

Nr. 02 / Juni 2018

AKUSTIK JOURNAL



Humane Stimmgebung ■ Audio- und Neuroplastizität der Klangwahrnehmung ■ Akustik anspruchsvoller Räume ■

12. DEGA-Symposium „Interdisciplinary Topics in Acoustics: Physiology and Virtual Reality“ ■

Preisträger(innen) der DEGA 2018 ■ DEGA-Akademie: Kurs „Strömungsakustik“ und Kurs „Psychoakustik“ ■ Rückblick auf den Tag gegen Lärm 2018 ■ Vorschau: DAGA 2019 ■





Schallimmissionsmessungen mit dem Nor150



Noise Monitoring über NorCloud

Als DAkkS-akkreditiertes Kalibrierlabor (nach DIN EN ISO/IEC 17025) sind wir für viele Kunden ein anerkannter Partner für die Messmittelüberwachung. Für eichpflichtige Schallpegelmesser können wir auch die Abwicklung der Eichung für Sie übernehmen.

Editorial

Die neue ASR A3.7 Lärm jetzt in Kraft

Liebe Leserinnen und liebe Leser,

eigentlich ist es nicht geplant, dass ich Sie jedes Mal auf der ersten Seite des Akustik Journals begrüße und Dinge anspreche, die meines Erachtens in der Welt der Akustik auf Interesse stoßen könnten. Stattdessen wollen wir jeweils einer Persönlichkeit mit starkem Bezug zu Fragen der Akustik den Platz einräumen, um diese Aufgabe aus ihrer Sicht zu übernehmen. Dass das für diese Ausgabe noch nicht so gehalten wird, hat verschiedene Gründe. Dann im nächsten Heft.

Dieses Einspringen gibt mir aber die Gelegenheit, Sie auf das aktuelle Erscheinen einer Arbeitsstättenregel hinzuweisen, nämlich der ASR A3.7 „Lärm“, die gerade (18.05.2018) im Gemeinsamen Ministerialblatt der Bundesregierung bekannt gemacht wurde. Ob der vielen Verordnungen, Vorschriften, Richtlinien, Normen etc., die es zum Thema Lärm gibt, fragen Sie sich vielleicht, was daran so erwähnenswert ist. Sie ist hier erwähnenswert, weil ich glaube, dass sonst viele – in welcher Form auch immer – Betroffene diese ASR kaum zur Kenntnis nehmen, zumindest nicht so schnell.

Die Auslösewerte von 80 dB(A) bzw. 85 dB(A) kennen wahrscheinlich viele von Ihnen. Mit ihnen sollen aurale Schädigungen ausgeschlossen werden. Gegenstand der ASR A3.7 ist jedoch die Vermeidung von extra-auralen Schädigungen, die auch unterhalb der Auslösewerte eintreten können. Immer mehr Arbeitsplätze sind geprägt durch geistige oder sogar intensive geistige Tätigkeit. Da können schon Lärmpegel von 70 dB(A) bzw. 55 dB(A) eine mentale Belastung darstellen. Auf die Auswirkungen, Anforderungen an Arbeitsstätten, mögliche Gegenmaßnahmen etc. geht die ASR A3.7 ein. Also ein allgemein lesenswertes Regelwerk: Arbeitsplätze, wo gibt es die nicht. Und die ASR A3.7 ist weitgehend verbindlich. Sie können sie bei der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin herunterladen (<http://www.baua.de>).

Neben dieser Lektüre lege ich Ihnen natürlich auch die unserer Beiträge in diesem Heft ans Herz. Sehr spannend, wie das Musizieren, die intensive aktive Verarbeitung von Schall, im Gehirn nachweisbar das Hörvermögen prägt. Kein Wunder, dass solchermaßen geprägte Menschen die Akustik eines Konzertsaaes anders beurteilen als allgemein der reine Musikkonsument. Wer oder was ist hier der Qualitätsmaßstab? Und wie komplex der Mensch funktioniert, zeigt auch der Beitrag zur Nachbildung der humanen Stimmgebung: Es ist schon eine große Herausforderung, diese technisch-mathematisch zu modellieren. Des Weiteren gibt es viele lesenswerte Informationen, die früher das Sprachrohr füllten.

Viel Vergnügen bei der Lektüre!

Ihr
Detlef Krahé



*Prof. Dr.-Ing. Detlef Krahé
Chefredakteur*

Inhalt

Akustik Journal Nr. 02 / Juni 2018

- **5 Aktuelles**
- **7 Fachartikel**
 - 7 **Die humane Stimmgebung**
Stefan Becker, Michael Döllinger, Manfred Kaltenbacher
 - 16 **Audio- und Neuroplastizität der Klangwahrnehmung**
Peter Schneider, Jan Benner, Bettina Zeidler, Markus Christiner, Annemarie Seither-Preisler, Dorte Engelmann
 - 31 **Thesen zur Akustik anspruchsvoller Räume**
Helmut V. Fuchs
- **47 Ehrungen der DEGA**
 - 47 **Preisträger(innen) 2018**
 - 48 Laudatio für Prof. Wolfgang Ahnert
 - 50 Laudatio für Dr. Anna Warzybok
- **51 Menschen**
- **52 Veranstaltungen**
 - 52 **Veranstaltungshinweise**
 - 52 3rd Polish-German Structured Conference on Acoustics
 - 52 12. DEGA-Symposium
 - 52 DEGA-Akademie: Kurs „Strömungsakustik“
 - 53 DEGA-Akademie: Kurs „Psychoakustik“
 - 53 IOA Auditorium Acoustics 2018 Conference
 - 54 **Vorschau**
 - 54 DAGA 2019
 - 55 **Veranstaltungsrückblick**
 - 55 21. Tag gegen Lärm 2018
 - 56 **Veranstaltungskalender**
- **58 DEGA**
 - 58 **Nachrichten und Mitteilungen aus der Fachgesellschaft**
 - 58 Protokoll der Mitgliederversammlung
 - 60 Hinweise zum Datenschutz
 - 61 **Fachausschüsse / Fachgruppen**
 - 66 **Mitglieder / Fördermitglieder**
- **67 Aus der Industrie**
- **68 Publikationen**
 - 68 **Zeitschriften, Tagungsbände, Empfehlungen und Memoranden, Broschüren etc.**
- **70 Impressum**

Aktuelles

Nachrichten aus der Akustik

■ 12. DEGA-Symposium



Das diesjährige DEGA-Symposium unter dem Titel „Interdisciplinary topics in Acoustics: Physiology and Virtual Reality“ wird vom 17.–18.09.2018 in Aachen stattfinden. Alle weiteren Informationen zum Symposium finden Sie auf Seite 52 oder im beiliegenden Faltblatt. ■

■ Reisekostenzuschüsse „DEGA Young Scientist Grants“

Um jungen Akustiker(inne)n die aktive Teilnahme an internationalen Tagungen mit dem Schwerpunkt Akustik zu ermöglichen, vergibt die DEGA Reisekostenzuschüsse. Es können Reisen gefördert werden, in deren Rahmen die Antragstellerin / der Antragsteller einen Vortrag oder ein Poster mit Veröffentlichung präsentiert.

