisolatoren.

Um das gleichzeitige Anblasen mehrerer Löcherreihen von der einen oder der anderen Seite der Scheiben zu ermöglichen, ist folgende Einrichtung getroffen: Vor den Scheiben ist an dem Kasten eine ringförmige Windlade, deren Durchmesser etwas gröfser als der Durchmesser der Scheiben ist, so angebracht, dafs ihr Mittelpunkt in der Verlängerung der Rotationsachse liegt; durch einen starken Kautschukschlauch ist diese Windlade mit einem Blasetisch verbunden. Ferner münden in die Windlade zehn oder zwölf kleinere, gleich weit voneinander abstehende, gekrümmte Kautschukröhren, deren Öffnungen andererseits vermittelst einer besonderen hölzernen oder messingnen, an der Windlade befestigten Schiebervorrichtung vor jeder beliebigen Löcherreihe festgestellt werden können. Soll die Sirene nun angeblasen werden, so mufs eine jedes der kleineren Röhrchen verschliefsende Klappe geöffnet werden, damit die Luft aus der ringförmigen Windlade in die Röhrchen einströmen und dann auf die Löcherreihen treffen kann.

Koenig hat auch einfachere, nach denselben Grundsätzen konstruierte Sirenen mit sieben Pappscheiben und drei Anblaseröhrchen angefertigt. Eine andere Einrichtung hatte die von Koenig auf der Pariser Weltausstellung im Jahre 1865 vorgeführte Sirene, welche Pisko[3]) in seinem Berichte über die physikalischen Apparate dieser Ausstellung kurz beschreibt: Die Scheiben waren wagerecht gelegt; mittels eines Registers konnte auf demselben Kreise durch ein, resp. drei, sechs, zwölf Löcher geblasen werden, und durch Regierung von Tasten liefsen sich acht Löcherkreise gleichzeitig zur Hervorbringung von Tönen benutzen. Bei der letzten, von Koenig[4]) ausgeführten Konstruk-

---

[1]) J. J. Pisko, Die neueren Apparate der Akustik. (Wien, 1865), p. 234—236, Figur 95.

[2]) cfr. Teil I, p. 13—14.

[3]) cfr. Repertorium für physikalische Technik, für mathematische und astronomische Instrumentenkunde, herausgeg. von Ph. Carl, III. Bd. (1867), p. 370—371. cfr. auch Ann. de l'École Norm. sup. t. VII, p. 279.

[4]) Catalogue des appareils d'acoustique. (Paris, 1889), Nr. 28. Grande sirène d'après Seebeck avec compteur et sommier à clavier et à registre. Fig. 7. 1400 fr.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

tion der Seebeckschen Sirene drehen sich die Scheiben wieder um eine horizontale Achse, aber das Anblasen der Löcherkreise erfolgt in ähnlicher Weise wie bei der Sirene von 1865. Der ganze Apparat hat eine Höhe von 0,85 m, und besteht aus dem kastenförmigen unteren Teile, welcher das Uhrwerk, das Zählwerk und den Windregulierungsapparat enthält, und aus der darüberliegenden Sirene mit ringförmiger Windlade. Diese letztere bekommt den Wind von einem Blasetisch und hat den Zweck, den Wind durch Niederdrücken der Tasten einer Klaviatur ganz nach Belieben auf neun Röhren zu verteilen, von wo aus er durch Löcher, die auf einem Kreise in einem Winkelabstande von 30° in der vor diesen Röhrchen liegenden Wand gebohrt sind, gegen die Öffnungen der rotierenden Sirenenscheibe getrieben wird. Ein in geeigneter Weise angebrachtes Register gestattet dem Winde den Austritt entweder durch alle zwölf Öffnungen oder nur durch eine einzige. Eine Art Schiebervorrichtung ermöglicht das Anblasen der Löcherkreise einer Scheibe durch zwei Röhren von der entgegengesetzten Seite her. Von den dem Apparate beigegebenen, aus Messing verfertigten sieben Sirenenscheiben sind drei bestimmt zum Nachweise der Erscheinungen, welche bei gestörtem Isochronismus der Impulse auftreten; mittels der vierten Scheibe wird nachgewiesen, dafs die von verschiedenen Punkten herrührenden Impulse zur Bildung desselben Tones beitragen können; die fünfte Scheibe dient zu Interferenzversuchen, die sechste zur Erzeugung der diatonischen Tonleiter, und die siebente zur Hervorbringung der ersten acht harmonischen Töne. Auch von dieser Sirene hat Koenig[1]) noch drei einfachere, und deshalb weniger kostspielige Formen angefertigt.

Als die vielstimmigen Lochsirenen von Opelt und Seebeck in den Kreisen der Physiker Eingang gefunden hatten, bot sich in diesen Apparaten ein willkommenes Hülfsmittel dar, das schon seit Anfang dieses Jahrhunderts vielfach untersuchte Problem der Kombinationstöne, oder, wie man sie damals nannte, der Tartinischen Töne, einer erneuten Behandlung zu unterwerfen. Im Anschlusse an die ersten Untersuchungen von Lagrange, Th. Young und Chladni hatten sich etwa in der Zeit 1830 bis 1840 W. Weber, Hällström, Scheibler, Poggendorff, Roeber und schliefslich G. S. Ohm mit der Erklärung dieser interessanten Töne beschäftigt. Wie schon oben (S. 9) hervorgehoben worden war, hatte Opelt auf das Auftreten der Kombinationstöne beim Anblasen der die hüpfenden und gemischten Rhythmen darstellenden Löcherreihen ausdrücklich hingewiesen; er hatte aber die Töne zu hören geglaubt, wie sie sich aus dem von ihm als richtig angenommenen Chladnischen Gesetze ergaben. Die von anderen Physikern wiederholten hierauf bezüglichen Versuche zeigten aber, dafs die Kombinationstöne schwer wahrnehmbar waren, weil die erzeugenden primären Töne eine zu geringe Stärke hatten. Da aber die Wahrnehmbarkeit der Kombinationstöne nicht nur von der Intensität, sondern besonders auch von der Entstehungsweise der primären Töne abhängt, so konstruierte Heinrich Wilhelm Dove[2]) im Jahre 1851 eine neue Form der mehrstimmigen Sirene[3]), welche die Bedingung, dafs dieselbe Luftmasse von beiden Tönen gleichzeitig in heftige Erschütterung versetzt werde, in vollem Mafse erfüllte.

Dove übertrug im wesentlichen die Konstruktion der Opeltschen Sirenenscheibe auf die-

---

[1]) ibid. Nr. 28a, 28b, 28c.

[2]) Geb. 1803 zu Liegnitz, gest. 1879 zu Berlin.

[3]) Beschreibung einer Lochsirene für gleichzeitige Erregung mehrerer Töne. (Pogg. Ann. LXXXII, p. 596—598. Hierzu Fig. 7, 8, 9 auf Tafel III.) (cfr. Fortsch. d. Phys. VI, p. 311—312; VIII, p. 154). Aufserdem: J. J. Pisko, Neuere Apparate der Akustik, p. 45—48.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

