Wissenschaftliche Beilage zum Programm des Luisenstädtischen Realgymnasiums zu Berlin. Ostern 1891.

Die Sirenen.

Ein Beitrag zur Entwickelungsgeschichte der Akustik.

Teil I.

Von

Dr. Ernst Robel,
Oberlehrer.

986
9be
37

BERLIN 1891.
R. Gaertners Verlagsbuchhandlung
Hermann Heyfelder.

1891. Programm Nr. 98.

986

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

HT009779895

UNIVERSITÄTS- UND LANDESBIBLIOTHEK DÜSSELDORF

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Die Sirenen.

Ein Beitrag zur Entwickelungsgeschichte der Akustik.

Als ich im Sommersemester 1889 zum ersten Male mit der Aufgabe betraut wurde, den akustischen Unterricht in der Prima des Luisenstädtischen Realgymnasiums zu erteilen, fand ich unter den mir für diesen Zweck zur Verfügung stehenden Apparaten auch zwei Sirenenscheiben von Opelt vor. Die Betrachtung dieser Scheiben mit ihren zahlreichen konzentrischen Löcherreihen, die von vielen bald in gleichen, bald in ungleichen Abständen gebohrten kreisförmigen Öffnungen von teils gleicher, teils verschiedener Gröfse gebildet wurden, gab mir Veranlassung, mich nach einem Hilfsmittel umzusehen, welches mir diese scheinbar so verwickelten Verhältnisse lösen und deuten sollte. Meine Bemühungen, aus den mir zugänglichen physikalischen Lehrbüchern die gewünschte Belehrung zu schöpfen, erwiesen sich als erfolglos, weil die Opeltsche Sirene darin entweder gar nicht oder nach Besprechung der Sirenen von Seebeck oder Dove nur so nebenher erwähnt wurde. Deshalb blieb mir weiter nichts übrig, als auf die wenig bekannten und selten genannten Originalabhandlungen von Opelt zurückzugehen. Die einfache, schlichte Sprache und die klare, durchsichtige Darstellung machten diese Lektüre mehr zu einem Vergnügen als zu einer Arbeit; aufserdem wurde ich aber dadurch veranlafst, hierbei nicht stehen zu bleiben, sondern die in Rede stehende Sirene mit den übrigen, bekannteren zu vergleichen und ihre besondere Stellung in der ganzen Reihe der verschiedenen Formen dieses Apparates zu untersuchen. So kam es, dafs der Umfang der einmal begonnenen Arbeit sich sichtlich erweiterte; aber in demselben Mafse, in welchem die Streifzüge durch das Gebiet der physikalischen Litteratur ausgedehnt werden mufsten, lernte ich auch die grofse Bedeutung dieser Apparate für die gesamte Entwickelung der Akustik verstehen. Allein schon die Aufzählung der Namen derjenigen Physiker, welche entweder an der allmählichen Vervollkommnung der Sirenen gearbeitet oder durch ihren Scharfsinn die theoretische Bedeutung derselben in das richtige Licht gestellt haben, genügt von vornherein, unsere Aufmerksamkeit in hohem Grade zu erregen: ich erinnere nur an Hooke, Cagniard de la Tour, Savart, August Seebeck, Georg Simon Ohm, Dove, Helmholtz, Rudolf König. Neben diesen jedem Physiker bekannten Koryphäen ist aber auch mancher Name zu erwähnen, der bei der Mitwelt längst in Vergessenheit geraten ist und nur noch der Geschichte angehört, dessen Träger aber seiner Zeit, wie z. B. Stancari und Robison, redlich seinen Teil zur Förderung der physikalischen Wissenschaften beigetragen hat. Aber besonders interessant wurde mir die Auffindung der Wechselbeziehungen, welche zwischen der schrittweisen Entwickelung der Sirenen und den Fortschritten der Akustik überhaupt bestehen: wie entweder jede Vervollkommnung des

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Apparates teils akustische Probleme löste, teils neue Gebiete der Forschung erschlofs, und wie umgekehrt neu auftauchende akustische Probleme die Konstruktion anderer Sirenenformen veranlafsten. So ist es gekommen, dafs dieses Instrument, das ursprünglich nur dazu diente, die Entstehung eines Tones durch getrennte Schläge oder Stöfse nachzuweisen und die absolute Schwingungszahl eines Tones zu bestimmen, heutigen Tages noch zur Lösung ganz anderer akustischer Probleme, wie z. B. der Interferenzerscheinungen, der Kombinationstöne und der Klangfarbe, mit glänzendem Erfolge verwendet wird. Nebenbei mag hier gleich darauf hingewiesen werden, dafs die Bestimmung der absoluten Schwingungszahl eines Tones mit Hilfe der Sirene, worauf die Physiker bei der Konstruktion des Apparates ehemals den Hauptnachdruck legten, bei dem schnellen Fortschreiten der Akustik in neuerer Zeit durch feinere Methoden, besonders graphische und optische, überholt und verdrängt worden ist, dafs sie aber im Schulunterrichte nach wie vor ihre volle Wichtigkeit behauptet. Der Gedanke, die Ergebnisse dieser litterarisch-physikalischen Studien zu einem Gesamtbilde in historischem Rahmen zusammenzufassen, — ein Gedanke, der sich schon während der Arbeit mir wiederholt aufdrängte, — kann in dieser Programmabhandlung in passender Weise verwirklicht werden. Dafs dieses Bild ein fehler- und fleckenloses sein dürfte, möchte ich stark bezweifeln; indessen hoffe ich bei denjenigen Lesern, welche mit dem Umfange derartiger historischer Untersuchungen vertraut sind, wenigstens auf eine nachsichtige Beurteilung.

Robert Hooke, der Landsmann, Zeitgenosse und Nebenbuhler Isaac Newton's, scheint der erste Physiker gewesen zu sein, welcher Zahnräder zu akustischen Untersuchungen verwendete. In der seinen nachgelassenen Werken vorausgeschickten Biographie findet sich nämlich folgende Stelle[1]): „In July the same year (1681) he shew'd a way of making musical and other sounds, by the strikking of the teeth of several brass wheels, proportionally cut as to their numbers, and turned very fast round, in which it was observable, that the equal or proportional stroaks of the teeth, that is, 2 to 1, 4 to 3 etc. made the musical notes, but the unequal stroaks of the teeth more answer'd the sound of the voice in speaking.“ Und Birch[2]) schreibt darüber in seiner Geschichte der Royal Society: „27. July 1681. He (Mr. Hooke) shewed an experiment of making musical and other sounds by the help of theeth of brass-wheels; which teeth were made of equal bigness for musical sounds, but of unequal for vocal sounds.“ Wie Hooke auf dieses Experiment gekommen ist, läfst sich nur vermuten: möglicherweise sind ihm Galilei's in den Discorsi e dimostrazioni matematiche veröffentlichten Versuche über die sogenannten Riefentöne nicht unbekannt gewesen, sicherlich aber wohl die Thatsache, dafs man beim Hinfahren mit einem Stäbchen über die Zähne eines Kammes einen von der Geschwindigkeit der Bewegung abhängigen Ton vernimmt; der Gedanke, diese bald unterbrochene, fortschreitende Bewegung durch Drehung in eine kontinuierliche zu verwandeln, lag dann ziemlich nahe. Soviel geht aber aus diesen beiden angezogenen Stellen klar hervor, dafs Robert Hooke als Erfinder der Radsirenen anzusehen ist, indem er in der Sitzung der Royal Society vom 27. Juli 1681 die Erzeugung von Tönen durch schnell rotierende gezähnte Messingräder zuerst gezeigt hat. Dadurch war der Beweis geliefert worden, dafs Töne durch getrennte Eindrücke oder Stöfse hervorgebracht werden können, wenn

[1]) The posthumous works of Robert Hooke, published by Richard Waller. (London, 1705.) The life of Dr. Robert Hooke p. XXIII.

[2]) Thomas Birch, The history of the Royal Society of London; vol. IV. p. 96. (London, 1757.)

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

letztere mit hinreichender Geschwindigkeit aufeinander folgen. Besonders bemerkenswert ist der Ausdruck „musical and other sounds“: dem geschulten Ohre des Experimentators war der Unterschied in dem Klange der hervorgebrachten Töne nicht entgangen, je nachdem die Zähne regelmäfsig oder unregelmäfsig geschnitten waren.

Fünfundzwanzig Jahre nach diesen Versuchen von Hooke unternahm es Vittorio Francesco Stancari[1]) in Bologna, die absolute Schwingungszahl eines Tones mit Hülfe eines Zahnrades zu bestimmen. Bekanntlich ist der Begriff der Schwingungszahl eines Tones erst von Galilei zu Anfang des 17. Jahrhunderts in die Wissenschaft eingeführt worden, und dadurch hat der geniale Begründer der modernen Mechanik auch die Entwickelung der Akustik in ganz neue Bahnen gelenkt. Galilei zeigte die Abhängigkeit der Tonhöhe von der Schwingungszahl und beschäftigte sich mit den Schwingungszahlen der Saitentöne mit Rücksicht auf die Pythagoräischen Konsonanzen. Diese Untersuchungen wurden besonders von Marin Mersenne erweitert und auch von Hooke fortgesetzt, bis sie von Joseph Sauveur auf die durch schwingende Luftsäulen erzeugten Töne übertragen wurden. Sauveur gelang es auch zuerst, die absolute Schwingungszahl eines Orgeltones zu bestimmen, und zwar mit Hülfe der Methode der Schwebungen, worüber der Erfinder einen Bericht in den Memoiren der Pariser Akademie vom Jahre 1700 veröffentlichte. Diese und andere damit zusammenhängende, kurz darauf publizierte Untersuchungen Sauveurs sind es nun gewesen, welche Stancari nach seiner eigenen Angabe dazu veranlafsten, die Schwingungszahl eines Tones noch auf eine andere Weise, und zwar mit Hülfe eines gezähnten Rades zu bestimmen[2]). Eine an einem Uhrwerk ganz zufällig gemachte Beobachtung hatte ihn auf diese Methode hingeleitet: einer Uhr war nämlich das Pendel abgenommen worden; da hörte Stancari plötzlich einen sehr deutlichen Ton, der von dem obersten Zahnrade herrührte, und der um so höher wurde, je mehr die Umdrehungsgeschwindigkeit dieses Rades zunahm. Der Beobachter erklärte sich diese Erscheinung dadurch, dafs die Zähne des Rades bei der Drehung nacheinander an eine bestimmte Stelle des Raumes gelangten und die an dieser Stelle befindliche Luft nacheinander gleichmäfsig erschütterten. In ganz ähnlicher Weise erfolge auch die durch eine gespannte Saite erzeugte Luftbewegung, indem die an einer bestimmten Stelle befindliche Luft von der schwingenden Saite nacheinander in gleichen Intervallen getroffen werde. Stancari konstruierte nun ein hölzernes, mit 200 Nägeln besetztes Kammrad von 3 Fufs Durchmesser, und stellte mit Unterstützung des Akademikers Tassoni damit Versuche an, deren Resultate er am 6. Mai 1706 in einer Sitzung der Bologneser Akademie unter Vorzeigung seines Zahnrades mitteilte. Seine eigenen Worte darüber sind folgende: „Rotam igitur, qualem intuemini, tripedalis circiter diametri e ligno construendam mihi curavi. Huic obelos ferreos ducentos affixi ad planum rotae perpendiculares, et aeque a centro remotos. Haec rota verticaliter constituta si circa axem suum notabili celeritate circumgyretur, obeli illi affixi magnopere aerem commovent, ventumque notabilem pro-

[1]) Stancari wurde 1678 zu Bologna geboren, und starb daselbst 1709 im noch nicht vollendeten 31. Lebensjahre. Nach seinem Tode wurden seine zerstreuten physikalischen und astronomischen Abhandlungen von seinem Freunde Eustachio Manfredi gesammelt und herausgegeben unter dem Titel: „Victorii Francisci Stancarii, philosophiae doctoris Bononiensis et in patrio archigymnasio analyticae lectoris schedae mathematicae, post ejus obitum collectae ejusdem observationes astronomicae. (Bononiae, 1713)“. Vorgedruckt ist diesem Sammelwerk eine von dem Herausgeber verfafste, 12 Seiten lange biographische Skizze Stancari's.

[2]) De certa soni mensura constituenda. Ex dissertatione quam in Academia habuit die 6 Maii 1706. (Schedae mathem. Nr. VIII. p. 31—37.) (Im Auszuge Comment. Instit. atque Acad. Bononiensis, I. p. 180—181.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

creant, in cujus, ut ita dicam, medio tenuis quidam sonus auditur, quem quidem audiendum fore mihi et amicis pollicebar. Difficulter equidem ille sonus auditur, et difficilius adhuc dato cum tono comparari potest; praesertim ab iis qui nullum musicae exercitium habent; auditur tamen utcumque, et quantum sufficit, ut circa eum congrua experimenta tentari possunt.“ Aus den letzten Sätzen ersieht man, dafs die durch diesen Apparat erzeugten Töne an diejenigen erinnern, welche man mit Hülfe des sogenannten Schnurrädchens, des bekannten Kinderspielzeuges, erhält. Dann fährt Stancari fort: „Quomodo autem experimentum institui debeat, paucis accipite. Dato tono, talis velocitas rotae concilietur, ut sonus a rota productus cum eo ad unisonum consonet, quod auris judicio satis accurate dignoscitur. Tunc, servata rotationis celeritate, quam minime alterari ex ejusdem soni permanentia constat, rotae ipsius circumvolutiones diligenter numerentur, quae peractae fuerint certo minutorum secundorum numero, qui equidem ope horologii oscillatorii colligendus est; quo praestito, facile constabit, quot numero obeli ferrei eo tempore per determinatum aeris spatium praeterlapsi fuerint, atque inde patebit quot ictus unico temporis minuto secundo eidem aeris parti incussi fuerint.“ Hierauf macht Stancari, um die durch unvermeidliche Beobachtungsfehler hervorgebrachten Ungenauigkeiten soviel als möglich auszugleichen, den Vorschlag, die Ermittlung der Schwingungszahl eines bestimmten Tones wiederholt vorzunehmen, und die Dauer des Versuches nicht auf einige Sekunden zu beschränken, sondern sie auf längere Zeit, etwa auf 4 oder 6 Minuten, auszudehnen. Nach dieser Methode fand nun Stancari, dafs die Schwingungszahlen der Töne einer Quinte sich wie 2 zu 3, die Töne einer kleinen Terz sich wie 5 zu 6 verhalten, und dafs auch bei den anderen konsonanten Intervallen die Schwingungszahlen ihrer Töne in den bereits bekannten Verhältnissen standen. Am bemerkenswertesten ist aber die von Stancari versuchte Bestimmung der absoluten Schwingungszahl des Tones einer Orgelpfeife, weil in neuerer Zeit der italienische Physiker Govi[1]) den Versuch unternommen hat, mit Hülfe dieser Angabe die unbestrittene Thatsache der allmählichen Erhöhung der musikalischen Stimmung zu erhärten. Diese Stelle lautet (Schedae mathem. p. 37): „Invenimus in organo pythaulico, quod est in aede Divi Petronii, vocem illam, cui Clavis Bassi, ut ajunt, praefigitur, 618 vibrationes simplices unico minuto secundo perficere; quocirca vox in praedicto organo acutissima 3720 vibrationes eodem tempore conficiat. Animadvertendum est autem organi illius voces, integra, ut ajunt, voce acutiores esse quam corista noster Bononiensis expostulet.“ Da die Orgel in der Petroniuskirche zu Bologna seit 1706 mehrere Male umgeändert worden ist, so läfst sich die Angabe Stancari's nicht mehr auf ihre Richtigkeit prüfen. Govi hat sich nun die Schwierigkeit, aus dieser dunklen Stelle einen unanfechtbaren Schlufs zu ziehen, nicht verhehlt, und besonders die Ermittlung desjenigen Tones, „welchem der Bafsschlüssel vorgesetzt wird“, hat ihn gezwungen, zu manchen, teilweise gewagten Konjekturen seine Zuflucht zu nehmen. Er berechnet nun, dafs das a′ dieser Orgel in einer Sekunde 772,5 halbe Schwingungen ausführte, ein Resultat, welches mit dem von Delezenne[2]) für das a′ der alten Pariser Orchesterstimmung gefundenen von 743,97