Ein Merkblatt mit sämtlichen Details und Anforderungen finden Sie hierzu unter <https://www.dega-akustik.de/preise-grants/ys-grants/>. ■

■ DEGA-Akademie

Kurs „Strömungsakustik – Grundlagen und Anwendungen in Lüftungs- und Klimasystemen“

Termin: 19.–21. September 2018

Ort: Erlangen

Kurs „Psychoakustik – Grundlagen und Anwendungen“

Termin: 25.–27. September 2018

Ort: Aachen

Ausführliche Informationen zu den einzelnen Akademiekursen (Programm, Gebühren, Anmeldung etc.) finden Sie auf den Seiten 52f oder unter <https://www.dega-akustik.de/>. ■

■ Lothar-Cremer-Preis und DEGA-Studienpreis: Vorschläge einreichen

Alle Mitglieder der DEGA sind eingeladen, Kandidatinnen und Kandidaten für den Lothar-Cremer-Preis vorzuschlagen, der während der DAGA 2019 in Rostock verliehen wird. Bitte senden Sie Ihren Vorschlag mit Würdigung, Lebenslauf, Publikationsliste und Veröffentlichungen bis spätestens 31. August 2018 in dreifacher Ausfertigung in Papierform an die Geschäftsstelle der DEGA. Es sollten solche schriftlichen Arbeiten beigefügt werden, auf die sich der Auszeichnungsvorschlag inhaltlich begründet (z. B. Dissertation, ausgewählte Zeitschriftenaufsätze), siehe auch <http://www.dega-akustik.de/preise-grants/lothar-cremer-preis>.

Ebenso können alle Hochschullehrer Kandidatinnen und Kandidaten für den DEGA-Studienpreis bis zum 15. September 2018 vorschlagen, der ebenfalls während der DAGA 2019 in Rostock verliehen wird. Bitte fügen Sie Ihrer Begründung einen tabellarischen Lebenslauf, die Abschlussarbeit (Master, Bachelor, Diplom o. ä.) und eine Würdigung durch einen weiteren Fachmann bei. Alle Dokumente sollen ausschließlich elektronisch an dega@dega-akustik.de eingereicht werden. Die Arbeit muss bereits benotet worden sein; andererseits darf die Abgabe nicht mehr als ein Jahr zurückliegen (Benotung und Abgabedatum bitte angeben). Weitere Details stehen auf <http://www.dega-akustik.de/preise-grants/dega-studienpreis>. ■

■ Acta Acustica / Acustica: Inhalte von Tagungsbeiträgen

Das Editorial Board der Zeitschrift „Acta Acustica united with Acustica“ hat kürzlich Folgendes festgelegt: Autorinnen und Autoren können Manuskripte für wissenschaftliche Artikel auch dann für die Zeitschrift einreichen, wenn ein Teil der Inhalte bereits bei Tagungen der EAA (Forum Acusticum, Euronoise, Euroregio) oder deren Mitgliedsgesellschaften (DAGA, CFA, OSA, etc.) publiziert wurde. Die Konferenzpublikation stellt nun keinen generellen Ablehnungsgrund für das Manuskript mehr dar. ■

■ Rückblick auf den Tag gegen Lärm 2018

Am 25. April 2018 fand der 21. Tag gegen Lärm – International Noise Awareness Day statt. „Laut war gestern“ war das Motto.

Die zentrale Veranstaltung, die von der DEGA gemeinsam mit dem Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten des Landes Rheinland-Pfalz organisiert wird, wird am 15. Juni 2018 in Berlin in acht Vorträgen unter dem Motto „Laut war gestern – Straßenverkehrskonzepte heute“ verschiedene Straßenverkehrsstrategien thematisieren. Detaillierte Informationen zum Aktionstag und zur Medienpräsenz in diesem Jahr, sowie zum neuen Twitter-Kanal des Tag gegen Lärm erhalten Sie im Rückblick auf Seite 55.

Übrigens: Das Datum des 22. Tag gegen Lärm – International Noise Awareness Day 2019 steht bereits fest. Er wird am 24. April 2019 stattfinden. ■



■ ALD-Broschüre „Schienenverkehrslärm – Ursachen-Wirkungen-Schutz“ erschienen

Unter dem Titel „Schienenverkehrslärm – Ursachen-Wirkungen-Schutz“ ist Anfang März 2018 der dritte Band der ALD-Schriftenreihe erschienen. Detailliertere Informationen zum Inhalt der Broschüre erhalten Sie im Beitrag des Arbeitsrings Lärm der DEGA auf Seite 62.

Die Broschüre ist auf der Webseite des ALD unter dem Link http://www.ald-laerm.de/fileadmin/ald-laerm.de/Publikationen/Druckschriften/ALD-Broschuere_Schienenverkehrslaerm_Web.pdf elektronisch verfügbar. ■



■ Hinweise zum Datenschutz

Seit Ende Mai 2018 gelten in der EU neue Datenschutz-Bestimmungen. Hierzu hat die DEGA ein Dokument mit Hinweisen zum Datenschutz erstellt. Detaillierte Informationen erhalten Sie auf Seite 60 oder unter <https://www.dega-akustik.de/mitglieder-und-beitritt/service/>. ■

■ IOA Auditorium Acoustics 2018 Conference

Das britische Institute of Acoustics (IOA) veranstaltet seine „Auditorium Acoustics Conference“ im Jahr 2018 mit Unterstützung der DEGA in der Hamburger Elbphilharmonie.

Detaillierte Informationen zur Veranstaltung finden Sie auf Seite 53 oder unter <https://ioa.org.uk/civicism/event/info?reset=1&id=294>. ■

Testeinrichtungen für Industrie und Forschung



Akustische Messräume

als Halb- und Vollfreifeld und als Hallräume

deutschland@iac-gmbh.de
www.iac-noisecontrol.com

Die humane Stimmgebung

als Produkt einer Fluid-Struktur-Akustik Interaktion

Stefan Becker, Michael Döllinger, Manfred Kaltenbacher

Der Stimmgebungsprozess ist ein komplexer physiologischer Vorgang, der primär im Kehlkopf stattfindet. Die Stimmerzeugung bzw. der Stimmklang hängen vom exakten Zusammenspiel zwischen Luftströmung, Bewegungen von Gewebestrukturen und Vokaltraktgeometrien ab. Der Stimmgebungsprozess ist somit ein Paradebeispiel einer biologischen Fluid-Struktur-Akustik Interaktion (FSAI) im Menschen. Aufgrund der räumlichen Enge im Kehlkopf und der Komplexität des Prozesses ist diese FSAI bisher noch relativ wenig verstanden. Der vorliegende Beitrag zeigt aktuelle Simulationsmodelle und experimentelle Methoden auf, die speziell dafür entwickelt wurden, die hier vorliegende FSAI zu analysieren und besser zu verstehen. Die Simulationsmodelle basieren auf der numerischen Lösung der physikalischen Gleichungen, wobei dazu vorrangig Finite-Elemente und Finite-Volumen Methoden zum Einsatz kommen. In den experimentellen Ansätzen erfolgen synthetische Nachbauten vereinfachter und komplexer Kehlkopfmodelle mit und ohne Vokaltraktgeometrie. Der wesentliche Vorteil numerischer Modelle und synthetischer Nachbauten im Gegensatz zu in vivo Untersuchungen ist die bessere Zugänglichkeit der FSAI während des Stimmgebungsprozesses. Ziel der näheren und zukünftigen Untersuchung der FSAI ist das fundierte Verständnis der menschlichen Stimmgebung und somit die Voraussetzung für verbesserte und zielgerichtete Therapieverfahren.