jenige der verbesserten sirène ordinaire von Cagniard de la Tour mit Zählwerk[1]); neu hinzugefügt hat er aber eine sinnreiche Einrichtung, die es ermöglicht, die in dem Windkessel eingeschlossene Luft entweder nur durch eine einzige Löcherreihe oder durch mehrere gleichzeitig ausströmen zu lassen. Sowohl die drehbare Sirenenscheibe, als auch die darunter befindliche, unbewegliche Deckelplatte des Windkastens haben in dem ersten, von dem Rande an gezählten Kreise 16, im zweiten 12, im dritten 10 und im vierten 8 elliptische Öffnungen, welche, wie bei der gewöhnlichen Sirene von Cagniard de la Tour, schief, aber nach entgegengesetzten Richtungen so gebohrt sind, dafs die Achsen der aufeinander treffenden cylindrischen Bohrungen etwa einen rechten Winkel bilden. Unterhalb der festen Deckelplatte des Windkastens befinden sich vier vermittelst eines Falzes übereinander greifende konzentrische Ringe, mit, von aufsen nach innen gezählt, 16 resp. 12. 10, 8 Öffnungen, welche die gleiche Form und die nämliche Richtung der Bohrung wie die Öffnungen der darüberliegenden Deckelplatte haben; der innerste Ring berührt mit seinem inneren Rande eine massive kleinere, im Mittelpunkte an der festen Deckelplatte befestigte Kreisscheibe, und der äufserste Ring stöfst mit seinem äufseren Rande an die Wand des Windkastens. An jedem Ringe ist ein durch die cylindrische Wand des Deckels nach aufsen gehender und in ein Knöpfchen endender Messingstift befestigt, vermittelst dessen jeder Ring gedreht werden kann. Die herausragenden Enden dieser Stifte sind mit Spiralfedern umgeben, durch welche sie so lange nach aufsen gedrückt werden, bis ein an jedem Stifte quer befestigtes Schräubchen an der Innenseite des Randes am Windkasten ein weiteres Heraustreten verhindert. In dieser Stellung treffen die Löcher der vier konzentrischen Ringe auf die massiven Zwischenräume der festen Deckelplatte, und die Luft des Windkastens kann dann nicht ausströmen. Drückt man aber auf eines der Knöpfchen, so verschiebt sich der am Stifte befestigte Ring in dem Augenblicke, wo die Windungen der Feder einander berühren, so weit, dafs seine Öffnungen den entsprechenden Öffnungen der festen Deckelplatte gegenüberliegen; die Luft strömt dann aus und versetzt die Sirenenscheibe in Drehung. Durch gleichzeitiges Hineindrücken zweier oder mehrerer Stifte kann man zwei oder mehrere Sirenentöne gleichzeitig erzeugen und die entsprechenden Kombinationstöne hervorrufen.

Da die Dovesche Sirene, wie die sirène ordinaire von Cagniard de la Tour, aus Messing gearbeitet wird[2]), so kann sie, ohne in einen aufserordentlich kostspieligen Apparat überzugehen, nicht die Mannigfaltigkeit der Löcherreihen wie die Opeltsche Sirene aufweisen; die Sirenenscheibe ist deshalb nur mit vier solcher Reihen zur Erzeugung der Töne des Durakkordes versehen. Vor der Opeltschen und Seebeckschen Sirene hat sie den Vorzug, dafs sie ein bequemes gleichmäfsiges und gleichzeitiges Anblasen zweier oder mehrerer Töne von einer und derselben Seite her gestattet.

Fünf Jahre nach der Erfindung dieser Sirene, im Jahre 1856, veröffentlichte Hermann von Helmholtz seine grundlegende Arbeit über die Kombinationstöne[3]), und zum experimen-

---

[1]) cfr. I. Teil, p. 11—14.

[2]) Die ersten Doveschen Sirenen wurden von dem Berliner Mechaniker Sauerwald angefertigt; ohne Zählwerk kostete sie 20 Thaler, mit demselben 32 Thaler. Der Durchmesser der Sirenenscheibe betrug 3 Par. Zoll (= 8,12 cm), die Höhe des Windkessels 1½ Zoll (= 4,06 cm), die Höhe der Drehachse mit den Endschrauben 5 Zoll (= 13,54 cm).

[3]) Pogg. Ann. XCIX, p. 497—540.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

tellen Nachweise der Richtigkeit seiner theoretischen Untersuchungen benutzte er den Doveschen Apparat, zugleich konnte er damit auch die Existenz der bis dahin unbekannten, von ihm erst auf theoretischem Wege gefundenen Summationstöne nachweisen. „Die Kombinationstöne treten so laut hervor, wie an keinem anderen Instrumente. An ihr sind auch die Summationstöne so laut und auffallend, dafs sie gleichsam die Oberstimmme des gehörten Akkordes bilden, und sich auch ungeübten Ohren leicht bemerklich machen. Sie sind es auch, die die Akkorde der Sirene häufig so rauh und mifstönend machen, weil sie meistens nicht in der Harmonie des Durakkordes bleiben, wie es bei den Differenztönen der konsonierenden Intervalle gewöhnlich der Fall ist“ [1]). Auch die Summationstöne zweiter Ordnung konnte Helmholtz mit der Doveschen Sirene noch beobachten [2]), und mit ihrer Hülfe wies er unter Anwendung von mit Sand bestreuten Membranen die objektive Existenz der Kombinationstöne nach [3]). Die Abhandlung schliefst mit den Worten: „Es möge hier genügen, durch einen Versuch das Faktum festgestellt zu haben, dafs Kombinationstöne unabhängig vom menschlichen Ohre entstehen können. Einen anderen Nachweis derselben Thatsache, der in mancher Beziehung noch lehrreicher ist, habe ich mittels einer eigentümlichen Form der Sirene erhalten. Das neue Instrument und die damit auszuführenden Versuche behalte ich mir indessen vor, in einem andern Aufsatz im Zusammenhange zu beschreiben“.

Die hier erwähnte Sirene ist die vielstimmige Doppelsirene, deren Beschreibung von Helmholtz in der ersten Auflage seines klassischen Werkes „Die Lehre von den Tonempfindungen“ vom Jahre 1862 veröffentlicht worden ist [4]). Dieselbe besteht im wesentlichen aus zwei Doveschen mehrstimmigen Sirenen, welche in einem starken Holzgestell vertikal so übereinander befestigt sind, dafs sie ihre mit je vier konzentrischen Löcherreihen durchbohrten und um eine gemeinschaftliche vertikale Achse drehbaren Scheiben in einiger Entfernung einander zukehren. Die vier konzentrischen Reihen der Scheibe der oberen Sirene haben 9, 12, 15 und 16 Öffnungen, und die vier Reihen der unteren Scheibe zeigen, wie bei der Doveschen Sirene, 8, 10, 12 und 16 Löcher. Die gemeinschaftliche Rotationsachse beider Scheiben ist in der Mitte mit einer das einsetzbare Zählwerk in Bewegung setzenden Schraube versehen, und ihre scharf zugespitzten Enden ruhen in konisch vertieften Pfannen. Zwei messingene Windrohre leiten den aus einem Blasetisch herkommenden Luftstrom in den Windkessel der unteren Sirene von unten, in den Windkessel der oberen Sirene von oben ein. Da der obere Windkasten bei einigen Versuchen um seine geometrische Achse gedreht werden soll, so ist für diesen Fall folgende Einrichtung getroffen: Das in den oberen Windkasten eintretende Windrohr geht unbeweglich durch den oberen Querbalken des Gestelles in den Kasten hinein und reicht mit seinem verschlossenen Ende bis in die feste Deckelplatte desselben. Die Wand der in den Kasten hineinragenden Verlängerung des Windrohres ist am oberen und unteren Ende kegelförmig abgeschrägt, und Boden sowie Deckelplatte sind mit entsprechenden Ausschnitten versehen, welche genau an das Windrohr passen; auf diese Weise kann der Kasten um das Windrohr als Achse gedreht werden. Damit

---

[1]) ib. p. 520.

[2]) p. 521.

[3]) p. 539.

[4]) In der mir zu Gebote stehenden zweiten Ausgabe vom Jahre 1865 im achten Abschnitt, p. 241—244, und Beilage X, p. 591—592 (Abbildung in Figur 49 u. 57). cfr. J. J. Pisko, Neuere Apparate des Akustik, p. 48—54, 236—238.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

aber die aus dem Windkessel kommende Luft aus dem zur Drehachse gewordenen, am unteren Ende aber nun verschlossenen Windrohre in den Windkasten gelangen könne, ist dasselbe an dem im Hohlraume des Kastens befindlichen Teile mit weiten Seitenlöchern versehen. Den unteren Verschlufs des Windrohres bildet eine Schraube, auf deren Aufsenseite eine konische Vertiefung die eine Pfanne der gemeinsamen Drehachse beider Sirenenscheiben bildet, während die andere, gleich gestaltete Pfanne im Mittelpunkte der Deckelplatte der unteren Sirene liegt. Die Drehung des oberen Windkastens wird durch folgende Vorrichtung bewirkt: An der Aufsenseite seines Bodens ist ein Zahnrad befestigt, dessen Achse mit der geometrischen Achse des Windrohres zusammenfällt. Auf der Oberseite des oberen Querbalkens befindet sich mehr nach der Seite hin eine in einer horizontalen Ebene drehbare Kurbel, mit welcher ein an der unteren Seite des Querbalkens liegendes Getriebe verbunden ist, dessen Zähne in das erste Zahnrad eingreifen. Vermittelst eines an der Kurbel befestigten Zeigers kann die Gröfse jeder Drehung auf einem festen, geteilten Kreise abgelesen werden. Ferner gehören zu dem Apparate zwei Resonatoren in Form von cylindrischen Messingkästen; diese Kästen sind in je zwei Hälften zerschnitten, so dafs man sie abnehmen, wieder aufsetzen und dann durch Schrauben auf dem Windkasten befestigen kann.