[1]) C. Govi, Sur une ancienne détermination du nombre absolu des vibrations du diapason. (Comptes Rendus LI., p. 450—452. Referat Fortsch. d. Physik XVI. (1860.) p. 160—161.) — G. Govi, Su un' antica determinazione del numero delle vibrazioni che corrispondono a un suono della scala musicale. (Rendiconto dell' Accademia delle scienze fisiche e matematiche, sezione della Società Reale di Napoli; anno XXV (1886) p. 106—107. Referat Wiedemann Beiblätter X. p. 560).

[2]) Delezenne, Note sur le ton des orchestres et des orgues. (Mémoires de la Société Impériale des sciences de Lille, II. Sér. vol. I. (1854). p. 1—15. cfr. p. 10,13).

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Halbschwingungen genügend übereinstimmt. Da aber die Bologneser Stimmgabel um einen Ton tiefer war, als die erwähnte Orgel, so ergiebt sich das Bologneser a′, jenachdem man um einen kleinen oder einen grofsen Ton heruntergeht, zu 695,25 resp. 686,97 Halbschwingungen. Hieraus zieht Govi den Schlufs, dafs die Bologneser Stimmung im Jahre 1706 eine aufserordentlich tiefe war[1]). Hierzu mufs aber, wie schon Röber[2]) hervorgehoben hat, bemerkt werden, dafs, abgesehen von den von Govi aufgestellten Konjekturen, die von Stancari eingeschlagene Methode zur Bestimmung der absoluten Schwingungszahl eines Tones auf irgendwelche wissenschaftliche Genauigkeit keinen Anspruch erheben kann, weil die Stifte des Rades in die Luft, aber nicht gegen einen festen Körper geschlagen hätten oder in der Nähe eines solchen vorbeigegangen wären, sodafs von einer Berechnung des durch die Umdrehung entstandenen Tones aus der Zahl der Umdrehungen und der Zahl der Stöfse keine Rede sein kann. Stancari hat sich übrigens mit seiner Methode noch in einer zweiten Abhandlung[3]) beschäftigt, in welcher er auseinandersetzt, dafs bei der Bestimmung der Schwingungszahl eines Saitentones die von den Stiften in einer gegebenen Zeit ausgeführten Luftstöfse einer gleichen Anzahl von Doppelschwingungen der Saite entsprechen.

Der Apparat Stancari's und die damit angestellten Untersuchungen gerieten bald in Vergessenheit, sodafs nicht einmal die Geschichtsschreiber der Physik seinen Namen erwähnen; einen litterarischen Hinweis habe ich nur bei Thomas Young[4]), und eine kurze Erwähnung der Versuche im Physikalischen Wörterbuche von Gehler[5]) gefunden. Erst Govi hat den Namen Stancari's wieder der Vergessenheit entrissen.

Die von Hooke begonnenen Versuche über Tonerzeugung vermittelst gezähnter Messingräder scheinen in England, soweit ich wenigstens aus der mir zugänglichen physikalischen englischen Litteratur des 18. Jahrhunderts habe ersehen können, erst wieder von John Robison[6]) aufgenommen worden zu sein. Dieser Gelehrte, der von 1774 an bis zu seinem Tode eine Professur der Physik an der Universität zu Edinburgh bekleidete, schrieb in den Jahren 1793 bis 1801 eine grofse Anzahl wichtiger Artikel für die 3. Ausgabe der Encyclopaedia Britannica. Unter diesen beansprucht eine besondere Beachtung derjenige, welcher unter dem Titel „Temperament of the scale of music“[7]) veröffentlicht worden ist, weil in demselben die Erzeugung von Tönen durch getrennte Stöfse klar ausgesprochen und experimentell bewiesen wird, und weil auch sonst

---

[1]) Sehr ausführlich hat A. J. Ellis die Veränderungen der musikalischen Stimmung in einem am 3. März 1880 in der Londoner Society of Arts gehaltenen Vortrage behandelt. Dieser Vortrag wurde 1880 im Journal of the Society of Arts abgedruckt; ein von dem Verfasser besorgter Auszug: The history of the pitch findet sich in der Wochenschrift Nature, XXI. p. 550—554.

[2]) Fortsch. d. Physik XVI. (1860) p. 161.

[3]) De quibusdam soni proprietatibus. Ex dissertatione, quam in Academia philosophica habuit die 12 Maii 1707. (Schedae mathem. Nr. X. p. 42—48.)

[4]) A course of lectures on natural philosophy and the mechanical arts. (London, 1807.) Vol. II. p. 264. „On numbering the vibrations of sound. (C. Bon. I. 180.) From the sound of wheel with teeth, striking the air only.“

[5]) Band VIII. (Leipzig, 1836) p. 296. Anmerkung.

[6]) Robison wurde 1739 zu Boghall bei Glasgow geboren, und starb 1805 zu Edinburgh. Ein grofser Teil seiner Abhandlungen und Aufsätze wurden gesammelt und herausgegeben in dem System of mechanical philosophy, with notes by David Brewster. 4 vols. (Edinburgh, 1822.) Seine Biographie ist geschrieben von John Playfair: Biographical account of the late John Robison, Professor of natural philosophy in the University of Edinburgh. (Transactions of the Royal Society of Edinburgh, vol. VII. (1814). p. 495—539.)

[7]) System of mechanical philosophy, vol. IV. p. 375—451; besonders wichtig p. 403—405.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

eine Reihe damit zusammenhängender interessanter Beobachtungen darin erwähnt werden. Der hierauf bezügliche Passus soll nun vollständig mitgeteilt werden, nicht nur seines wichtigen sachlichen Inhaltes wegen, sondern um auch dem Leser Gelegenheit zu geben, die Berechtigung gewisser Prioritätsreklamationen, die später für Robison gegen Cagniard-Latour erhoben wurden, selbst prüfen zu können. Die betreffende Stelle lautet:

„It seems to be the general property of sounds which renders them susceptible of musical pitch, of acuteness, or gravity; and that a certain frequency of the sonorous undulations gives a determined and unalterable musical note. The writer of this article has verified this by many experiments. He finds, that any noise whatever, if repeated 240 times in a second, at equal intervals, produces the note C sol fa ut of the Guidonian gamut. If it be repeated 360 times, it produces the G sol re ut etc. It was imagined, that only certain regular agitations of the air, such as are produced by the tremor or vibration of elastic bodies, are fitted for exciting in us the sensation of a musical note. But he found, by the most distinct experiments, that any noise whatever will have the same effect, if repeated with due frequency, not less than 30 or 40 times in a second. Nothing surely can have less pretension to the name of a musical sound than the solitary snap which a quill makes when drawn from one tooth of a comb to another: but when the quill is held to the teeth of a wheel, whirling at such a rate, that 720 teeth pass under it in a second, the sound of g in alt is heard most distinctly; and if the rate of the wheel's motion be varied in any proportion, the noise made by the quill is mixed in the most distinct manner with the musical note corresponding to the frequency of the snaps. The „kind" of the original noise determines the kind of the continuous sound produced by it, making it harsh and fretful, or smooth and mellow, according as the original noise is abrupt or gradual: but even the most abrupt noise produces a tolerable smooth sound when sufficiently frequent. Nothing can be more abrupt than the snap just now mentioned; yet the g produced by it has the smoothness of a bird's chirrup. An experiment was made, which was less promising of a sound than any that can be thought of. A stop-cock was so constructed, that it opened and shut the passage through a pipe 720 times in a second. This apparatus was fitted to the pipe of a conduit leading from the bellows to the windchest of an organ. The air was simply allowed to pass gently along this pipe by the opening of the cock. When this was repeated 720 times in a second, the sound g in alt was most smoothly uttered, equal in sweetness to a clear female voice. When the frequency was reduced to 360, the sound was that of a clear but rather harsh man's voice. The cock was now altered in such a manner, that it never shut the hole entirely, but left about one third of it open. When this was repeated 720 times in a second, the sound was incommonly smooth and sweet. When reduced to 360, the sound was more mellow than any man's voice at the same pitch. Various changes were made in the form of the cock, with the intention of rendering the primitive noise more analogous to that produced by a vibrating string. Sounds were produced which were pleasant in the extreme. The intelligent reader will see here an opening made to great additions to practical music, and the means of producing musical sounds, of which we have at present scarcely any conception; and this manner of producing them is attended with the peculiar advantage, that an instrument so constructed can never go out of tune in the smallest degree. But of this enough at present."

Die Ergebnisse der gründlichen Robison'schen Versuche sind also folgende:

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

1) Die Höhe eines bestimmten Tones ist durch die Schwingungszahl bestimmt und von der Art der Tonerregung unabhängig.

2) Ein Ton wird nicht nur durch die regelmäfsigen Schwingungen elastischer Körper erzeugt, sondern kann auch durch getrennte Schläge hervorgebracht werden, wenn dieselben nur in gleichen Intervallen — periodisch — und mit hinreichender Geschwindigkeit erfolgen. Zur Erzeugung eines Tones sind wenigstens 30 bis 40 periodische Schläge in einer Sekunde erforderlich.

3) Werden die periodischen Schläge durch das Anschlagen einer Federspule gegen die Zähne eines rotierenden Rades hervorgebracht, so bringen 240 in einer Sekunde erfolgende Schläge den Grundton c′, 360 die Quinte g′, und 720 den Ton g″, die Octave der Quinte, hervor; und überhaupt bedingt jede Veränderung der Umdrehungsgeschwindigkeit des Zahnrades eine entsprechende Veränderung der Tonhöhe.

4) Jede Veränderung in dem Wesen der den Ton erzeugenden Schläge bringt eine Veränderung in dem Wesen des Tones — in seinem Klange — hervor.

5) Töne von bestimmter Höhe werden auch dadurch hervorgebracht, dafs man die Schläge der Federspule gegen die Zähne des rotierenden Rades durch getrennte, periodisch aufeinander folgende Luftstöfse ersetzt; 360 solcher in einer Sekunde hervorgebrachten Luftstöfse erzeugen wieder den Ton g′, und 720 den Ton g″. Im Klange sind aber diese gleich hohen Töne verschieden.

6) Jede Veränderung in dem Wesen der den Ton erzeugenden Luftstöfse bringt eine Veränderung in dem Klange des Tones hervor.

Wie man sieht, entwickelte und begründete Robison seine Ansicht von der Entstehung der Töne durch diskontinuierliche Schläge oder Stöfse in klarer und folgerichtiger Weise. Ja, die experimentelle Auffindung eines Zusammenhanges zwischen Tonerzeugung und Klang, sowie die Bestimmung der unteren Grenze der Schwingungszahl der musikalischen Töne erweckt ein gewisses Gefühl der Überraschung, wenn man bedenkt, dafs diese akustischen Versuche vor etwa hundert Jahren angestellt worden sind. Besonders interessant ist der von Robison erdachte und zur Erzeugung von Tönen durch getrennte Luftstöfse dienende Apparat: ein Hahn, der so konstruiert war, dafs vermittelst desselben eine von einem Luftstrome durchflossene Röhre in einer Sekunde 720 resp. 360 mal, und zwar in verschiedener Weise, geöffnet und geschlossen werden konnte. Der Erfinder legte seinem Apparate eine besondere Wichtigkeit mit Rücksicht auf Brauchbarkeit in der praktischen Musik bei, weil derselbe niemals verstimmt werden könnte; und wenn auch diese Erwartung nicht in Erfüllung gegangen ist, so kann doch dieser Vorrichtung in wissenschaftlicher Beziehung eine gewisse Bedeutung nicht abgesprochen werden.

Die Resultate der Robisonschen Untersuchungen wurden einige Jahre nach ihrer Veröffentlichung von Thomas Young weiter verbreitet, indem er dieselben in sein berühmtes Werk: „A course of lectures on natural philosophy and the mechanical arts“, welches 1807 in zwei Bänden zu London erschienen ist, aufnahm. Es heifst dort nämlich[1]): „A continued sound may be produced by a repitition of separate impulses independent of each other, as when a wheel strikes in rapid succession the teeth of a pinion, so as to force out a portion of air from between them; when a pipe, through which air is passing, is alternately opened and shut, either wholly or partially, by the revolution of a stopcock or valve.“ Ferner finden sich im zweiten Bande

[1]) Vol. I. Lecture XXXII. On the sources and effects of sounds. p. 378.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

desselben Werkes p. 264 unter der akustischen Litteratur die betreffenden Abhandlungen von Robison angeführt. Da nun sowohl das Youngsche Buch, als auch die Encyclopaedia Britannica in der englischen Gelehrtenwelt sich besonderer Wertschätzung erfreuten, so kam es, dafs seit Anfang dieses Jahrhunderts die Erzeugung von Tönen durch getrennte Schläge ein den englischen Physikern ganz geläufiges Experiment war, welches unter andern auch von Willis, der statt der Federspule ein Stück Uhrfeder gegen die Peripherie eines Zahnrades schlagen liefs, angestellt worden ist.