Einführung

In den heutigen Dienstleistungsgesellschaften nimmt die Kommunikation eine immer größere gesellschaftliche und soziale Rolle ein. Die wohl wichtigste Form der Kommunikation basiert auf der Sprache. Physiologische Grundlage der Sprache ist eine funktionierende Stimmgebung. Die für die Stimmgebung wichtigsten Strukturen sind hierbei die zwei sich gegenüberliegenden Stimmlippen, die bei der Stimmgebung (auch Phonation genannt) durch einen von den Lungen kommenden Luftstrom, zum Schwingen angeregt werden. Der erzeugte Grundton korrespondiert mit der Schwingungsfrequenz der Stimmlippen und ist abhängig von Geschlecht und Alter. Kinder erzeugen einen physiologischen Grundton bei ca. 230 Hz – 300 Hz, Frauen bei 190 Hz – 250 Hz und Männer bei 120 Hz – 160 Hz [1]. Bei Singstimmen wurden jedoch auch Stimmlippenschwingungen

Human Phonation as a Fluid-Structure-Acoustic Interaction

Human phonation is a complex interaction of fluid mechanics, solid mechanics and acoustics. As the lungs compress, air flows through the larynx passing the vocal folds which form a narrow constriction, the glottis. The air flow forces the vocal folds to vibrate which in turn generate a pulsating air stream. Based on aeroacoustic principles, the sound is generated by the pulsating air-jet and supraglottal turbulent structures. Thereby, the voice is a prime example for a biological Fluid-Structure-Acoustic Interaction (FSAI). This contribution presents the state of art simulation models and experimental investigations, which have been developed to gain a detailed understanding of this complex FSAI process. The numerical simulation models are based on the physical equations of flow dynamics, structural mechanics and acoustics as well as their interactions and are mainly solved by the Finite Element (FE) and / or Finite Volume (FV) method. The experimental investigations are based on synthetic models, which mimic the phonatory process without and with vocal tract. Thereby, a reasonable accessibility by modern measurement techniques is obtained.

von bis zu 1.568 Hz beobachtet [2]. Der erzeugte Grundton wird dann im supraglottalen Vokaltrakt wie Rachen, Mund- und Nasenhöhle moduliert und vom Gegenüber als Ton wahrgenommen [3]. Die aktuelle Annahme ist, dass bei der Stimmgebung das akustische Schallsignal aus einer Kombination von 3 Quellkomponenten der Fluid-Struktur-Interaktion resultiert, die in ihren prozentualen Anteilen am Gesamtschall je nach Frequenzbereich variieren können. Dieser Sachverhalt ist in Abb. 1 (siehe folgende Seite) schematisch dargestellt. Durch das periodische Öffnen und Schließen der Glottis kommt es zum volumenstrommodulierten Schallanteil. Der wirbelinduzierte Schallanteil lässt sich aus supraglottalen Luftwirbeln unterschiedlicher Frequenz und räumlicher Ausdehnung erklären. Dabei ist festzuhalten, dass die Frequenz des entstehenden Schalls indirekt proportional zur charakteristischen Wirbelgröße ist,

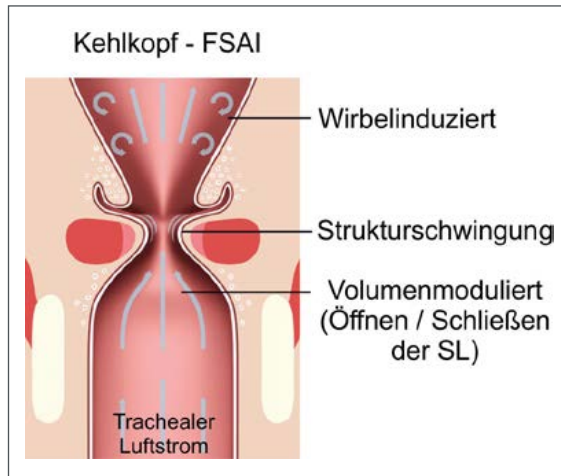


Abb. 1: Der Luftstrom trifft auf die zunächst geschlossenen Stimmlippen (SL) und regt diese zur Schwingung an. Durch das Öffnen und Schließen der Stimmlippen entsteht ein pulsierender Luftstrom, der den Grundton der Stimme erzeugt. Zusätzlich entstehen Wirbel, die zum Grundton als auch zum Rauschanteil des Signals beitragen können. Die Strukturschwingungen der Stimmlippen sind die dritte Komponente, die zum akustischen Grundsignal der Stimme beiträgt.

also je kleiner der Wirbel, desto höher die Frequenz des erzeugten Schalls. Diese wirbelinduzierten Schallanteile tragen einerseits zum Grundton und den Harmonischen bei und andererseits auch zu den in der Stimme vorkommenden Rauschkomponenten (nicht-harmonischer Anteil). Den dritten Beitrag bildet der vibrationsinduzierte Schallanteil, welcher durch die schwingenden Stimmlippen entsteht (wie die schwingende Membran eines Lautsprechers). Dieser Anteil spielt hinsichtlich der Schallerzeugung eine untergeordnete Rolle und kann in mathematischen Modellen vernachlässigt werden. Somit kann festgehalten werden, dass der Stimmgebungsprozess ein aeroakustisches Phänomen ist.

Die aktuelle Auffassung über die Stimmstehung besagt, dass eine gesunde also physiologische Stimme durch periodische, links-rechts symmetrische Stimmlippenschwingungen mit vollständigem Glottisschluss charakterisiert ist. Glottisschluss heißt, dass der Spalt zwischen den Stimmlippen (auch Stimmritze genannt) während der Oszillation vollständig schließt. Eine funktionelle Stimmstörung, wahrnehmbar als heisere, raue oder behauchte Stimme, wird hingegen durch aperiodische, links-rechts asymmetrische Stimmlippenschwingungen bzw. einer vorhandenen Glottisschlussinsuffizienz charakterisiert [4, 5, 6]. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Stimme bzw. Phonation aus einer komplexen Fluid-Struktur-Akustik Interaktion (FSAI), wie in Abbildung 2 dargestellt, resultiert. In den letzten Jahren wurden zwei Herangehensweisen

favorisiert, um diese FSAI innerhalb der Stimmgebung zu untersuchen und zu verstehen:

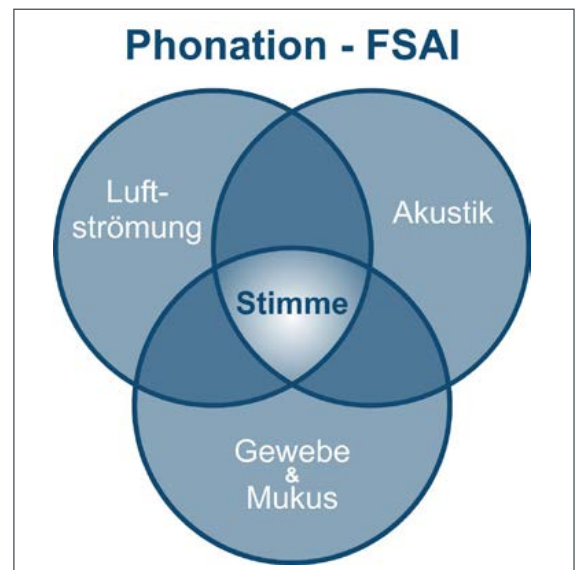
- Simulationsmodelle basierend auf den der Physik zugrundeliegenden Gleichungen der Strömungsmechanik, Strukturmechanik und Akustik.
- Experimentelle Modelle, bestehend aus nachgebauten Silikon-Stimmlippen, die durch eine künstlich erzeugte Luftströmung zum Schwingen angeregt werden. Zusätzlich kommen Stimmlippenmodelle zum Einsatz, deren Strukturbewegung extern aufgeprägt wird.