Die ersten vielstimmigen Doppelsirenen wurden von dem Berliner Mechaniker Sauerwald angefertigt. Koenig[1]) in Paris hat am Zählwerk dieser Sirene ein Uhrwerk angebracht, welches gleichzeitig mit diesem seinen Gang beginnt und einstellt; auch giebt er dieser Sirene den Windregulator von Cavaillé-Coll bei.

Die Einrichtung der Helmholtzschen Doppelsirene gestattet es, entweder jede einzelne Sirene für sich nach Art der Doveschen zu gebrauchen, oder auf jeder der beiden Sirenen Löcherreihen gleichzeitig anzublasen; im ersteren Falle sind die aus den Öffnungen austretenden Luftströme gleich, im zweiten Falle entgegengesetzt gerichtet. Da die vier konzentrischen Reihen auf jeder Sirenenscheibe eine verschiedene Anzahl von Öffnungen aufweisen, so gestattet ihre Kombinierung die Erzeugung der mannigfaltigsten Intervalle und Akkorde. Die Drehbarkeit des oberen Windkastens in dem einen oder im entgegengesetzten Sinne hat den Zweck, den Einflufs des Phasenunterschiedes beim gleichzeitigen Erklingen zweier Töne nachzuweisen, und vermittelst des an der Kurbel befestigten Zeigers kann die Gröfse des Phasenunterschiedes genau bestimmt werden. Die als Ansatzrohr dienenden cylindrischen Messingkästen sind bei den Versuchen über die Interferenz des Schalles nötig, weil sie die sonst störend auftretenden harmonischen Obertöne des Sirenenklanges dämpfen.

Helmholtz hat die Resultate seiner mit dieser Sirene angestellten Versuche über Interferenz, über Schwebungen und Kombinationstöne, sowie über die Hörbarkeit tiefer Töne in der zweiten Abteilung seines Werkes über die Tonempfindungen, in welcher er die Störungen des Zusammenklanges behandelt, in formvollendeter Sprache dargestellt. Und wenngleich seine gründlichen Forschungen über diese so oft untersuchten Probleme der Akustik in neuerer Zeit manchen Widerspruch, besonders von Seiten Rudolf Koenigs, erfahren haben, so werden sie doch stets den Ausgangspunkt für die Arbeiten nachfolgender Forscher auf diesem Gebiete bilden.

---

[1]) Catalogue des appareils d'acoustique. (Paris, 1889), Nr. 27, Fig. 6. Diese Sirene hat eine Gesamthöhe von 0,45 m und kostet 450 fr.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Im Jahre 1868 hat v. Helmholtz[1]) noch eine kleine elektromagnetische Maschine von konstanter Rotationsgeschwindigkeit konstruiert, welche sich für die Bewegung der Sirene als sehr vorteilhaft erwies. Ein rotierender Elektromagnet, in welchem die Stromrichtung bei jeder halben Umdrehung gewechselt wird, bewegt sich zwischen zwei festen Magnetpolen. Der Strom in diesem Elektromagneten wird durch die Zentrifugalkraft einer an der Umdrehungsachse desselben befestigte Masse unterbrochen, sobald die Geschwindigkeit den verlangten Grad zu überschreiten anfängt. Zwei Spiralfedern, deren Elastizität der Zentrifugalkraft entgegenwirkt, können nach Belieben stärker oder schwächer gespannt werden. Dadurch kann die Umdrehungsgeschwindigkeit auf jedem beliebigen Grade erhalten werden. Im Jahre 1875 ist diese Maschine noch dadurch verbessert worden, dafs der Zentrifugalregulator von ihr getrennt wurde, und dieser nur den schwachen Strom für ein Relais öffnet und schliefst. Letzteres öffnet oder schliefst erst den starken Strom, den die elektromagnetische Maschine treibt.

Die Sirene wird durch einen dünnen Schnurlauf mit der Maschine verbunden, und braucht dann nicht angeblasen zu werden; v. Helmholtz brachte vielmehr auf der Scheibe eine kleine, aus steifem Papier verfertigte Turbine an, welche die Luft durch die Öffnungen treibt, so oft diese mit denen des Kastens zusammenfielen. Bei dieser Einrichtung wurden so konstante Töne von der Sirene hervorgebracht, dafs sie in dieser Beziehung mit den besteingerichteten Orgelpfeifen wetteifern konnte. Dann hat Helmholtz der Sirene auch noch gerade gebohrte Löcher gegeben, so dafs die Stärke des Windes auf ihren Lauf keinen Einflufs mehr hat, und bläst durch den Kasten an.

Der Vollständigkeit halber sei an dieser Stelle auch noch die Methode erwähnt, welche von Bourbouze[2]) zur Regulierung der Umdrehung der Sirenenscheibe angewendet wurde, und welche darauf beruht, dafs ein Magnet die Geschwindigkeit einer in seiner Nähe in Bewegung gesetzten Metallmasse verzögert. Eine auf der Achse der Sirene befestigte Kupferscheibe dreht sich zwischen den Polen eines Elektromagneten, dessen Wirkung man durch Annähern oder Entfernen vergröfsern oder verringern kann. Hat man nun die Sirene durch einen etwas zu kräftigen Luftstrom des Gebläses in Bewegung gesetzt, so nähert man die Pole des Magnets, bis man den gewünschten Ton erhält. So konnte z. B. bei demselben Winddrucke der Ton von 8162 Schwingungen auf einen mit 128 Schwingungen gebracht werden.

Um in der fortlaufenden Beschreibung derjenigen mehrstimmigen Sirenen, welche etwa während eines Vierteljahrhunderts von den deutschen Physikern Opelt, Seebeck, Dove und v. Helmholtz konstruiert worden sind, keine Unterbrechung eintreten zu lassen, habe ich mir eine chronologische Abweichung insofern erlaubt, als ich die Besprechung der wichtigen und für die ganze Entwickelungsgeschichte der Akustik so bedeutungsvollen theoretischen Untersuchungen, welche Georg Simon Ohm[3]) unmittelbar nach dem Bekanntwerden der oben erwähnten See-

---

[1]) Helmholtz, Die Lehre von den Tonempfindungen; 4. Ausgabe, p. 600. (Braunschweig, 1877). Eine Abbildung und Beschreibung dieser Maschine ist von S. Exner gegeben worden (Wiener Berichte, 1868. Mathem.-naturw. Klasse, Bd. LVIII. Abteil. II, p. 602—606) in seiner Abhandlung: „Über die zu einer Gesichtswahrnehmung nötige Zeit".

[2]) Bourbouze, Sirène à régulateur électromagnétique. (Comptes Rendus LXXXVIII, 858). cfr. Fortsch. d. Phys. XXXV, p. 301. (1879). J. Violle, Lehrbuch der Physik; Akustik, p. 17, Note. (Berlin, Springer, 1893).

