

Ciba Zeitschrift

Basel, Oktober 1946

9. Jahrgang

Nummer 103

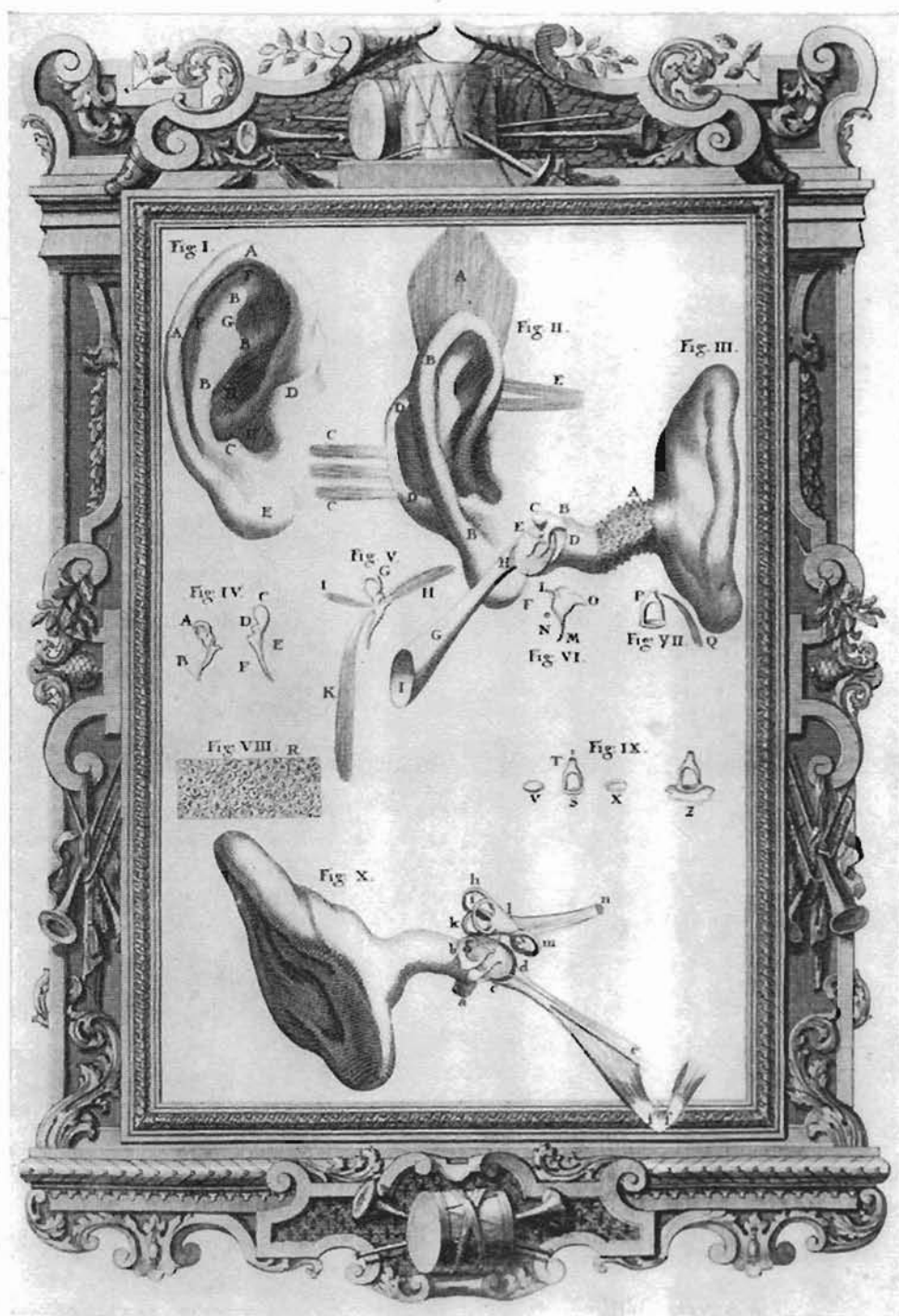


Illustration zu Psalm 94, Vers 9: «Der das Ohr gepflanzt hat, sollte der nicht hören?» aus Bd. III der berühmten Kupfer-Bibel «Physica sacra» von Johann Jacob Scheuchzer (1672-1733), Stadtarzt in Zürich. Erschienen Augsburg und Ulm 1733. Gestochen von Johann Andreas Pfeffel (1674-1748).