Diese beiden Ansätze sind je nach Ausrichtung der zu analysierenden Komponenten mehr oder weniger detailgetreu. Detailliertere Modelle berücksichtigen beispielsweise die Taschenfalten oder den für die finale Tonerzeugung nicht zu vernachlässigbaren supraglottalen Trakt. Der vorliegende Artikel gibt eine Übersicht über die aktuellen Modellierungsansätze, die dazu verwendet werden, den Prozess der Stimmgebung im Allgemeinen und im speziellen die FSAI innerhalb dieses Prozesses zu untersuchen.

Simulationsmodelle

Das primäre physikalische Feld der Stimmgebung ist das räumliche und zeitlich veränderliche Strömungsfeld. Dieses Feld mit den Beschreibungsgrößen Geschwindigkeit $v(x,t)$, Druck $p(x,t)$ und Dichte $\rho(x,t)$, welche eine Funktion des Ortes x und der Zeit t sind, wird durch die Grundgleichungen der Strömungsmechanik – Erhaltung der Masse, des Impulses und der Energie sowie den konstitutiven Gesetzen – beschrieben. Die Gleichungen sind in der Lage sowohl die Strömung als auch den entstehenden Schall (aufgrund der kompressiblen Beschreibung des

Abb. 2: Stimme als Ergebnis einer komplexen FSAI bestehend aus der Interaktion von Luftströmung (Fluid), Stimmlippengewebe (Struktur) und Akustik



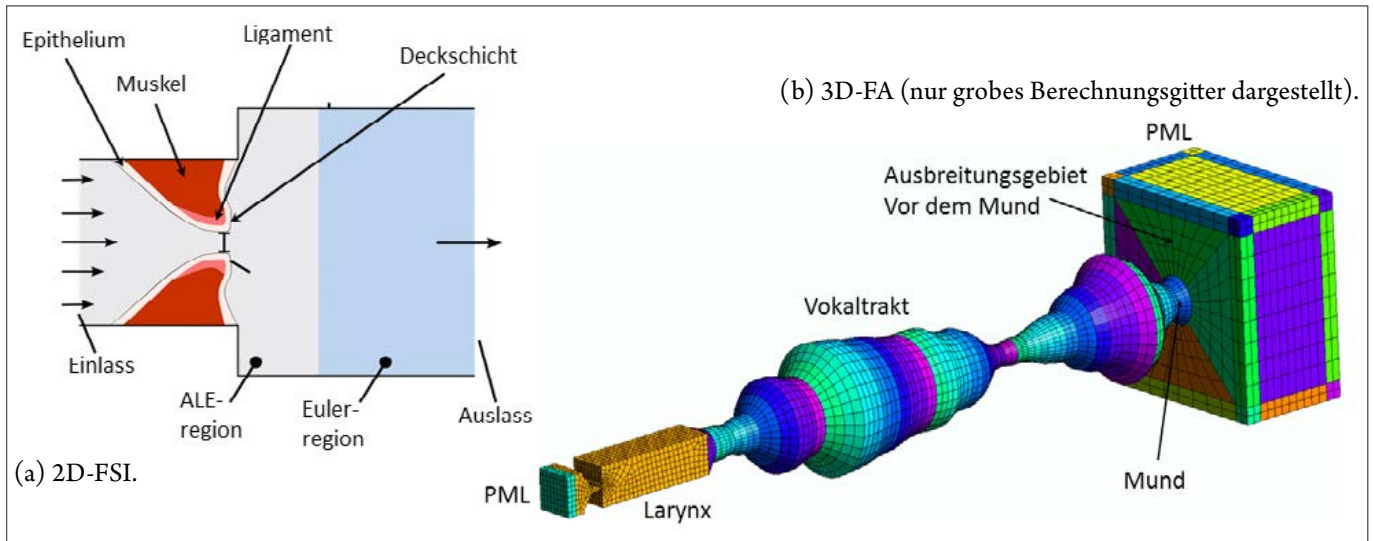


Abb. 3: Zwei unterschiedliche Modellansätze: 2D Fluid-Struktur-Interaktion und 3D Fluid-Akustik

Fluids) und deren Ausbreitung zu modellieren. Die Schwingungen der Stimmlippen werden durch biomechanische Grundgleichungen mit der primären physikalischen Größe mechanische(r) Auslenkung $u(x,t)$ modelliert. Die biologische Fluid-Struktur-Interaktion (FSI) berücksichtigt einerseits die Strömungskräfte auf die Stimmlippen und andererseits das sich ständig ändernde Strömungsgebiet durch die schwingenden Stimmlippen, welches beim Glottisschluss sogar zu einem kompletten Abbruch des Volumenstroms durch die Stimmlippen führt. Das gekoppelte Gleichungssystem ist stark nichtlinear, womit eine numerische Lösung sehr zeitaufwendig ist. Bei hochaufgelösten Simulationen, welche die Physik dieser Interaktion abbilden kann, ist hier von mehreren Monaten Rechenzeit auf einem Supercomputer auszugehen [7, 8].

Dabei ist zu erwähnen, dass es derzeit noch kein realitätsnahes Materialmodell für den schichtartigen Aufbau der Stimmlippen gibt. Ein vereinfachtes Modell ist in Abb. 3a zu sehen, welches die vier Schichten Epithelium, Lamina propria, Ligament und Muskel berücksichtigt. Dabei wurde die Mukus-Schicht, welche für die Funktionsweise einer gesunden Stimme von entscheidender Bedeutung ist [9, 10, 11], hier nicht berücksichtigt. Aktuell gibt es noch keinen robusten Algorithmus, welcher das mechanische Kontaktproblem der sich schließenden Stimmlippen in Kombination mit der Luftströmung numerisch lösen kann. Um dennoch physikalische Erkenntnisse über die komplexe FSAI zu gewinnen, wurden in den letzten Jahren folgende zwei Modellierungsansätze innerhalb unserer Forschungsgruppen entwickelt:

- 2D Fluid-Struktur-Interaktion (2D-FSI)
- 3D Fluid-Akustik (3D-FA).