[3]) G. S. Ohm wurde am 16. März 1789 zu Erlangen geboren, und starb den 6. Juli 1854 zu München als Professor der Physik und Mitglied der bayerischen Akademie der Wissenschenschaften. Die volle Bedeutung

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

beckschen Sirenenversuche im Jahre 1843 veröffentlicht hatte[1]), an jener Stelle übergangen habe. Indem ich jetzt das Versäumte nachhole, möchte ich im voraus bemerken, dafs diese Ohmsche Arbeit die Grundlage der modernen Klangtheorie abgiebt, und dafs sie in der Geschichte der Akustik dieselbe Wichtigkeit zu beanspruchen hat, wie die Einführung der Schwingungszahl durch Galilei. Was aber die Ohmschen Untersuchungen über die Natur des Tones besonders interessant macht, ist der Umstand, dafs dem Manne, dessen Scharfsinne die Lösung eines der wichtigsten akustischen Probleme, an welchem Analytiker und Experimentatoren sich bisher ohne Erfolg versucht hatten, vorbehalten war, die Natur die Gabe des musikalischen Gehöres fast vollständig versagt hatte.

Ohm erhielt die unmittelbare Anregung zu seinen Forschungen durch die veränderte Ansicht von dem Wesen des Tones, wie sie sich Roeber[2]) auf Grund der Sirenenversuche von Cagniard de la Tour und Savart, sowie Seebeck[3]) auf Grund der von ihm selbst ausgeführten Versuche gebildet hatten. Hören wir darüber seine eigenen Worte[4]): „Als ich vor kurzem meine früheren Untersuchungen über Kombinationstöne und Stöfse ins Reine zu bringen mir vornahm, trat mir plötzlich eine nicht unerhebliche Bedenklichkeit entgegen. Ich hatte nämlich dabei als ausgemachte Sache vorausgesetzt, dafs die Bestandteile eines Tones, dessen Schwingungsmenge m sein soll, die Form $a \cdot \sin 2\pi m t$ oder $a \cdot \cos 2\pi m t$ einhalten müssen, worin t die Zeit und a die Schwingungsweite für die aufeinanderfolgenden Tonelemente bezeichnen, und umgekehrt, dafs eine Succession von Eindrücken auf unser Ohr, welche ununterbrochen die hier aufgestellte Form einhält, auch notwendig die Empfindung eines Tones bewirken müsse. Aber Savarts und Cagniard Latours Einführung von besonderen Tonerregungsweisen scheint jene aus alter Zeit herstammende Voraussetzung aus ihrer sicheren Position vertreiben zu wollen, wie wenigstens die Worte von mehreren uns wohl bekannten Akustikern anzudeuten scheinen."

Nachdem nun Ohm die von Roeber und Seebeck neu aufgestellten Ansichten über das Wesen des Tones wiedergegeben hat, fährt er folgendermafsen fort: „Durch die eben mitgeteilten, auf Erfahrungen gestützten Äufserungen sachverständiger Männer über das eigentliche Element

---

dieses genialen Forschers, welcher die moderne Physik um zwei Fundamentalgesetze bereichert hat, ist erst nach seinem Tode in den letzten Dezennien genügend hervorgehoben worden. Man vergleiche: Lamont, Denkrede auf die Akademiker Dr. Thaddaeus Siber und Dr. Georg Simon Ohm. (München, Franz, 1855). — Fr. von Thiersch, Rede, gehalten am 28. November 1854, über das hohe Geburtsfest Sr. Maj. des Königs Maximilian II. und die Veränderungen im Personalstande der k. Akademie der Wissenschaften. (Münchener Gelehrte Anzeigen, Bd. XL. Bulletins der drei Klassen, Nr. 1 bis 4 (München, 1855). (Darin eine Würdigung der Verdienste Ohms von Prof. Seidel, p. 26—35). — Carl Max v. Bauernfeind, Gedächtnisrede auf Georg Simon Ohm, den Physiker. (München, 1882). — Eugen Lommel, Georg Simon Ohms wissenschaftliche Leistungen, Festrede. (München, 1889). — Friedrich Mann, Georg Simon Ohm, Beiträge zum Charakterbild des grofsen Physikers. (Erlangen u. Leipzig, 1890). — Speziell seine Bedeutung für die Entwicklung der Elektricitätslehre behandelt Beetz in der Schrift: „Der Anteil der k. bayerischen Akademie der Wissenschaften an der Entwicklung der Elektricitätslehre" (München, 1873); und K. von der Mühll, Über die theoretischen Vorstellungen von Georg Simon Ohm. (Pogg. Ann. N. F. XLVII, p. 163—169; Verh. d. naturf. Gesellsch. in Basel, 1892, p. 37—44). Seine Schriften und Abhandlungen sind neuerdings in würdiger Ausstattung erschienen unter dem Titel: Georg Simon Ohm, Gesammelte Abhandlungen. Herausgegeben und eingeleitet von E. Lommel. XX u. 855 p. (Leipzig, J. A. Barth, 1892). —

[1]) G. S. Ohm, Über die Definition des Tones, nebst daran geknüpfter Theorie der Sirene und ähnlicher tonbildender Vorrichtungen. (Pogg. Ann. LIX (1843), p. 513—565).

[2]) p. 4. [3]) p. 15.

[4]) Pogg. Ann. LIX, p. 513, 517—518.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

des Tones scheint alles früher in dieser Hinsicht festgesetzte umgestofsen zu werden, ohne dafs etwas anderes mit Zuverlässigkeit dafür hingestellt worden wäre. Es kam mir vor, als forderten sie zu einer neuen Definition des Tones auf; indessen der alten Regel eingedenk, dafs zum Erklären einer Naturbegebenheit keine anderen Ursachen anzunehmen seien, als welche notwendig und hinreichend sind, und meiner Individualität nach wenig geneigt, das zuvor wohl Erworbene infolge des Anreizes eines als neu sich ankündigenden Besitztums sogleich fahren zu lassen, stellte ich den Versuch an, ob nicht die Definition des Tones, wie sie von unseren Vorfahren auf uns übergegangen ist, alles in sich enthalte, was zur vollständigen Erklärung der neuen Thatsache notwendig und hinreichend ist. Infolge dieser Probe aber wurde die althergebrachte Definition des Tones auf eine Weise, die mir der Veröffentlichung wert zu sein scheint, in ihr volles Recht wieder eingesetzt, wie ich nun zeigen werde, indem ich an ihrer Hand in das Dunkel der Seebeckschen Versuche einzudringen unternehme, und mit ihrer Hülfe Schritt um Schritt das eigentliche Verständnis derselben zu bewirken gedenke. Jene alte Definition des Tones aber formuliere ich so:

a) Es müssen die zur Bildung eines Tones von der Schwingungsmenge m erforderlichen Eindrücke in Intervallen von der Länge $1/m$ hintereinander hergehen, und in jedem dieser Intervalle fortdauernd die Form $a \cdot \sin 2\pi (m t + p)$ entweder ganz rein in sich tragen, oder diese Form mufs wenigstens als ein reeller Bestandteil aus jenen Eindrücken abgeschieden werden können.

b) Diese Formen, sie mögen in den einzelnen Eindrücken rein enthalten, oder daraus abscheidbar sein, müssen sich unmittelbar aneinander dergestalt anschliefsen, dafs die beiden zu gleich liegenden Stellen gehörigen Schwingungsphasen in zwei aufeinander folgenden Intervallen immer ein und dasselbe Verhältnis zu einander beibehalten, oder mit andern Worten, es mufs die Gröfse p in allen stets einen und denselben Wert erhalten.

c) Die Gröfse a mufs dabei entweder stets positiv oder stets negativ bleiben; denn eine Umkehrung des Vorzeichens von a ist gleichbedeutend mit einer Änderung im Werte von p, weil $-a \cdot \sin 2\pi (m t + p) = +a \cdot \sin 2\pi (m t + p \pm 1/2)$ ist.

Es versteht sich übrigens von selbst, obschon dies in vorstehender Definition nicht ausdrücklich ausgesprochen worden ist, dafs zur Wahrnehmbarkeit der Höhe eines Tones die Unveränderlichkeit des Wertes p nur in soviel aufeinander folgenden Tonwellen erfordert wird, als unser Gehörorgan zur Habhaftwerdung dieser Höhe verlangt. In der That, wenn durch irgend ein Mittel, nachdem so viele Tonwellen vorübergegangen sind, dafs das Ohr die Höhe des Tones zu bestimmen im Stande war, plötzlich der Wert von p ein anderer würde, und auch jetzt wieder so lange andauerte, dafs das Ohr bei sonst gleichen Umständen wieder dieselbe Höhe zu erfassen vermöchte, so würde ihm dadurch offenbar kein Anlafs zur Abänderung seines Urteils über die Höhe des empfundenen Tons gegeben; es müfste ihn, zum wenigsten in Bezug auf Höhe, als unverändert erkennen."