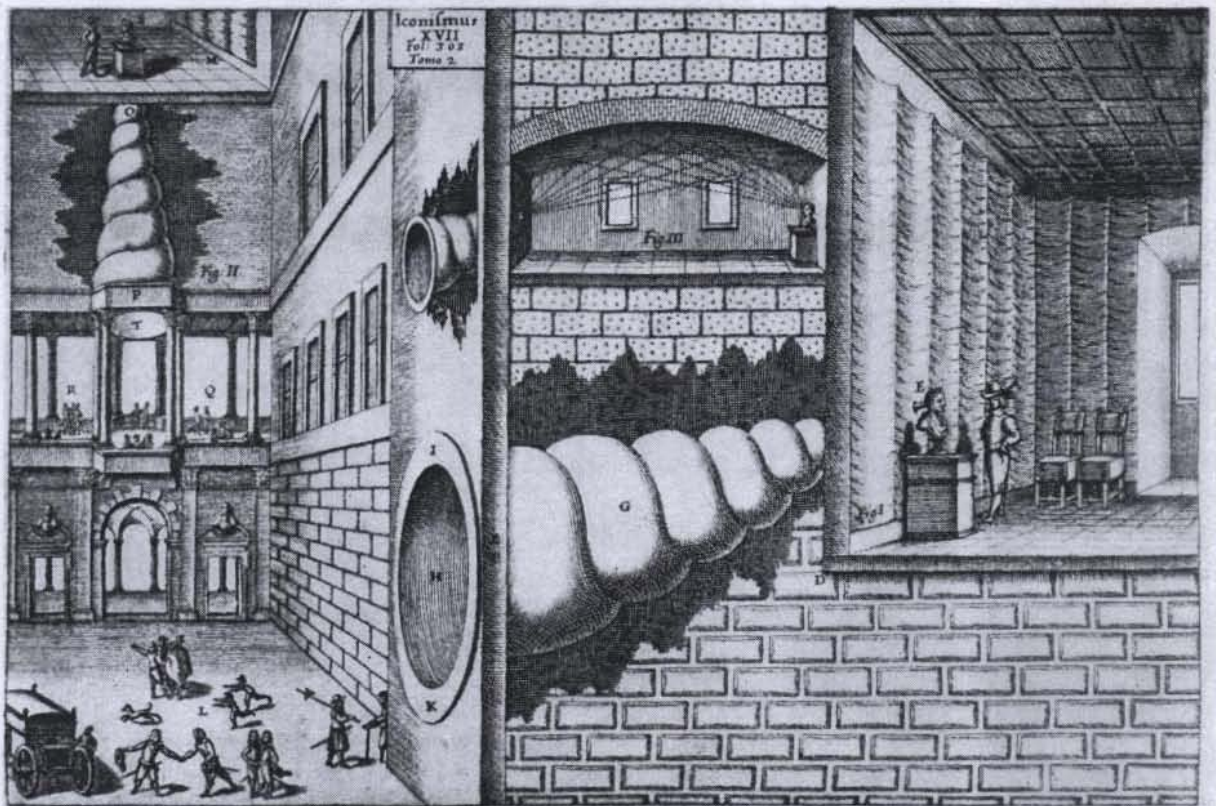
Gehör
und
Hören

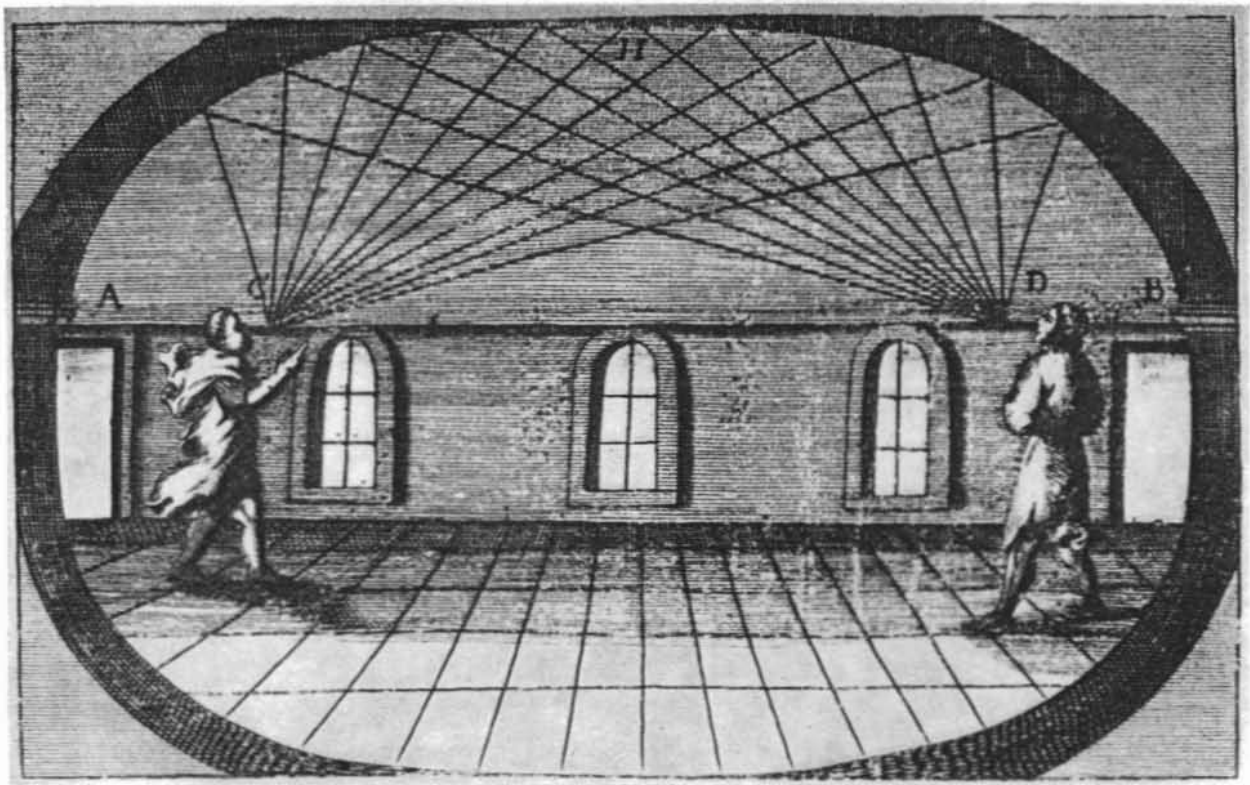
Gleich den Naturvölkern deuteten auch die meisten Völker der Antike die Erscheinungen der Außenwelt auf Grund einer magischen Naturauffassung, oder sie werteten sie rein empirisch aus und beschrieben sie ohne wissenschaftliche Absicht. Nur die Griechen, die spekulativen Betrachtungen im allgemeinen sehr zugeneigt waren, ordneten auch die Sinneswahrnehmungen naturphilosophischen Systemen ein und wurden so zu den Begründern der «physikalischen» Wissenschaft.