Im ersten Fall werden die gekoppelten Strömungsmechanik-Strukturmechanik-Gleichungen in einem

Schnitt der Glottis gelöst und nur Anwendungsfälle simuliert, wo es zu keinem Kontakt der beiden Stimmlippen kommt [12, 13]. Dabei wird, wie in Abb. 3a dargestellt, der Aufbau der Stimmlippen mit 4 Schichten modelliert und das gekoppelte 2D-FSI Gleichungssystem mit der Finiten-Elemente-Methode (FEM) gelöst. Durch entsprechende Simulationen konnte gezeigt werden, dass die FSI auf eine Strömungssimulation mit vorgegebener Geometrieänderung im Bereich der Glottis, also Vorgabe der Stimmlippenschwingung, reduziert werden kann [14].

Der zweite Modellansatz – 3D Fluid-Akustik (3D-FA) – basiert zunächst auf der Tatsache, dass die bei der Stimme vorkommende Mach-Zahl sehr klein ist und somit die Strömung als inkompressibel beschrieben werden kann. Damit kann ein hybrider Aeroakustik-Ansatz verwendet werden [15]. Aus den inkompressiblen Strömungsdaten werden die akustischen Schallquellen berechnet, die die Eingangsparameter für die Lösung der akustischen Wellengleichung bilden. Der wesentliche Vorteil von dreidimensionalen Modellen ist, dass nur damit die komplexen Strömungsverhältnisse im Kehlkopf realitätsnah berechnet werden können. Die realitätsnahe Simulation der Strömung ist deshalb von entscheidender Bedeutung, da sich aus diesen Ergebnissen die Schallquellen des Stimm- bzw. Singsignals ergeben. Zusätzlich soll erwähnt werden, dass erst durch die 3D-Geometrie eine reale Stimmlippenbewegung – Lateral-, Vertikal- und Longitudinalbewegung – vorgegeben werden kann. Abbildung 3b zeigt das Rechengebiet für einen derartigen Modellansatz. Dabei wird der Vokaltrakt durch Zylinder unterschiedlicher Durchmesser und Längen nachgebildet. Mit Hilfe einer PML (Perfectly Matched Layer) Technik kann das Simulationsgebiet für die akustische Berechnung begrenzt werden,

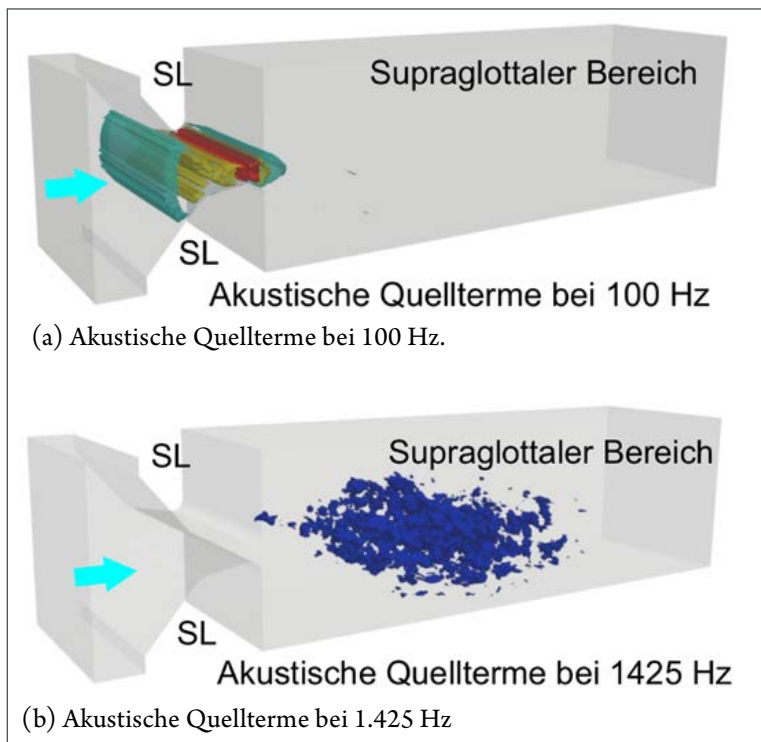


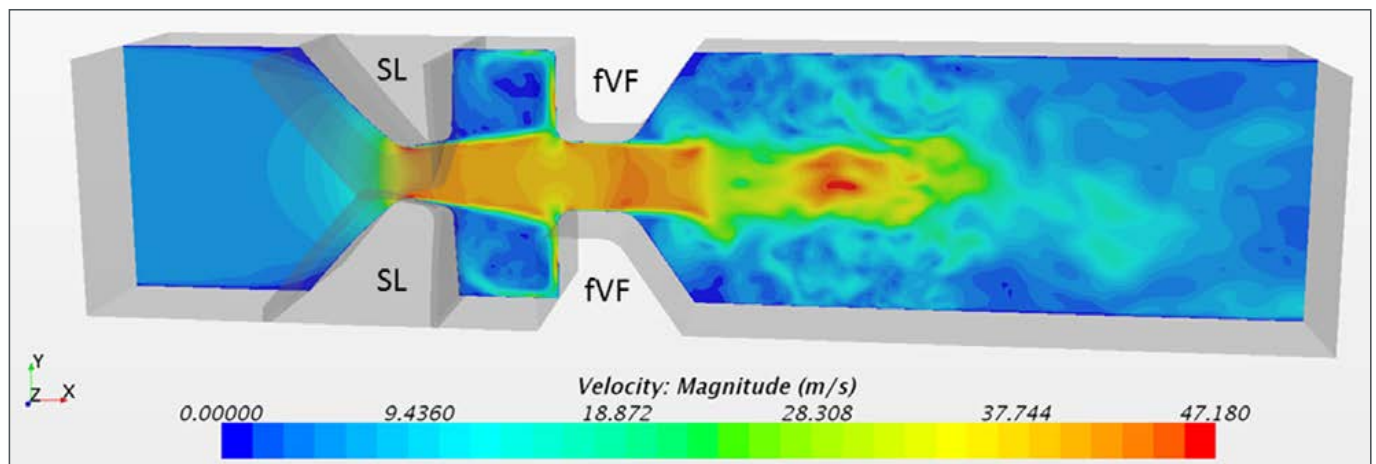
Abb. 4: Dreidimensionale numerische Simulation der Stimmgebung: Blauer Pfeil zeigt die Richtung der Luftströmung an, Stimmlippen (SL), Schallquellen: rot - sehr hohe Amplitude, blau - geringe Amplitude mit Rauschen.

ohne dass die akustischen Wellen reflektiert werden (Approximation der freien Schallausbreitung). Mit diesem Modellansatz konnten in den letzten Jahren wesentliche Beiträge zum besseren Verständnis der Stimmgebung erzielt werden. Mit dem in Abbildung 3b dargestellten numerischen Modell konnte gezeigt werden, dass die Hauptkomponenten der Grundfrequenz und deren Harmonische im und direkt oberhalb des Glottisspalts durch den volumenmodulierten Schallanteil erzeugt werden [13]. Die Rauschanteile im akustischen Signal werden zum Großteil aus den Luftwirbeln im Bereich oberhalb der Stimmlippen (supraglottaler Bereich) erzeugt.