Ohm hatte den genialen Gedanken, seinen theoretischen Untersuchungen das Theorem von Fourier, welches dieser berühmte französische Analytiker im Jahre 1807 der Pariser Akademie mitgeteilt und 1822 in seiner Théorie analytique de la chaleur veröffentlicht hatte, zu Grunde zu legen. Lagrange hatte sich schon der Fourierschen Reihen zur Lösung des Problems der schwingenden Saiten bedient, und damit eine Aufgabe der analytischen Mechanik zu einem gewissen Abschlusse gebracht, welche seit den Zeiten von Brook Taylor an die bedeutendsten Mathematiker

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

des 18. Jahrhunderts, wie d'Alembert, Euler, Daniel Bernoulli, eingehend beschäftigt und nicht wenig zur Förderung der Analysis beigetragen hatte. Die partielle Differentialgleichung für die Saitenschwingungen ist bekanntlich $\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \alpha^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$. Ist nun l die Länge der Saite, und soll $y=0$ sein für $x=0$ und für $x=l$, ferner $y=f(x)$ für $t=0$ und $\frac{\partial y}{\partial t} = F(x)$ für $t=0$, oder mit andern Worten: sind die Form der Saite und ihre Geschwindigkeit beim Beginn der Bewegung bekannt, — so fand Lagrange als partikuläre Lösung:

$$y = \sum_{n=1}^{\infty} \left(A_s \cos \frac{s\pi\alpha t}{l} + B_s \sin \frac{s\pi\alpha t}{l} \right) \sin \frac{s\pi x}{l},$$

$$\text{wo } A_s = \frac{2}{l} \int_0^l f(\lambda) \cdot \sin \frac{s\pi\lambda}{l} \cdot d\lambda, \; B_s = \frac{2}{s\pi\alpha} \int_0^l F(\lambda) \sin \frac{s\pi\lambda}{l} \, d\lambda.$$

Ohm benutzte nun dieses Theorem von Fourier zur Entscheidung der Frage, ob in einem auf unser Ohr gemachten Eindrucke die Form $a \cdot \sin 2\pi (mt+p)$ als reeller Bestandteil enthalten sei oder nicht, in folgender Weise[1]):

Bezeichnet $F(t)$ irgend eine kontinuierliche oder diskontinuierliche Funktion von t, welche ganz beliebige, jedoch reelle Werte von $t=-l$ bis $t=+l$ hat, so ist nach dem Theorem von Fourier zwischen diesen Grenzen von t stets:

$$F(t) = A_0 + A_1 \cdot \cos \frac{\pi t}{l} + A_2 \cdot \cos \pi \frac{2t}{l} + A_3 \cdot \cos \pi \frac{3t}{l} + \ldots$$
$$+ B_1 \cdot \sin \pi \frac{t}{l} + B_2 \cdot \sin \pi \frac{2t}{l} + B_3 \cdot \sin \pi \frac{3t}{l} + \ldots$$

wo die von t unabhängigen Koeffizienten $A_0, A_1, A_2, A_3 \ldots B_1, B_2, B_3 \ldots$ aus folgenden Gleichungen gefunden werden:

$$\left.\begin{aligned} A_0 &= \frac{1}{2l} \int_{-l}^{+l} F(t) \cdot dt; \; A_s = \frac{1}{l} \int_{-l}^{+l} F(t) \cdot \cos \frac{s\pi t}{l} \cdot dt \\ B_s &= \frac{1}{l} \int_{-l}^{+l} F(t) \cdot \sin \frac{s\pi t}{l} \cdot dt \end{aligned}\right\}$$

Für den Fall, dafs es innerhalb dieser Grenzen Strecken giebt, für welche die Funktion $F(t)$ anhaltend Null wird, kann man für jedes der vorstehenden Integrale die Summe von mehreren andern, denselben Ausdruck in sich enthaltenden, nehmen, von welchen sich jedes aber nur über diejenige Strecke ausdehnt, innerhalb welcher die Funktion $F(t)$ nicht Null wird.

Stellt man sich nun unter $F(t)$ irgend einen zur Zeit t auf das Ohr gemachten Eindruck vor, dann sagt das Fouriersche Theorem aus, dafs dieser Eindruck zerlegbar ist in die Partialeindrücke A_0, $A_1 \cdot \cos \frac{\pi t}{l} + B_1 \cdot \sin \frac{\pi t}{l}$, $A_2 \cdot \cos \pi \frac{2t}{l} + B_2 \cdot \sin \pi \frac{2t}{l}$, $A_3 \cdot \cos \pi \frac{3t}{l} + B_3 \cdot \sin \pi \frac{3t}{l}$ u. s. w. Der erste A_0 bringt keine Schwingung zu Stande, sondern eine blofse Änderung in der Stellung der schwingenden Teile; alle andern aber enthalten Schwingungen in sich, welche die

[1]) Pogg. Ann. LIX, p. 519 ff.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Punkte des schwingenden Körpers um jene neue Stellung herum ausführen[1]). Der Ausdruck $A_1 \cdot \cos \pi \frac{t}{l} + B_1 \cdot \sin \pi \frac{t}{l}$ liefert eine Schwingung, die dem Tone mit der Schwingungsmenge $\frac{1}{2l}$ angehört; desgleichen liefern die folgenden Ausdrücke $A_2 \cdot \cos \pi \frac{2t}{l} + B_2 \cdot \sin \pi \frac{2t}{l}$, $A_3 \cdot \cos \pi \frac{3t}{l} + B_3 \cdot \sin \pi \frac{3t}{l}$, u. s. w. Schwingungen, welche Tönen mit den resp. Schwingungsmengen $\frac{2}{2l}$, $\frac{3}{2l}$ u. s. w. angehören. Man überzeugt sich davon leicht, wenn man den oben sub a) der Definition des Tones zu Grunde gelegten Ausdruck $a \cdot \sin 2\pi(mt + p)$ auf die Form $a \cdot \sin 2\pi p \cdot \cos 2\pi mt + a \cdot \cos 2\pi p \cdot \sin 2\pi mt$ bringt, und wenn man beachtet, dafs er nach und nach in die obigen Partialschwingungen übergeht, indem man der Reihe nach setzt:

$$\left.\begin{array}{l} m = \frac{1}{2l},\ a \cdot \sin 2\pi p = A_1,\ a \cdot \cos 2\pi p = B_1 \\ m = \frac{2}{2l},\ a \cdot \sin 2\pi p = A_2,\ a \cdot \cos 2\pi p = B_2 \\ m = \frac{3}{2l},\ a \cdot \sin 2\pi p = A_3,\ a \cdot \cos 2\pi p = B_3 \end{array}\right\} \text{u. s. w.}$$

Hieraus findet man in Bezug auf die einzelnen Schwingungen:

$$\left.\begin{array}{l} \tan 2\pi p = \frac{A_1}{B_1},\ a^2 = A_1^2 + B_1^2 \\ \tan 2\pi p = \frac{A_2}{B_2},\ a^2 = A_2^2 + B_2^2 \\ \tan 2\pi p = \frac{A_3}{B_3},\ a^2 = A_3^2 + B_2^2 \end{array}\right\} \text{u. s. w.}$$

Ist also eine Aufeinanderfolge von Eindrücken gegeben, von denen jeder eine Zeit von derselben Länge $2l$ sich hinzieht, und will man erfahren, ob in dieser Aufeinanderfolge von Eindrücken der Ton enthalten sei, dessen Schwingungsmenge $\frac{1}{2l}$ ist, so hat man für jeden der gegebenen Eindrücke die ihm entsprechenden Werte von A_1 und B_1 aufzusuchen, sodann aus ihnen den Wert von p mittels der Gleichung $\tan 2\pi p = \frac{A_1}{B_1}$ herzuleiten, wofür man nach der sub b) gegebenen Definition des Tones überall nur einen und denselben Wert mufs setzen können. Nachdem man diesen Wert von p ein für alle Mal in unabänderlicher Weise festgesetzt hat, so kann man aus der Gleichung $a^2 = A_1^2 + B_1^2$ den Wert von a ableiten. Weil aber durch diese Gleichung das Vorzeichen von a unbestimmt gelassen wird, worauf doch nach der sub c) gegebenen Definition die weitere Untersuchung des Tones hingewiesen wird, so mufs man eine der

