

Albert Einstein und die Akustik

Peter Költzsch

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

Einleitung

Es ist wenig bekannt, dass sich Albert Einstein auch auf dem Gebiet der Akustik betätigt hat. Über einige Aspekte dazu soll im Folgenden berichtet werden. Vorangestellt sei ein Ausschnitt aus einer Rede von Albert Einstein, die er zur Eröffnung der Deutschen Funkausstellung in Berlin 1930 gehalten hat:

"Verehrte An- und Abwesende!

Wenn Ihr den Rundfunk höret, so denkt auch daran, wie die Menschen in den Besitz dieses wunderbaren Werkzeuges der Mitteilung gekommen sind. (...) Denkt an Oersted, der zuerst die magnetische Wirkung elektrischer Ströme bemerkte, an Reis, der diese Wirkung zuerst benutzte, um auf elektromagnetischem Wege Schall zu erzeugen, an Bell, der unter Benutzung empfindlicher Kontakte mit seinem Mikrophon zuerst Schallschwingungen in variable elektrische Ströme verwandelte. Denkt auch an Maxwell, der die Existenz elektrischer Wellen auf mathematischem Wege aufzeigte, an Hertz, der sie zuerst mit Hilfe des Funkens erzeugte und nachwies. Gedenket besonders auch Liebens, der in der elektrischen Ventilröhre ein unvergleichliches Spürorgan für elektrische Schwingungen erdachte, das sich zugleich als ideal einfaches Instrument zur Erzeugung elektrischer Schwingungen herausstellte. Gedenket dankbar des Heeres namenloser Techniker, welche die Instrumente des Radio-Verkehres so vereinfachten und der Massenfabrikation anpassten, dass sie jedermann zugänglich geworden sind. (...)

Sollen sich auch alle schämen, die gedankenlos sich der Wunder der Wissenschaft und Technik bedienen und nicht mehr davon geistig erfasst haben als die Kuh von der Botanik der Pflanzen, die sie mit Wohlbehagen frisst. (...)"

http://www.einstein-website.de/z_biography/redefunkausstellung.html

Zur Schallausbreitung in Gasen

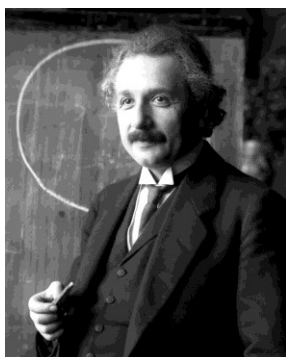


Abbildung 1: Albert Einstein im Jahre 1921

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Einstein_1921_portrait2.jpg

Im Jahre 1920 erschienen in den Sitzungsberichten der Preußischen Akademie der Wissenschaften Berlin eine sechsstufige Abhandlung von Albert Einstein mit dem Titel „Schallausbreitung in teilweise dissoziierten Gasen“. [3] Mit Hinweis auf W. Nernst/F. Keutel vermutet Einstein, dass man die Reaktionsgeschwindigkeiten von chemischen Gasreaktionen indirekt aus Untersuchungen über die

Schallausbreitung in solchen Gasen ermitteln kann. Einstein berechnet deshalb einen Ausdruck für die Dispersion der Schallgeschwindigkeit in teilweise dissoziierten Gasen. Als Begründung für den Zusammenhang zwischen Dispersion bei der Schallausbreitung und Reaktionsgeschwindigkeit führt Einstein an, dass das Verhältnis zwischen der Schallfrequenz und der Zeitkonstante der Dissoziation maßgebend für den Zusammenhang zwischen Druck und Dichte im Gas ist. Im Bereich zwischen den Grenzwerten niedriger und hoher Frequenzen wird „die Reaktion hinter der Verdichtung zurückbleiben, derart, dass eine Art zeitliches Zurückbleiben der Druckkurve gegenüber der Kurve der Dichtigkeit (...) stattfindet. Die Schallgeschwindigkeit wird mit der Frequenz von einem Anfangswerte bis zu einem Grenzwert zunehmen müssen.“ [3, S. 380]