Abbildung 4a zeigt die Hauptschallquellen im tiefen Frequenzbereich, die aus der pulsierenden Strömung entstehen, welche direkt im Bereich des Glottisspalts lokalisiert sind. Im höheren Frequenzbereich werden die Schallquellen durch die Wirbelstrukturen im supraglottalen Bereich maßgeblich bestimmt (siehe Abb. 4b). Die Frequenz des entstehenden Schalls ist indirekt proportional zur charakteristischen Wirbelgröße, also je kleiner der Wirbel desto höher ist die Frequenz des erzeugten Schalls. Zusätzlich ist zu erwähnen, dass das Verhältnis zwischen harmonischen und nicht-harmonischen Komponenten im erzeugten Schall mit zunehmender Frequenz geringer wird, womit der Rauschanteil steigt.

In einer weiteren Studie basierend auf dem 3D-FA Modell wurden verschiedene Querschnitte der Glottis und damit Form der Stimmlippen untersucht [16]. Im Strömungsfeld findet man besonders zwischen dem rechteckförmigen und dem ellipsenförmigen Querschnitt große Unterschiede. So ist beim ellipsenförmigen Querschnitt das sogenannte „axis-switching“, des nach der Glottis entstehenden Jets zu beobachten, wie dies auch in [17] gefunden wurde. Das berechnete akustische Schalldruckspektrum im Bereich vor dem Mund zeigt dabei nur geringfügige Unterschiede. Zusätzlich wurde ein Fall mit einer einseitigen Stimmlippenparalyse untersucht, indem nur die Bewegung einer Stimmlippe vorgegeben wurde. Hier zeigte sich, dass die Amplituden bei den harmonischen Frequenzen sich deutlich reduzieren und die Amplituden bei den nicht-harmonischen Frequenzen zunehmen. Somit ist für eine gesunde Stimme nicht die Form der Stimmlippen von entscheidender Bedeutung, sondern der vollständige Glottisschluss. Abschließend sollen noch die Untersuchungen zu den Taschenfalten erwähnt werden. Es konnte gezeigt werden, dass die Taschenfalten zu einer Erhöhung der harmonischen Schallanteile im Stimmsignal führen [18, 19]. In Abbildung 5 ist das Strömungsfeld zu

Abb. 5: Berechnetes Strömungsfeld zu einem Zeitpunkt t bei Berücksichtigung der Taschenfalten (mit fVF gekennzeichnet).



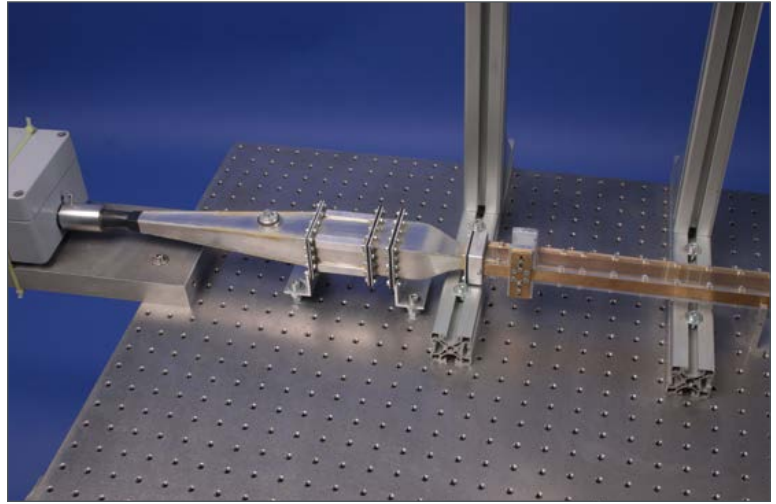
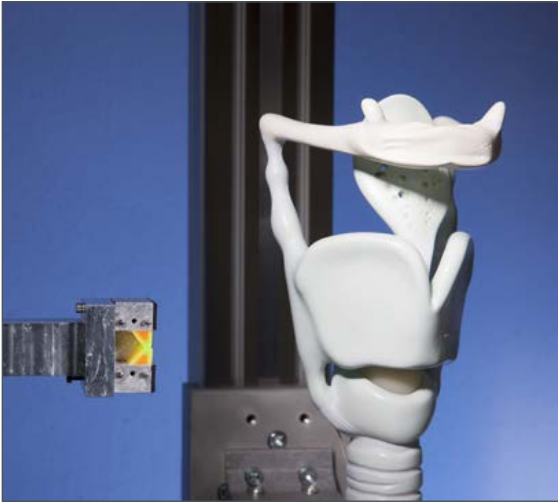


Abb. 6: Strömungsinduziertes selbstschwingendes Stimmlippenmodell (ohne Berücksichtigung von Taschenfalten und Vokaltrakt) in Beziehung zu einem Modell des Kehlkopfes

einem Zeitpunkt t im Schwingungszyklus dargestellt und die Analyse zeigte, dass der subglottale Druck für die Phonation in Anwesenheit der Taschenfalten deutlich gesenkt wurde. Als Ursache konnte der aerodynamische Bernoulli-Effekt identifiziert werden, der den Druckabfall bei hohen Geschwindigkeiten beschreibt. Dieser Druckabfall erstreckt sich ausgehend von der Glottis über die Ventrikel bis in den Spalt zwischen den Taschenfalten.

Experimente mit synthetischen Stimmlippen

Aufgrund der Tatsache, dass sich Messungen am lebenden Menschen nur sehr begrenzt durchführen lassen, wurde eine Vielzahl von Modellen entwickelt, die es ermöglichen, die grundsätzlichen physikalischen Mechanismen der menschlichen Stimmgebung im Experiment abzubilden. Es erfolgen Untersuchungen an Stimmlippenmodellen sowohl separat (siehe Abb. 6) als auch in Kombination mit Taschenfalten und Vokaltraktmodellen. Gleichzeitig liefern diese Modelle eine notwendige Validierungsbasis für die numerischen Berechnungen. Eine Übersicht über die verschiedenen Modellansätze ist in [20] zu finden. Generell lassen sich die Modellansätze in zwei verschiedene Konfigurationen unterteilen. Es ergeben sich Untersuchungen

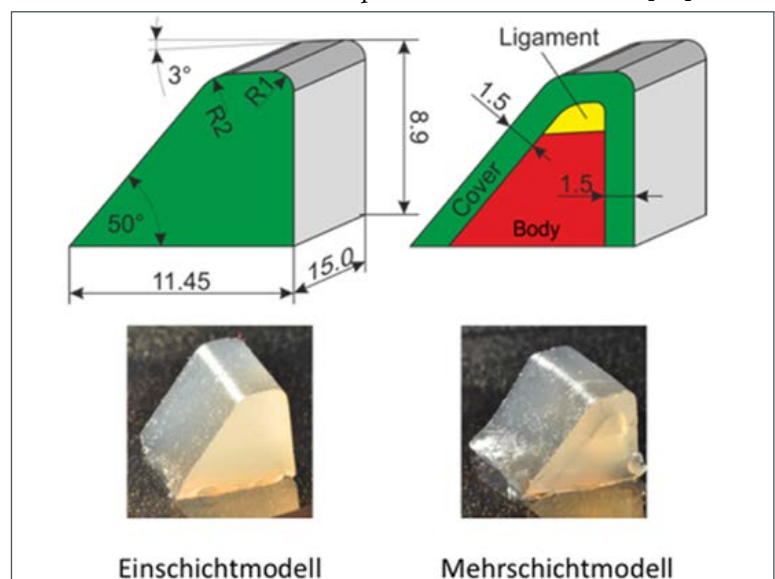
- an extern gesteuerten bewegten Stimmlippenmodellen und
- an durch die Strömung selbst schwingenden Stimmlippenkonfigurationen.

