

# Von der Steinzeitflöte bis zum Fluglärm – 40.000 Jahre Strömungsakustik

Peter Költzsch

TU Dresden, E-Mail: peter@koeltzsch.com

## Einleitung

Strömungsakustische Phänomene gibt es im Kulturgeschehen der Menschheit, nach den bisherigen archäologischen Funden beurteilt, seit etwa 40.000 Jahren. Dabei handelt es sich bis zur frühen Neuzeit um lautstarke Naturereignisse (Donner, Wind- und Wasserströmungen), um die menschliche und tierische Laut- bzw. Spracherzeugung, um Blasinstrumente und den Peitschenknall. Im 18./19. Jahrhundert kommen industrielle Strömungsschallquellen dazu, befördert durch wachsende Mobilität, die industrielle Produktion und deren Transportprozesse, durch Energiewandlungsprozesse, Komforteinrichtungen (Lüftungs-/Klimaanlagen), die Militärtechnik, die Luft- und Raumfahrt u. a. m. Hier können nur einige wenige Fragmente aus diesem großen Zeitraum dargestellt werden. Die ausführliche Beschreibung ist in [1] zu finden.

## Fragmente aus der Steinzeit und der Antike

In der Schwäbischen Alb wurde bei Ausgrabungen eine Flöte gefunden, die aus der Speiche eines Gänsegeiers gefertigt wurde und deren Alter auf etwa 35 bis 40.000 Jahre datiert wird. Von Spezialisten für archäologische Musik wurden derartige Steinzeitflöten nachgebaut und gespielt. Die Ergebnisse werden von Experten als Flötentöne beurteilt, die auch unter heutigen Aspekten eine ästhetisch ansprechende Musik erklingen ließen.

Ein strömungsakustisches Ereignis „der besonderen Art“ ist mit dem „Posaunenschall von Jericho“ verbunden. Aus [2]:

*„Da erhob das Volk das Kriegsgeschrei, und man stieß in die Widderhörner. Als das Volk den Hörnerschall hörte, brach es in lautes Kriegsgeschrei aus, und die Stadtmauer stürzte in sich zusammen. Das Volk stieg in die Stadt hinein, jeder, wo er gerade stand. So eroberten sie die Stadt.“*

Athanasius Kircher, ein Jesuit und Professor am Vatikan, hat 1684 in seinem Akustikbuch „Phonurgia Nova – Neue Hall- und Thon-Kunst“ über den „Einfall der Mauern auf den israelitischen Posaunen-Schall“ geschrieben, „daß diese Mauren auf diesen Hall und Geschrey durch Gottes sonderbare Würckung als ein Zeichen seines heyligen Willens eingefallen“ sind. So also als Mann der Kirche! Und als Physiker setzt er hinzu: „Es kann kein blosser Hall, Schall, Geschrey, es sey jetzo von Menschen, Posaunen, Trompeten oder andern dergleichen, und solts noch so groß und starck seyn, eine Maur oder Gebäu natürlicher Weise, von sich selbst fällen, einwerffen oder bewegen (...)“

Und natürlich hatte er recht: Eine Nachrechnung zeigt, dass nicht einmal der Putz von den Mauern von Jericho abgebröckelt ist, sofern es überhaupt in der beschriebenen Zeit diese Stadtmauern noch gab. Aber das gehört zur Physik und betrifft nicht das Metaphysische dieses Ereignisses.

Aus der Antike müssen natürlich zur Historie der Strömungsakustik auch die Beiträge von Hippokrates (incl. Corpus Hippocraticum) und Aristoteles zum Sprachapparat, zum Sprechen, zu den Atmungsorganen und der Stimmerzeugung erwähnt werden.

## Fragmente aus dem Mittelalter

Hier sind Isidor von Sevilla (um 570 – 636 n. Chr.) und Ibn Sina (Avicenna, 980 – 1037) aufzuführen, gleichfalls zur Erzeugung menschlicher Sprache und tierischer Laute, zur Schallerzeugung bei Blasinstrumenten und dem Schall des Donners sowie zu den Windgeräuschen. Von Ibn Sina ist die Abhandlung „Die Ursachen der Entstehung der Sprachlaute“ von besonderem Interesse (herausgegeben: Kairo 1332).

## Fragmente aus dem 17. bis 19. Jahrhundert

In diesen Zeitraum gehören Wissenschaftler wie **Athanasius Kircher** (Äolsharfe, Stimmerzeugung), **Ernst Florens Friedrich Chladni** und **Vincenz Strouhal**.

Besonders erwähnenswert ist die Abhandlung von Chladni „Über Töne bloß durch schnell auf einander folgende Stöße, ohne einen klingenden Körper“ (1826), in der er erstmals die Schallerzeugung durch Strömungen als eine besondere Art der Erregung explizit dargestellt hat. Bei einer Sirene erfolgt „ein Tönen ohne einen klingenden Körper, bloß durch unmittelbar der umher befindlichen Luft mitgeteilte Stöße“. Die Strömung kann eine eigene Schallquelle sein! Ist das die Geburtsstunde der wissenschaftlichen Strömungsakustik?

Von Vincenz Strouhal (1850 – 1922), dem Begründer der Experimentalphysik in der Tschechischen Republik, wurde 1878 in seinem berühmten Vortrag „Über eine besondere Art der Tonerregung“ vor der Physikalisch-Medizinischen Gesellschaft in Würzburg erstmals die nach ihm benannte „Strouhal-Zahl“ mitgeteilt:

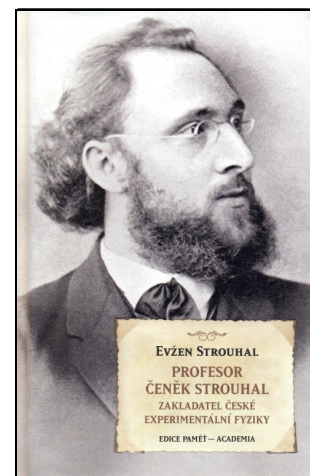


Abbildung 2: Prof. Evžen Strouhals Buch [2] über seinen Großvater Prof. Čeněk Strouhal, Namensgeber der „Strouhal-Zahl“

„Bei der Translationsbewegung eines kreisförmig zylindrischen Körpers mit einer zu seiner Achse senkrechten Richtung in der Luft entsteht ein Ton, dessen Höhe der Bewegungsgeschwindigkeit direkt und seinem Durchmesser umgekehrt proportional ist.“ Diese Strouhal-Zahl ist als Ähnlichkeitskennzahl für die Fachgebiete Strömungsmechanik, Strömungsakustik, Akustik, Aeroelastik und Turbulenz von großer Bedeutung.

Aus dem Zeitraum des 19./20. Jahrhunderts haben zur Entwicklung der Strömungsakustik u. a. beigetragen: **August Seebeck** (1805 – 1849, „Seebeck-Sirene“), **Carl Sondhauf** (1815 – 1886, „Sondhauss-tube“), **Francis Galton** (1822 – 1911, „Galton-Pfeife“) und **Ernst Mach / Peter Salcher** mit der Visualisierung der „Knallwellen“ bei Überschall-Projektilen. Albert Einstein schreibt 1916 in seinem Nachruf auf Ernst Mach in der „Physikalischen Zeitschrift“: „Von seinen physikalischen Experimentaluntersuchungen sind diejenigen über die Schallwellen, welche von Geschossen erzeugt werden, am bekanntesten geworden. (...) Es gelang ihm, die Dichteverteilung der Luft in der Umgebung eines mit Überschallgeschwindigkeit fliegenden Geschosses photographisch aufzunehmen und so über eine Gattung akustischer Vorgänge Licht zu verbreiten, über welche man vor ihm nichts wusste.“

### Fragmente aus dem 20. Jahrhundert

Hier haben insbesondere die Luftfahrt und die Militärtechnik dieses Fachgebiet stimuliert. Die Erkenntnisse sind u. a. mit **Ludwig Prandtl** (1875 – 1953) und **Erich Waetzmann** (1882 – 1938) verbunden, in den 1930-/1940-er Jahren mit den sowjetischen Aeroakustikern **L. Ja. Gutin** („Gutin-sound“), **J. Ja. Judin** (Wirbelschall) und **D. I. Blochincev**.



**Abbildung 3:** Rayleigh, Lamb, Blochincev, Lighthill Bildgenehmigungen siehe [1]

Herausragende Beiträge zu den wissenschaftlichen Grundlagen stammen von:

- **Lord Rayleigh/John William Strutt (1842 – 1919),**

mit Erkenntnissen zu den Modellstrahlern der Multipolreihe, zur inhomogenen Wellengleichung und zu den akustischen Strömungen.

- **Horace Lamb (1849 – 1934),**

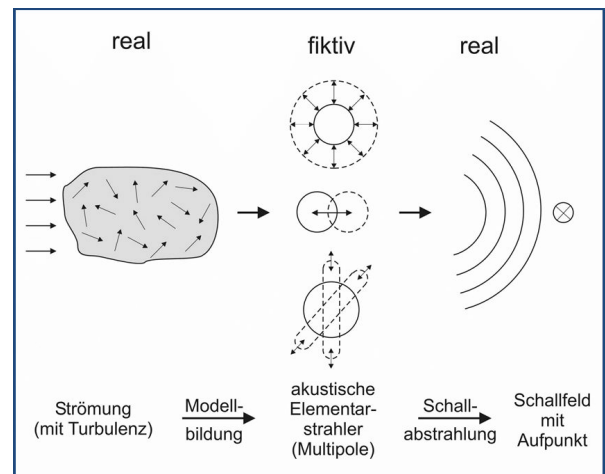
mit Erkenntnissen zur Äquivalenz Dipolmoment/Wechselkraftwirkung, zur Wirbeltransportgleichung, zur „vorticity“, zum Lamb-Vektor.

- **Dmitrij Iwanowitsch Blochincev (1908 – 1979),**

mit dem ersten Buch zur Strömungsakustik, eine fundamentale wissenschaftliche Arbeit (200 Seiten, 1946 erschienen); der Titel: „Akustik eines inhomogen strömenden Mediums“, Teile davon 1946 in der JASA, erschienen; das Buch selbst 1956 als NACA TM. Blochincevs originäre Erkenntnisse: konvektive Wellengleichung und akustische Energiegleichung in strömenden Fluiden, Pseudoschall und dessen Begriffsbildung (dieser Fachterminus stammt nicht von Lighthill!), Windschutzeinrichtungen für Mikrofone, Berechnung des Schalls der Kármánschen Wirbelstraße.

- **Michael James Lighthill (1924 – 1998),**

Er begründete drei neue Forschungsdisziplinen: Aeroakustik, Biofluidodynamik, moderne nichtlineare Akustik. Und dann die „Lighthillsche akustische Analogie“: siehe Abb. 4.



**Abbildung 4:** Die Grundidee der LIGHTHILL-Analogie aus: Lehrbrief „Aerodynamische Lärmquellen“, TU Dresden, 1975

### Schlussbemerkungen

Der Vortrag „von der Knochenflöte bis zum Fluglärm“ enthält eine Auswahl von Fragmenten aus diesem Zeitraum von Jahrtausenden. Alles weitere dazu kann in großer Ausführlichkeit in [1] nachgelesen werden.

### Literatur

- [1] DEGA-Schriftenreihe zur Geschichte der Akustik: Heft 5: Von den Äolstönen bis zur Strouhal-Zahl – Eine Einführung in die Geschichte der Strömungsakustik. Heft 6: Von der Luftsirene bis zur russischen Aero-akustik – Der Strömungsschall stimuliert die Akustik. Heft 7: Rayleigh, Lamb, Lighthill – Die Akustik wird „geadelt“, insgesamt 500 Seiten und ca. 150 Bilder
- [2] Halbfas, H.: Die Bibel. Patmos Verlag, Düsseldorf 2001
- [3] Strouhal, E.: Professor Čeněk Strouhal - Zakladatel české experimentální fyziky (Professor Vincenz Strouhal - der Begründer der tschechischen Experimentalphysik“). Verlag Academia, Prag 2012