Aus der bisherigen Darstellung geht unzweifelhaft hervor, dafs die Radsirene eine Erfindung englischer Physiker, und dafs auch die Tonerzeugung durch getrennte Luftstöfse von ihnen zuerst experimentell bewiesen worden ist. Dieses Ergebnis steht im Widerspruch mit den in unseren physikalischen Lehrbüchern allgemein verbreiteten Angaben, denen zufolge man französische Physiker ausschliefslich als Erfinder dieser Apparate anzusehen gewöhnt ist. Welcher Anteil aber den Franzosen an der weiteren Entwickelung der Sirenen wirklich gebührt, soll in dem nächsten Abschnitte nachgewiesen werden.

In erster Linie ist Charles Cagniard de la Tour[1]) zu nennen, der den Namen „Sirene" in die Wissenschaft eingeführt und die Erzeugung von Tönen durch diskontinuierliche Luftstöfse methodisch untersucht hat. Seine erste hierauf bezügliche Arbeit erschien im Jahre 1819[2]), die mit folgendem charakteristischen Satze eingeleitet wird: „Si le son produit par les instrumens est dû principalement, comme le croient les physiciens, à la suite régulière des chocs multipliés qu'ils donnent à l'air atmosphérique par leurs vibrations, il semble naturel de penser qu'au moyen d'un mécanisme qui serait combiné pour frapper l'air avec la même vitesse et la même régularité, on pourrait donner lieu à la production du son." Der erste nach diesem Grundgedanken konstruierte Apparat zeigte folgende Einrichtung: Ein von einem Blasebalge kommender und durch eine kleine Öffnung austretender Luftstrom trifft auf eine gegenüberliegende kreisförmige, um ihren Mittelpunkt drehbare Scheibe, deren Rotation entweder durch den Luftstrom selbst oder durch irgend eine mechanische Vorrichtung hervorgebracht wird. Derjenige Teil der Scheibe, welcher bei einer Drehung an der engen Öffnung gerade vorübergeht, ist von einer gewissen Anzahl von Öffnungen durchbrochen, die in gleichen Abständen auf einem zur Rotationsachse konzentrischen Kreise liegen und zur Ebene der Scheibe schief gebohrt sind, damit die Kraft des Luftstromes beim Durchstreichen durch dieselben so zerlegt werde, dafs sich die Scheibe nach Art eines Flugrades drehe. Je nachdem nun bei der Rotation der Scheibe entweder eine Öffnung oder der zwischen zwei benachbarten Öffnungen liegende volle Zwischenraum an der gegenüberliegenden Mündung des Luftstromes vorübergeht, wird demselben auf kurze Zeit der Durchgang

[1]) Cagniard de la Tour wurde 1777 in Paris geboren, und starb daselbst 1859; seit 1851 war er Mitglied der Akademie der Wissenschaften. Eine biographische Skizze von Jacob findet sich in der Nouvelle Biographie générale, t. XXIX. p. 827—831. (Paris, 1859.)

[2]) Sur la sirène, nouvelle machine d'acoustique destinée à mesurer les vibrations de l'air qui constituent le son. (Ann. de chim. et de phys. XII. (1819.) p. 167—171.) In deutschen wissenschaftlichen Zeitschriften wird, so viel mir bekannt ist, dieser Aufsatz weder vollständig noch im Auszuge mitgeteilt; nur bezüglich des Apparates selbst finden sich in Poggendorffs Annalen zwei kurze Notizen: eine Bd. VIII. p. 456 in einer Abhandlung von Chladni, und eine zweite Bd. X. p. 274—275, Anmerkung, in einem Aufsatze von Hachette. In letzterem wird ein Problem von dem Ausflusse gasförmiger Flüssigkeiten in die atmosphärische Luft und von der vereinten Wirkung des atmosphärischen Druckes und des Stofses der Luft behandelt, und in der Note Anwendung auf die Bewegung der Sirene gemacht.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

gestattet oder versperrt. Diese Unterbrechungen des Luftstromes erteilen nun der äufseren Luft eine regelmäfsige Folge von Stöfsen (chocs), welche bei grofser Geschwindigkeit der Scheibe „einen der menschlichen Stimme ähnlichen Ton“ erzeugen, dessen Höhe mit der Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe zu- und abnimmt. Den Vorzug dieser Art von Tonerzeugung bei der Ermittelung der Schwingungszahl fafst der Erfinder in den Worten zusammen: „On voit que le but de cette construction a été de produire les chocs nécessaires à la formation du son, par un mouvement de rotation, lequel est très-facile à mesurer à l'aide des engrenages, tandisque le mouvement de „va“ et „vient“ des cordes et des anches vibrantes ne peut s'apprécier que par la théorie.“

Da der durch diesen Apparat hervorgebrachte Ton jedenfalls nur eine geringe Intensität hatte, so konstruierte Cagniard de la Tour eine zweite brauchbarere Form, indem er eine erhebliche Verstärkung des Tones dadurch erzielte, dafs er den die Stöfse erzeugenden Luftstrom gleichzeitig durch eine gröfsere Anzahl von Öffnungen, statt durch eine einzige, austreten liefs. Er brachte nämlich auf der Deckelplatte eines niedrigen cylindrischen Kupfergehäuses von 4 Zoll (= 10,828 cm) Durchmesser 100 auf einem Kreise liegende äquidistante Öffnungen von $^1/_4$ Linie (= 0,56 mm) Breite und 2 Linien (= 4,5 mm) Länge an, welche zur Ebene der Platte schief gebohrt waren. Die Öffnungen wurden deshalb so schmal gemacht, damit die zwischen zwei benachbarten Öffnungen liegenden Vollräume um so breiter ausfallen konnten, so dafs bei einer Rotation der Scheibe der Vorbeigang ihrer Vollräume an den gegenüberliegenden Öffnungen des Deckels auf kurze Zeit jede Verbindung zwischen der in dem Gehäuse befindlichen Luft und der äufseren Luft unterbrach. Im Mittelpunkte des Deckels erhob sich eine vertikale Achse, um welche sich die zum Verschliefsen der Öffnungen dienende Scheibe drehen konnte, die genau auf die Deckplatte pafste, ohne jedoch eine starke Reibung auszuüben. Die um die feste Achse drehbare Scheibe war ebenfalls von 100 schief gebohrten, äquidistanten und den auf dem Deckel befindlichen kongruenten Öffnungen durchbrochen, so dafs bei einer Drehung der Scheibe alle Öffnungen des Deckels entweder zugleich geöffnet oder zugleich geschlossen wurden, je nachdem die Öffnungen oder die vollen Zwischenräume der Scheibe auf die Öffnungen des Deckels fielen. Übrigens waren die Öffnungen der Scheibe unter gleichem Neigungswinkel, aber im entgegengesetzten Sinne als die Öffnungen des Deckels gebohrt. Die schiefe Bohrung der Öffnungen ist zur Erzeugung des Tones nicht unbedingt erforderlich; sie hat nur den Zweck, dem von dem Blasebalg kommenden und von unten in das Gehäuse eintretenden Luftstrom die geeignete Richtung zu geben, wenn man ihn zur Drehung der Scheibe verwenden will. Sonst kann die Rotation auch durch irgend eine mechanische Vorrichtung hervorgebracht werden[1]).

Bei den ersten Versuchen, welche Cagniard de la Tour mit diesem Apparate zur Ermittelung der absoluten Schwingungszahl von Tönen anstellte, wurde die Drehung der beweglichen Scheibe nicht durch den durch die Öffnungen streichenden Luftstrom, sondern durch ein Räderwerk bewirkt; dasselbe wurde durch ein niedersinkendes Gewicht in Gang gesetzt, welches an einer über eine bewegliche Trommel gelegten Schnur hing. Die Regulierung der Umdrehungsgeschwindigkeit wurde durch einen an der Achse der Scheibe befestigten Windfang bewirkt, während

[1]) Eine Abbildung des Apparates ist der Abhandlung nicht beigegeben; man findet eine dieser Beschreibung entsprechende in dem Lehrbuch der Experimentalphysik von J. B. Biot, übersetzt von Fechner, (Leipzig, 1829), Bd. II, Tafel VI, Nr. 53, welche in anderen Lehrbüchern und in Zeitschriften mehrfach wiedergegeben worden ist.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

die Zahl der Umdrehungen durch die Bewegung eines Kronrades gemessen wurde, welches in ein Getriebe der Achse eingriff und sich mit einer $13^1/_2$ mal geringeren Geschwindigkeit als dieses drehte. Der Blasebalg trat nur dann in Wirksamkeit, wenn der durch die Sirene erzeugte Ton mit demjenigen Tone, dessen Schwingungszahl ermittelt werden sollte, in genaue Übereinstimmung gebracht wurde. Als musikalisches Instrument, dessen Töne auf ihre Schwingungszahl hin untersucht werden sollten, wählte er die Eisenvioline[1]), weil ihre Töne durch Dauer und Reinheit sich auszeichneten. In der auf p. 179 der Abhandlung abgedruckten Tabelle sind die Resultate der Versuche zusammengestellt: sie erstrecken sich auf die Töne der C-dur-Tonleiter von a′ mit 427 Schwingungen bis zum d‴ mit 1125 Schwingungen. Wenn auch diese Zahlen mit den von Sauveur gegebenen hinreichend übereinstimmten, so bezeichnete Cagniard de la Tour dieselben doch nur als vorläufige, welche er nach der beabsichtigten Verbesserung des noch etwas unvollkommenen Zählwerkes durch zuverlässigere zu ersetzen hoffte. Aufserdem machte er darauf aufmerksam, dafs die mit dieser Sirene hervorgebrachten Töne in ihrer Höhe noch um eine volle Oktave über das a^{IV} der Klaviere hinausreichten und sich besonders durch Deutlichkeit auszeichneten. Wahrscheinlich wurde bei diesem Versuche die bewegliche Scheibe nicht durch ein von einem sinkenden Gewichte getriebenes Räderwerk, sondern durch Abziehen einer um die Achse gelegten Schnur in Drehung versetzt. Einen ganz neuen und sehr wichtigen Versuch erwähnt Cagniard de la Tour noch am Schlusse seiner Abhandlung: nämlich, dafs das von ihm erfundene Instrument eben so gut zur Tonerzeugung unter Wasser, wie in der Luft benutzt werden könnte, wenn man statt des Luftstromes einen Wasserstrom durch die Öffnungen hindurchgehen lasse. Wurde der Apparat vollständig in Wasser untergetaucht, so wurde durch eine gleiche Anzahl von Stöfsen derselbe Ton wie in der Luft erzeugt. Dieser Umstand gab die Veranlassung, dafs der Erfinder dem von ihm konstruierten Apparate den Namen „Sirene“ beilegte: eine Benennung, die man wohl nicht als eine besonders glücklich gewählte bezeichnen kann[2]).

Als die Sirene von Cagniard de la Tour in England bekannt wurde, erhoben sich in einigen wissenschaftlichen, zu London und Edinburgh erscheinenden Zeitschriften Stimmen, welche in einem für den Erfinder nicht gerade schmeichelhaften Tone die Ehre der Erfindung für ihren bereits verstorbenen Landsmann Robison in Anspruch nahmen. Als Entgegnung auf diese Angriffe erschien in den von Gay-Lussac und Arago herausgegebenen Annales de chimie et de physique ein Aufsatz[3]), in welchem erstens die Übersetzung der auf den Robisonschen Hahn bezüglichen Stelle abgedruckt war — cfr. p. 8, beginnend mit den Worten: „A stop-cock was so constructed“ etc. bis zum Schlusse —. Zweitens knüpfte Cagniard de la Tour hieran einige Bemerkungen, aus denen zwar hervorgeht, dafs er

---

[1]) Die Eisenvioline oder Stiftgeige ist um die Mitte des 18. Jahrhunderts von dem Kammermusikus Johann Wilde in Petersburg erfunden worden.

[2]) Da weder in der Originalabhandlung von Cagniard de la Tour, noch in unseren meisten deutschen physikalischen Lehrbüchern eine nähere Beschreibung dieses Versuches sich findet, dürfte es nicht überflüssig erscheinen, auf einen aus dem Practical Mechanic's Journal von 1850 übersetzten Aufsatz hinzuweisen: John Donaldson, Über die Sirene, eine neue Vorrichtung, um einen Ton hervorzubringen. (Dingler, Polyt. Journ. CXIX. (1851.) p. 192—195.) Hierin ist der Versuch ausführlich beschrieben und durch Abbildungen erläutert.

[3]) Sur la sirène de M. Cagniard de la Tour. (Ann. de chim. et de phys. (1821.) p. 438—440.) Traduction d'un passage extrait du Supplément à la troisième édition de l'Encyclopédie britannique, imprimé à Edinburgh en 1801. Art. Temperament, pages 649—650. (p. 438—439.)

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

früher einmal von Arago eine kurze Mitteilung über die Robisonsche Erfindung erhalten, aber bei der Konstruktion seiner Sirene die erwähnte Abhandlung von Robison gar nicht gekannt hatte. Zieht man nun in Erwägung, wie vermittelst der Sirene mit grofser Leichtigkeit nicht blofs beliebig viele Töne erzeugt und ihre Schwingungszahlen bestimmt, sondern auch noch Töne von einer solchen Höhe hervorgebracht werden konnten, wie man sie bisher an den musikalischen Instrumenten gar nicht gekannt hatte, während durch den Robisonschen Hahn bei einer ziemlich komplizierten Konstruktion doch nur zwei ganz bestimmte Töne erzeugt wurden; wie ferner die Sirene sogar die Entstehung von Tönen durch getrennte Stöfse im Wasser möglich machte, woran man bis dahin noch niemals gedacht hatte: so kann man Cagniard de la Tour nur beistimmen, wenn er auf die Ehre einer neuen Erfindung Anspruch erhob. Er schliefst seine Entgegnung in etwas gereiztem Tone: „Il est donc injuste de prétendre que la sirène n'est autre chose que le tuyau à robinet vibrant, et maldroit d'appuyer cette assertion d'injures, à défaut de bonnes raisons[1]."