---

[1]) Bekanntlich ist $\frac{d^2 y}{d t^2} = -k^2 y$ die Differentialgleichung für die gradlinige schwingende (einfache harmonische) Bewegung eines Punktes. Ihr Integral ist $y = A \cos kt + B \sin kt$. Bezeichnet man die Schwingungsdauer mit T, dann ist $k = \frac{2\pi}{T}$, und $y = A \cos \frac{2\pi t}{T} + B \sin \frac{2\pi t}{T}$. Nun ist hier $T = 2l$ zu setzen, also $y = A \cos \frac{\pi t}{l} + B \sin \frac{\pi t}{l}$, die Schwingungszahl ist $n = \frac{1}{T} = \frac{1}{2l}$.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Gleichungen $a \cdot \sin 2\pi p = A_1$ und $a \cdot \cos 2\pi p = B_1$ zu Rate ziehen, welche zu erkennen geben, dafs bei einem unabänderlich festgestellten Werte von p die Gröfse a so lange ihr Vorzeichen nicht ändert, als A_1 und B_1 es nicht ändern. Durch ein ganz ähnliches Verfahren läfst sich entscheiden, ob in denselben Eindrücken die Töne von der Schwingungsmenge $\frac{2}{2l}, \frac{3}{2l}$ u. s. w. enthalten sind oder nicht.

Diese allgemeinen Formeln wendete nun Ohm zur Erklärung der früher mitgeteilten Seebeckschen Versuche in folgender Weise an:

Er gab den durch die Sirenenstöfse auf das Ohr gemachten Eindrücken die Form $F(t) = \alpha \cdot \sin 2\pi \frac{t}{4\lambda}$; von der Gröfse α hängt die Stärke, von der Sinusfunktion die spezielle Form des Eindruckes ab. Dementsprechend werden zwei Eindrücke im allgemeinen durch $\alpha \cdot \sin 2\pi \frac{t}{4\lambda}$ und $\alpha' \cdot 2\pi \frac{t}{4\lambda'}$ dargestellt; ist insbesondere $\alpha' = \alpha$, so sind beide Eindrücke gleich stark; ist $\lambda' = \lambda$, so haben beide Eindrücke gleiche Form. Ist aber $\alpha' = -\alpha$, so sind zwar beide Eindrücke von gleicher Stärke, der zweite ist aber von entgegengesetzter Art oder ungleichartig zu dem ersten. Ähnliches gilt von mehr als zwei Eindrücken. Mit Rücksicht auf die für die Eindrücke gewählte Form fügt Ohm die Bedingung hinzu, dafs jeder Eindruck von solcher Form nur von $t = 0$ bis $t = 2\lambda$ andauern solle, wodurch nichts anderes gesagt sei, als dafs jeder dieser Eindrücke entweder nur eine Verdichtung oder nur eine Verdünnung in sich trage; und bemerkt hierzu in einer Fufsnote[1]): „Es ist hier der gröfseren Einfachheit halber zwar nur eine besondere, jedoch entschieden einseitige Form der Verdichtung oder Verdünnung der Betrachtung zu Grunde gelegt worden; es läfst sich aber die Untersuchung ganz in derselben Weise völlig allgemein und mit dem gleichen Erfolge durchführen, wozu nichts weiter als ein gröfserer Raum gefordert wird, den zu sparen ich mich verpflichtet hielt".

Im Folgenden gebe ich nun die Resultate der Ohmschen Untersuchungen mit des Verfassers eigenen Worten wieder.

Erster und zweiter Versuch von Seebeck (p. 14).

1) „Eindrücke, welche in Intervallen von der Länge 2 l wiederkehren, erzeugen einen Ton von der Schwingungsmenge 1/2 l, wenn die in den aufeinanderfolgenden Intervallen liegenden Eindrücke in jedem Intervalle eine und dieselbe Stellung behaupten.

2) Eindrücke, welche in Intervallen von der Länge 2l wiederkehren, erzeugen keinen Ton von der Schwingungsmenge 1/2l, wenn entweder die Stellung der Eindrücke oder deren Art von Intervall zu Intervall eine Abänderung erleidet.

3) Wenn in jedem der aufeinander folgenden Intervalle von der Länge 2l zwei Eindrücke von gleicher Form, Gröfse und Stellung, aber von entgegengesetzter Art vorkommen, so entsteht ein Ton von der Schwingungsmenge 1/2l, der am stärksten ist, wenn der Abstand beider Eindrücke von einander dem halben Intervalle gleichkommt, der in dem Mafse schwächer wird, als dieser Abstand gröfser oder kleiner wird, der endlich ganz verschwindet, wenn dieser Abstand Null oder gleich 2l wird.

[1]) Pogg. Ann LIX, p. 522.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

4) Es ist unter allen Umständen erlaubt, zu den schon vorhandenen Eindrücken eines Intervalls zwei neue gleiche und entgegengesetzte Eindrücke hinzuzufügen, wenn man nur beiden eine und dieselbe Stelle anweist; und ebenso kann man da, wo sich unter besonderen Umständen zwei gleiche und entgegengesetzte, auf dieselbe Stelle sich beziehende Eindrücke herausstellen, diese unbeschadet aller Resultate aus der Betrachtung weglassen."

Dritter Versuch von Seebeck (p. 15).

1) „Wenn in jedem der aufeinander folgenden Intervalle von der Länge 2 l zwei Eindrücke von gleicher Art, Form, Gröfse und Stellung vorkommen, so entsteht ein Ton von der Schwingungsmenge 1/2 l, der am stärksten ist, wenn beide Eindrücke gleichzeitig oder um den Abstand 2 l von einander entfernt vorkommen, um so schwächer wird, je mehr sich der Abstand beider Eindrücke von einander einerseits von Null und andererseits von 2 l entfernt, und endlich ganz verschwindet, wenn dieser Abstand gleich der halben Länge des Intervalls wird.

2) Wenn in jedem der aufeinander folgenden Intervalle von der Länge 2 l zwei Eindrücke von gleicher Art, Form, Gröfse und Stellung vorkommen, so entsteht ein Ton von der Schwingungsmenge 2/2 l, welcher am stärksten ist, wenn der Abstand beider Eindrücke von einander Null oder gleich l, oder auch gleich 2 l ist, der um so schwächer wird, je mehr sich dieser Abstand von einem der drei angegebenen Werte entfernt, der endlich ganz verschwindet, wenn jener Abstand gleich $^1/_2$ l oder gleich $^3/_2$ l wird".

Vierter Versuch von Seebeck (p. 15).

1) „Wenn in jedem der aufeinander folgenden Intervalle von der Länge 2 l drei gleichartige Eindrücke vorkommen, so entsteht ein Ton von der Schwingungsmenge 1/2 l, welcher verschwindet, wenn die Eindrücke um ein Drittel des ganzen Intervalles von einander entfernt liegen, der dagegen am stärksten hervortritt, wenn alle drei Eindrücke in einen einzigen von dreifacher Stärke zusammenfliefsen.

2) Wenn in jedem der aufeinander folgenden Intervalle von der Länge 2 l drei gleichartige Eindrücke vorkommen, so entsteht ein Ton von der Schwingungsmenge 2/2 l, welcher verschwindet, wenn zwei Eindrücke um ein oder zwei Drittel des ganzen Intervalls von einander entfernt liegen und der dritte in die Mitte zwischen diesen beiden fällt; oder wenn zwei derselben um ein Sechstel oder fünf Sechstel des ganzen Intervalls von einander abstehen, während der dritte um ein Viertel des ganzen Intervalls von ihrer Mitte entfernt ist; der dagegen am stärksten hervortritt, wenn alle drei Eindrücke in einanderfallen, oder wenn zwei derselben in einen zusammenfliefsen, und der dritte von diesem um die Hälfte des Intervalls absteht.