Ausgangspunkt für seine Berechnungen sind die Eulersche Bewegungsgleichung und die Kontinuitätsgleichung, daraus folgt eine Wellengleichung in komplexer Darstellung. Die komplexe Wellenzahl berechnet er mithilfe einer Reaktionsgleichung, „indem wir zyklische adiabatische Volumenänderungen eines teilweise dissoziierten Gases betrachten.“ Diese Wellenzahl wird damit durch die physikalischen Eigenschaften des dissoziierten und nicht dissoziierten Anteiles des Gases bestimmt, u. a. Wärmekapazitäten, Volumen, Dichte, Anzahl der Mole der Gasanteile u. a. m.). Aus der komplexen Konstanten folgen bei Einstein die Beziehungen für die Phasengeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Frequenz und die beiden Näherungen für $\omega \rightarrow 0$ und $\omega \rightarrow \infty$, des Weiteren „für solche Frequenzen, bei denen die Schallabsorption hinreichend klein ist“. Die Gleichung zeigt deutlich die Frequenzabhängigkeit der Phasengeschwindigkeit, d. h. die Dispersion. Einstein deutet an, dass aus der komplexen Konstante dann auch die Dämpfung in der Schallwelle berechnet werden kann, was er allerdings in dieser Arbeit nicht vorgenommen hat. Ihm kommt es wegen des Zusammenhanges von Reaktionsgeschwindigkeit und Schallgeschwindigkeit vorrangig auf letztere und deren Dispersion an. Damit schließt diese theoretische Abhandlung von A. Einstein. Sie zeigt als ein Beispiel, wie aus akustischen Überlegungen ein gewisser Einblick in den Gaszustand, aber auch in Prozesse, die in Gasen ablaufen (Gasreaktionen), gewonnen werden kann. Später wurde gezeigt, dass nicht nur die verzögerte Einstellung des Dissoziationsgleichgewichtes (wie bei Einstein) sondern auch andere physikalische Ursachen für die Dispersion und Absorption vorhanden sind, u. a. Relaxationsvorgänge bei der Einstellung der Schwingungs- und Rotationsfreiheitsgrade bei mehratomigen Gasen. In diesem Zusammenhang sei auf die Ableitung bei Cremer [1, S. 335 ff.] und auf die Dissertation von Gerhard Sessler [13] verwiesen.

Einsteins Mitwirkung bei akustischen Patenten

Eine hervorragende Darstellung dazu ist in der Dissertation von Karl Wolfgang Graff (Universität Stuttgart 2004) zu finden [6]. Die Zusammenarbeit von Albert Einstein mit dem Elektroingenieur Rudolf Goldschmidt (1876 – 1950)

führte zur Einreichung gemeinsamer akustischer Patente. Am 28. Februar 1929 teilte Goldschmidt dem „lieben Herrn Professor Einstein“ mit, dass „die beiden anliegenden Patentbeschreibungen heute in unserem Namen angemeldet worden sind“ [6, S. 149]:

„Elektromagnetisches Triebssystem“

Erfinder: Dr. Albert Einstein und Dr.-Ing. Rudolf Goldschmidt, Berlin. Anmeldedatum: 28. Februar 1929, Reichspatentamt Berlin. Aus der Einleitung zum Patenttext:

„Elektromagnetische Triebssysteme wie sie z. B. bei Relais, Lautsprechern und anderen Instrumenten verwendet werden, haben die Eigenschaft, dass die Anzugskraft des Magneten auf seinen Anker nicht linear von der Bewegung abhängig ist, sondern quadratisch oder nach einer noch höheren Potenz. In vielen Fällen ist dies ein Nachteil, insbesondere wird bei akustischen Apparaten dadurch Unreinheit der Wiedergabe hervorgerufen. Dem entgegenzuwirken ist Zweck dieser Erfindung, durch die (...) eine vollständige lineare Abhängigkeit der Kraft von der Ankerbewegung erzeugt wird. Dies wird durch die Form der einander gegenüberstehenden Polflächen erreicht, die durch Vorsprünge und Vertiefungen so gegliedert sind, dass sie in einander eingreifen können.“ [6, S. 150].