Die Verbesserung des Zählwerkes, welche Cagniard de la Tour gleich bei der Anstellung seiner ersten quantitativen Versuche als notwendig anerkannt hatte, gelang ihm in meisterhafter Weise. In der Sitzung vom 8. Oktober 1827 legte er den Mitgliedern der Pariser Akademie das Modell des neuen Zählwerkes vor, wie es jetzt noch im ganzen und grofsen bei den Sirenen angebracht wird. Der bei dieser Gelegenheit gehaltene Vortrag ist nicht gedruckt worden; indessen findet sich eine Beschreibung dieses Zählwerkes in einer Pariser Wochenschrift[2]). Dasselbe steckt in einem kleinen, kastenförmigen Messinggehäuse, das auf zwei an der Peripherie der cylindrischen Sirenenbüchse befestigten Säulen ruht, und dessen Vorderwand eine Glasplatte, dessen Rückwand eine in horizontaler Richtung ein klein wenig verschiebbare Messingplatte bildet. Das bei dem alten Zählwerk an der vertikalen Rotationsachse befindliche Getriebe wird durch eine Schraube ohne Ende ersetzt, während an Stelle des früher in das Getriebe eingreifenden Kronrades zwei kleine, an entgegengesetzter Seite der Drehungsachse liegende und an der verschiebbaren Messingplatte befestigte Zahnräder treten. Eins von diesen Rädchen, an deren Peripherie 100 Zähne stehen, liegt mit der Achse der drehbaren Scheibe in derselben Vertikalebene, und kann vermittelst eines auf zwei an der beweglichen Rückwand befindliche Knöpfe ausgeübten Druckes nach Belieben so verschoben werden, dafs es entweder in die Schraube ohne Ende eingreift oder nicht. Das andere zu dem ersten parallele Rädchen liegt der Rückwand etwas näher, und wird jedesmal um einen Zahn weiter gedreht, wenn das erste 100 Umdrehungen vollendet hat, indem ein Stift, der vor der Hinterfläche des ersten Rädchens senkrecht zu seiner Achse befestigt ist, zwischen die Zähne des zweiten Rädchens eingreift. Die Achse eines jeden dieser beiden Zahnräder trägt einen nadelförmigen Zeiger, dessen Spitze die in 100 gleiche Teile geteilte Peripherie eines an der Aufsenseite befindlichen Zifferblattes durchlaufen kann. Wird nun das erste Rädchen so verschoben, dafs es bei einem mit der Sirene angestellten Versuche in die Schraube ohne Ende eingreift, während die Zeiger beider Zifferblätter beim Beginn auf Null zeigen, so ergiebt die Beobachtung der Stellungen beider Zeiger nach einer bestimmten Zeit die Anzahl der Umdrehungen, welche die vertikale

---

[1]) Übrigens hat Cagniard de la Tour in späterer Zeit sich damit beschäftigt, Versuche über Tonerzeugung mit einem dem Robisonschen Hahne ähnlichen Apparate anzustellen (Extraits des procès-verbaux des séances de la Société Philomatique de Paris, 1839. p. 76—77); indessen habe ich darauf bezügliche Resultate nirgends aufgefunden.

[2]) Le Globe. Recueil philosophique et littéraire. Tome V. Nr. 23. (Paris, 1827.)

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Achse resp. die bewegliche durchlöcherte Scheibe während dieser Zeit ausgeführt hat. Bei einer späteren Gelegenheit hat Cagniard de la Tour im Jahre 1839 noch ein Zählwerk mit 3 Zifferblättern konstruiert[1]), dessen dritter Zeiger sich um die Achse des dritten kleineren Zifferblattes vermittelst eines hinzugefügten Räderwerkes mit derselben Geschwindigkeit wie die rotierende Sirenenscheibe drehte; so dafs die mit diesem Apparate erzielte Genauigkeit bei der Ermittelung der Schwingungszahl noch etwas weiter getrieben werden konnte. Weil mittelst dieses Zählwerkes auch noch Bruchteile einer Umdrehung der beweglichen Scheibe bestimmt werden konnten, erhielt die damit versehene Sirene die Bezeichnung „sirène à fractions".

An dem von Cagniard de la Tour konstruierten Zählwerke haben natürlich späterhin die Mechaniker mancherlei Änderungen angebracht. So hat Stöhrer[2]) in Dresden ein solches mit einem einzigen, in 100 gleiche Teile geteilten Zifferblatte angefertigt, hinter welchem sich beide Zahnrädchen gleichzeitig befinden, von denen das eine 100, das andere aber nur 99 Zähne hat; auf der Achse des ersten sitzt der grofse, auf der Achse des zweiten der kleine Zeiger. Bei der Ermittelung der Schwingungszahl eines Tones werden vermittelst eines Griffes beide Räder so gestellt, dafs ihre Zähne gleichzeitig in die Schraube ohne Ende eingreifen. Bei jeder Umdrehung der Sirenenscheibe wird nun jedes Rädchen um einen Zahn fortgeschoben; für je 100 Umdrehungen aber wird der kleine Zeiger um einen Teilstrich mehr hinter dem grofsen zurückbleiben, so dafs man aus der Vermehrung des Abstandes beider Zeiger ersieht, wie viel hundert, und aus der Stellung des grofsen, wie viel einzelne Umdrehungen noch über diese hinaus in einer gegebenen Zeit gemacht worden sind.

Der neue Apparat, welchen Cagniard de la Tour den Physikern zur Bestimmung der absoluten Schwingungszahl eines Tones zur Verfügung gestellt hatte, fand anfangs ungeteilten und — man kann wohl sagen — beinahe enthusiastischen Beifall. So spricht sich z. B. Dulong[3]) im Jahre 1829 folgendermafsen aus, als er, mit der Prüfung der Laplaceschen Formel für die Schallgeschwindigkeit beschäftigt, die Schwingungszahlen von Pfeifen mit der Sirene ermittelt hatte: „In betreff des letzten Elementes hat mir die Sirene des Herrn Cagniard de la Tour nichts zu wünschen übrig gelassen. Wenn man erst mit diesem Instrumente vertraut geworden ist, geht die Genauigkeit seiner Angaben fast ins Unbegrenzte." Und Lamé[4]) schreibt in seinem Lehrbuche der Physik bei Besprechung der mit den Sirenen anzustellenden Versuche: „Quand on a un peu d'habitude de ce genre d'observation, on ne se trompe pas d'une vibration sur cinq cents." Aber allmählich stellte es sich heraus, besonders als die Resultate mit den nach anderen, inzwischen eingeführten Methoden erhaltenen Zahlen verglichen wurden, dafs die Genauigkeit doch beeinträchtigt würde durch zwei Übelstände: nämlich erstens den Sirenenton längere Zeit auf unveränderlicher Höhe zu erhalten, und zweitens die Sirene auf den Ton, dessen Schwingungszahl ermittelt werden sollte, vollkommen genau einzustimmen. Die Beseitigung der ersten Schwierigkeit hing von dem gleichmäfsigen Zuflufs des von der Windlade kommenden und in das Sirenengehäuse eintretenden Luftstromes ab; von den Vorschlägen, die zur Lösung dieses Problems gemacht worden sind, hat sich am besten der Winkelblasebalg mit Laufgewicht (régulateur angulaire

---

[1]) Extraits des procès-verbaux des séances de la Société Philomatique de Paris, 1839. p. 118.

[2]) Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik und Meteorologie; 8. Aufl., bearbeitet von Pfaundler, Bd. I. p. 464. (Braunschweig, 1876.)

[3]) Pogg. Ann. XVI. p. 459.

[4]) Cours de physique de l'École Polytechnique, tome II. § 419, p. 39. (Bruxelles, 1837.)

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

à poids curseur) des Orgelbauers Cavaillé-Coll[1]) bewährt. Verschiedene, von dem Erfinder angestellte und länger als 10 Minuten dauernde Versuche mit einer durch diesen Apparat angeblasenen Sirene gaben auf 50 000 Schwingungen nur einige Schwingungen Unterschied. Die zweite Schwierigkeit, den Sirenenton auf die richtige Tonhöhe genau einzustimmen, ist aber heutigen Tages noch nicht gehoben; und da eine grofse Anzahl anderer bequemer Methoden zur präzisen Bestimmung der absoluten Schwingungszahl den Physikern zu Gebote stehen, wird die Sirene zu dem angegebenen Zwecke nur noch selten verwendet.

In seiner Sirene hat aber Cagniard de la Tour nicht allein den ersten wirklich brauchbaren Apparat zur allgemeinen Lösung eines der wichtigsten akustischen Probleme angegeben, sondern seine Erfindung hat auch dazu beigetragen, andere Gebiete der Akustik, welche bis dahin entweder unbekannt waren oder dem Eindringen der Forscher unüberwindliche Schwierigkeiten entgegengesetzt hatten, zugänglich zu machen. Dafs tropfbar-flüssige Körper als Tonerreger dienen könnten, war bis zur Erfindung der Sirene eine noch unbekannte Thatsache. Man wufste nur, dafs das Zusammenstofsen fester Körper zur Erzeugung einer schwingenden Bewegung im Wasser notwendig sei, und dafs der dadurch erregte Schall je nach der Stärke des Stofses auf eine gewisse Entfernung hin gehört werde; und dafs ferner Transversalschwingungen von Scheiben oder Longitudinalschwingungen von Stäben verschiedene tropfbare Flüssigkeiten in schwingende Bewegung versetzen könnten. Erst als Cagniard de la Tour gezeigt hatte, dafs die Sirene unter Wasser in derselben Weise wie in der Luft zum Tönen gebracht werden konnte, und dafs die dabei erzeugten Töne sich durch Reinheit und Stärke, besonders in tiefen Lagen, auszeichneten, war der Beweis für die Brauchbarkeit der Flüssigkeiten als Tonerreger erbracht worden. Cagniard de la Tour hat selbst noch zahlreiche darauf bezügliche Versuche mit Sirenen, mit in Glasröhren eingeschlossenen Flüssigkeitssäulen und mit Wasserpfeifen angestellt. Die wichtigsten Arbeiten auf diesem Gebiete hat aber Wertheim[2]) geliefert, der daraus auch auf theoretischem Wege einen Wert für die Schallgeschwindigkeit im Wasser abgeleitet hat, der mit demjenigen sehr gut übereinstimmt, welcher einige zwanzig Jahre früher von Colladon und Sturm auf experimentellem Wege bei ihren Versuchen im Genfer See ermittelt worden war.

Die Entdeckung Cagniard de la Tours ebnete aber auch noch den Weg zu erfolgreichen Untersuchungen auf einem anderen Gebiete, welches bis dahin erklärlicher Weise nur mit unbedeutendem Erfolge von den Physikern betreten worden war: nämlich zu der Theorie der Zungenpfeifen. Denn wenn, wie es ja bei diesen Pfeifen der Fall ist, ein Luftstrom durch eine Öffnung dringt, welche durch die Schwingungen eines elastischen Plättchens in regelmäfsigen Intervallen geschlossen und wieder geöffnet werden kann, so treten bei der Tonbildung ganz analoge Bedingungen wie bei der Sirene auf. Durch die abwechselnde Öffnung und Verschliefsung des Rohres wird der ununterbrochene Flufs des Luftstromes in eine periodisch wiederkehrende Bewegung verwandelt, welche das Ohr zu affizieren vermag. Im Jahre 1826 schrieb Wilhelm Eduard

---

[1]) Cavaillé-Coll, Sur une nouvelle soufflerie de précision munie d'un nouveau système de régulateurs de la pression de l'air et des gaz, et sur quelques applications de cet appareil à des expériences d'acoustique et à la régularisation de l'émission du gaz d'éclairage. (Comptes Rendus LVI. (1863.) p. 339—343.) (cf. Fortsch. d. Phys. XIX. p. 94—95.)

[2]) G. Wertheim, Sur la vitesse du son dans les liquides. (Ann. de chim. et de phys. 2. sér. XXIII. (1848.) p. 434—475.) Über die Geschwindigkeit des Schalles in Flüssigkeiten. (Pogg. Ann. LXXVII. (1849.) p. 427—445, 544—571.)

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Weber zu Halle seine Doktor-Dissertation: Leges oscillationis oriundae, si duo corpora diversa celeritate oscillantia ita conjunguntur, ut oscillare non possint nisi simul et synchronice, exemplo illustratae tuborum linguatorum; und bald darauf liefs er in Poggendorffs Annalen, Band XIV, XVI und XVII mehrere daran sich anschliefsende Abhandlungen erscheinen, Arbeiten, welche als das Fundament angesehen werden müssen, auf welchem die Theorie der Zungenpfeifen von den nachfolgenden Physikern aufgebaut worden ist.

Seit der Veröffentlichung seiner ersten Abhandlungen über die Sirene ist nun Cagniard de la Tour drei Dezennien lang fast ununterbrochen bemüht gewesen, seinen Apparat zu verändern und zu verbessern, um die Akustik noch in anderen Beziehungen zu fördern. Da aber seine darauf bezüglichen Vorträge und Abhandlungen nicht alle durch den Druck veröffentlicht worden sind, so wird es dem Historiker recht schwer gemacht, die Thätigkeit des rastlosen Forschers in stetigem Zusammenhange zu verfolgen. Von seinen bis zum Jahre 1833 reichenden Arbeiten finden sich einzelne auszugsweise wiedergegeben in einigen Pariser philosophisch-litterarischen Wochenschriften, wie Le Globe, Le Lycée, deren Beschaffung mir unmöglich gewesen ist, von anderen finden sich kurze Notizen in den Annales de chimie et de physique. Erst seit der im Jahre 1833 erfolgten Gründung der wissenschaftlichen Zeitschrift „L'Institut. Journal général des Sociétés et Travaux scientifiques de la France et de l'Étranger"; seit dem Beginn der Veröffentlichung der Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences à Paris im Jahre 1835; und seit der Zeit, wo die Referate über diejenigen Vorträge, welche Cagniard de la Tour in den Sitzungen der Société Philomatique de Paris gehalten hatte, in den Extraits des procès-verbaux des séances erschienen; — von da an ist man erst im stande, die Untersuchungen dieses unermüdlichen Physikers ununterbrochen zu verfolgen. Von einer ausführlichen Wiedergabe dieser interessanten Arbeiten kann aus leicht erklärlichen Gründen hier nicht die Rede sein; ich werde mich deshalb darauf beschränken, nach Erwähnung einiger besonderer Versuche, die er mit seiner ersten Sirene, der „sirène ordinaire", angestellt hat, diejenigen speziellen Sirenenformen zu berühren, welche Cagniard de la Tour für seine Experimente über den Klang konstruiert hat.

Von seinen Untersuchungen mit der „sirène ordinaire" möchte ich zunächst diejenigen erwähnen, welche sich auf den Nachweis der verschiedenen Empfindlichkeit des Ohres für Töne von verschiedener Höhe beziehen [1]). Die mit hundert Öffnungen versehene bewegliche Scheibe wurde durch eine um ihre Achse gewickelte und mit grofser Geschwindigkeit abgezogene Schnur in schnelle Drehung versetzt. Die Intensität des Tones nahm zuerst mit der Höhe bis zu einer gewissen Grenze zu, dann aber mit weiter wachsender Höhe wieder ab. Ein Ton mit der Schwingungszahl 8000 war noch deutlich wahrnehmbar; stieg aber seine Schwingungszahl auf 10000, dann wurde er aufserordentlich schwach, selbst wenn der in den Windkasten eintretende Luftstrom bedeutend verstärkt wurde.