Im ersten Fall wird den Stimmlippen über eine externe mechanische Kraft und einen Übertragungsmechanismus eine definierte Bewegung aufgeprägt. Vorteile dieses Modells sind, dass sich Schwingungsmuster, wie sie bei einer gesunden Stimme aber auch bei Krankheitsbildern auftreten, direkt auf das Modell

übertragen lassen. Daraus kann der direkte Zusammenhang zwischen den kontrollierten Schwingungsbewegungen der Stimmlippen und dem resultierten zeitabhängigen Geschwindigkeitsfeld ermittelt werden [21, 22]. Der Nachteil dieses Modellansatzes ergibt sich aus der Verletzung der Energiebilanz, da eine zusätzliche externe Kraft in den Stimmbildungsprozess eingebracht wird. Zusätzlich bildet das mechanische Antriebssystem der Stimmlippenbewegung eine Schallquelle.

Eine Alternative dazu bilden die strömungsinduzierten schwingenden Stimmlippenmodelle. Die Stimmlippen werden aus Silikon gefertigt und entsprechend ihrem Modellierungsgrad zum Aufbau der menschlichen Stimmlippen als Einschicht- und Mehrschichtmodelle eingesetzt. Abbildung 7 zeigt den Aufbau der Silikonstimmlippen. Bei einer entsprechenden Anpassung

Abb. 7: Aufbau der synthetischen Stimmlippen: Einschicht- und Mehrschichtmodelle. Die Geometrie entspricht dem Modellansatz in [23]



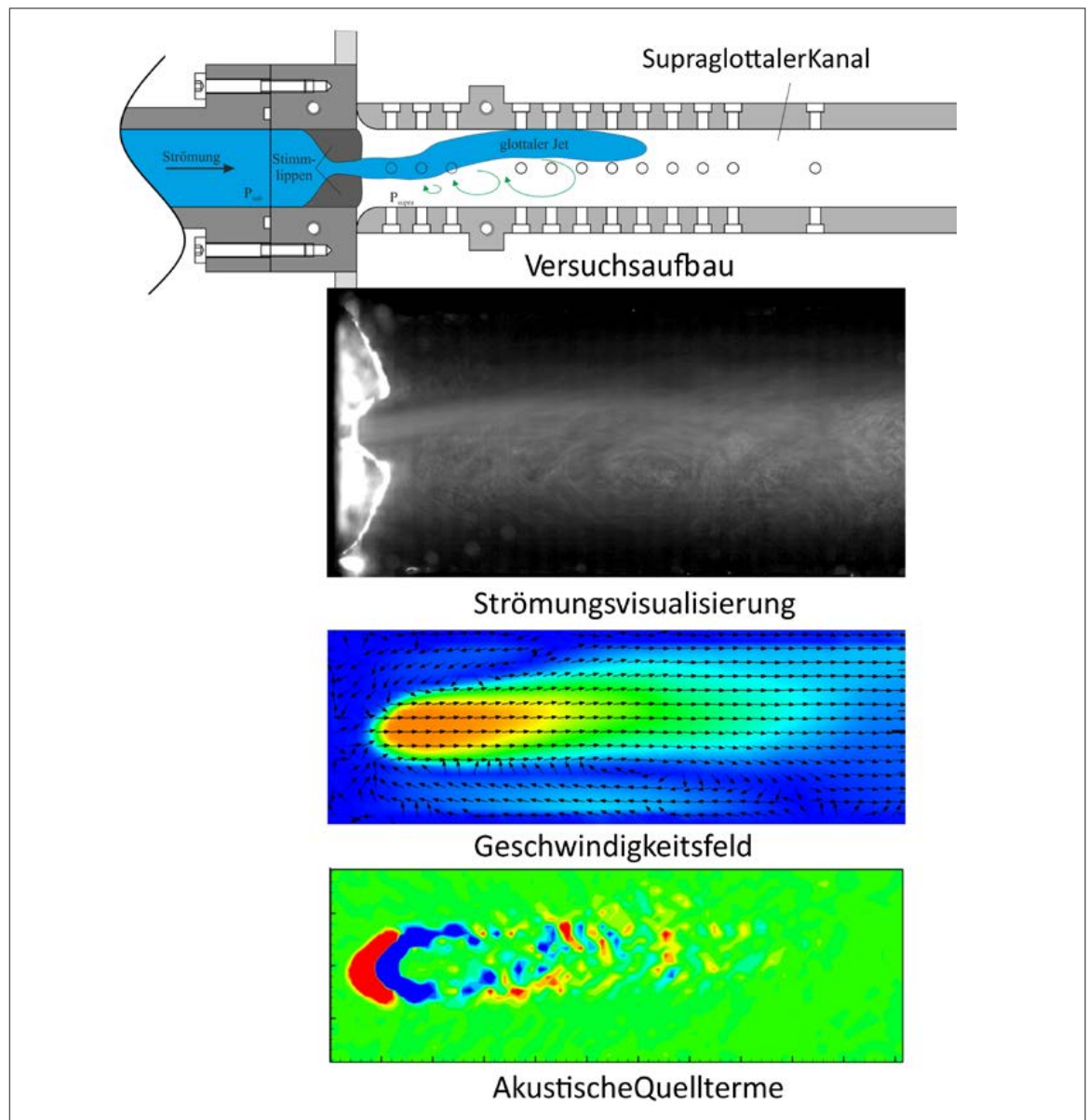


Abb. 8: a) Versuchsaufbau zu Untersuchungen an den synthetischen Stimm-lippen; b) Strömungsvisualisierung; c) Geschwindigkeitsverteilung (daraus werden die akustischen Quellterme berechnet); d) akustische Quellterme bei Grundfrequenz von 120 Hz

sung des Elastizitätsmoduls lassen sich damit Schwingungsmuster und -frequenzen erzielen, die dem der menschlichen Stimme entsprechen.

Vorteile der Einschichtmodelle ergeben sich in der hohen Reproduzierbarkeit der Messungen. Mehrschichtmodelle ermöglichen eine bessere Anpassung der Schwingungsform im Vergleich zum menschlichen Phonationsprozess.

Diese Ersatzmodelle erlauben umfangreiche Forschungsarbeiten, um ein besseres physikalisches Verständnis der Stimmerzeugung unter Berücksichtigung von einer Vielzahl von Randbedingungen zu erzielen. Untersuchungsgegenstände sind u. a.

- Ursachen von Heiserkeit,
- Auswirkungen von Struktur- und Formänderungen in den Stimm-lippen,

- Unterschiede in den Elastizitätsmodulen der Stimm-lippenpaare
- Einfluss der Taschenfalten
- Interaktion mit dem Vokaltrakt
- Wirkungsmechanismen des Mukus.

Um dabei die gesamte Fluid-Struktur-Akustik Interaktion (Abb. 2) erklären zu können, ist der Einsatz einer Vielzahl von Messverfahren erforderlich. Das bedeutet auf Seiten der Strömungsmechanik, dass das Geschwindigkeits- bzw. das Druckfeld mit einer hohen zeitlichen und räumlichen Auflösung zu erfassen sind. Hier werden vorrangig berührungslose Lasermessverfahren eingesetzt. So ermöglicht die Anwendung der PIV (Particulate Image Velocimetry) eine Abtastung des Geschwindigkeitsfeldes in einer räumlichen Fläche bis zu 10 kHz.