Eine ausführliche Theorie des Schalles, die in mancher Beziehung schon an moderne Auffassungen erinnert, gab Plato (427–347 v. Chr.) in seinem naturphilosophischen Dialog «Timaios» (hier zitiert nach der Übersetzung von Otto Kiefer, Jena 1920). Nach Plato gehören die Sinneswahrnehmungen zu den «Hilfsursachen, die der Gott als mitwirkende Kräfte verwandte, um allen Dingen die Gestalt der möglichsten Vollkommenheit zu verleihen». Wie eine Vorahnung der späteren «Resonanz-

theorie» (s. S. 3754) mutet es an, wenn Plato von der Harmonie aussagt, daß sie mit den Bewegungen unserer eigenen Seele verwandte Schwingungen habe. Schall ist für ihn eine «von der Luft ausgehende Schwingung, die sich von den Ohren durch das Gehirn und das Blut bis zur Seele fortsetzt, Gehör aber ist die dadurch erregte Bewegung, die vom Kopf beginnt und in der Gegend der Leber aufhört. Die schnelle Schwingung erzeugt einen hohen, die langsamere einen tieferen Ton, die gleichmäßige einen gleichförmigen und sanften, die unregelmäßige einen rauhen, die heftige einen starken, die schwache einen leisen Ton». Treten verschiedene Schwingungen gleichzeitig auf, so kann, wenn die erzeugten niedereren und höheren Töne zueinander passen, ein einheitlicher Eindruck entstehen, der «dem Unverständigen eine Lust, dem Verständigen aber eine reine Freude durch die Nachahmung der göttlichen Harmonie in den vergänglichen Bewegungen» bereitet. Platos Betrachtungen

Phantastischer Vorschlag zur Weiterleitung des Schalles. Durch große Rohre werden der Lärm und die Geräusche auf einem Marktplatz und in einer Wandelhalle so geleitet, daß sie aus dem Munde von Statuen vernommen werden können. In dem Raum Mitte oben soll außerdem noch eine besondere Wirkung durch Reflexion des Schalles erzielt werden. Aus Athanasius Kircher (1601–1680) «Musurgia universalis sive ars magna consoni et dissoni». Rom 1650.





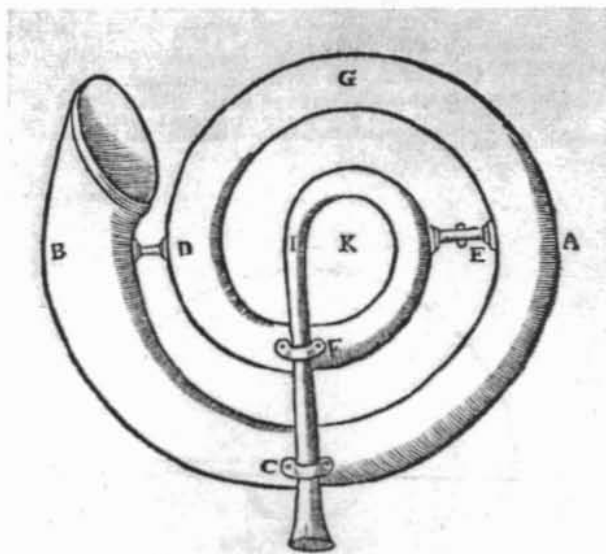
Reflexion des Schalles in einem elliptischen Gewölbe. Nach einem Stich in der 1684 unter dem Titel «Neue Hall- und Thonkunst etc.» in Nördlingen erschienenen deutschen Ausgabe von A. Kirchers «Phonurgia nova».

über die Harmonik, die er auch in anderen Dialogen häufig anstellt, gehen wahrscheinlich auf die Zahlenspekulationen der Pythagoräer zurück, die sich auch eingehend mit dem Studium der schwingenden Saite befaßt hatten. Eine klare Vorstellung vom Wesen des Schalls als Bewegung von Materie, vor allem der Luft, scheint aber erst Platos Schüler Aristoteles (384–322 v. Chr.) gehabt zu haben. In dem ihm wahrscheinlich zu Unrecht zugeschriebenen, jedoch seine Ansichten wiedergebenden Werk «Probleme» (XI, 23) wird die Schallreflexion schon richtig beschrieben; ferner werden dort Experimente erwähnt, aus denen hervorgehen soll, daß eine Verdoppelung der Pfeifenlänge auch die Schwingungsdauer der darin eingeschlossenen Luft verdoppelt und so bewirkt, daß ein tieferer Ton erzeugt werden könne. Die Annahme des Aristoteles, daß auf Grund des in der Natur durchwegs waltenden Gesetzes der Analogie bewegte Luft nur wieder von Luft aufgenommen werden könne, führte zu dem verhängnisvollen Gedanken des «aer innatus», der die Erforschung des Gehörs auf Jahrtausende hinaus hemmte (s. S. 3744).

In der Antike und im Mittelalter versuchten vor allem Musiker die Probleme des Schalles zu lösen; ihre Untersuchungen gal-

ten besonders der Natur der Töne und der Intervalle, mit dem Ziel, die gewonnenen Erkenntnisse auf die Tonkunst anzuwenden. Neben ihnen beschäftigten sich meistens Mathematiker mit akustischen Fragen; ihr Interesse war aber hauptsächlich auf die Berechnungen gerichtet, die für den Bau der verschiedenen Musikinstrumente notwendig waren. Auf diesem Gebiete wurden zum Teil erstaunliche Fortschritte erzielt; so konnte z. B. schon 1544 der deutsche Mathematiker Michael Stifel (1487–1567) in seiner «Arithmetica integra» vorschlagen, an Stelle der «reinen» eine «temperierte» Stimmung einzuführen, die sich, wenn sie von den Musikern angenommen worden wäre, in der Praxis als höchst nützlich erwiesen hätte. Im allgemeinen war aber die Zeit bis etwa 1600 für die Schallerforschung sehr unfruchtbar. Auch für dieses Gebiet gilt der oft zitierte Ausspruch, daß in der Geschichte der Physik das Altertum bis zum Jahre 1600 reiche.

Der Beginn der «physikalischen Neuzeit», und der modernen Naturforschung überhaupt, wird meistens mit dem Wirken des englischen Philosophen und Staatsmanns Francis Bacon von Verulam (1561–1626) angesetzt. Bacon stellte die Forderung auf, alle Naturerkenntnis sei durch Experimente zu gewinnen oder



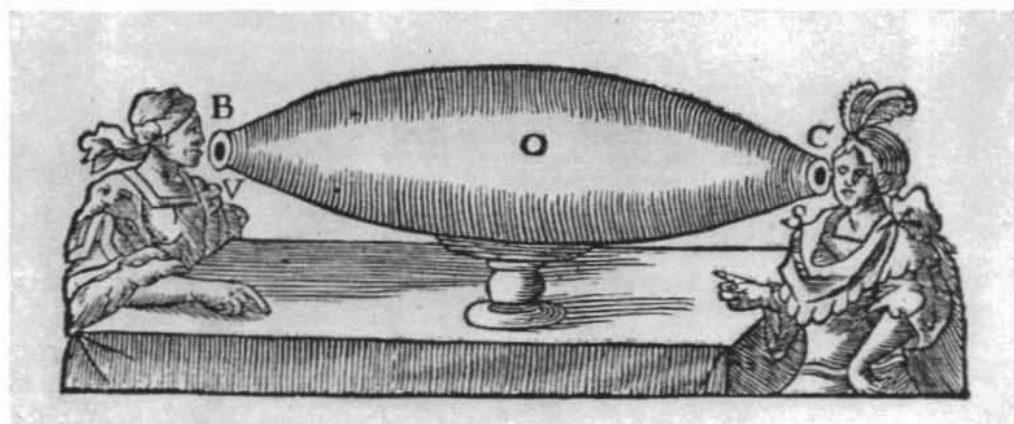
Vorlage zur Konstruktion schneckenförmig gekrümmter Metallrohre, die den Schall besonders gut verstärken. Nach dem Werke «Neue Hall- und Thonkunst etc.» von Athanasius Kircher. Nördlingen 1684.

zu erhärten. Für die Schallerforschung wurde er durch zwei Anregungen bedeutsam: In seiner 1605 erschienenen Schrift «*Advancement of learning*» wies er ganz allgemein darauf hin, wie ähnlich sich Licht und Schall fortpflanzen, und betonte die Notwendigkeit von Parallelversuchen. Genauere Anleitungen zur Messung der Schallgeschwindigkeit enthielt seine 1665 posthum erschienene Schrift «*Sylva sylvarum*», in der er vorschlug, die Messung über möglichst lange Distanzen vorzunehmen und als Schallquelle eine Kanone zu verwenden.

Die Art der Fortpflanzung des Schalls und seine wahre Natur bildeten auch weiterhin die Hauptprobleme der allgemeinen Schallerforschung, zu denen noch die besonderen Aufgaben traten, die die aufblühende Tonkunst der Wissenschaft stellte. Vorwiegend mit der Fortpflanzung des Schalles befaßte

sich das umfangreiche Werk «*Phonurgia nova*» (lateinisch 1673, deutsch 1684) des vielseitigen Jesuitenpaters Athanasius Kircher (1601–1680), das als die erste sich – abgesehen von den letzten Kapiteln – ausschließlich mit der Akustik beschäftigende Abhandlung der neueren Zeit anzusehen ist. Kircher bespricht darin zunächst gründlich die Reflexionsgesetze und die durch sie bestimmten Echowirkungen, wobei er bezeichnenderweise von der Annahme ausgeht, der Schall sei eine «Nachahmung des Lichtes». Seiner etwas grillenhaften Wesensart und auch dem barocken Geist seiner Zeit entsprechend, behandelt Kircher dann ausführlich alle möglichen Bauwerke, in denen merkwürdige Schallwirkungen zustandekommen können. Praktisch bedeutsamer ist, was er ausführt über die Verstärkung des Schalles durch zweckmäßig geformte Rohre. Er wird wegen seiner Darlegungen, die er durch zahlreiche Abbildungen erläutert, allgemein als Erfinder des Hörrohres angesehen. Das Prinzip des Sprachrohres war indes schon den alten Griechen bekannt, die es bei den Masken für die Schauspieler anwandten. Im Schlußteil seines Werkes behandelt Kircher vor allem die Heilwirkungen der Musik (z. B. beim Biß der Tarantel), wobei er neben sachlichen Ausführungen phantastische Berichte über allerlei Wunderheilungen wiedergibt, die durch die Macht der Töne bewirkt worden seien.

Eine in ihrer Universalität und in ihrem Denken ähnliche Persönlichkeit wie Kircher, ihn aber an wissenschaftlicher Exaktheit weit übertreffend, war der französische Mönch Marin Mersenne (1588–1648), der die Obertöne entdeckte, über die er in seinem Hauptwerk «*Harmonicorum libri XII*» (Paris 1627 bis 1637) berichtete. Mersenne stellte fest, daß in vielen Tönen nicht nur der Grundton ent-



Eine der zahlreichen von A. Kircher vorgeschlagenen Hörrohr-Arten für Schwerhörige. Das Rohr hat die Form eines abgestumpften Ellipsoides. Aus A. Kircher «*Neue Hall- und Thonkunst etc.*». Nördlingen 1684.

HARMONIE VNIVERSELLE



Orpheus unter allerlei wilden Tieren, die seinem Spiele lauschen. Nach dem Titelkupfer zur französischen Ausgabe von Marin Mersennes (1588–1648) «Harmonicorum libri XII». Cramoisy 1636.

halten ist, der die Tonhöhe bestimmt, sondern auch eine Reihe weiterer, höherer Töne, die Obertöne, deren Schwingungszahlen zu der des Grundtons in einfachen Proportionen stehen. Zahl und Lage der deutlich wahrnehmbaren Obertöne hängen von der Art des verwendeten Musikinstrumentes ab und bestimmen seine Klangfarbe. Mersenne, der hauptsächlich mit Saiten experimentierte, konnte zunächst nur zwei Obertöne wahrnehmen. Mit Mersennes Entdeckung war die Grundlage der musikalischen Akustik geschaffen und der Weg zu neuen Entdeckungen gewiesen. Auch die Wellenform der Schallfortpflanzung hätte ohne die Kenntnis der Obertöne wahrscheinlich nicht in so vollkommener Weise aufgeklärt werden können.

Ein Zeitgenosse Mersennes und wie er geistlichen Standes war der Philosoph und Mathematiker Pierre Gassendi (1592–1655), vor allem berühmt als «libertinistischer» Bekämpfer der scholastischen Lehren. Für die Akustik wurde er durch seine Untersuchungen über die Ausbreitung des Schalles bedeutsam. Er konnte zeigen, daß diese entgegen

der Behauptung, die Aristoteles aufgestellt hatte, von der Art der Schallquelle und von der Tonhöhe unabhängig ist. Ferner gelangen ihm die ersten genaueren Bestimmungen der Schallgeschwindigkeit.

Mit der Schallgeschwindigkeit befaßte sich auch Isaac Newton (1643–1727) in seinem Hauptwerk «Naturalis philosophiae principia mathematica» (1687, 2. Buch). Er verglich darin die Ausbreitung des Schalles mit dem freien Fall fester Körper und berechnete die Schallgeschwindigkeit unter Berücksichtigung der Dichte des den Schall leitenden Mediums. Der von ihm auf diese Art errechnete Wert war aber erheblich niedriger als der durch das Experiment gefundene; um Theorie und Praxis in Einklang zu bringen, mußte er verschiedene gewagte Hypothesen aufstellen.