„Elektromagnetisches Antriebssystem für Lautsprecher“

Erfinder: Dr. Albert Einstein und Dr.-Ing. Rudolf Goldschmidt, Berlin. Anmeldedatum: 28. Februar 1929, Reichspatentamt Berlin. Dieses Antriebssystem ist für „Großflächen-Lautsprecher“ gedacht, „das anstatt eines Ankers mehrere besitzt, die Drehschwingungen ausführen. Das System ist so symmetrisch gestaltet und in sich ausgeglichen, dass sich die Drehimpulse der verschiedenen Anker gegenseitig kompensieren, ausgenommen in der Antriebsrichtung der Großfläche, zu deren Betätigung die Drehimpulse in geradlinig verwandelt werden.“ [6, S. 150]

Einstein antwortete Goldschmidt nach einigen Tagen: „Ich bin mit der Abfassung der Patente durchaus einverstanden. Ich lege aber Wert darauf, hervorzuheben, dass ich meine Mitarbeit bei dieser Sache nur auf 33 % veranschlage und daraus die praktischen Konsequenzen zu ziehen wünsche.“ [6, S. 149]. Nach Recherchen von Graff [6] sind für beide Anmeldungen keine Reichspatente erteilt worden.

Für eine 3. Patentanmeldung wurde ein Reichspatent erteilt:

„Vorrichtung, insbesondere für Schallwiedergabegeräte, bei der elektrische Stromänderungen durch Magnetostraktion Bewegungen eines Magnetkörpers hervorrufen“

Erfinder: Dr. Albert Einstein, früher in Berlin, jetziger Wohnsitz unbekannt, und Dr.-Ing. Rudolf Goldschmidt in Berlin-Charlottenburg. Albert Einstein befand sich zu diesem Zeitpunkt bereits in den USA. Patentanspruch: „Vorrichtung, insbesondere für Schallwiedergabegeräte, bei der elektrische Stromänderungen durch Magnetostraktion Bewegungen eines Magnetkörpers hervorrufen, dadurch gekennzeichnet, dass die diesen Bewegungen entgegenwirkende Kraft des Magnetkörpers durch äußere Kräfte vermindert wird, die entweder durch Vorspannung eines besonderen mit dem Magnetkörper mechanisch gekuppelten Gebildes geschaffen werden und bei Längenänderungen (Zusammenziehung oder Ausdehnung) zur Geltung kommen oder die durch axiale Vorspannung des Magnetkörpers selbst erzeugt werden.“ [6, S. 155]

Diese Patentschrift wurde am 24. April 1929 eingereicht, die Erteilung des Patents am 21. Dezember 1933 bekannt

gemacht und die Patentschrift am 10. Januar 1934 ausgegeben. Dieses Patent wurde 1934 gelöscht. Grund: Nichtzahlung der Gebühr für das 5. Jahr.

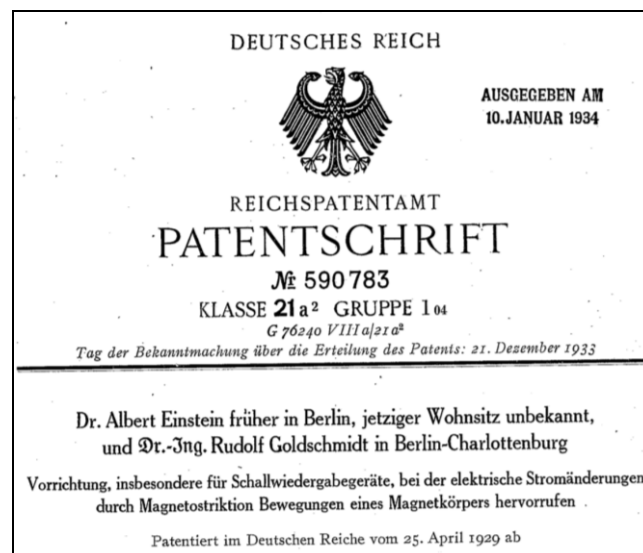


Abbildung 2: Gemeinsame Patentschrift von Albert Einstein und Rudolf Goldschmidt [6]

Graff [6] ist der Frage nachgegangen, warum die Erfinder Goldschmidt und Einstein für ihre beiden Lautsprecher-Erfindungen aus dem Jahre 1929 keine Patente erhielten und warum im Falle des o. g. dritten Patentbesitzes die Prüfzeit mit über 4½ Jahren außergewöhnlich lang war. Graffs Erkenntnisse dazu sind: Die Zahl der Anmeldungen in der Klasse 21 a² war in diesen Jahren außerordentlich groß. Für die beiden Lautsprecher-Patente war wahrscheinlich die Prüfung bis Anfang 1934 noch nicht abgeschlossen. „Ab diesem Zeitpunkt sind in den Jahresverzeichnissen keine Patenterteilungen mehr an Einstein und Goldschmidt festzustellen. Da ihre jüdische Abstammung zu der Zeit beim Amt bekannt war, ist zu vermuten, dass die noch laufenden Prüfverfahren ihrer Anmeldungen nach der Jahreswende 1933/34 abgebrochen wurden.“ [6, S. 157]. Und in einer Fußnote dazu wird bemerkt: „Goldschmidt hatte schon in seinem Brief vom 19.8.1933 an Einstein die Befürchtung ausgesprochen, dass mit der Zeit auch die Patente den Juden weggenommen werden.“

Und schließlich gibt es eine **gemeinsame Patentarbeit von Goldschmidt und Einstein zu einer Hörhilfe für die Sängerin Olga Eisner**. Das Ehepaar Eisner, die Sängerin Olga Eisner (1887 - 1982) und der Pianist Bruno Eisner (1884 - 1978), gehörten zu den Bekannten der Familie Einstein in Berlin. Die Sängerin war schwerhörig; sie litt an Otosklerose. [Das ist eine Verknöcherung im Bereich der Steigbügelfußplatte, teilweises Anwachsen an das ovale Fenster, damit eine erhebliche Störung der Schallleitung über die Gehörknöchelchen]. Eisners wandten sich an Einstein mit der Bitte, ob bei Olga Eisner mit einer Hörhilfe eine Verbesserung des Hörvermögens erreicht werden könnte. So entstand zwischen Einstein und Goldschmidt die Idee, die Knochenleitung über die Schädeldecke zu verstärken, und zwar durch Anregung mit einem Elektromagneten. Beiden Erfindern war natürlich bewusst, dass diese Hörhilfe mit einer Implantation unter die Kopfhaut – zur Körperschallanregung des Schädels – ein

sehr kritisches Unternehmen war.

Das Ziel von Goldschmidt war dann später, Frau Olga Eisner „durch Gelenkigmachen der Hörknöchelchen“ zu helfen, wozu ein mechanischer Apparat mit von außen aufgeprägten Stößen diente. Einstein hatte in seiner Antwort offensichtlich rückgefragt, „wie lange die Hörfähigkeit nach einem Stoß bestehen bleibt.“ Dazu Goldschmidt: „Ich könnte mir vorstellen, dass ein Stoß (...) sich als brauchbar herausstellt, wenn die Stoßfolge nur langsam genug ist.“ [6, S. 174].

Viele Jahre später, im Oktober 1941, schrieb Goldschmidt an Einstein in die USA, dass er sich wiederum mit der Hörhilfe zur Knochenleitung beschäftigt habe und seine Erfindung in Großbritannien zum Patent angemeldet habe. Einsteins Antwort, in Auszügen:

„Ich habe mich sehr über Ihr Lebenszeichen gefreut, kann mich aber nicht dazu entschließen, eine neue Escapade in das Reich der Technik zu unternehmen. Erstens nämlich nimmt mich mein eigenes Geschäft ganz in Anspruch und zweitens weiß ich aus Erfahrung, dass jede Betätigung außerhalb meines Feldes nur eine hässliche ‚publicity‘ mit sich bringt, die unbedingt vermieden werden muss. (...)“ In Amerika gäbe es inzwischen Hörhilfen im Handel, „die – wie es scheint – so alt sind wie unsere damaligen Bemühungen und das Hören durch Knochenleitung recht befriedigend realisieren. Olga Eisner hat auch so einen Apparat (‚Sonotone‘). Ich schreibe Ihnen hauptsächlich deshalb, weil ich daran zweifle, dass Menschen geneigt sein werden, sich ein Stück Metall unter die Haut operieren zu lassen, wenn sie es umgehen können. Auch scheint es mir, dass jedes solche Material mit der Zeit vom Körper resorbiert oder wenigstens oxydiert werden wird. Aber das mag falsch sein.“ [6, S. 177].

Einstein und die Musik

Es gibt wohl keine Einstein-Biografie, die nicht von seinem Geigenspiel berichtet. Zunächst eine Anmerkung zu dieser Bleistiftzeichnung von Leonid Pasternak (Abb. 3 rechts): Die russische Botschaft in Berlin gehörte in den 1920-er Jahren zu „den kulturellen Begegnungsstätten Berlins“.



Abbildung 3: Einstein und sein Geigenspiel

Links: <http://www.einsteingalerie.de/portrait/violine.html>

Rechts: Bleistiftzeichnung von Leonid Pasternak (1920)

Quelle: „Albert Einstein – Ingenieur des Universums“

Einstein-Ausstellung 2005, MPI für Wissenschaftsgeschichte

„Lydia Pasternak-Slater, Tochter des Malers Leonid Pasternak und Schwester des späteren Literatur-Nobelpreisträgers Boris Pasternak [Autor von „Doktor

Schiwago“], die damals in Berlin lebten, erinnerte sich in den 1980-er Jahren : ‚Man ging dorthin, um Konzerte, Lesungen, kleine Theateraufführungen oder ein zwangloses Zusammensein zu erleben (...). Einmal spielte meine Mutter auf dem Flügel, irgendjemand fragte dann, ob sie nicht den ebenfalls anwesenden Einstein begleiten würde. Aber Einstein wehrte ab. Er sagte: ‚Ich werde es doch nicht wagen, nach solch einer Künstlerin aufzutreten!‘ Doch meine Mutter überredete ihn. Mein Vater hat das gezeichnet. Und so entstand das schöne Blatt mit der Violine spielenden Einstein.‘“ [8, S. 152], siehe auch [5, S. 253].

Einstein ist häufig nach dem Zusammenhang von Musik und Forschung befragt worden. „Die Musik und die Forschungsarbeit im physikalischen Bereich sind zwar hinsichtlich ihrer Entstehung unterschiedlich, aber sie sind miteinander durch ein gemeinsames Ziel – durch das Bestreben, das Unbekannte zu entdecken – verbunden. Ihre Reaktionen sind verschieden, aber sie ergänzen einander.“ [9, S. 444]

Einsteins ältester Sohn erzählt, sein Vater habe oft gesagt, „dass eines der wichtigsten Dinge in seinem Leben die Musik sei. Immer wenn er das Gefühl hatte, ans Ende eines Weges gekommen zu sein oder wenn er sich bei seiner Arbeit einer schwierigen Herausforderung gegenüber sah, sucht er Zuflucht in der Musik, und das löste all seine Schwierigkeiten.“ [2, S. 172]

Auf die Frage von Hedwig Born (Ehefrau des Nobelpreisträgers Max Born), ob – hinsichtlich musikalischer Vergleiche – alles auf physikalische Gesetzmäßigkeiten zurückgeführt werden könne, antwortete Einstein: „Ja, das ist denkbar, aber sinnlos. Es wäre eine Abbildung mit inadäquaten Mitteln, so als ob man eine Beethoven-Symphonie als Luftdruckkurve darstellte.“ [2, S. 184].

Die Qualität von Einsteins Geigenspiel ist sehr kontrovers beurteilt worden. Das Urteil von Prof. Walter Friedrich (Rektor der Humboldt-Universität von 1949 – 1952, Präsident der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin von 1951 – 1956): „Einstein hatte einen Strich wie ein Holzfäller‘. Da Friedrich ein ausgezeichnete Violinspieler war, hat sein Urteil Gewicht.“ [7, S. 129]

Der russische Cellist Alexander Barjansky (1883 – 1946) äußerte sich über Einsteins Geigenspiel: „Wie Einstein Mozart spielte, war einzig. Ohne ein Virtuose zu sein und vielleicht gerade deswegen, hat er die Tiefe und Tragik des Mozartschen Genies so selbstverständlich auf seiner Geige wiedergegeben.“ [14] (zitiert bei [2, S. 180])

„Einstein war ein Amateur, ein Musikliebhaber ohne professionellen Ehrgeiz. (...) Die Hochachtung für den berühmten Physiker färbte jede Kritik freundlich. (...) Wohl weil er berühmt war, spielten berühmte Musiker mit ihm.“ [2, S. 180].