Ferner hat Cagniard de la Tour mit seiner Sirene den ersten Versuch gemacht [2]), die Höhe der Töne zu ermitteln, welche Insekten während des Fliegens hören lassen: er fand die Schwingungszahl des Tones, den eine summende Mücke hören läfst, gleich 500 bis 600.

Dann untersuchte er den Ton [3]), den eine Sirene durch die blofse Rotationsbewegung ihrer

---

[1]) Diese Versuche sind von Cagniard de la Tour bereits 1827 bekannt gemacht worden; beschrieben sind sie aber erst in den Extraits des procès-verbaux de la Soc. Philom. 1838. p. 75—76.

[2]) Extraits des procès-verbaux de la Soc. Philom. 1838. p. 140.

[3]) Soc. Philom. Extraits etc. 1839. p. 6—7.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

oberen Platte hervorbringen kann in dem Falle, wo der untere Teil der Trommel geschlossen ist; er erklärt die Entstehung dieses Tones durch abwechselnde Verdünnungen und Verdichtungen der in der Trommel enthaltenen Luft, je nachdem ein Vollraum oder eine Öffnung der rotierenden Scheibe über die Öffnungen der Deckelplatte hinweggeht. An derselben Stelle spricht er von dem veränderlichen Klange des Sirenentones, wenn man eine Sirene vertikal allmählich unter Wasser taucht, nachdem der rotierenden Scheibe eine so grofse Anfangsgeschwindigkeit erteilt worden ist, dafs auch ohne Einblasen eines Luftstromes der Ton noch aushält; bei gewissen Einsenkungstiefen erinnert der Ton an den der Maultrommel, und er wird sehr schwach, wenn infolge des Eintauchens nur noch wenig Luft in der Trommel enthalten ist.

Schliefslich sei noch des von Cagniard de la Tour gemachten Vorschlages Erwähnung gethan, die gewöhnliche Sirene zur Messung der Windgeschwindigkeit zu benutzen[1]). Die Wetterfahne sollte unter Einwirkung des Windes durch ein an der Achse befestigtes Flugrädchen, das schief gestellte Flügel wie bei der Windmühle trüge, in schnelle Bewegung gesetzt und mit einer Sirene in Verbindung gebracht werden; aus der Höhe des entstehenden Sirenentones sollte dann ein Schlufs auf die Stärke des Windes gezogen werden. Cagniard de la Tour hielt die Ausführung dieses Gedankens für wahrscheinlich; ob aber die Anregung zur Konstruktion eines derartigen Anemometers wirklich zur Thatsache geworden ist, habe ich nicht ermitteln können.

Die ausgedehnten Experimentaluntersuchungen Cagniard de la Tours über den Klang der Sirenentöne haben wahrscheinlich bald nach der Erfindung des Instrumentes begonnen und zur Konstruktion einer grofsen Anzahl von Sirenenformen Veranlassung gegeben. Manche von ihnen sind konstruiert worden, um die Hypothesen des Erfinders über die Entstehung der menschlichen Stimme, womit er sich Jahre lang beschäftigt hat, zu unterstützen; andere wieder sind entstanden durch Veränderungen an dem Apparate, von welchen sich Cagniard de la Tour von vornherein veränderte Klangwirkungen versprach, und sind dann bisweilen hinterher zu seinen speziellen Untersuchungen verwendet worden. Die Rotation der beweglichen Scheibe wurde meistens durch Abziehen einer um die Drehungsachse gewickelten Schnur hervorgebracht, während das Anblasen sehr oft durch den Mund geschah. Ich werde mich nun bemühen, auf den folgenden Seiten das wichtigste von diesen zahlreichen Apparaten mitzuteilen.

Über die Ergebnisse seiner ersten hierauf bezüglichen Untersuchungen hielt Cagniard de la Tour in der Pariser Akademie im Oktober 1827 einen Vortrag, der aber nicht durch den Druck veröffentlicht worden ist. Das Endresultat findet sich kurz zusammengefafst in folgender Stelle[2]): „Le timbre de la sirène éprouve certaines modifications, lorsque par la construction de la machine on varie de diverses manières les prolongemens relatifs du battement et du silence; qu'ainsi, dans le cas où le prolongement de l'un est égal à celui de l'autre, on obtient ordinairement un son doux analogue à celui de la flûte, et que dans le cas contraire, le timbre peut se rapprocher tantôt de la trompette, tantôt du haut bois ou du basson, et tantôt de la voix humaine, suivant la manière dont le battement et le silence sont prolongés l'un par rapport à l'autre.“ Cagniard de la Tour hatte also gefunden, dafs der Klang des durch eine Sirene erzeugten Tones von dem Verhältnisse der Breite der Öffnungen zu der Breite der zwischen zwei äquidistanten

---

[1]) Soc. Philom. Extraits etc. 1841. p. 44—45.

[2]) Ann. de chim. et de phys. LVI. (1834.) p. 255.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Öffnungen liegenden Vollräume abhängig sei. Hierauf beruht die Konstruktion der „sirène-flûte“ und der „sirène-trompette“. Erstere[1]) zeigte auf der Deckelplatte und auf der beweglichen Scheibe 8 äquidistante Öffnungen, deren Breite gleich der Breite der zwischen zwei aufeinander folgenden Öffnungen liegenden Vollräume war; ihr Klang war weich und flötenartig. Die sirène-trompette[2]) dagegen hatte nur 2 sehr weit abstehende, aber auch sehr grofse Öffnungen. Blieb die Schwingungszahl der durch diese letzte Sirene erzeugten Töne unter 100, so erinnerten sie an den runden, vollen Ton des Fagotts; höhere Töne dagegen klangen mehr schreiend und erinnerten an das Schmettern der Trompete. Bezeichnet man das Verhältnis der Breite einer Öffnung zu der Breite des benachbarten massiven Zwischenraumes mit e, so ist sowohl für die Flötensirene, als auch für die Trompetensirene e konstant; für die Flötensirene ist $e = 1$, für die Trompetensirene ist aber $e < 1$.

Den Gedanken, dieses Verhältnis variabel zu machen, aber dabei das Gesetz der Periodizität einzuhalten, hat Cagniard de la Tour bei seinen „sirènes complexes“[3]) in verschiedener Weise zum Ausdruck gebracht. Diese Sirenen wurden deshalb „zusammengesetzt“ genannt, weil jeder periodische Stofs aus mehreren aufeinander folgenden ungleichen, aber gesetzmäfsig geordneten Erschütterungen zusammengesetzt war. Bei der ersten Art dieser komplexen Sirenen wurde die Veränderlichkeit von e dadurch hervorgebracht, dafs die Öffnungen der beweglichen Scheibe veränderliche, dagegen die dazwischen liegenden Vollräume gleiche Breite hatten. Auf dem Umfange der rotierenden Scheibe befanden sich 20 Öffnungen oder Lücken (brèches), die 5 aufeinander folgende, ganz gleiche Reihen zu je vieren bildeten und so geschnitten waren, dafs von den 4 zu einer Reihe gehörigen Öffnungen jede folgende breiter als die unmittelbar vorhergehende war, wobei die erste eine Breite von 4 mm, die vierte eine Breite von 6 mm zeigte; die dazwischen liegenden Flügel oder Vollräume (ailes ou parties pleines) waren aber von gleicher Breite. Auf der festen Deckelplatte der Sirenentrommel waren nun 5 Öffnungen so angebracht, dafs sie bei der Rotation der beweglichen Scheibe entweder alle zugleich geschlossen oder zugleich offen waren; in letzterem Falle ging dann der Luftstrom stets durch 5 Öffnungen von gleicher Breite.

Die durch diesen Apparat erzeugten Töne änderten ihren Klang mit abnehmender Rotationsgeschwindigkeit der beweglichen Scheibe. Bei etwa 200 Umdrehungen in der Sekunde ähnelte der Ton in seinem Klange dem Geschrei einer Katze; wurde die Zahl der Umdrehungen in einer Sekunde allmählich geringer, so erinnerte der Klang des Sirenentones an eine klägliche Kinderstimme, dann an eine Oboe und endlich an ein Fagott. Wenn man auch noch bei langsamer Drehung der Scheibe mit dem Anblasen fortfuhr, so hörte man ein verworrenes, durch Anschwellung (renflement) charakterisiertes Geräusch, ähnlich demjenigen, welches eine schwingende Saite erzeugt, wenn ihre Schwingungen nicht mehr mit der zur Hervorbringung eines Tones hinreichenden Geschwindigkeit erfolgen. Hieraus schlofs Cagniard de la Tour, dafs 1) eine gewisse Folge unregelmäfsiger Schwingungen keinen Ton, sondern ein Geräusch erzeugt; und dafs 2) eine solche Folge einen Ton erzeugen kann, wenn sie sich periodisch und mit hinreichender Geschwindigkeit wiederholt.

---

[1]) Soc. Philom. Extraits 1839. p. 15. [2]) Soc. Philom. Extraits 1837. p. 152.

[3]) Soc. Philom. Extraits 1838. p. 24—25, p. 135—136; 1839, p. 6—7, p. 26—27; 1841. p. 66—67; 1842. p. 46—47.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Andere Änderungen des Klanges erreichte Cagniard de la Tour mit seiner „sirène complexe“ dadurch, dafs er die Entfernung zwischen der festen und beweglichen Scheibe änderte; dafs er einzelne Öffnungen der Deckelplatte mit Korkpfropfen verstopfte; dafs er den Druck der einströmenden Luft veränderte; dafs er die Öffnung des Windrohres zuhielt; und dergleichen mehr. Da er ferner beobachtet hatte, dafs Änderungen in dem Sinne der Drehung der beweglichen Scheibe Änderungen im entgegengesetzten Sinne in der Stärke des durch jede Reihe erzeugten Geräusches, sowie auch Änderungen im Klange des erzeugten Tones nach sich zogen, so verfiel er auf die Konstruktion der „sirène complexe à séries ondulées“[1]). Der Hauptunterschied von der eben beschriebenen gewöhnlichen sirène complexe lag darin, dafs in jeder der 5 ganz gleichen komplexen Reihen die vier eine Reihe bildenden Öffnungen an Breite erst zu- und dann wieder abnahmen; Abweichungen im Klange traten auch bei dieser Sirenenform hervor, in welchem Sinne auch die bewegliche Scheibe gedreht wurde.

Bei der zweiten Art „zusammengesetzter Sirenen“ wurde die Änderung von e dadurch hervorgebracht, dafs die Lücken der beweglichen Scheibe gleiche, aber die dazwischen liegenden Flügel veränderliche Breite hatten. Ähnlich wie bei der ersten Gruppe bildeten die 20 Flügel 5 aufeinander folgende komplexe, aber unter sich gleiche Reihen von je vier ungleichen Flügeln. Der Klang dieser Sirene hatte Ähnlichkeit mit dem der Oboe.

Die dritte Gruppe, welche Cagniard de la Tour „sirènes complexes à deux sons“ nennt, ist dadurch charakterisiert, dafs die Veränderlichkeit von e dadurch hervorgebracht wird, dafs die Breite der Öffnungen und die Breite der Vollräume oder Flügel sich gleichzeitig ändern, während ihre halbierenden Radien äquidistant bleiben, dafs aber auch bei dieser Veränderlichkeit die komplexen Reihen sich periodisch wiederholen. Bei den Versuchen mit der ersten dieser Sirenen[2]), bei welchen die bewegliche Scheibe 5 gleiche, komplexe Reihen mit je 4 Flügeln trug, während die Deckelplatte 5 Öffnungen hatte, hörte Cagniard de la Tour gleichzeitig den Grundton und die Doppeloktave von flötenartigem Klange, deren Schwingungszahlen sich wie die Reihenzahl 5 zu der Flügelzahl 20 verhielten. Als Resultat von anderen mit derartigen Sirenen angestellten Versuchen fand er[3]), dafs man bei richtiger Abänderung des Verhältnisses zwischen Flügel- und Reihenzahl andere Akkorde als Grundton und Doppeloktave, z. B. Oktave, Duodezime und grofse Terz der Doppeloktave erhalten könne. Die erste Beobachtung über gleichzeitiges Erklingen zweier Töne, deren Schwingungszahlen sich wie 1 zu 5 verhielten, hatte Cagniard de la Tour übrigens an einer Sirene gemacht[4]), deren Deckelplatte 5 äquidistante, 3 cm von einander entfernte Löcher von 4 mm Durchmesser trug, während sich auf der beweglichen Scheibe nur eine Öffnung befand.

Ferner hörte er zwei Töne, Grundton und Doppeloktave, gleichzeitig bei Anwendung einer Sirenenplatte[5]), deren Umfang 20 Flügel und 20 Lücken mit äquidistanten Halbierungsradien in 5 komplexen Reihen von Ausschnitten zeigte, wo jeder der 4 Ausschnitte einer Reihe verschiedene Tiefe in Richtung des Radius hatte; die Deckelplatte hatte 5 Öffnungen.

---

[1]) Soc. Philom. Extraits 1838. p. 136; 1839. p. 6.
[2]) Soc. Philom. Extraits 1839. p. 27.
[3]) Soc. Philom. Extraits 1842. p. 46—47.
[4]) Soc. Philom. Extraits 1839. p. 26; 1842. p. 28.
[5]) Soc. Philom. Extraits 1839. p. 27.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Grundton und Oktave erhielt Cagniard de la Tour auch mit zehnflügligen Sirenenplatten[1]). Einmal hatten die Flügel ungleiche Breite, indem die breitesten am Ende 6 mm, die schmalsten 5 mm mafsen; oder die Flügel waren zwar gleich breit, aber 5 äquidistante waren kürzer und bedeckten nur zum Teil die Löcher der festen Platte; oder endlich die Flügel waren gleich und sehr breit, aber durch äquidistante Lücken getrennt, die zwar alle dieselbe Breite, jedoch zur Hälfte geringere Tiefe hatten.

Vollständig verschieden von diesen mannigfaltigen zusammengesetzten Sirenen war die „sirène double"[2]), welche aus zwei gleichen gewöhnlichen achtlöchrigen Sirenen bestand, die einer und derselben Metalltrommel von ursprünglich 20 mm Höhe aufgesetzt waren. Die beiden einander zugekehrten, beweglichen Scheiben waren an derselben Rotationsachse befestigt und so gestellt, dafs bei einer eventuellen Drehung die Löcher beider festen Platten entweder alle gleichzeitig offen oder gleichzeitig geschlossen waren. Wurde nun das System in Drehung versetzt und die untere Sirene angeblasen, so war der von der Doppelsirene hervorgebrachte Ton demjenigen einer einfachen achtlöcherigen Sirene an Intensität fast ganz gleich, und nur im Klange etwas verschieden. Waren die beweglichen Scheiben so gestellt, dafs die Luftstöfse der einen Sirene mit denjenigen der andern Sirene abwechselten, so dafs bei jeder Umdrehung der Achse eine doppelte Anzahl isochroner Luftstöfse entstand, also 16 statt 8, so wurde, im Gegensatz zu der gehegten Erwartung, derselbe Ton wie bei dem vorhergehenden Versuche gehört, wenn die Achse sich mit derselben Geschwindigkeit drehte. An diesem Ergebnis wurde auch nichts geändert, wenn das Anblasen, anstatt durch das Windrohr der unteren Sirene, durch ein in die beide Sirenen verbindende Trommel eingesetztes Seitenrohr erfolgte.

Klangänderungen traten ein, wenn 4 Löcher der oberen Sirene mit Wachs verstopft wurden. Ferner suchte Cagniard de la Tour eine Beziehung zwischen der Intensität der Töne der Doppelsirene und der Höhe der zwischen beiden Sirenen befindlichen Trommel zu ermitteln, und er fand, dafs die Intensität der Töne, wenigstens von c″ an aufwärts, erheblich zunahm, wenn die beweglichen Scheiben bis auf 4 mm genähert wurden. Lötete er an den Löchern der festen Platte der oberen Sirene kleine Röhrchen als Ansatzrohr an, so zeigten die tieferen Töne eine gröfsere Intensität als die gleich hohen einer einfachen achtlöchrigen Sirene; von einer gewissen Höhe an, z. B. beim c‴, wurde der Intensitätsunterschied unmerklich; und über e‴ hinaus schien der Ton der einfachen Sirene denjenigen der Doppelsirene an Stärke zu übertreffen.

Ein ganz neues Prinzip wandte Cagniard de la Tour bei der „sirène fermée"[3]) an, die wegen der zu ihrer Konstruktion notwendigen dicken Platten auch „sirène à plateaux épais" genannt wurde. Die „sirène fermée" für hohe Töne ist eine hundertlöchrige Sirene, bei welcher jedes Loch beider Platten durch ein kreisförmiges Kittplättchen verstopft ist, und zwar so, dafs die Löcher der beweglichen Scheibe auf der oberen Seite, die Löcher der festen Deckelplatte auf der unteren Seite verklebt sind; auf diese Weise bilden die Löcher kurze Röhren, welche als eben so viele kleine Glocken angesehen werden können, von denen die in der oberen Platte befindlichen sich bei der Rotation periodisch an die Öffnungen der in der unteren Platte vorhandenen ansetzen. Wurde

---

[1]) Soc. Philom. Extraits 1841. p. 66.
[2]) Soc. Philom. Extraits 1841. p. 20—21, p. 30, p. 43—44, p. 51.
[3]) Soc. Philom. Extraits 1841. p. 105, p. 113—114.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

die Achse durch Abziehen einer Schnur in eine sehr schnelle Rotation versetzt, so hörte man in der That einen Ton, dessen Schwingungszahl der Anzahl der in der oberen Platte vorhandenen Höhlungen entsprach. Der Ton war auch noch hörbar, wenn diese Sirene unter Wasser getaucht wurde.

Bei der „sirène fermée" für tiefe Töne hatte jede Scheibe nur 2 Löcher, die in der vorhin angegebenen Weise durch dünne Papiermembranen verstopft waren. Die Schwingungszahl des gehörten tiefen Tones entsprach der Anzahl der Höhlungen der oberen Platte. Wurde die Verschlufsmembran durch ein dünnes Metallplättchen ersetzt, dann war die Intensität des Tones geringer. Cagniard de la Tour suchte die Ursache der Tonerregung in den Schwingungen der in den glockenförmigen Höhlungen eingeschlossenen Luft; diese Schwingungen übertrügen sich auf die äufsere Luft durch die dünnen, zwischen den beiden Platten befindlichen Luftschichten und auch durch die Verschlufsmembranen, wenn dieselben die geeignete Elastizität besäfsen.

Aufser den bisher betrachteten fünf speziellen Sirenenformen der sirène-flûte, sirène-trompette, sirène complexe, sirène double und sirène fermée, deren Konstruktion auf dem der sirène ordinaire zu Grunde liegenden Prinzipe beruht, hat Cagniard de la Tour behufs seiner Experimentaluntersuchungen über den Klang noch eine Anzahl anderer Apparate angegeben, welche er ebenfalls „Sirenen" nennt, die aber mit den eben beschriebenen nur darin Übereinstimmung zeigen, dafs der Ton durch diskontinuierliche Luftstöfse erzeugt wird, im übrigen aber entweder, wie die tube-sirène, an eine Zungenpfeife erinnern, indem ein durch ein cylindrisches Rohr gehender Luftstrom durch Schwingungen eines Plättchens periodische Unterbrechungen erfährt; oder, wie die sirène prisonnière, moulinet-sirène und sirène-tronde, eine unverkennbare Ähnlichkeit mit dem Robisonschen Hahn zeigen, indem ein durch prismatische oder cylindrische Röhren streichender Luftstrom durch rotierende Platten oder Schaufelrädchen periodisch unterbrochen wird. Die meisten der von Cagniard de la Tour gefundenen Resultate sind in den Extraits des procès-verbaux des séances de la Société Philomatique, année 1837–1840, und in den gleichaufenden Jahrgängen des Journales l'Institut, I. section, enthalten; aber die Daten über die Einrichtung der Apparate reichen nicht immer aus, um sich ein ganz klares Bild davon zu machen, ein Umstand, der dadurch erklärlich wird, dafs ihr Erfinder wiederholt auf frühere Abhandlungen zurückgreift, welche entweder gar nicht durch den Druck veröffentlicht, oder nur auszugsweise in schwer zugänglichen Wochenschriften wiedergegeben worden sind. Aus diesem Grunde hielt ich es für angemessen, an dieser Stelle auf eine eingehende Beschreibung dieser vier Sirenenformen zu verzichten, in der Hoffnung, das Versäumte vielleicht zu anderer Zeit nachholen zu können, und nur eine dieser Formen, die moulinet-sirène oder das akustische Flugrädchen, genau zu beschreiben, wie es in dem rühmlichst bekannten Atelier des Herrn Dr. Rudolf Koenig in Paris angefertigt wird[1]).

Ein reichlich 10 cm langer Hohlcylinder von Messing, dessen innerer Durchmesser etwas über 4 cm beträgt, ist oben offen und unten geschlossen. Im Innern dieses Cylinders ist in halber Höhe an der Wand ein schmaler Messingring befestigt, um dessen Durchmesser als feste Achse sich zwei kongruente kreisförmige, zu einander senkrecht stehende und sich in einem dem inneren Ringdurchmesser gleichen Durchmesser schneidende Metallplatten drehen können. Wird nun durch ein am Boden angebrachtes Windrohr, dessen Achse aber nicht mit der Cylinderachse

[1]) Catalogue des appareils d'acoustique construits par Rudolph Koenig. Nr. 19. (Paris, 1889.)

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

zusammenfällt, sondern mehr nach der Peripherie der Grundfläche hin verschoben ist, ein Luftstrom durch den Cylinder getrieben, so geraten die Metallplatten in Drehung, und die 4 halbkreisförmigen Flügel bringen bei jeder Umdrehung eben so viele Unterbrechungen des Luftstromes hervor. Der hierdurch erzeugte Ton klingt in den tieferen Lagen schwirrend, in mittleren und hohen Lagen aber durchdringend und scharf, und kann bei starkem Anblasen eine beträchtliche Intensität erreichen.

Dies ist auch der Grund gewesen, weshalb der Wiener Physiker Chr. Doppler die Flugrädchen-Sirene als ein Vorbeugungsmittel für etwaige Dampfkessel-Explosionen in Vorschlag gebracht hat[1]). Doppler setzte ein solches Flugrädchen mit seinem Windrohr in den Deckel eines mit Sicherheitsventil und Manometer versehenen Digestors ein, so dafs der Eintritt der Dämpfe durch das Windrohr mit Hülfe eines Hahnes beliebig geändert werden konnte. Eine jede Änderung in der Spannkraft des einströmenden Wasserdampfes bewirkte aber eine Änderung in der Tonhöhe des von dem Flugrädchen erzeugten Tones; und hieran knüpfte nun Doppler Vorschläge, wie dieser Apparat mit einem Dampfkessel in Verbindung gesetzt, und wie aus der Steigerung der Tonhöhe auf eine übermäfsige Spannung der im Kessel enthaltenen Wasserdämpfe geschlossen werden könnte. Übrigens giebt Doppler auch eine theoretische Formel für die Schwingungszahl des hervorgebrachten Tones an, indem er alle hierbei auftretenden Daten in Rechnung zieht.

Welcher Mittel sich nun Cagniard de la Tour bedient hat, um mit den in Rede stehenden Apparaten, bei welchen die getrennten Luftstöfse durch die periodischen Unterbrechungen eines durch eine Röhre streichenden Luftstromes vermittelst rotierender Platten oder Schaufelräder hervorgebracht werden, die verschiedenartigsten Klangwirkungen zu erzielen, mag wenigstens in möglichster Kürze noch angedeutet werden.

Die Röhren waren entweder cylindrisch oder prismatisch mit rechteckigem Querschnitt, und mit der Form der Röhren änderte sich natürlich die Form der rotierenden Platten oder der an den Flugrädchen angebrachten Schaufeln. Wurde die periodische Unterbrechung des Luftstromes durch eine rotierende Platte hervorgebracht, wie das bei der sirène-fronde der Fall war, so beeinflufsten Änderungen in dem Verhältnisse von Röhrenweite und Plattengröfse den Klang; dasselbe geschah, wenn kleine Plättchen oder Lippen von geringerer oder gröfserer Dicke an der Innenwand der Röhre angebracht wurden, die, wenn sie sich zu zweien gegenüberstanden, auch zur Befestigung der Achse benutzt und bisweilen durch ein schmales Rähmchen ersetzt wurden. Die Ränder der rotierenden Platte wurden zugeschärft oder verdickt, die Platte speziell noch durch ein Prisma mit quadratischer resp. rhombischer Grundfläche ersetzt, in welchem letzteren Falle ein geringer Unterschied zwischen Längs- und Querdiagonale bestand. Wurden ferner an den Seiten der Röhre 1 oder 2 kammerartige Hohlräume angebracht, so entstand die Form der „sirène-fronde à une ou à deux ventricules“.

Bei den mit Schaufel- oder Flügelrädern versehenen Formen der sirène prisonnière und

---

[1]) Chr. Doppler, Über die Anwendung der Sirene und des akustischen Flugrädchens zur Bestimmung des Spannungsgrades der Wasserdämpfe und der komprimierten Luft. (Wiener Berichte VI. (1850.) p. 206—214; Pogg. Ann. Ergänzungsband III. (1853.) p. 300—311; cfr. Fortsch. d. Phys. VI. p. 313—314.) Die Abhandlung steht in engem Zusammenhange mit einer vorhergehenden Arbeit von Doppler: Über ein Mittel, die Spannkraft des Wasserdampfes der komprimierten und der erwärmten Luft durch das Gehör zu bestimmen. (Wiener Berichte III. (1849.) p. 156—164.)

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

moulinet-sirène wurde die Zahl der Flügel beliebig geändert: sie erhielten 2, 3, 4, 8, 9, 14, 15, 20, 25 Flügel. Entweder waren nun alle Flügel gleich und durch gleiche Zwischenräume getrennt; oder es wurden, natürlich nur bei gröfserer Flügelzahl, eine gewisse Anzahl äquidistanter gleicher Flügel beseitigt, so dafs wieder Lücken von gleicher Breite entstanden; oder die Flügel wurden von veränderlicher Breite gewählt, waren aber durch gleiche Zwischenräume getrennt; oder endlich waren Flügel von gleicher Breite durch veränderliche Zwischenräume getrennt. Bei den letzteren beiden Formen wurden sogenannte komplexe Reihen, wie bei den sirènes complexes hergestellt, und mit diesen Apparaten auch ganz analoge Resultate erhalten.

Legt man sich nun die Frage vor, wie wohl Cagniard de la Tour dazu gekommen sein mag, diese aufserordentliche Fülle von Versuchen über den Klang anzustellen, so liefert den Schlüssel zur Antwort die Thatsache, dafs dieser Forscher durch und durch Experimentalphysiker war, welcher jedes ihm sich darbietende Problem auf rein experimentellem Wege zu lösen versuchte. In welcher Form er sich aber das in Rede stehende Problem formuliert hatte, darüber giebt folgender Passus[1]) hinreichenden Aufschlufs: „Suivant M. Cagniard Latour, ces diverses observations sont en faveur de l'opinion qu'il avait émise, il y a déjà plus de dix ans, relativement aux éléments constitutifs du son musical, savoir qu'en général ce son est composé de vibrations irrégulières et de vibrations isochrones, et que la quantité du son dépend probablement en partie de la proportion dans laquelle se trouvent respectivement ces deux sortes de vibrations.“ Also schon etwa seit dem Jahre 1828 hatte er sich von dem Wesen des musikalischen Tones die Vorstellung gebildet, dafs derselbe aus isochronen und aus unregelmäfsigen Schwingungen zusammengesetzt sei, und dafs die Tonmenge wahrscheinlich teilweise von dem Verhältnisse abhinge, in welchem diese beiden Schwingungsarten darin vorkommen. Mit unermüdlichem Eifer hat er Versuchsreihe auf Versuchsreihe gehäuft, um die Richtigkeit seiner Idee zu stützen und das Dunkel zu lichten, welches undurchdringlich das Geheimnis des Klanges bedeckte. Ist ihm die Entschleierung dieses Geheimnisses gelungen? — In der nächsten Periode der Entwickelungsgeschichte der Sirene erfolgt die Antwort: Erst dem Genie eines Georg Simon Ohm[2]), der durch die von August Seebeck mit seiner Sirene angestellten Versuche, welche mit einigen der von Cagniard de la Tour angegebenen eine gewisse Ähnlichkeit zeigen, zur Untersuchung des Sirenentones veranlafst worden war, blieb es vorbehalten, auf rein theoretischem Wege eine unzweideutige Erklärung des Klanges zu geben und das über diesem Probleme liegende Dunkel für immer zu beseitigen. Nur zwei Jahre nach dem Abschlusse der oben angeführten Untersuchungen Cagniard de la Tours über den Klang veröffentlichte Ohm das nach ihm benannte Gesetz, wonach „jede einer zusammengesetzten Klangmasse entsprechende Luftbewegung in eine Summe einfacher pendelartiger Schwingungen zu zerlegen ist; und dafs jeder solcher einfachen Schwingung ein Ton entspricht, den das Ohr empfindet, und dessen Tonhöhe durch die Schwingungsdauer der entsprechenden Luftbewegung bestimmt ist“.