3) Wenn in jedem der aufeinander folgenden Intervalle von der Länge 2 l drei gleichartige Eindrücke vorkommen, so entsteht ein Ton von der Schwingungsmenge 3/2 l, welcher verschwindet, wenn zwei von diesen Eindrücken um zwei, oder vier, oder acht Neuntel des ganzen Intervalles von einander abstehen, und der dritte mitten zwischen diese beiden fällt oder um ein Drittel des Intervalls von deren Mitte abliegt; oder wenn zwei derselben um ein oder fünf oder sieben Neuntel des Intervalls von einander abstehen, während der dritte um ein Sechstel oder um die Hälfte des Intervalls von der Mitte dieser abliegt; dagegen tritt dieser Ton am stärksten hervor, wenn entweder alle drei Eindrücke zusammenfallen, oder wenn zwei derselben zusammenfallen und der dritte um ein oder zwei Drittel des Intervalls von diesen absteht, oder auch wenn alle drei

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

um ein Drittel des Intervalls von einander abliegen; endlich noch, wenn entweder zwei derselben um ein Drittel des Intervalls von einander abliegen, und der dritte um die Hälfte des Intervalls von der Mitte jener absteht, oder wenn zwei derselben zusammenfallen, und der dritte um die Hälfte des Intervalls von diesen abliegt."

Den unter 2) erwähnten Ton von der Schwingungsmenge 2/2 1 giebt Seebeck in seinem vierten Versuche nicht an; hierzu bemerkt Ohm: „Die Abwesenheit dieses Tones kann nicht befremden, da derselbe sich nur sehr schwach zeigen kann, indem die Umstände des Versuchs zu weit von den Bedingungen seiner gröfsten Stärke abliegen, als dafs er nicht in seiner tieferen Oktave verloren gehen sollte." Bei Untersuchung dieses Versuches hatte Ohm auch den von Seebeck experimentell nicht geprüften Fall in Betracht gezogen, in welchem die in dem Intervalle 2 1 vorkommenden Eindrücke ungleichartig sind, und war zu analogen, interessanten Resultaten gelangt[1]). Hieran knüpft Ohm die Bemerkung: „Die in vorstehendem für einen, zwei und drei Eindrücke erhaltenen Resultate, in Bezug auf deren geringere oder gröfsere Fähigkeit einen Ton zu erzeugen, tragen so viel Reiz in sich, dafs ich nicht zweifle, man werde durch den Versuch ihre allgemeine Gültigkeit erproben".

Fünfter Versuch von Seebeck (p. 15).

„Nach der aufgestellten Definition des Tones kann hier, wo die Löcher regellos, jedoch so gestellt sind, dafs ihr Abstand sich nicht sehr von einem Mittelwerte entfernt, nur die „ganze" Löcherreihe als Intervall gedacht werden, weil nur sie sich regelmäfsig wiederholt; darum können, wenn man sich für die zwei und drei Eindrücke in jedem Intervalle gültigen Betrachtungen auf so viele Eindrücke ausgedehnt denkt, als Löcher in der ganzen Löcherreihe vorhanden sind, aufser dem Tone, dessen Schwingungsmenge jenem mittleren Abstande entspricht, noch alle diejenigen auftreten, deren Schwingungsmengen 1/2, 1/3, 1/4, . . . 1/n von jenen sind, wenn n die Anzahl der Löcher in der ganzen Reihe vorstellt. Offenbar kann ein Teil von diesen Tönen schon wegen ihrer allzu grofsen Tiefe nicht gehört werden, und die dem höchsten Tone näherliegenden können wegen der Regellosigkeit in der Stellung der Löcher nicht wohl zu Stande kommen; denn wenn an einer Stelle der Reihe die Löcher von ihrer gleichen Entfernung abweichen, und eine solche Stellung einnehmen, wobei je zwei die tiefere Oktave bilden müfsten, wenn die gleiche Stellung periodisch sich forterhielte, wird diese Möglichkeit sogleich wieder durch einen Wechsel in der Stellung aufgehoben und vielleicht durch den Anfang eines tieferen Tones ersetzt, wenn z. B. je drei Löcher von da ab einerlei Stellung annehmen, der sich aber seinerseits ebensowenig wie der vorige erhalten kann. Es kann sich jeder solche tiefere Ton dem Ohre nur andeuten, aber nicht zur Klarheit bringen; nur der höchste eine Ton macht hiervon eine Ausnahme, weil für ihn die Bedingung der Entstehung und Erhaltung stets vorhanden ist. So erklärt sich das isolierte Auftreten dieses einen Tones, und sogar dessen von Seebeck ihm zugeschriebene Unvollkommenheit wird durch die Aufeinanderfolge von sich verdrängenden Anfängen der tieferen Töne begreiflich. Auf solche Weise stellt sich dieser Versuch gewissermafsen als Zeuge für unsere Definition des Tones der Annahme gegenüber, dafs kein vollständiger Synchronismus der Tonwellen zur Entstehung des Tones erforderlich sei; denn wenn der höchste Ton sich bilden kann trotz des

[1]) Pogg. Ann. LIX, 8) p. 537, Nr. I β; p. 538, Nr. II β; p. 539, Nr. III β.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

ungleichen Abstandes der Löcher: warum sollte der um eine Oktave tiefere sich nicht bilden können, trotz der ungleichen Stellung von je zwei und zwei Löchern, wenn man die Entstehung des ersteren aus einem Nichtsynchronismus seiner Bestandteile erklären wollte? Oder ist vielleicht die Ungleichheit von je zwei zu zwei Löchern gröfser, als die von einem Loch zum andern?"

Sechster Versuch von Seebeck (p. 15).

Zur Erklärung dieses und des nächsten Versuches untersucht Ohm[1]) einen allgemeinen Fall, nämlich denjenigen, dafs in dem Intervall $2l$ beliebig viele (n) gleiche und gleichartige Eindrücke vorkommen von solcher Lage, dafs die Entfernungen der aufeinander folgenden Eindrücke von der Mitte jenes Intervalles eine arithmetische Reihe mit der Differenz d bilden. Von den erlangten interessanten Resultaten, die über die Experimente Seebecks weit hinausreichen, mufs dann zur Erklärung des sechsten Versuches folgender Satz herangezogen werden: „Wenn die n gleichen und gleichartigen Eindrücke des Intervalls von der Länge $2l$ in dem Abstande d von einander liegen, und es ist $2l = (n + m)\,d$, wobei m eine ganze Zahl vorstellt, so geben diese n Eindrücke die Töne von der Schwingungsmenge $\frac{1}{d}, \frac{2}{d}, \frac{3}{d} \ldots$ gerade so, als ob $(n + m)$ solcher Eindrücke das Intervall erfüllten, eine mit einem in dem Verhältnisse $\frac{n}{n+m}$ verminderten Schwingungsweite. Aufser diesen Tönen können aber auch noch alle übrigen zu diesem Intervalle gehörigen Töne, obschon mit verhältnismäfsig geringerer Stärke, zu Stande kommen."

Siebenter Versuch von Seebeck (p. 15).

Diesem Versuche kann kein grofses Gewicht beigelegt werden, weil Seebeck hinsichtlich der erlangten Ergebnisse selbst noch einige Zweifel hegte. Das Auftreten desjenigen Tones, welcher dem gemeinsamen Mafse von t und t′ entspricht, erklärt Ohm durch folgenden von ihm gefundenen Satz:

„Wenn die n gleichen und gleichartigen Eindrücke des Intervalls von der Länge $2l$ in dem Abstande $r\,d'$ auseinander liegen, und es ist $2l = (n\,r + m)\,d'$, wobei m eine ganze Zahl vorstellt, die mit r keinen gemeinschaftlichen Teiler hat, so geben diese n Eindrücke alle jene Töne, deren Schwingungsmengen $\frac{1}{d'}, \frac{2}{d'}, \frac{3}{d'}, \ldots$ sind, gerade so, als ob $(n\,r + m)$ solcher Eindrücke mit dem Abstande d' das Intervall erfüllten, jedoch mit einer in dem Verhältnisse $\frac{n}{n\,r + m}$ verminderten Schwingungsweite. Aufser diesen Tönen können aber auch noch alle übrigen zu diesem Intervalle gehörigen Töne, obschon nur mit verhältnismäfsig geringerer Stärke, zu Stande kommen. Unerklärt bleibt dagegen das Auftreten des der Schwingungsdauer t entsprechenden Tones, wenn t′ kein Vielfaches von t ist, und die Anordnung der Löcher in jedem Felde der Scheibe völlig die gleiche war, vorausgesetzt, dafs nicht etwa auch hier ein bei dem folgenden Versuche zu besprechender Umstand eintritt".