„Es soll einen Kritiker gegeben haben, der von Einsteins Berühmtheit wusste, aber seine Tätigkeit als Physiker nicht kannte. Er schrieb: ‚Einstein spielt ausgezeichnet. Sein Weltruhm aber ist unbegründet. Es gibt viele ebenso gute Geiger.‘“ [2, S. 179].

Und schließlich Einsteins Selbsteinschätzung seines Spiels:

„Der Dilettant hat ja sein Recht, und spielte er auch noch so schlecht; doch soll es andre nicht verdrießen, so muss er brav die Fenster schließen.“ (nach [5, S. 253])

Einstein musizierte in Bern mit Freunden und Kommilitonen, in Berlin mit Kollegen wie Planck und Nernst, Born und Ehrenfest und später mit weltberühmten

Künstlern. Einstein musizierte in Duos, Trios, Quartetten und Quintetten, mit einem Buchhalter und einem Gefängnisaufseher, die nichts von seinem Beruf wussten. Er spielte in Prag mit Max Brod [dem Kafka-Herausgeber und Werfel-Entdecker] am Klavier eine Violinsonate von Mozart. (Informationen aus [2, S. 175 - 177]).

Lise Meitner schreibt über ein Hauskonzert in der Berliner Wohnung von Max Planck, bei dem Planck, Einstein und ein Berufsmusiker ein Stück von Beethoven spielten: „Das Zuhören war ein wunderbarer Genuss, für den ein paar zufällige Entgleisungen Einsteins nichts bedeuteten. Einstein, sichtlich erfüllt von der Freude an der Musik, sagte laut lachend in seiner unbeschwerten Art, dass er sich wegen seiner mangelhaften Technik schäme (...).“ [2, S. 176].

Zu Einsteins Einschätzung von zahlreichen Komponisten gibt es Angaben aus Fragebögen, die er ausgefüllt hatte. Er liebte besonders Mozart, Bach und Schubert. „Was ich zu Bach's Lebenswerk zu sagen habe: Hören, spielen, lieben, verehren und – das Maul halten. Zu Schubert habe ich nur zu bemerken: Musizieren, Lieben – Maulhalten!“ [4, S. 72]. Beethoven war ihm zu dramatisch, bei Wagner empfand er „die musikalische Persönlichkeit als unbeschreiblich widerwärtig, so dass ich ihn meist nur mit Widerwillen anhören kann.“ [4, S. 74]

Zu einer Mozartsonate (KV 301, G-Dur) sagte er: „Sie ist so rein und schön, dass ich sie als die innere Schönheit des Universums ansehe.“ [2, S. 182].

Und schließlich: Einstein an seinen Enkel Bernhard (etwa 1945): „Es freut mich, dass Du nun so reges Interesse für Musik hast. Pflege es gut, es gibt keinen besseren Begleiter in diesem Leben. Ich kann mir mein eigenes Leben ohne Musizieren überhaupt nicht denken und habe in allen schweren Stunden (und auch in frohen) so gut mit mir und der Welt fertig werden können, weil ich stets diese Zuflucht gehabt habe, die einen frei und unabhängig macht.“ [11, Seite 178]

Gibt es auch in der Akustik ein $E = mc^2$?

Diese Frage, ob es zur berühmten Einsteinschen Gleichung eine formale Entsprechung in der Akustik gibt, ist von Lighthill aufgeworfen worden, in der Publikation „Acoustic streaming“ (1978) [10]. Aus dem Zusammenhang zwischen Schalldruck p_a und der akustischen Dichteänderung ρ_a ,

$p_a = \rho_a c^2$, folgt durch Multiplikation mit der Schallschnelle \vec{u}_a und Mittelwertbildung für die Energieflussdichte ($\hat{=}$ Intensität) der Ausdruck $\vec{I} = \overline{p_a \vec{u}_a} = \overline{\rho_a \vec{u}_a} c^2$

Das bedeutet: Die **Energieflussdichte** \vec{I} im Schallfeld ist **gleich** der akustischen **Massenflussdichte** $\overline{\rho_a \vec{u}_a}$, **multipliziert mit dem Quadrat der Schallgeschwindigkeit**.

Dazu schreibt Lighthill: „Diese Gleichung zeigt, dass Einstein's berühmtes Gesetz, das Energie E und Masse M miteinander verbindet, nicht nur bei kleinen Partikeln und bei elektromagnetischen Wellen angewendet wird (wobei dann c als Lichtgeschwindigkeit zu nehmen ist), sondern auch bei Schallwellen (mit c als Schallgeschwindigkeit).

Verbunden mit irgendeinem akustischen Energiefluss \vec{I} ist ein akustischer Massenfluss $\vec{I}/c^2 = \overline{\rho_a \vec{u}_a}$.“ [10, S. 395].

Das bedeutet: In der Akustik sind der Massenfluss und der Energiefluss mit dem Quadrat der Schallgeschwindigkeit gekoppelt. Ein relativ geringer akustischer Massenfluss (Produkt zweier Größen von kleiner Ordnung) ruft durch die Multiplikation mit dem Quadrat der Schallgeschwindigkeit einen erheblichen akustischen Energiefluss hervor. Das ist aber keine solche spektakuläre Aussage, wie das die Einsteinsche $E = mc^2$ -Gleichung darstellt!

Schlussbemerkung

Ich möchte mit diesem Vortrag nicht den – sicher untauglichen – Nachweis erbracht haben, dass Albert Einstein ein Akustiker war. Aber es ist immer wieder bemerkenswert, dass große Wissenschaftler vieler Fachdisziplinen sich auch in ihrem wissenschaftlichen Leben mit akustischen Fragen befasst haben, wie z. B. Pythagoras und Platon, Aristoteles und Xenophon, al-Farabi und Avicenna, Euler, Newton, Bernoulli, Riemann, Schrödinger, und eben auch Albert Einstein. Das Fachgebiet der Akustik ist bekanntermaßen außerordentlich interdisziplinär. Wissenschaftler vieler Fachgebiete sind irgendwann auch auf ein akustisches Problem in ihren wissenschaftlichen Arbeiten oder bei einer sonstigen beruflichen oder privaten Tätigkeit gestoßen. Oder andererseits: auch in heutigen Zeiten ist es hin und wieder erkennbar, dass Akustiker durch die Interdisziplinarität dieses Fachgebietes auch in anderen Wissenschaftsdisziplinen originäre Beiträge erarbeitet haben.

Literatur/Quellen (auch weiterführende)

- [1] Cremer, L.: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik. Band III. S. Hirzel Leipzig 1950
- [2] Ehlers, A.: „Die meiste Lebensfreude kommt aus meiner Geig“ – Albert Einstein und die Musik. In: Steiner, F.: Albert Einstein – Genie, Visionär und Legende. Springer Berlin, Heidelberg 2005, S. 171 – 189
- [3] Einstein, A.: Schallausbreitung in teilweise dissoziierten Gasen. Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften 1920, Seite 380 – 385
- [4] Einstein, A.: Briefe. Diogenes Zürich 1981
- [5] Goenner, H.: Einstein in Berlin. 1914 – 1933. Verlag C. H. Beck, München 2005
- [6] Graff, K. W.: Albert Einstein als Erfinder in den Jahren 1907 – 1933. Dissertation Universität Stuttgart 2004
- [7] Herneck, F.: Einstein privat. Herta W. erinnert sich. Buchverlag Der Morgen, Berlin 1978
- [8] Hoffmann, D.: Einsteins Berlin – auf den Spuren eines Genies. WILEY-VCH Verlag, Weinheim 2006
- [9] Kuznecov, B. G.: Einstein: Leben – Tod – Unsterblichkeit. Akademie-Verlag, Berlin 1979 (2. Auflage)
- [10] Lighthill, M. J.: Acoustic streaming. J. of Sound and Vibration 61 (1978) pp. 391 – 418
- [11] Rosenkranz, Z.: Einstein – privat und ganz persönlich. Produktion/Redaktion: Historisches Museum Bern u. a.; Herausgeber: Albert-Einstein-Archiv u.a.; © 2004 Jüdische National- u. Universitätsbibliothek Jerusalem
- [12] Schaaf, M.: Albert Einstein - Wissenschaftler und Weltbürger. Universität Hamburg, 2. November 2004
- [13] Sessler, G.: Schallausbreitung in teilweise dissoziiertem, gasförmigem Distickstofftetroxyd. Acustica Vol. 10 (1960) S. 44 - 59
- [14] Wickert, J.: Albert Einstein. Rowohlt, Hamburg 2014