Ich kann nicht umhin, diesen den Leistungen Cagniard de la Tours gewidmeten Abschnitt damit zu beschliefsen, dafs ich hier eine Stelle wiedergebe, in welcher er seine Ansicht über das

---

[1]) Soc. Philom. Extraits 1838. p. 98; l'Institut. I. sér. t. VI. p. 217.

[2]) 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.)

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Wesen des Tones gelegentlich seiner Untersuchungen über den Ton schwingender Saiten in folgender Weise ausspricht[1]):

1) „Les expériences avec les sirènes composées démontrent un fait principal qui n'était pas connu, savoir qu'une certaine succession ou série de vibrations irrégulières ne produit pas de son, mais seulement un bruit dans lequel se forme un renflement, et que cette succession peut à son tour engendrer un son régulier lorsqu'elle se répète périodiquement et avec une vitesse suffisante.

2) La vibration sonore à laquelle une corde instrumentale donne lieu par ses deux vibrations ou oscillations alternatives vient principalement de ce qu'elle produit en même temps une certaine série de vibrations secondaires d'une nature irrégulière, c'est-à-dire propre à ne former qu'un bruit ou renflement, en un mot le battement ou la commotion qui appartient à ce double mouvement; de sorte que le son principal ou fondamental d'une corde vibrante se forme par les répétitions périodiques de la série dont on vient de parler et que le ton de ce son dépend de la rapidité plus ou moins grande avec laquelle ces répétitions ont lieu.

3) Probablement chacun des sons coexistants se forme aussi par les répétitions périodiques d'une série analogue.

4) Enfin, cette théorie, d'après la facilité avec laquelle on peut l'appliquer dans d'autres cas que celui des cordes vibrantes, semble pouvoir être considérée comme une espèce de loi générale qui régit la production des sons réguliers."

Während Cagniard de la Tour sich durch die Erfindung der Lochsirene und durch die daran geknüpften Untersuchungen ein dauerndes Verdienst um die Entwickelung der physikalischen Akustik erworben hat, kann sein Landsmann und Zeitgenosse Felix Savart[2]) den Anspruch erheben, die Zahnradsirene als Erster zur Lösung wichtiger Fragen der physiologischen Akustik benutzt und bei dieser Gelegenheit die Konstruktion dieser Apparate erheblich gefördert zu haben. Als Erfinder der Radsirenen kann er freilich, wie es gewöhnlich geschieht, nach der hier gegebenen Darstellung unmöglich betrachtet werden, und ich habe auch in seinen Abhandlungen nirgends eine Andeutung darüber gefunden, dafs er sich diese Erfindung zuschriebe; aber ebenso wenig ist mir eine Stelle aufgestofsen, worin er diesen Apparat als einen bereits bekannten erwähnte.

Savart hat versucht, die wichtige Frage nach der Grenze der Leistungsfähigkeit des Gehörorganes mit Hülfe der Radsirenen zu beantworten[3]). Die Vorbedingungen für die exakte Lösung dieses Problems bestanden darin, erstens die Schwingungszahlen der wahrgenommenen Töne genau zu bestimmen, und zweitens Töne von hinreichender Intensität zu erzeugen. Die Versuche, welche Savart in Anbetracht des zweiten Punktes mit longitudinal schwingenden Glasstäben, mit transversal schwingenden Stahlstäben, sowie mit kurzen, nach Art der Orgelpfeifen angeblasenen Luftsäulen anstellte — die Schwingungszahlen dieser Tonerreger konnten genau berechnet werden —, gaben kein befriedigendes Resultat, weil in Rücksicht auf die Kleinheit dieser Tonerreger die

---

[1]) Soc. Philom. Extraits 1838. p. 124—125; l'Institut, I. section. VI. p. 389.

[2]) Felix Savart wurde 1791 zu Mézières geboren und starb 1841 zu Paris. Ein kurzer biographischer Abrifs findet sich in der Nouvelle Biographie générale t. XLIII. p. 387—389.

[3]) Notes sur la sensibilité de l'organe de l'ouie. (Ann. de chim. et de phys. XLIV. (1830.) p. 337—352.) Über die Empfindlichkeit des Gehörorganes. (Pogg. Ann. XX. p. 290—303; cfr. Fechner, Repert. der Physik. I. p. 251—253, p. 335—339.)

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Amplitude der Schwingungen aufserordentlich klein, mithin die Intensität des erzeugten Tones sehr gering war. Dieser Umstand veranlafste nun Savart, zu diesem Zwecke rotierende Zahnräder zu verwenden, deren Zähne gegen ein Kartenblatt oder ein keilförmig zugeschnittenes Blättchen von leichtem Holze schlugen, weil man auf diese Weise einesteils die Schärfe der gegen die umgebende Luft ausgeübten Stöfse nach Belieben erhöhen, anderenteils aber auch die Zahl der Schläge resp. die Schwingungszahl des Tones mit grofser Genauigkeit bestimmen konnte. Die Tonhöhe änderte sich, wie sich Savart überzeugte, proportional der Rotationsgeschwindigkeit des Rades, und die Zahl der hierbei erfolgenden Schläge war gleich der Anzahl der Doppelschwingungen einer im Einklang mittönenden Saite. Je gröfser der Durchmesser des Rades bei gleicher Anzahl von Zähnen gewählt wurde, desto gröfser war die Intensität des erzeugten Tones. Savart[1]) stellte seine Versuche mit 3 aus Messing gefertigten Zahnrädern an: das erste hatte bei 24 cm Durchmesser 360 Zähne, das zweite bei 48 cm Durchmesser 400 Zähne, das dritte bei 82 cm Durchmesser 720 Zähne. Die mit dem ersten Zahnrade erzeugten Töne waren sehr rein, sobald ihre Schwingungszahl unter 4000 blieb; aber über diese Grenze hinaus wurde der Ton schwach und verlor bedeutend an Reinheit. Bei Versuchen mit dem zweiten Rade wurden reine Töne bis zu 10 000 Schlägen in der Sekunde hervorgebracht; beim Überschreiten dieser Grenze verlor der Ton erheblich an Stärke, und bei 12 000 bis 18 000 Schlägen in der Sekunde wurde der Ton nicht mehr wahrgenommen. Die Versuche mit dem dritten Zahnrade lieferten wahrnehmbare Töne, selbst wenn ihre Schwingungszahl auf 24 000 stieg. Savart machte dazu folgende Bemerkung: „Obgleich die Stärke des Tones, die bei 12 000 bis 15 000 Schlägen in der Sekunde sehr grofs war, alsdann anfing bedeutend abzunehmen, so kann ich doch nicht sagen, bei welchem Punkte der Ton vollständig unwahrnehmbar geworden wäre, weil das Rad, mittelst dessen ich das gezähnte Rad in Bewegung setzte, nicht grofs genug war, um die Umdrehungsgeschwindigkeit noch mehr zu erhöhen.“ Da von einer weiteren Fortsetzung der Versuche nach der eigenen Angabe von Savart wegen der Kostspieligkeit der dazu erforderlichen Zahnräder Abstand genommen werden mufste, so ist eine vollständig befriedigende Lösung des Problems nach dieser Seite hin von Savart nicht gegeben worden[2]).

Gelegentlich der eben erwähnten Versuche bot der durch Zahnräder erzeugte Ton ein bequemes Mittel dar, die Zahl der Umläufe des dritten Rades zu ermitteln. So lange die Geschwindigkeit dieses Zahnrades noch keine übermäfsig grofse war, konnte Savart mit Hülfe eines an der Achse angebrachten Zählwerkes, wie es schon Cagniard de la Tour benutzt hatte, die Zahl der Umläufe, und folglich auch die Schwingungszahl des erzeugten Tones bequem ermitteln. Bei grofser Umdrehungsgeschwindigkeit gestattete aber dieses Mittel keine leichte Anwendung mehr, und Savart zog es deshalb vor, die Zahl der Umläufe durch den Ton eines zweiten Zahnrades zu bestimmen, welches einen erheblich kleineren Durchmesser befafs und eine dreifsig- bis vierzigmal kleinere Anzahl von Zähnen, als das grofse Rad, auf seiner Peripherie trug. Da der Ton

---

[1]) Die nähere Anordnung der Versuche hat Savart nicht beschrieben; wie sie meistens angestellt werden, zeigt eine Abbildung und nähere Beschreibung in Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik und Meteorologie; 8. Aufl. Bd. I. p. 466—467.

[2]) Über den weiteren Verlauf der auf diese Frage bezüglichen Untersuchungen von Despretz, Preyer und Appunn vergl. man die Schrift von W. Preyer, „Über die Grenzen der Tonwahrnehmung“. (Jena, 1876). II. Die höchsten Töne. p. 18—25.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

dieses zweiten Rades viel tiefer war, so konnte ihn Savart leicht mit dem Monochord in Einklang bringen und die Zahl der erzeugten Schwingungen berechnen, aus der sich dann leicht die Zahl der Umläufe des Rades ergab.

Um die Resultate seiner Untersuchungen als ganz einwandsfrei hinzustellen, mufste sich Savart darüber vergewissern, ob das Kartenblatt oder das elastische Plättchen, gegen welches die Zähne schlugen, nicht an sich in schwingende Bewegung geriete, und hierbei etwa eine gewisse Anzahl von Zähnen periodisch überschlüge. Savart ist diesem Einwande auf doppelte Weise zuvorgekommen, und hat dadurch gleichzeitig zur Konstruktion zweier neuer Sirenenformen Veranlassung gegeben.

Erstens brachte Savart auf einer gemeinschaftlichen Achse vier Zahnräder von gleichem Durchmesser und von gleicher Dicke an, mit 200 resp. 250, 300 und 400 Zähnen, Zahlen, welche sich wie die Schwingungszahlen des Durakkordes verhielten. Wurde nun die Achse mit gleichförmiger Geschwindigkeit umgedreht, während das elastische Plättchen von den Zähnen aller vier Räder gleichzeitig getroffen wurde, so hörte Savart den Durakkord in vollständiger Reinheit. Daraus folgte, dafs der dünne Körper, gegen welchen die Zähne der vier Räder schlugen, keinen derselben übersprang. Statt der eben angegebenen Räder könnte man aber eben so gut andere gezähnte Räder setzen, wenn nur die Zahlen ihrer Zähne sich wie die entsprechenden Schwingungszahlen mehrerer Töne der Tonleiter verhalten. Auf diese Weise ist Savart der Erfinder der ersten vielstimmigen Radsirene geworden. Wie einfach dieses Prinzip auch erscheint, so ist es späterhin doch für die weitere Entwickelung der Sirenen von grofser Bedeutung geworden, als es von deutschen Physikern auf die Lochsirene übertragen wurde.

Das zweite Verfahren war noch einfacher: es bestand darin, dafs ein Luftstrom durch ein dünnes Röhrchen senkrecht gegen die Zähne des rotierenden Zahnrades geblasen wurde. So oft eine Lücke vor der Mündung des Röhrchens vorbeiging, erfolgte ein Luftstofs, wie bei der Lochsirene, der sofort durch den Vorbeigang des nächsten Zahnes unterbrochen wurde. Der durch diese Luftstöfse erzeugte Ton mufste gleiche Höhe mit demjenigen haben, welcher durch das Anschlagen der Zähne gegen das elastische Plättchen entstand, wenn dieses von keinem Zahne des rotierenden Rades übersprungen wurde. Als nun beide Methoden der Tonerzeugung gleichzeitig angewendet wurden, fand Savart beide Töne von gleicher Höhe, und somit gewann er die sichere Überzeugung, dafs die Resultate der von ihm mit den Zahnrädern angestellten Versuche richtig waren.

Eine eingehende Beschreibung einer nach diesem Prinzipe konstruierten gröfseren Sirene findet sich in dem Physikalischen Wörterbuche von Gehler [1]). Das mit 100 Zähnen versehene Messingrad ist um eine vertikale Achse drehbar; die Versuche werden dahin abgeändert, dafs nicht blofs ein Luftstrom, sondern auch ein beliebiger Flüssigkeitsstrom senkrecht zur Ebene des Rades gegen die Zähne getrieben werden kann. Eine besondere mechanische Vorrichtung zur Umdrehung der Scheibe kann dadurch entbehrlich gemacht werden, dafs die Öffnungen zwischen den Zähnen des Rades schräg geschnitten sind, so dafs die Ebenen ihrer begrenzenden Flächen ungefähr einen Winkel von 30° mit der Achse der Scheibe bilden; es dreht dann der Flüssigkeitsstrom mit einer seiner Stärke proportionalen Geschwindigkeit das Zahnrad herum. Für eventuelle quantitative Bestimmungen dient ein Zähler mit Räderwerk.

---

[1]) Bd. VIII. (Leipzig, 1836.) p. 296—301. Fig. 144, 145.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

In derselben Abhandlung hat Savart noch eine zweite in das Gebiet der physiologischen Akustik gehörige Frage zu beantworten gesucht, nämlich die Frage nach der Anzahl der zur Bildung eines vergleichbaren Tones erforderlichen Stöfse [1]). Gesetzt, ein an seinem Umfange mit 1000 Zähnen besetztes Rad vollende eine Umdrehung in einer Sekunde. Man lasse nun die Zähne gegen ein elastisches Plättchen schlagen, so entsteht ein bestimmter Ton. Nimmt man nun von der einen Hälfte des Umfanges die Zähne fort, so ist es klar, dafs der Ton dadurch nicht geändert wird, weil jetzt in einer der halben Sekunden genau dieselbe Anzahl von Schlägen erfolgt, wie vor der Wegnahme der Zähne; nur wird auf den Ton eine Stille von einer halben Sekunde folgen, wenn der Eindruck auf das Gehörorgan nicht länger dauert als die Thätigkeit der Ursache, welche ihn hervorbrachte. Die Versuche zeigten nun, dafs man nach Beseitigung einer mehr oder weniger beträchtlichen Anzahl von Zähnen im allgemeinen einen unterbrochenen Ton erhält, welcher dieselbe Tonhöhe besitzt, wie wenn alle Zähne vorhanden sind. Um nun zu ermitteln, wie viel Zähne man in dieser Weise fortnehmen könne, ohne dafs der Ton seine wesentlichen Eigenschaften verliere, verfertigte Savart ein Rad, dem man nach Belieben alle Zähne nehmen und wieder einsetzen konnte. Auch konstruierte er zu demselben Zwecke noch einige andere Apparate, die er aber ihrer Unwichtigkeit wegen nicht besonders beschreibt. Savart fand nun, dafs man, wie schnell sich auch das Rad drehte, und wie grofs auch die Zahl der Zähne war, sie doch alle bis auf zwei zunächst nebeneinander stehende fortnehmen konnte, ohne dafs der Ton bis zu dieser Grenze seine Höhe änderte, und dafs es bei einiger Aufmerksamkeit immer möglich war, den Einklang mit ihm auf einem Instrumente herzustellen [2]). Hieraus zog nun Savart folgende Schlüsse:

1) Zur Bildung eines vergleichbaren Tones sind zwei aufeinanderfolgende Stöfse hinreichend. 2) Die zwischen den beiden Schlägen verfliefsende Zeit bedingt den Grad der Höhe des Tones. 3) Die Dauer, welche ein hörbarer Ton haben mufs, hängt einzig und allein von dem Zeitraume ab, der zwischen zwei diesen Ton hervorbringenden periodischen Schlägen liegt; folglich ist der Ton um so höher, je kürzer dieser Zeitraum ist.

G. S. Ohm [3]) hat aber nun gezeigt, dafs auf Grund seiner theoretischen Untersuchungen der von Savart gezogene Schlufs unzulässig ist, weil „der beobachtete Ton sich ganz unabhängig von der Anzahl von aufeinander folgenden Tonwellen, welche das Ohr zur Erfassung seiner Höhe nötig hat, zeigen mufs“. In neuerer Zeit ist dieses von Savart aufgeworfene Problem von Physikern und Physiologen mehrfach untersucht, aber immer noch nicht zu einem ganz festen Abschlufs gebracht worden.

Um die Untersuchungen Savarts auf diesem Gebiete zu vervollständigen, mögen noch sein Speichenrad und seine Stabvorrichtung erwähnt werden, Apparate, die zwar zu den Sirenen nicht mehr gerechnet werden dürfen, die aber mit diesen darin übereinstimmen, dafs durch dieselben diskontinuierliche Lufterschütterungen hervorgebracht werden können, die zur Entstehung von Tönen Veranlassung geben. Savart konstruierte diese Apparate, um die absolute Schwingungszahl

---

[1]) Ann. de chim. et de phys. XLIV. p. 348—352; Pogg. Ann. XX. p. 299—304. (cfr. Fechner, Repert. d. Physik, I. p. 338.)

[2]) Zu derselben Folgerung ist auch Cagniard de la Tour gelegentlich seiner Untersuchungen mit Flugrädchen-Sirenen gelangt. (Soc. Philom. Extraits, 1840. p. 95.)

[3]) Pogg. Ann. LIX. p. 554—555.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

der tiefsten hörbaren Töne zu ermitteln[1]) und auf diese Weise seine Untersuchungen über die Leistungsfähigkeit des menschlichen Ohres zu einem gewissen Abschlusse zu bringen. Zur Erläuterung der Wirkungsweise dieser Vorrichtungen giebt Savart folgende Entwickelung:

Wenn ein Speichenrad gedreht wird, so teilt es der umgebenden Luft eine in demselben Sinne erfolgende Bewegung mit. Nähert man nun, während die Luft sich in dieser Bewegung befindet, dem Rade in der Richtung eines Radius den Rand eines dünnen Brettchens oder Kartenblattes, und zwar so, dafs die Ebene des Plättchens zur Ebene des Rades senkrecht steht, so wird offenbar der Luftstrom beim Vorbeigehen einer Speiche von dem Plättchen momentan unterbrochen, und während der Dauer des Vorübergehens der Speiche die Luft oberhalb des Blättchens verdichtet, unterhalb aber verdünnt werden; sowie aber die Speiche vorbeigegangen ist, wird die verdichtete Luft in den luftverdünnten Raum hineinstürzen. Bei hinreichend grofser Umdrehungsgeschwindigkeit des Rades mufs nun durch diese plötzliche Bewegung der Luft ein ähnliches Geräusch entstehen, als wie es beim Hineinstürzen der Luft in ein verdünnte Luft enthaltendes Gefäfs gehört wird. Da nun dieser Vorgang sich bei jeder Speiche wiederholt, so entsteht eine Folge von kleinen explosionsartigen Geräuschen, die bei genügend schneller Wiederholung einen Ton erzeugen, der eine grofse Intensität erreichen kann, wenn man statt eines Plättchens deren mehrere, z. B. vier, in der angegebenen Weise neben dem Rade in einer und derselben Diametralebene des Rades anbringt. Wurde nun ein mit 8 Speichen versehenes Rad von c. 0, 80 m Durchmesser mit einer solchen Geschwindigkeit gedreht, dafs in der Sekunde 50 bis 100 Schläge erfolgten, so waren die erzeugten Töne aufserordentlich gerundet und stark. Durch Beobachtung fand Savart folgende Gesetze: 1) Die Intensität des Tones wächst sehr rasch mit der Länge der Speichen. 2) Zur Erzeugung sehr scharfer und recht starker Erschütterungen ist es erforderlich, dafs die Kante der Speichen im Augenblicke des Vorbeigehens der Kante des Plättchens parallel sei, und dafs letztere nicht weiter als 1 mm von der Ebene, welche das Rad bei der Drehung beschreibt, entfernt sein darf. 3) Die Intensität der Schläge für eine gegebene Anzahl derselben in bestimmter Zeit wächst um so mehr, je kleiner die Anzahl der Speichen, d. h. je gröfser ihre Umdrehungsgeschwindigkeit ist.

Auf diese Beobachtungsresultate gründete sich der Stabapparat[2]). Durch Umdrehung eines Kurbelrades von 1,40 m Durchmesser, dessen horizontale Achse auf einer festen und schweren Bank von Eichenholz ruht, wird eine kleine Scheibe, deren horizontale Achse in Lagern auch auf der Bank ruht, in Rotation versetzt. Senkrecht zur Achse ist mit der Scheibe eine Eisenstange von 0,83 m Länge, 5,4 cm Breite und 1,4 cm Dicke verbunden. Zu jeder Seite der von der rotierenden Stange beschriebenen Kreisebene und in der Richtung einer ihrer Diametralebenen sind zwei eine Spalte bildende dünne Bretter angebracht, welche auf den oberen Flächen der Bank ruhen und sich der zwischen ihnen hindurchschlagenden Stange mehr oder weniger nähern

---

[1]) Savart, Note sur la limite de la perception des sons graves. (Ann. de chim. et de phys. XLVII. (1831.) p. 69—74.) Über die Grenze der Hörbarkeit tiefer Töne. (Pogg. Ann. XXII. p. 596—605.) (cfr. Fechner, Repert. d. Physik. I. p. 339—341.)

[2]) Abbildung in Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik und Meteorologie, 8. Aufl. Bd. I. p. 470. Wie kostbar übrigens derartige Apparate sind, ersieht man aus dem Catalogue des appareils d'acoustique construits par Rudolph Koenig. (Paris, 1889): Savarts Zahnräderapparat mit Stab und Zählerwerk (Nr. 30) ist mit 1200 Franken angesetzt.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

lassen. Mittelst eines an der Achse der Stange angebrachten Zählers läfst sich die Zahl der Umdrehungen der Stange leicht bestimmen. Weil jeder halben Umdrehung des Rades ein Schlag entspricht, deshalb ist die Zahl der Schläge doppelt so grofs als die Anzahl der Umdrehungen.

Bei den mit diesem Apparate angestellten Versuchen hörte Savart zuerst einen anhaltenden, ungemein tiefen und anfangs sehr schwachen Ton, dem er 8 Stöfse in der Sekunde zuschrieb. Bei schnellerer Aufeinanderfolge der Schläge wurde der Ton aufserordentlich stark, war aber immer durch einen schnarrenden Klang charakterisiert, der von den einzelnen, immer noch wahrnehmbaren Schlägen herrührte. Mehr als 25 bis 30 Umläufe in der Sekunde konnten nicht erzielt werden. Was nun die von Savart für den tiefsten hörbaren Ton gefundene Schwingungszahl anbetrifft, so zog schon Despretz[1]), der die Savartschen Versuche wiederholte, die Richtigkeit dieser Angabe in Zweifel. Und Helmholtz[2]) wies nach, dafs der von Savart angewendete Apparat zu diesem Zwecke ganz unbrauchbar sei, und dafs starke Obertöne für den Grundton angesehen worden seien. Die Frage nach der absoluten Schwingungszahl des tiefsten Tones ist noch nicht endgültig entschieden[3]).

Am Ende meiner Betrachtungen der Leistungen Savarts auf diesem Gebiete angelangt, möchte ich schliefslich noch eines Vorschlages Erwähnung thun, der von diesem Physiker ausgegangen ist, um eine Frage der praktischen Mechanik auf einfache Weise zu lösen[4]). Befestigt man nämlich an der Achse rotierender Maschinenteile ein Zahnrad, gegen dessen Zähne man entweder einen Luftstrom treibt oder ein elastisches Plättchen schlagen läfst, so kann man aus der unveränderlichen Höhe des erzeugten Tones die Zahl der Umdrehungen leicht bestimmen und auf die Gleichförmigkeit der Rotation schliefsen.

Savart war, gleich Cagniard de la Tour, ein Experimentalphysiker ersten Ranges, wie es Fétis in seiner Biographie universelle des musiciens[5]) kurz und treffend ausgesprochen hat. Soweit die Sirenen in Betracht kommen, hat er das Verdienst, die Konstruktion dieser Apparate vervollkommnet und durch seine Arbeiten die Blicke der Physiker überhaupt auf dieselben gelenkt zu haben. Und wenn auch die Ergebnisse seiner Untersuchungen auf dem Gebiete der physiologischen Akustik sich unter der Kritik nachfolgender Forscher nicht als recht stichhaltig erwiesen haben, so haben wenigstens seine Arbeiten selbst den Anstofs zur Kultivierung eines neuen Gebietes der Akustik gegeben.

Hiermit schliefse ich den ersten Teil meiner geschichtlichen Skizze. Im zweiten Teile sollen zunächst die Erfindung und Vervollkommnung der vielstimmigen Lochsirene durch deutsche Physiker, sowie die damit eng zusammenhängenden, theoretischen Arbeiten von G. S. Ohm, die den wichtigsten auf dem ganzen Gebiete der physikalischen Akustik zugezählt werden müssen, besprochen werden, um dann die Entwickelung der Sirenen bis zum Jahre 1890 zu verfolgen, eine Periode, in welcher besonders die Namen von Helmholtz und Koenig glänzend hervortreten.

---

[1]) C. Despretz, Observations sur la limite des sons graves et aigus. (Comptes Rendus. XX. (1845); p. 1214—1220; Pogg. Ann. LXV. p. 440—450; cfr. Dove, Repert. d. Physik. VIII. Akustik. p. 100—102.)

[2]) H. Helmholtz, Die Lehre von den Tonempfindungen. 2. Ausg. p. 266. (Braunschweig, 1865.)

[3]) Weiteres über die einschlägigen Untersuchungen findet man in der Schrift von W. Preyer, Über die Grenzen der Tonwahrnehmung. I. Die tiefsten Töne. p. 1—17. (Jena, 1876.) Ferner: Gretschel u. Wunder, Jahrbuch der Erfindungen XVI. (1880.) p. 105—111.

[4]) Ann. de chim. et de phys. XLIV. p. 352; Pogg. Ann. XX. p. 303.

[5]) Tome VII. p. 409.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

lassen. Mittelst eines an [illegible] lers läfst sich die Zahl der Umdrehungen der Stange le[illegible] ndrehung des Rades ein Schlag entspricht, deshalb ist [illegible] s die Anzahl der Umdrehungen.

Bei den mit dies[illegible] Savart zuerst einen anhaltenden, ungemein tiefen und anf[illegible] öfse in der Sekunde zuschrieb. Bei schnellerer Aufeinan[illegible] ufserordentlich stark, war aber immer durch einen schn[illegible] en einzelnen, immer noch wahrnehmbaren Schlägen herr[illegible] der Sekunde konnten nicht erzielt werden. Was nun [illegible] n Ton gefundene Schwingungszahl anbetrifft, so zog sc[illegible] uche wiederholte, die Richtigkeit dieser Angabe in Zweifel [illegible] von Savart angewendete Apparat zu diesem Zwecke ganz [illegible] ne für den Grundton angesehen worden seien. Die Frag[illegible] s tiefsten Tones ist noch nicht endgültig entschieden[3]).

Am Ende meine[illegible] auf diesem Gebiete angelangt, möchte ich schliefslich n[illegible] der von diesem Physiker ausgegangen ist, um eine F[illegible] he Weise zu lösen[4]). Befestigt man nämlich an der Ach[illegible] l, gegen dessen Zähne man entweder einen Luftstrom t[illegible] gen läfst, so kann man aus der unveränderlichen Höhe d[illegible] ungen leicht bestimmen und auf die Gleichförmigkeit der [illegible]

Savart war, glei[illegible] lphysiker ersten Ranges, wie es Fétis in seiner Biographie [illegible] effend ausgesprochen hat. Soweit die Sirenen in Betracht [illegible] truktion dieser Apparate vervollkommnet und durch sei[illegible] rhaupt auf dieselben gelenkt zu haben. Und wenn auch [illegible] dem Gebiete der physiologischen Akustik sich unter der [illegible] recht stichhaltig erwiesen haben, so haben wenigstens sei[illegible] vierung eines neuen Gebietes der Akustik gegeben.

Hiermit schliefse[illegible] ichen Skizze. Im zweiten Teile sollen zunächst die Erfin[illegible] nigen Lochsirene durch deutsche Physiker, sowie die dam[illegible] n Arbeiten von G. S. Ohm, die den wichtigsten auf den[illegible] ustik zugezählt werden müssen, besprochen werden, um [illegible] zum Jahre 1890 zu verfolgen, eine Periode, in welcher [illegible] d Koenig glänzend hervortreten.

---

[1]) C. Despretz, Ob[illegible] igus. (Comptes Rendus. XX. (1845); p. 1214—1220; Pogg. Ann. [illegible] ik. VIII. Akustik. p. 100—102.)

[2]) H. Helmholtz, D[illegible] p. 266. (Braunschweig, 1865.)

[3]) Weiteres über [illegible] der Schrift von W. Preyer, Über die Grenzen der Tonwahrnehmu[illegible] 1876.) Ferner: Gretschel u. Wunder, Jahrbuch der Erfindungen X[illegible]

[4]) Ann. de chim. e[illegible] 303.

[5]) Tome VII. p. 40[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