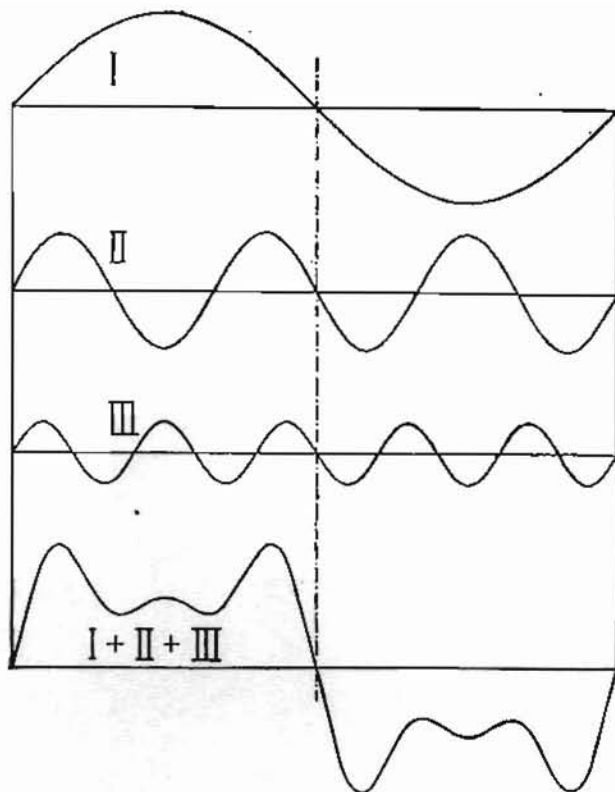
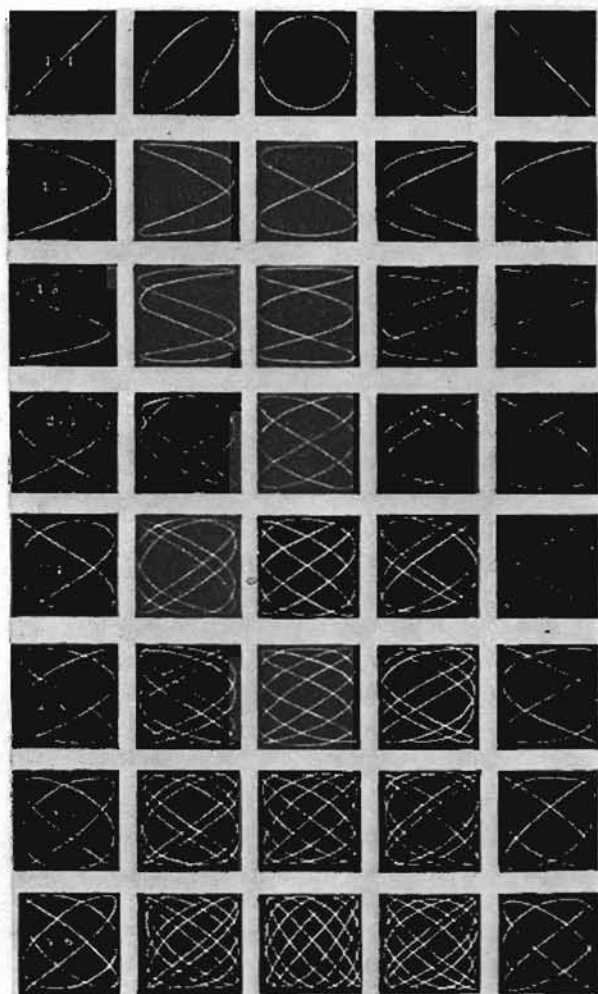
Während Newton sich die Ausbreitung des Schalles als einen Stoß (pulsus) dachte, der im Medium, je nach dessen Elastizität, schneller oder langsamer, von Teilchen zu Teilchen weitergegeben wird, erkannte der holländische Mathematiker und Naturforscher Christian Huygens (1629–1695) die Wellennatur des Schalles. In der Vorrede zu seiner Lichtlehre (Traité de la Lumière, 1690) beschreibt Huygens die Ausbreitung des Lichtes und die des Schalles als eine wellenförmig fortschreitende Verdünnung oder Verdichtung des Mediums, wobei für das Licht der unwägbare Äther, für den Schall die wägbare Materie als Medium dienen. In der Gleichsetzung der Vorgänge bei der Ausbreitung von Licht und von Schall ging Huygens so weit, anzunehmen, bei beiden schwinde das Medium in der Fortpflanzungsrichtung (Longitudinalschwingungen), während dies nur beim Schall der Fall ist, wogegen die Lichtschwingungen senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung (Transversalschwingungen) erfolgen.

Mit dem weiteren Ausbau der Huygensschen Wellenlehre konnten allmählich die wichtigsten Schallerscheinungen theoretisch geklärt und mathematisch dargestellt werden. Vollendet und experimentell ausreichend gestützt wurde die Wellenlehre aber erst durch die Arbeiten, die der deutsche Anatom und Physiologe Ernst Heinrich Weber (1795 bis 1878), in Gemeinschaft mit seinem Bruder, dem berühmten Physiker Wilhelm Weber (1804–1891), veröffentlichte. Weber, der auch die Physiologie des Gehörs um einige wichtige Erkenntnisse bereicherte, machte als erster die Obertöne (die er «Flageolettöne»

nannte) gut hörbar und erkannte die Rolle, die sie beim Zustandekommen der Klangfarbe spielen. Auch die Interferenz von Wellen (Zusammenwirken von Wellen verschiedener Frequenz), die von dem englischen Physiker Thomas Young (1773–1829) im Jahre 1800 entdeckt worden war, wurde von den Brüdern Weber 25 Jahre später sinngemäß auf die Schallwellen angewendet.

Eine der merkwürdigsten Persönlichkeiten unter den Erforschern des Schalls war der französische Mathematiker Joseph Sauveur (1653–1716), der auch den zum erstenmal 1693 von Samuel Reyher geprägten Namen «Akustik» allgemein bekannt machte. Obwohl er von Geburt an taub war und bis zum siebenten Jahr stumm gewesen sein soll, bereicherte er die Schallehre um wichtige neue Erkennt-

Sogenannte «Lissajous-Figuren», die sich ergeben, wenn die gleichzeitigen Schwingungen zweier Stimmgabeln auf eine dunkle Wand projiziert werden. Die hier dargestellten Schwingungen stehen (von der obersten zur untersten Reihe der Tafel) in den folgenden konsonanten Verhältnissen: 1:1, 1:2, 1:3, 2:3, 3:4, 3:5, 4:5 und 5:6. Nach einer Abbildung aus John Tyndall (1820–1893) «On sound». 1867.