Achter Versuch von Seebeck (p. 15).

Die Erklärung dieses Versuches, dessen Gelingen unter allen Umständen von Seebeck ausdrücklich hervorgehoben wird, ist in den von Ohm aufgestellten Sätzen zwar nicht enthalten.

[1]) Pogg. Ann. LIX, p. 541—549.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Indessen kann auch dieser Versuch im Sinne der Ohmschen Definition des Tones gedeutet werden, wenn man auf den von Savart angestellten und im ersten Teile dieser Abhandlung beschriebenen Zahnradversuch[1]) zurückgeht. Savart zog daraus den Schlufs, dafs zwei aufeinander folgende Stöfse oder Schläge hinreichend sind, einen vergleichbaren Ton zu bilden, oder, mit anderen Worten, dafs zwei aufeinander folgende Tonwellen dem Ohre zur Bestimmung der Höhe dieses Tones genügen. Dieser von Savart gezogene Schlufs ist nach der von Ohm gegebenen Herleitung solcher Töne unzulässig, weil sowohl bei diesem von Savart, als auch bei dem sechsten von Seebeck angestellten Versuche der beobachtete Ton ganz unabhängig von der Anzahl von aufeinander folgenden Tonwellen, welche das Ohr zur Erfassung seiner Höhe nötig hat, sich zeigen mufs. Ohm fährt nun weiter fort: „Was aber jener Savartsche Versuch noch ganz unerledigt gelassen hat, das scheint durch den achten und vielleicht auch siebenten Versuch Seebecks zur Gewifsheit erhoben werden zu können. In der That kann hier im allgemeinen so wenig wie im siebenten Seebeckschen Versuche der Ton t sich in regelrechter Weise bilden; wenn er nun aber doch gehört wird, so würde sich dadurch sein Heraustreten aus der Regel laut genug ankündigen. Ein solches Heraustreten aus der Regel fände aber statt, wenn jede Gruppe der gleichweit auseinander liegenden Eindrücke für sich einen Ton zu liefern im Stande wäre, so dafs das Ohr diese einzelnen, nicht unter sich zu einem Ton streng verbundenen Töne von einerlei Höhe in sich aufnähme, etwa so, wie wenn ein und derselbe Ton von zwei Instrumenten zugleich in unser Ohr gelangt, so zwar, dafs immer das eine ihn giebt unmittelbar vor oder nach dem Aufhören des anderen".

An diese Erklärung der Seebeckschen Versuche knüpft Ohm anhangsweise noch eine Auseinandersetzung über die Stärke der Sirenentöne[2]), mit spezieller Berücksichtigung einer Versuchsreihe von Seebeck, und er beschliefst seine inhaltsreiche Arbeit mit den Worten: „Am Schlusse dieser Abhandlung will ich noch erwähnen, dafs sich mit grofser Leichtigkeit, und nicht ohne Gewinn für die tiefere Einsicht in den Gegenstand, aus den in ihr aufgestellten, der hier gewählten besonderen Form der Eindrücke entsprechenden Resultaten diejenigen Zahlbestimmungen, welche Eindrücken von ganz beliebiger Form angehören, zusammensetzen lassen."

Das grofse Verdienst, welches Ohm sich mit dieser Abhandlung um die Förderung der gesamten Akustik erworben hat, besteht darin, dafs er zuerst den Gedanken ausgesprochen hat, dafs jede beliebige periodische schwingende Bewegung nach dem Fourierschen Theorem entwickelt werden kann, und dafs dann jeder der Koeffizienten dieser Reihe die Amplitude eines einzelnen wahrgenommenen Tones darstellt; dergestalt, dafs das Ohr, wenn es von einer schwingenden Bewegung getroffen wird, die nicht durch einen Sinus oder Cosinus der Zeit dargestellt wird, eben so viele Töne gleichzeitig hören wird, als Glieder der Fourierschen Reihe vorhanden sind, deren Koeffizienten einen merklichen Wert haben. Mit spezieller Anwendung auf die Sirene erfuhr aber dieser Gedanke von Seiten Seebecks einen lebhaften Widerspruch, welcher zu einem interessanten Streite zwischen diesen beiden Physikern führte. Zu meinem grofsen Bedauern mufs aber die Darlegung dieses Streites an dieser Stelle unterbleiben, weil der für eine Programmabhandlung zugemessene Raum bereits überschritten worden ist.

---

[1]) Teil I, p. 27. Note 2.

[2]) Pogg. Ann. LIX, p. 555—565.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Indessen kann auch dieser V[illegible] im Sinne der Ohmschen Definition des Tones gedeutet werden, wenn man auf den von S[illegible] ieser Abhandlung beschriebenen Zahnradversuch[1]) zurückg[illegible] zwei aufeinander folgende Stöfse oder Schläge hinreichend [illegible]en, oder, mit anderen Worten, dafs zwei aufeinander folg[illegible]ng der Höhe dieses Tones genügen. Dieser von Savar[illegible]m gegebenen Herleitung solcher Töne unzulässig, weil sov[illegible] dem sechsten von Seebeck angestellten Versuche der be[illegible]nzahl von aufeinander folgenden Tonwellen, welche das O[illegible] sich zeigen mufs. Ohm fährt nun weiter fort: „Was [illegible]nz unerledigt gelassen hat, das scheint durch den achten[illegible]eebecks zur Gewifsheit erhoben werden zu können. In d[illegible]enig wie im siebenten Seebeckschen Versuche der Ton t[illegible] er nun aber doch gehört wird, so würde sich dadurch se[illegible] ankündigen. Ein solches Heraustreten aus der Regel [illegible]gleichweit auseinander liegenden Eindrücke für sich einen [illegible] das Ohr diese einzelnen, nicht unter sich zu einem To[illegible] Höhe in sich aufnähme, etwa so, wie wenn ein und d[illegible]leich in unser Ohr gelangt, so zwar, dafs immer das ein[illegible]em Aufhören des anderen“.

An diese Erkläru[illegible]m anhangsweise noch eine Auseinandersetzung über die [illegible] Berücksichtigung einer Versuchsreihe von Seebeck, und e[illegible]it den Worten: „Am Schlusse dieser Abhandlung will [illegible]er Leichtigkeit, und nicht ohne Gewinn für die tiefere Ei[illegible] aufgestellten, der hier gewählten besonderen Form der Ei[illegible]igen Zahlbestimmungen, welche Eindrücken von ganz bel[illegible] lassen.“

Das grofse Verdien[illegible]g um die Förderung der gesamten Akustik erworben hat, bes[illegible]gesprochen hat, dafs jede beliebige periodische schwingende [illegible]m entwickelt werden kann, und dafs dann jeder der Koeffi[illegible]inzelnen wahrgenommenen Tones darstellt; dergestalt, dafs [illegible]len Bewegung getroffen wird, die nicht durch einen Sinus [illegible] eben so viele Töne gleichzeitig hören wird, als Glieder [illegible] deren Koeffizienten einen merklichen Wert haben. Mit [illegible]erfuhr aber dieser Gedanke von Seiten Seebecks einen l[illegible]n interessanten Streite zwischen diesen beiden Physikern [illegible] mufs aber die Darlegung dieses Streites an dieser Stelle [illegible]nabhandlung zugemessene Raum bereits überschritten wor[illegible]

[1]) Teil I, p. 27. N[illegible]

[2]) Pogg. Ann. LIX, [illegible]

Grauskala #13 B.I.G.
A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19
C Y M

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Druck von W. Pormetter in Berlin.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf