

Von Pythagoras über Helmholtz bis Békésy – Eine Entdeckungsreise durch die Geschichte der Akustik

Peter Költzsch

*Institut für Akustik und Sprachkommunikation, 01062 Dresden, Deutschland,
Email: Peter.Koeltzsch@ias.et.tu-dresden.desachse.de*

Einleitung

Dieser Vortrag stellt einige Ergebnisse eines Projektes der Deutschen Gesellschaft für Akustik, der DEGA, vor. Das Projekt trägt die Überschrift "Geschichte der Akustik anhand der 'Geschichten' großer Akustiker". Das Projekt soll also nicht direkt die Entwicklung des Fachgebietes Akustik oder einzelner Teilgebiete der Akustik zeigen, sondern soll indirekt alle diese Entwicklungen durch die Mosaiksteine des biographischen, bibliographischen und wissenschaftlich-personengebundenen Materials der "Großen" des Fachgebietes widerspiegeln. Das Projektergebnis weist nicht aus, wie "es" war, sondern wie A und B und M und N waren, die "es" gestaltet haben [1].

Die Zeittafel zur Geschichte der Akustik enthält große Wissenschaftler der Weltgeschichte:

vom Altertum: mit Pythagoras, Aristoteles u. a. m.,

über das Mittelalter und weiter bis etwa Mitte des 19. Jahrhunderts: mit Leonardo da Vinci, Eustachio, über Newton, Euler, bis hin zu Chladni und Lord Rayleigh u. a.

und schließlich bis in die Neuzeit: mit Vincent Strouhal, Webster und Sabine, mit dem Nobelpreisträger Georg von Békésy, mit Erwin Meyer, Heinrich Barkhauswen, Dmitrij Iwanowitsch Blohincev, Michael James Lighthill, Manfred Heckl u. v. a. m.

Die Zeittafel enthält gegenwärtig ca. 350 Personen der „akustischen Weltgeschichte“.

Zeitraum v. Chr.

Aus diesem Zeitraum wird zunächst **PYTHAGORAS von Samos** ausgewählt, der griechische Philosoph und Mathematiker, über dessen Leben es wenig Authentisches gibt (Abb. 1).

Pythagoras, geboren um 570 v. Chr. in Spermos auf der griechischen Insel Samos, ist um 500 v. Chr. in Metapont (Unteritalien) gestorben. Der Geheimbund der Pythagoreer wurde 530 v. Chr. in Kroton gegründet, es war ein ethisch-religiöser, mystischer Bund mit Gütergemeinschaft. Diese Gemeinschaft von etwa sechshundert Männern und Frauen beschäftigten sich mit Dialektik, Rhetorik und Grammatik sowie mit dem Quadrivium: Arithmetik, Geometrie, Astronomie und Musik. Das Zeichen der Pythagoreer war das Pentagramm (Abb. 2), ein regelmäßiger Fünfstern, eines der ältesten magischen Symbole der Kulturgeschichte der Menschheit. Dieses Zeichen stand „für die Suche nach der universalen Wahrheit“. Im Mittelpunkt der pythagoreischen Lehre standen Sprüche, die Akusmata (gehörte Dinge) z. B.

- Nicht ohne Licht reden.
- Zahlen beherrschen die Welt.
- Alles ist Zahl und Harmonie.
- Es ist Geometrie im Summen der Saiten.

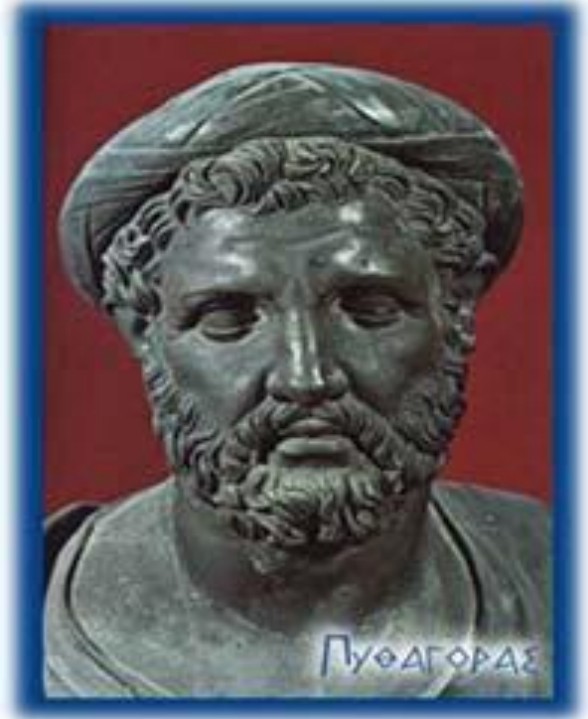


Abb. 1: Pythagoras von Samos

[nach D. Foustanela: <http://www.anema.gr/pythagoras.html>]

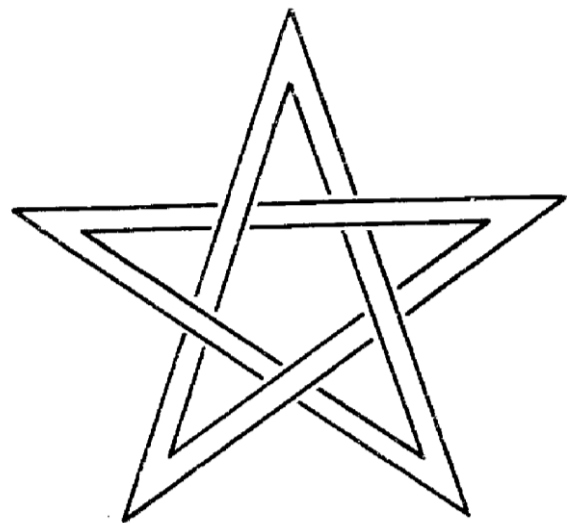


Abb. 2: Pentagramm, Geheimzeichen der Pythagoreer

Pythagoras experimentierte auf dem Monochord. Bei diesem ist über einen quaderförmigen Resonanzkörper eine Saite gespannt. Mit einem beweglichen Steg konnte die Saitenlänge verändert werden. Pythagoras untersuchte die Tonhöhe in Abhängigkeit von der Saitenlänge. Sein Ergebnis: Allen harmonischen Intervallen liegen einfache Zahlenverhältnisse zugrunde.

Die Pythagoreer ermittelten mit ihren akustischen Untersuchungen am Monochord, dass den Tönen Zahlen zugeordnet werden können, dass damit qualitative Unterschiede auf quantitative zurückgeführt werden können. Diesen Befund übertrugen sie auch auf die Ordnung im Kosmos und - in kühner Weise - auch auf die ethische und soziale Ordnung. Und so kam Pythagoras zu dem Schluss: **Alles ist Zahl.** Die Zahl ist das Weltprinzip. Die durch Zahlen regierte Harmonie ist das Ordnungsprinzip für die Dinge in der Welt. Zu Pythagoras und zur Bedeutung der pythagoreischen Denkweise für die moderne Naturwissenschaft sagte Werner Heisenberg: *"Der Gedanke [der sinnstiftenden Kraft mathematischer Strukturen] tritt zum ersten Mal deutlich entgegen in den Lehren der Pythagoreer, und erschließt sich diesem Kreis durch die Entdeckung der mathematischen Bedingtheit der Harmonie. Diese Entdeckung gehört zu den stärksten Impulsen menschlicher Wissenschaft überhaupt..."*

Nach Pythagoras erwähne ich noch kurz zwei Architekten und Bildhauer der Antike, die ins-besondere mit der Akustik griechischer und römischer Theater verbunden sind:

POLYKLEITOS, der Jüngere, der im 4. Jhd. v. Chr. (435 – 360 v. Chr.) wirkte. Er war Architekt und Bildhauer; für die Nachwelt ist er durch die Gestaltung des großen Theaters von Epidauros bekannt geworden.

Marcus VITRUVIUS Pollio, ein römischer Baumeister und Architekt, 1. Jhd. v. Chr. (um 85 bis 22 v. Chr.), erläutert in seinem Werk "de architectura libri decem" ("Zehn Bücher über die Architektur") die antike Baukunst. Das Werk enthält auch Hinweise zur Akustik der Theater und zur Akustik durch Tongefäße. Ich kann hier nicht auf diese „Vasen des Vitruv“ in den antiken Theatern eingehen, ich kann ihnen auch nicht über einen Einsatz solcher akustischer Gefäße für Kriegszwecke berichten. Auch die Akustik der antiken Theater wäre ein gesonderter Vortrag wert, aber schauen wir uns – da wir nun einmal im Zeitraum der Antike sind – wenigstens drei dieser großartigen griechischen – römischen Theater an:

Theater von Pergamon in der Westtürkei (Abb. 3): das steilste Theater der Antike, aus dem 2. Jhd. v. Chr., für 10.000 bis 15.000 Zuschauer, etwa 80 Sitzreihen

Theater von Pamukkale in der Westtürkei (Abb. 4): römisches Theater, erbaut unter Kaiser Severus (146 – 211 nach Chr.), 52 Sitzreihen, ca. 10.000 Zuschauerplätze, Blick auf die Zuschauerränge, Orchestra, Proszenium und Skene (Bühnenhaus), sehr guter Erhaltungszustand.



Abb. 3: Theater von Pergamon



Abb. 4: Theater von Pamukkale



Abb. 5: Theater von Taormina (Sizilien)

Theater von Taormina/Sizilien (Abb. 5): von den Römern überbautes griechisches Theater in Taormina auf Sizilien, aus dem 3./2. Jhd v. Chr., 5.400 Zuschauer. Der Blick in dieses Theater ist ein berühmtes Bild: mit dem Ätna und der Küste des Ionischen Meeres; es wird 1787 durch Goethe in den Briefen "Italienische Reise" beschrieben, aber auch durch Johann Gottfried Seume in "Spaziergang [von Grimma bei Leipzig] nach Syrakus" 1802.

Zeitraum bis zum 17. Jahrhundert

Aus diesem Zeitraum wenden wir uns zunächst kurz dem französischen Naturphilosophen, Mathematiker, Musiktheoretiker und Theologen **Marin MERSENNE (1588 – 1648)** zu. Sein wichtigstes Werk zur Akustik ist das 1636 erschienene Buch "L'Harmonie Universelle", u. a. mit den Kapiteln: Die mathematischen Grundlagen der Harmonie, die Teilungen des Monochords, die Magie von Konsonanz und Dissonanz / Heilmöglichkeiten durch die Musik.

Mersenne erkannte mithilfe von Experimenten auf dem Monochord Proportionalitätsbeziehungen zwischen der Schwingungszahl einer Saite und den Eigenschaften der Saite, die sog. Gesetze von MERSENNE. Er entwickelte damit erstmals in der Akustik geschickte Skalierungsmethoden für Experimente.

Marin Mersenne führte, wohl auch erstmalig, quantitative Messungen zur Schallgeschwindigkeit in Luft durch. In einer ersten Variante hat er die Zeit zwischen dem Mündungsblitz einer Kanone und dem Eintreffen des Schalls gemessen, mithilfe eines Pendels bzw. durch die Zählung der Pulsschläge. Die zweite Variante war eine Echomethode: Mersenne rief die beiden Wörter „Benedicam dominum“ (Sei gepriesen, Herr, mein Gott), die genau 1 Sekunde dauerten, gegen eine Mauer, von der er sich immer weiter entfernte, bis der Ruf ohne Zeitverzögerung, also eine Sekunde später, zurückgeworfen wurde. Aus dieser Zeitspanne, nach der das Echo auftritt, berechnete er mit dem Abstand zur Mauer den Wert für die Schallgeschwindigkeit. Die Abweichung war mit 316 m/s nur etwa 5 % vom tatsächlichen Wert (bei 0°C).

Mersenne ist uns heute vor allem auch durch seine Arbeiten zur Mathematik bekannt, insbesondere zu den Primzahlen (MERSENNE-Primzahlen).

Nunmehr erfahren wir einiges über einen der bedeutendsten Universalgelehrten des 17. Jahrhunderts, über **Athanasius KIRCHER**.



Abb. 6: Athanasius Kircher

[Stadtmuseum Ingolstadt, Orbansaal: Die vier Bassgeigenbilder des Jesuitenkollegs Ingolstadt, darunter das Bild von Athanasius Kircher, gemalt 1725 von Christoph Thomas Schefflers]

Geboren am 2. Mai 1602 in Geisa bei Fulda, trat er 1618 dem Jesuitenorden bei, studierte Philosophie, Logik und Physik in Paderborn und Köln, ab 1625 Theologie in Mainz. 1628 wurde Kircher zum Priester geweiht. Er lehrte ab 1629 als Professor an der Universität in Würzburg Philosophie, Ethik, Mathematik, hebräische Sprachen. 1633 wurde er auf Weisung von Papst Urban VIII. als Professor am Collegium Romanum in Rom für Mathematik, Physik und orientalische Sprachen berufen. 1645 wird Kircher von seinen Lehraufgaben entpflichtet, um sich ganz seinen Studien und Forschungen widmen zu können. Er stirbt am 27. November 1680 in Rom und wird dort beigesetzt.

Kircher war wohl ein echter Universalgelehrter, sein Wahlspruch: „*In uno omnia*“ (In Einem alles). Er betätigte sich als Lehrer, Forscher, Experimentator, Erfinder, Sammler, Schriftsteller und Illustrator auf zahlreichen Wissensgebieten, wie Mathematik, Physik, Chemie, Geographie, Geologie, Astronomie, Biologie, Medizin, Musik, Akustik, Sprachen, Philologie und Geschichte. Trotzdem ist Kircher heute kaum noch bekannt. Die Wissenschaftsgeschichte hat diesen Zeitgenossen von Newton, Boyle, Leibniz und Descartes ausgegrenzt, wegen seiner Versuche, „aus dem Historismus der Bibel und der säkular-wissenschaftlichen Erkenntnistheorie eine vereinheitlichte wissenschaftliche Weltansicht zu gestalten“. Die letzten Jahrzehnte haben beigetragen, den Anteil von A. Kircher zur Wissenschaft seiner Zeit fundierter und fairer zu bewerten. Hier wird - in Bezug auf die wissenschaftlichen Arbeiten von Kircher - nur auf die Akustik Bezug genommen.

Das von Athanasius Kircher verfasste Werk "Musurgia Universalis" (Rom 1650, Schwäbisch Hall 1662) ist ein umfassendes Kompendium des musikalischen Wissens seiner Zeit. Ein bedeutender Teil des Buches gilt der Geschichte der Instrumente, es enthält auch eine Abhandlung zur Anatomie der Stimme und des Gehörs. Das zweite akustische Werk Kirchers „Phonurgia Nova“ (1673) erschien 1684 in deutscher Sprache als "Neue Hall- und Tonkunst“ in Nördlingen. In beiden Werken hat Kircher viele anschauliche Darstellungen zu seinen akustischen Überlegungen und Untersuchungen publiziert, u. a. zur Schallreflexion in Räumen mit elliptischem Deckengewölbe (Abb. 7), zur Schallreflexion an Mauern, zur Erklärung der Schallverstärkung (Abb. 8), zur Schallreflexion in einem gekrümmten Hörrohr, zum Lauschvorgang im "Ohr des Dionysios" in Syrakus sowie in Palästen, zur Wirkungsweise der Schallgefäße des Vitruvius in einem antiken Theater. Athanasius Kircher gilt auch als Erfinder der Äolsharfe (auch als Wind- oder Wetterharfe bezeichnet). Er hat sie in seinem Werk "Musurgia Universalis“ detailliert beschrieben. Die Äolsharfe ist ein harfenartiges Saiteninstrument, dessen Saiten durch den natürlichen Wind zum Klingen gebracht werden. Ihr Name leitet sich von Aeolos, dem griechischen Gott des Windes, her. Das zu den akustischen Arbeiten von Athanasius Kircher.

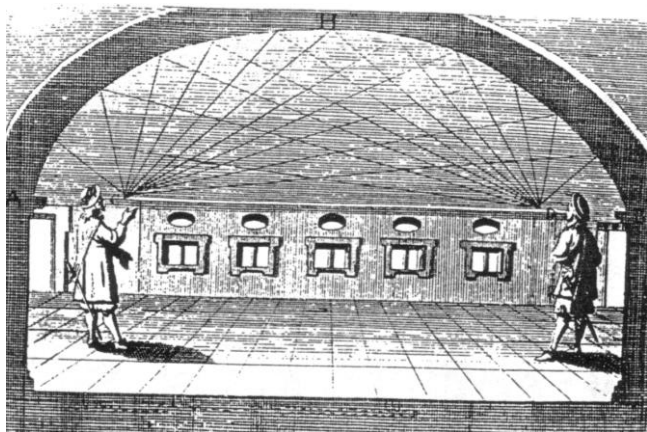


Abb. 7: Flüstergewölbe nach A. Kircher

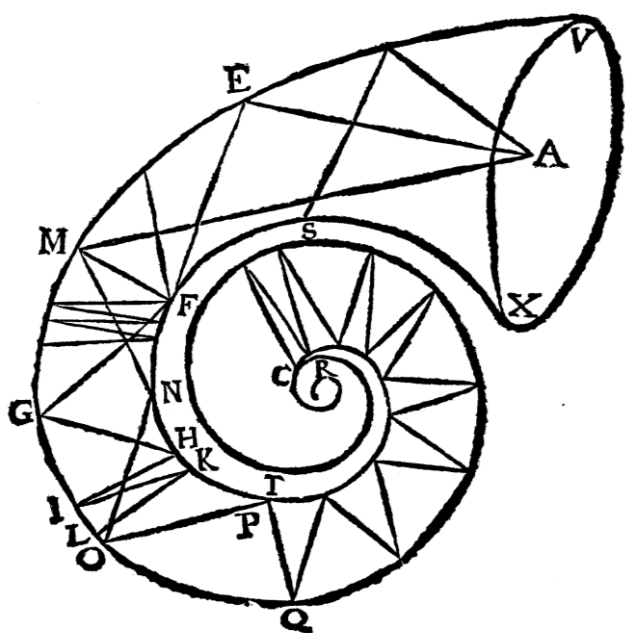


Abb. 8: Schallverstärkung nach A. Kircher

„... ein Keglicht oder Zuspitzend und auf Schnecken=Art eingebogenes Rohr... die Stimm oder Thon in dem selbigen am allermosten geschärffet und vermehret werde...“

Aus: A. Kircher „Neue Hall- und Thonkunst“ Nördlingen 1684

Abschließend zu Kircher: An der Universität Würzburg begann Wilhelm Conrad Röntgen im Jahre 1894 seine Rede als Rektor der Universität Würzburg mit einer kritischen Würdigung von Athanasius Kircher, der als Professor an dieser Universität von 1629 bis 1633 lehrte. Röntgen schloss sich in seiner Rektoratsrede Johann Wolfgang von Goethes Urteil an, der Kircher einen *fleißigen und geistreichen Sammler* nannte und fügte hinzu: *“... wenn Kircher auch wenig durch selbständige Entdeckungen zur Entwicklung der Physik beitrug, (hat) er doch fördernd gewirkt, indem er durch seine Schriften den physikalischen Kenntnissen eine weite Verbreitung verschaffte und die einflussreichsten Kreise für physikalische Untersuchungen interessierte.”*

Akustische Preisaufgaben und Preisträger/innen im 18. und 19. Jahrhundert

Im 18. und 19. Jahrhundert haben wissenschaftliche Akademien Preisaufgaben gestellt, bei denen es hin und wieder auch akustische Fragestellungen gab. Bisher wurden gefunden [2]:

Jean de Abbé HAUTEFEUILLE 1647 – 1724
Erklärung der Ursache des Echos (Bordeaux 1718)

Claude-Nicolas Le CAT 1700 – 1768
Theorie des Gehörs (Toulouse 1757)

Urban Nathanael BELTZ 1710 – 1776
Erklärung des Gehörs (Berlin 1763)

Christian Gottlieb KRATZENSTEIN 1723 – 1795
Künstl. Vokalerzeugung/Sprechmaschine (Petersburg 1780)

Johann Gottfried HERDER 1744 – 1803
Ursprung der Sprache (Berlin 1770)

Sophie GERMAIN 1776 – 1831
Schwingungen elastischer Flächen (Paris 1816)

Jean-Daniel COLLADON 1802 – 1893
Kompressibilität von Flüssigkeiten/Schallgeschwindigkeit (Paris 1826)

Von diesen Preisträgern wird in [3] Dr. med. Urban Nathanael BELTZ vorgestellt, der 1763 als Preisträger von der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin gekrönt worden ist, für die Arbeit *„Abhandlung vom Schalle, wie er entsteht, fortgethet, ins Ohr wirkt, und wie der Empfang des Schalles, kraft der innerlichen Structur des Ohrs hervorgebracht wird, und wie das Hören geschiehet ...“*. In dieser Preisschrift hat Beltz 1763 in prophetischer Weise auf das "aktive Gehör" hingewiesen. Er schreibt: *“Es ist demnach nicht genug zum Empfang des Schalles, dass das Ohr durchs Anstossen vom Schalle berührt werde, und sich dabey nur leidentlich, passive, verhalte, sondern es muß auch selbst eine Kraft besitzen, seine eigene elastische Mit- und Nachwirkung dabey auszuüben, oder den Schall zugleich thätlich, active, zu empfangen”*.

Zeitraum bis zum Ende des 19. Jahrhunderts

Aus dem nächsten Zeitraum, bis zum Ende des 19. Jahrhunderts, sind als Wissenschaftler mit Beiträgen zur Akustik u. a. aufzuführen: Gustav Theodor Fechner, Sir Charles Wheatstone, John Tyndall, Hermann von Helmholtz, Sir Francis Galton, Johann Philipp Reis, August Eberhard Kundt, John William Strutt / Lord Rayleigh. Auch hier gäbe es zu jedem dieser Wissenschaftler über zahlreiche akustische Entdeckungen und Untersuchungen zu berichten. Hier sollen nur einige kurze Bemerkungen zu Hermann von HELMHOLTZ gemacht werden (Abb. 9).

Helmholtz war erster Präsident der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Berlin, des Vorläufers der heutigen Physikalisch Technischen Bundesanstalt. Seine Forschungsgebiete betrafen zunächst die Medizin, die Physiologie, und später die Mathematik bis hin zur Physik, Musik und Philosophie.

Einen begrenzten Ausschnitt der großartigen Forschungen von Helmholtz erhält man durch eine Zusammenstellung der Forschungsergebnisse, die heute noch mit seinem Namen verbunden sind:



Abb. 9: Hermann von Helmholtz

HELMHOLTZ-Gleichung der Akustik
 HELMHOLTZ-Gleichung der Strömungsmechanik
 HELMHOLTZ-Integralgleichung
 HELMHOLTZ-Resonator
 HELMHOLTZ-Filter
 HELMHOLTZ-Vokaltheorie
 HELMHOLTZ-Gesetz in der psychologischen Akustik
 HELMHOLTZsche Resonanztheorie des Hörens
 HELMHOLTZsches Reziprozitätsgesetz
 KELVIN-HELMHOLTZ-Instabilität
 HELMHOLTZsche Wirbelsätze
 HELMHOLTZscher Satz der Vektoranalysis
 HELMHOLTZ-Zahl
 HELMHOLTZsche Ähnlichkeitsmechanik

Auf zwei dieser Gebiete will ich im Folgenden etwas näher eingehen:

HELMHOLTZ-Resonator: Helmholtz hat mit diesen Resonatoren u. a. experimentell den Einfluss des äußeren Gehörganges auf die Hörschwelle des Ohres bei Luftleitung des Schalls geklärt sowie die Formantbereiche der Vokale ermittelt. Zur Wirkungsweise der Resonatoren am Ohr schreibt Helmholtz:

"Die Luftmasse eines solchen Resonators in Verbindung mit der des Gehörganges und mit dem Trommelfell bildet ein elastisches System, welches eigenthümlicher Schwingungen fähig ist. Hat man sich das eine Ohr verstopft (am besten durch einen Siegelackpfropf, den man nach der Gestalt des

Gehörganges geformt hat) und setzt an das andere einen solchen Resonator, so hört man die meisten Töne, welche in der Umgebung hervorgebracht werden, viel gedämpfter als sonst; Wird dagegen der Eigenton des Resonators angegeben, so schmettert dieser mit gewaltiger Stärke in das Ohr hinein. Es wird dadurch Jedermann, auch selbst mit musikalisch ganz ungeübtem oder harthörigem Ohr, in den Stand gesetzt, den betreffenden Ton, selbst wenn er ziemlich schwach ist, aus einer grossen Zahl von anderen Tönen herauszuhören"

HELMHOLTZ und die Ähnlichkeitsmechanik: Helmholtz hat in einer Veröffentlichung in den Monatsberichten der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin von 1873 die Grundlagen der physikalischen Ähnlichkeit für die Strömungsmechanik und die Akustik gelegt, eine Publikation, die Jahrzehnte fast vergessen war und die Werner Albring aus Dresden 1966 wieder an das Licht der wissenschaftlichen Öffentlichkeit geholt hat:

Helmholtz, Hermann von: *"Über ein Theorem, geometrisch ähnliche Bewegungen flüssiger Körper betreffend, nebst Anwendung auf das Problem, Luftballons zu lenken"*. Monatsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin 1873, S. 501 - 514

Albring, Werner: *"Helmholtz schuf eine Ähnlichkeitstheorie für Strömungen."* Maschinenbautechnik 15 (1966) Heft 3, S. 113 - 118

Aus der Konstanz von Ähnlichkeitskennzahlen bei Modelluntersuchungen können physikalisch ähnliche Modelle abgeleitet werden, mit denen meist unter einfacheren Bedingungen als im Original experimentiert werden kann. Die Ergebnisse dieser experimentellen Modelluntersuchungen werden dann auf ein fiktives, also noch nicht vorhandenes Original übertragen. Als Beispiel zeigt Bild 10 das raumakustische Modell (Maßstab 1:20) des großen Saales der historischen Semper-Oper in Dresden, an dem im Vorfeld des Wiederaufbaus Anfang der 1980er Jahre akustisch experimentiert worden ist.



Abb. 10: Raumakustisches Modell der historischen Semper-Oper Dresden (Foto: R. Dietzel)

Zeitraum bis zum Ende des 20. Jahrhunderts

In diesem letzten, hier betrachteten Zeitraum sind als große Wissenschaftler der Akustik aufzuführen: Alexander Graham Bell, die Gebrüder Paul Jacques und Pierre Curie, Sabine und Paul Langévin, Heinrich Barkhausen, Georg von Békésy, Erwin Meyer aus Göttingen. Einige davon haben nunmehr deutlich ein gesamtes Lebenswerk auf dem Gebiet der Akustik vorzuweisen, wie z. B. Sabine, Békésy und Meyer. Es ist sicher gerecht, viele weitere große Wissenschaftler, die zur Entwicklung des Fachgebietes der Akustik beigetragen haben, wenigstens dem Namen nach aufzulisten: Riemann, Mach, Blochincev, Pierce, Richards, Fletcher, Reichardt, Altberg, Freundlich, Judin, Lübecke, Cremer, Heckl, Debye, Zwicker, Brechovskich, Gutin, Tamm, Dussik, Sokolov, Firestone, Pohlmann, Strouhal, Braun, Webster, Rzhavkin, Trendelenburg, Feldtkeller, Ewing, Lighthill, Crighton u. v. a. m.

Aus diesen Gruppen von Wissenschaftlern wähle ich den einzigen Nobelpreisträger der Akustik, **Georg von BÉKÉSY**, einen ungarisch-US-amerikanischen Physiker und Physiologen, aus (Abb. 11).



Abb. 11: Georg von Békésy
[\[www.nobelpreis.org/francais/medizin/bekesy.htm\]](http://www.nobelpreis.org/francais/medizin/bekesy.htm)

Geboren am 3. Juni 1899 in Budapest, promovierte er 1923 auf dem Gebiet der Physik, mit einer Arbeit zur Optik. 1927/1928 befasste er sich mit der Schallübertragung im Ohr. 1928 erfolgte die Publikation einer Arbeit über die Funktionsweise des Innenohrs in der "Physikalischen Zeitschrift". Damit wurde er weltweit bekannt. 1946 erhielt

er einen Ruf an das Karolinska-Institut nach Stockholm, ein Jahr später ging er an die Harvard University, Cambridge (Mass.). 1961 erhielt er den Nobelpreis für Medizin (Neurophysiologie) für „his pioneering investigations into the nature of hearing and of auditory problems“. Ab 1966 war Békésy Professor an der Universität von Honolulu auf Hawaii. Er starb am 1972 in Honolulu.

Georg von Békésy erhielt zahlreiche Ehrungen und Preise, er wurde bereits 1937 mit der Leibniz-Medaille der Preußischen Akademie der Wissenschaften ausgezeichnet. Er hat neun Ehrendokorate aufzuweisen, darunter 1959 (noch vor dem Nobelpreis) das Ehrendoktorat der Medizinischen Fakultät der Universität Bern.

Die bahnbrechende wissenschaftliche Leistung Georg von Békésy's betrifft die Wanderwellentheorie der Basilmembran zur Erklärung des Hörvorganges im Innenohr. In der Cochlea (Schnecke) des Innenohres entstehen sog. Wanderwellen: bei tiefen Frequenzen liegt das Maximum der Wanderwelle an der Spitze der Schnecke, bei hohen Frequenzen an der Schneckenbasis, in der Nähe des ovalen Fensters: Das heißt, es erfolgt in der Schnecke eine Frequenz-Orts-Transformation! Nach ersten Beobachtungen an der Cochlea eines toten Elefanten experimentierte Georg von Békésy im Jahre 1927 mit einer wassergefüllten Röhre mit Nachbildung der Basilar- und der Reissnerschen Membran des Innenohres. Um den Ort der Schalleindrücke wahrnehmen zu können, legte er seinen Unterarm an das Rohr und konnte so mit dem Tastsinn seiner Haut den Ort des Schalls, d. h. das Maximum der Wanderwelle, relativ genau feststellen.

Diese Wanderwellentheorie von Békésy wird seit den 1990er Jahren durch die sog. Theorie des cochlearen Verstärkers ergänzt.

Ich möchte zum Abschluss der Ausführungen zu Georg von Békésy eine kurze Betrachtung zum Thema „Budapest und die Genies“ nachstellen [4], [5]. Das prosperierende Budapest der Jahre zwischen 1870 und 1914 brachte eine herausragende Generation von Wissenschaftlern, Schriftstellern, Künstlern und Musikern hervor. In diesem Zeitraum entwickelte sich Budapest wirtschaftlich rascher als irgendeine andere Stadt Europas, im Wettstreit mit Wien. Eine Übersicht über herausragende Genies auf dem Gebiet der Naturwissenschaften und der Technik zeigt die folgende Liste:

Georg von Békésy (geb. 1899 in Budapest),
Nobelpreisträger, Physiker (Akustik)

Dennis Gabor (geb. 1900 in Budapest),
Nobelpreisträger, Physiker (Holographie)

Theodor von Kármán (geb. 1881 in Budapest),
Aerodynamiker und Luftfahrtforscher (Kármánsche
Wirbelstraße)

György de Hevesy (geb. 1885 in Budapest,
Nobelpreisträger, Chemiker (Isotope)

Albert von Szent-Györgyi Nagyrápolyi (geb. 1893 in Budapest),
Nobelpreisträger, Biochemiker und Physiologe (biologische
Verbrennungsprozesse)

Michael Polanyi (geb. 1891 in Budapest), Chemiker und
Philosoph

Leo Szilard (geb. 1898 in Budapest),
Kernphysiker, Molekularbiologe

Eugene Paul Wigner (geb. 1902 in Budapest),
Nobelpreisträger, Physiker (Atomtheorie,
Symmetrieprinzipien)

John von Neumann (geb. 1903 in Budapest),
Mathematiker (abstrakte Analysis, Spieltheorie,
Rechenautomaten)

Edward Teller (geb. 1908 in Budapest),
Physiker, "Vater" der amerikanischen Wasserstoffbombe

László József Bíró (geb. 1878 in Budapest),
Erfinder des Kugelschreibers und des Automatikgetriebes
für Kraftfahrzeuge

Marcel Grossmann (geb. 1878 in Budapest),
Mathematiker, Freund und Kollege von Albert Einstein

Paul Erdős (geb. 1913 in Budapest), einer der bedeutendsten
Mathematiker des 20. Jahrhunderts („das größte
mathematische Genie des 20. Jahrhunderts“)

die "Sun Queen" Mária Telkes (geb. 1900 in Budapest),
ihre Erfindungen: das mit Sonnenenergie beheizte Haus
(1948), die Salzwasserentsalzungsanlage mit Sonnenenergie

Ich muss hier leider aus Zeitgründen auf einige
tiefergehende Überlegungen verzichten, die das Geheimnis
der Budapester Generation von Genies erklären könnten.

Historische Entstehung des Fachwortes „Akustik“

Abschließend möchte ich noch einige kurze Bemerkungen
anfügen, wie die Fachgebetsbezeichnung „Akustik“
entstanden ist.

Das Wort „Akustik“ ist aus dem Griechischen „akouo = höre“
abgeleitet, siehe auch die eingangs genannten Akusmata, die
gehörten Dinge, die Sprüche der Pythagoreer.

Zur Frage der Fachgebetsbezeichnung „Akustik“ ist aus
den Standardwerken [6], [7], [8] und aus Aufsätzen im
Journal of the Acoustical Society of America [9], [10] das
Folgende zu entnehmen:

Joseph SAUVEUR (1653 – 1703) hat 1701 den Vorschlag
gemacht, dass der Name Akustik auf die Wissenschaft vom
Schall angewandt wird [J. Sauveur: Principes d'acoustique et
de musique ou système général des intervalles des sons.
(Paris 1701); J. Sauveur: Système général des intervalles
des sons. L'Académie Royale des Sciences, Paris, 1701,]. Er
gilt im Allgemeinen als Begründer des Fachgebietes.

Wie Frederick Hunt [6] schreibt, hat aber etwa 20 Jahre
früher als J. Sauveur, im Jahre 1683, Narcissus MARSH
(1638 – 1713) einen Aufsatz in "Philosophical Transactions
of the Royal Society of London" publiziert, unter dem Titel
"An introductory Essay to the doctrine of Sounds, containing
some proposals for the improvement of Acousticks". Dieser
Narcissus Lord Marsh war zu jener Zeit Bischof der
protestantischen Kirche von Irland. In dem genannten
Artikel unterscheidet Bischof Marsh zwischen dem direkten,
dem gebrochenen und dem reflektierten Schall durch
Erfinden von drei neuen Wörtern: Acousticks, Diacousticks
und Catacousticks. Das erste "acoustic(k)s" stimmt mit der
späteren Fachgebetsbezeichnung überein, die anderen
beiden Wörter sind später wieder verschwunden.

Zu diesem historischen Sachverhalt haben die beiden
Amerikaner Frederick Hunt und Robert Beyer geschrieben:
Joseph SAUVEUR hat als erster die Bezeichnung Akustik in
einem allgemeinen Sinne für ein Fachgebiet verwendet,
allerdings in Französisch. Bischof Narcissus MARSH
verwendete das Wort Akustik früher als SAUVEUR und in
Englisch, allerdings in einem spezielleren Sinne. „There is
honor for each!“

Schlussbemerkungen

Ich habe versucht, im Vortrag und in der hier formulierten
Kurzfassung ein klein wenig in das faszinierende Gebiet der
Geschichte der Akustik anhand der "Geschichten" der
großen Akustiker einzuführen. Ich möchte zum Abschluss
noch einmal auf das eingangs erwähnte Projekt der
Deutschen Gesellschaft für Akustik zurückkommen.

Es gibt einige allgemeinere Fragestellungen, die sich auch
aus meinem hier dargestellten Schnelldurchlauf durch die
Geschichte der Akustik aufdrängen:

Wo fand in den einzelnen Epochen jeweils Akustik statt?
(Kopplung an wirtschaftliche, gesellschaftliche,
wissenschaftliche Hochkulturen)

Warum haben sich zahlreiche große Wissenschaftler, wie
auch z. B. Newton, Einstein, Debye, Schrödinger, mit
akustischen Problemen befasst?

Warum ist die Kopplung von Akustik und Mathematik,
insbesondere zur Zahlentheorie, so häufig anzutreffen?
Beispiele: Pythagoras, Mersenne, Fermat, Euler, Laplace,
Pascal, Newton, Bernoulli, Sophie Germain, Fourier, Gauß,
Poisson, Riemann, Lighthill u. a.

Welche „Geschichten“ großer Wissenschaftler muss man
erzählen, um die Geschichte einer Wissenschaftsdisziplin
zu schreiben? Wie können die Erkenntnisse der narrativen
Didaktik genutzt werden?

In das gegenwärtig vorliegende Material sollen weitere
Lebensgeschichten und das wissenschaftliche,
gesellschaftliche, wirtschaftliche, soziale Umfeld mit
interessanten Details eingebaut werden.

Ich habe mit Pythagoras begonnen, lassen Sie mich auch mit dem Pythagoras schließen, und zwar mit der Lebensweisheit, die im Chorgestühl des Ulmer Münsters dem Pythagoras zugeordnet ist:

**„Fernzuhalten ist unter allen Umständen vom Körper die Trägheit,
von der Seele die Unklugheit, vom Magen die Üppigkeit,
vom Gemeinwesen Aufruhr, vom Hause den Unfrieden,
und in allen Dingen muss man Maß halten.“**

Wie klug war man doch schon vor 2.500 Jahren!!

Nachwort:

Dieser Vortrag stellt einen kurzen Zusammenschnitt aus einer Vorlesung zur Geschichte der Akustik dar, die vom Autor seit dem Jahre 2006 zu verschiedenen Anlässen und in verschiedener Form gehalten worden ist. Der Vorlesungsinhalt ist sukzessive mit aktuellen Rechercheergebnissen aus dem Internet sowie aus Bibliotheken und Archiven, mit Erkenntnissen aus Publikationen und Kongressbeiträgen sowie mit Diskussionsbemerkungen von Zuhörern und Fachkollegen mehrfach umgestaltet und ergänzt worden. Diese übliche Verfahrensweise bringt es mit sich, dass nunmehr in einem solchen Text dieser Vorlesung eine direkte Zuordnung der Erkenntnisse und Beispiele zu den "benutzten" Autoren und deren Publikationen im Nachhinein in den Details nur lückenhaft möglich ist (soweit dies rekonstruierbar war, sind die betreffenden Literaturstellen unten aufgeführt.). Allen bekannten Autoren und allen anderen, (aus Unkenntnis oder mangelndem Erinnerungsvermögen) nicht erwähnten Personen und Institutionen, von denen ich Material und Bildzitate verwendet habe, möchte ich hiermit danken.

Der Autor ist der Deutschen Gesellschaft für Akustik und einigen Fachkollegen/innen dieser Gesellschaft zu großem Dank verpflichtet, einerseits für die Bereitstellung von Projektmitteln für studentische Hilfskräfte und für organisatorische Hilfeleistungen sowie andererseits für die aktive Mitarbeit bei der Aufarbeitung der großen Wissenschaftler/innen und ihrer „Geschichten“. Das insbesondere von Frau Prof. K. Künzel/Mittweida und Herrn Prof. Mehra/Stuttgart sowie von weiteren Fachkollegen/innen erarbeitete umfangreiche Material muss nunmehr schrittweise in die vorliegende Dokumentation eingearbeitet werden.

Literaturverzeichnis

- [1] Hentig, H. v. in H. Jäckel: Menschen in Berlin. Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart 2000
- [2] Költzsch, P.: Preisaufgaben in der Geschichte der Akustik. Vortrag 33. Deutsche Jahrestagung für Akustik – DAGA 2007, Stuttgart März 2007, CD

[3] Költzsch, P.: "... den Schall thätlich, active, zu empfangen ...". Der Preisträger der Preußischen Akademie: Urban Nathanael Beltz, Berlin 1763. Vortrag 34. Deutsche Jahrestagung für Akustik – DAGA 2008, Dresden März 2008, CD

[4] Macrae, Norman: John von Neumann. Birkhäuser Verlag Basel, Boston, Berlin 1994

[5] Marx, G.: The voice of the Martians. Akadémiai Kiadó, Budapest 1994

[6] Hunt, F. V.: Origins in Acoustics. New Haven and London: Yale University Press 1978

[7] Beyer, R. T.: Sounds of Our Times. Two Hundred Years of Acoustics. Springer-Verlag New York, Inc., 1999

[8] Lindsay, R. B.: Acoustics: Historical and Philosophical Development. Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., Stroudsburg, Pennsylvania 1973

[9] Beyer, Robert: Acoustics, acoustics. J. Acoust. Soc. Am. 98 (1), July 1995, pp. 33 – 24

[10] Lindsay, R. Bruce: The story of Acoustics. J. Acoust. Soc. Am. 39 (4), April 1966, pp. 629 - 644

Des Weiteren:

Aschoff, V.: Geschichte der Nachrichtentechnik. Springer-Verlag Berlin etc. 1989

Heutschi, Kurt: Geschichte der Akustik.
Internet: www.isi.ee.ethz.ch

Hüls, R.: Die Geschichte der Hörakustik. 2000 Jahre Hören und Hörhilfen. Median-Verlag Heidelberg 1999

Lexikon der Physik, in 6 Bänden. Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg 1998

Schröder, E.: Mathematik im Reich der Töne.
BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft 1982

Ullmann, D.: Chladni und die Entwicklung der Akustik von 1750 – 1860. Birkhäuser-Verlag Basel 1996