Zusammenwirken dreier einfacher Töne, deren Schwingungszahlen sich verhalten wie 1:3:5. Die unterste Kurve bedeutet den Summationston und entsteht durch Addition der Ordinaten der drei Einzeltöne über der gleichen Abszisse. Nach einer graphischen Darstellung aus H. Hörig «Radioakustik». Berlin 1926.

nisse. Er bediente sich bei seinen Experimenten der Hilfe befreundeter Musiker. Sauveur war vor allem der erste, der die unbekannte Schwingungszahl eines Tones aus derjenigen eines bekannten Tones und der Zahl der Schwebungen bestimmen lehrte, die beide Töne zusammenklingend hervorbringen. Die von Sauveur benützte Methode der Tonhöhenbestimmung mittels Schwebungen wurde später von dem französischen Physiker Charles Cagniard de la Tour (1777–1859) vereinfacht. Er erfand die «Sirene», die im wesentlichen aus einer rasch rotierenden Metallscheibe besteht. Sie ist mit Reihen von Löchern versehen, durch die Luft geblasen wird. Sie ermöglicht es, aus der Zahl der Löcher und der Umdrehungen pro Sekunde die Höhe des Sirenentones absolut zu bestimmen (s. Abb. S. 3739).

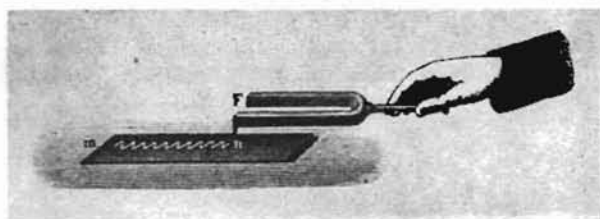
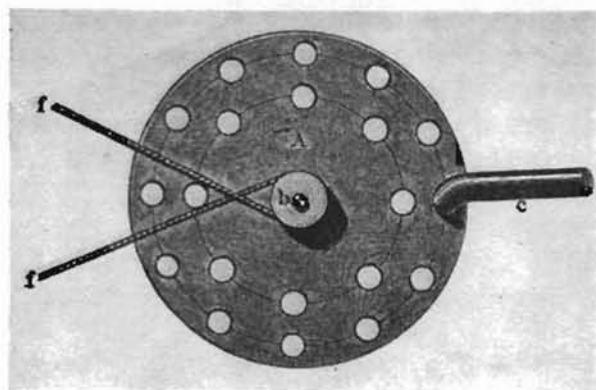
Bald bemühte man sich auch, die Schwingungen der Tonquelle unmittelbar sichtbar zu machen. Am einfachsten war das Verfahren, wenn man Stimmgabeln als Tonquellen benützte, denn diese ergeben die reinsten, bei richtiger Erregung auch von Obertönen freien Töne. Hier genügte es, an einer Zinke der

Gabel eine zarte Metallspitze als Schreibstift zu befestigen; zog man während des Er-tönen der Gabel eine mit Ruß geschwärzte Glasplatte unter dem Schreibstift durch, so zeichnete dieser auf ihr die Schwingungen der Gabel in Form einer einfachen Sinuskurve ein. Auf einem ähnlichen Prinzip beruhen die nach einem bestimmten optischen Verfahren hergestellten «Lissajous-Figuren» (nach dem französischen Physiker Jules Antoine Lissajous, 1822–1880, benannt), aus deren Gestalt jede Schwingungsform rekonstruiert werden kann; diese Figuren werden in der modernen akustischen Meßtechnik sehr häufig benützt.

Die auch für die physiologischen Hörtheorien so wichtige Erscheinung der Resonanz, des Mittönens von Körpern, die mit der erregten Schallquelle gleichgestimmt sind, war zwar schon im Altertum bekannt, wissenschaftlich dargestellt wurde sie aber erst im Jahre 1802 von dem deutschen Physiker E. F. F. Chladni (1756–1827) in seiner «Akustik»; ihre vollständige Aufklärung gelang den Brüdern Weber. Chladni's Name ist auch durch die nach ihm benannten «Klangfiguren» bekannt geworden. Sie bilden sich auf mit Sand bestreuten Glasplatten, wenn diese mit einem Geigenbogen angestrichen werden, und geben die Schwingungsform der Platten wieder.

Das Phänomen der Resonanz ist bekanntlich für die akustische Praxis von allergrößter Bedeutung; der Bau von Musikinstrumenten, Sprechapparaten, Konzert- und Versammlungssälen berücksichtigt möglichst die Resonanzerscheinungen; auch die moderne Elektroakustik, deren praktische Anwendung

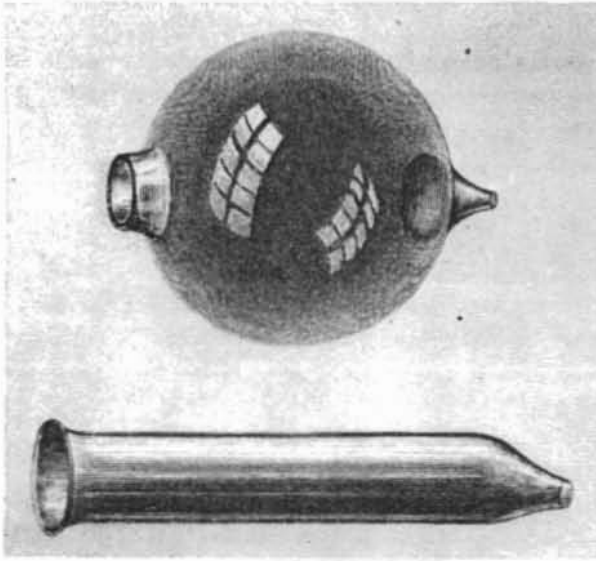
Lochsirene, mit deren Hilfe sich demonstrieren läßt, daß die Höhe eines Tones von der Anzahl seiner Schwingungen abhängig ist. Je nachdem die Scheibe geschwinder oder weniger geschwind umläuft, und je nach der Anzahl der Löcher, die zur Erzeugung von Luftstößen dienen, ändert sich die Höhe des Tones. Nach Hermann von Helmholtz (1821–1894) «Die Lehre von den Tonempfindungen etc.». Braunschweig 1863.



Einfaches Verfahren, um die Schwingungen einer Stimmgabel aufzuzeichnen: Eine Gabel, an deren einer Zinke eine Metallspitze befestigt ist, wird in Schwingung versetzt und gradlinig über einer berußten Glasplatte bewegt. Die Spitze beschreibt im Ruß eine Sinuskurve, die den Schwingungen der Gabel entspricht. Nach einem Holzschnitt aus dem Werke von John Tyndall «On sound».

in der Form des Telephons und des Radios zum Gemeingut aller Kreise der Bevölkerung geworden ist, beruht zum großen Teil auf dem Resonanzprinzip.

Hier soll nur von einer einzigen Anwendung dieses Prinzips ausführlicher die Rede sein, nämlich von der Schallanalyse mittels Resonatoren. Sie ist für die heute verbreitetste Hörtheorie grundlegend geworden. Im 3. Abschnitt der 1. Abteilung seiner «Lehre von den Tonempfindungen» schildert Hermann von Helmholtz (1821–1894) ausführlich die verschiedenen Möglichkeiten, Körper, insbesondere die Luft, in nahezu abgeschlossenen Hohlräumen, Resonatoren genannt, zum Mittönen zu bringen, wenn ihnen von außen Schall zugeleitet wird. Nach Versuchen mit Stimmgabeln, gespannten Membranen u. a. fand Helmholtz, daß die zweckmäßigsten Resonatoren für seine Versuche Hohlräume wie Glaskugeln und Glasröhren waren, deren eine, breitere Öffnung scharf abgeschnittene Ränder aufwies, während die andere in eine trichterförmige Spitze auslief, die in den äußeren Gehörgang eingesetzt werden konnte. Diese mit Luft gefüllten Resonatoren hatten die Eigenschaft, von einem einzigen außen erklingenden Ton zu starkem Mittönen angeregt zu werden, während die Obertöne praktisch überhaupt nicht zur Geltung kamen. Drückt man abgestimmte Reihen solcher Resonatoren an das eine Ohr, während man das andere durch einen Pfropfen verschließt, so gelingt es einem, auch wenn man akustisch ungeübt ist, selbst aus sehr komplizierten Klängen jeweils einen einzelnen darin enthaltenen Ton herauszuhören. Der einzelne, auf diesen Ton abgestimmte Resonator läßt nämlich nur ihn stark erklingen, mag er in dem zu analysierenden Klang auch noch so leise mitschwingen. Die Methode ist derart empfindlich, daß



Resonatoren, die zur Schallanalyse dienen, konstruiert von Hermann von Helmholtz. Nach einem Stich aus Hermann von Helmholtz «Die Lehre von den Tonempfindungen usw.», Braunschweig 1863.

sie erlaubt, sogar in Geräuschen einzelne darin enthaltene reine Töne festzustellen, so z. B. im Rauschen des Windes oder des Wassers, im Geklapper von Rädern usw. Von großer Bedeutung ist diese Methode für die Untersuchung von Sprachlauten; sie ermöglicht z. B. die Zuordnung bestimmter reiner Töne zu den

einzelnen Vokalen. In der Physiologie wurde aber die von Hermann von Helmholtz erfundene Schallanalyse mittels Resonatoren darum wichtig, weil sie die Darstellung der schwer erkennbaren Vorgänge erlaubt, die das Funktionieren des menschlichen Gehörapparates bewirken.

Mit der Betrachtung des wichtigen Beitrages, den Helmholtz zur Entwicklung der Akustik geleistet hat, kann dieser historische Überblick sinngemäß abgeschlossen werden, da die von Helmholtz entwickelte Resonanztheorie auch heute noch als eine der wertvollsten Theorien zur Erklärung des Hörens anzusehen ist. Der auf Helmholtz folgende, gewaltige Aufschwung der wissenschaftlichen Akustik gehört nicht der Geschichte, sondern der Gegenwart an.

Da es möglich wurde, Schallschwingungen in elektrische umzuwandeln, konnten die weitgehend ausgebaute elektrische Meßtechnik und die von ihr benützten Instrumente auch für akustische Untersuchungen verwendet werden. Akustische Größen und Maßeinheiten wurden festgelegt und der Anschluß an das absolute Maßsystem hergestellt. Die Bedürfnisse des Radios und des Tonfilms veranlaßten zahlreiche Experimente.

Spastisch bedingte Schmerzen:

Spasmo-Cibalgin

Analgeticum (Cibalgin)

+ Spasmolyticum (Trasentin)

Dragées, Tropfen

Ampullen, Suppositorien