In einem weiteren Schritt erfolgt aus den Geschwindigkeitsdaten die Berechnung der akustischen Quellterme des strömungsinduzierten Schalls hinter den Stimmlippenschwingungen. Detaillierte Informationen über die gesamte Methodik sind in [24] zu finden. In Abbildung 8 ist die gesamte Untersuchungskette abgebildet. Die Darstellung zeigt in Abb. 8a den Versuchsaufbau und in Abb. 8b die Strömung, welche die synthetischen Stimmlippen in Schwingung versetzt. Deutlich sind die Wirbelstrukturen des austretenden Freistrahls hinter den Stimmlippen erkennbar. In Abb. 8c sind die gemessenen Geschwindigkeitsvektoren dargestellt, welche mit PIV (Particle Image Velocimetry) ermittelt wurden. Aus diesen räumlichen und zeitlichen Verteilungen erfolgt die Berechnung der akustischen Quellterme, die in Abbildung 8d visualisiert sind. Markant ist, dass die Quellterme, die die Grundfrequenz und deren Höherharmonischen beinhalten, vorrangig in unmittelbarer Nähe hinter den Stimmlippen generiert werden. Die akustischen Quellterme bilden wiederum den Ausgangspunkt für die Lösung der Wellengleichung.

Die Berechnung erfolgt mit Hilfe eines Finite Elemente Verfahrens, und Abbildung 9 visualisiert das sich ergebende Schallfeld bei der Grundfrequenz. Damit konnte ein hybrides Verfahren aus Experiment und Simulation geschaffen werden, das es ermöglicht, komplementär zu dem globalen Simulationsansatz detaillierte Studien zum Phonationsprozess durchzuführen. Weiterführende Forschungsarbeiten ergeben sich in dem Zusammenschluss und der Interaktion der Stimmlippen mit dem Vokaltrakt (Abb. 10). Dabei kommen Geometrien nach [3] sowie jene, welche aus MRT (Magnet Resonanz Tomographie) gewonnen werden, zur Anwendung. Im Modellbau des Vokaltraktes werden hierfür moderne Verfahren des additiven 3D-Druckes benutzt.

Aus den bisherigen experimentellen Untersuchungen

Abb. 9: Berechnetes Schallfeld des akustischen Druckes aus den experimentellen Geschwindigkeitsmessungen; rot bedeutet positiver und blau negativer Schalldruck

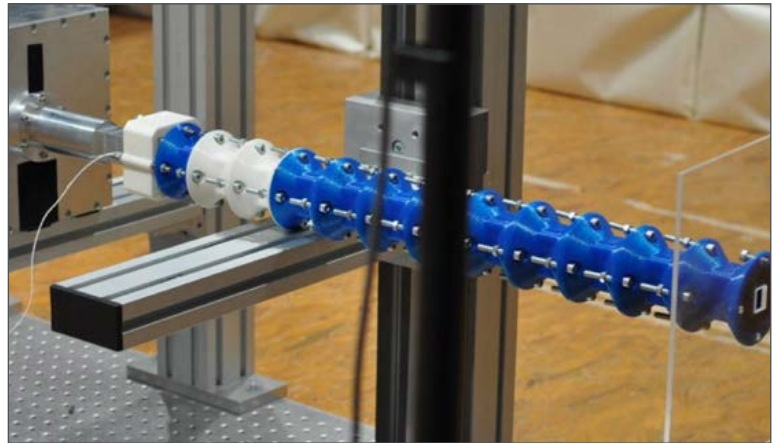
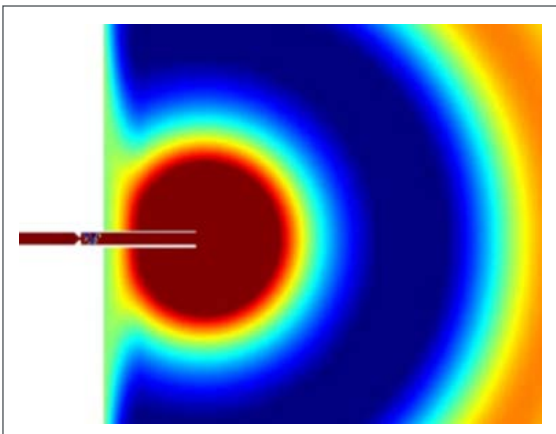


Abb. 10: Untersuchungen von Stimmlippenschwingungen in Verbindung mit dem Vokaltrakt

konnten u. a. folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- Instabilitäten des Freistrahls unter dem Einfluss des supraglottalen Bereiches resultieren in zusätzlichen subharmonischen Beiträgen im Spektrum des Schallfeldes hinter den Stimmlippen [25].
- Der bisher in der Literatur postulierte Coundaeffekt konnte für den Phonationsprozess widerlegt werden [23].
- In Abhängigkeit vom subglottalen Druck ergeben sich Schwingungszyklen mit und ohne Glottisschluss [26].
- Begrenzte Unterschiede in den Strukturelastizitäten der Stimmlippenpaare werden durch den Glottisschluss in der Schwingung synchronisiert [27].
- Durch die Taschenfalten erfolgt eine hydrodynamische Rückkopplung, welche den erforderlichen Druck zur Oszillation der Stimmlippen reduziert [28].
- Die zusätzliche Mukusschicht auf den Stimmlippen reduziert den erforderlichen subglottalen Druck sowie den Volumenstrom bei den Stimmlippenschwingungen [27], [11].
- In Abhängigkeit von der Geometrie des Vokaltraktes sind direkte akustische Rückkopplungen auf die Oszillationen der Stimmlippen beobachtbar [29].

Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die FSAI weder in der gesunden noch gestörten Stimmgebung in allen Details verstanden wurde. Die in den letzten Jahren entwickelten numerischen Modelle und synthetischen experimentellen Herangehensweisen lassen jedoch Details und Zusammenhänge aufdecken, die bis dato weder bekannt noch so vermutet wurden. Eingesetzt werden hier komplexe Simulationsmethoden, die eine hohe Rechenleistung und einen hohen Grad an Modellbildung erfordern. Komplementär erzielen Weiterentwicklungen in den experimentellen Unter-

suchungsverfahren und in dem Modellaufbau Ergebnisse, deren Erkenntnisse sich auf den menschlichen Phonationsprozess übertragen lassen.

Damit wird es in Zukunft möglich, Therapieverfahren gezielt zu verbessern, aber auch neue Ansätze in der Behandlung von Stimmstörungen zu finden.

Ausblick

Basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen ergeben sich die folgenden nächsten Schritte, um weitere Details der FSAI bei der physiologischen und pathologischen Stimmgebung zu verstehen:

- Lösung des Kontaktproblems bei numerischen Simulationen.
- Berücksichtigung des Mukus und Analyse dessen Einfluss auf die Phonation.
- Berücksichtigung realistischer Stimmlippen- und Vokaltraktsgeometrien.
- Beschleunigung der numerischen Simulationen auf akzeptable Rechenzeiten.

Das Ziel der weiteren Untersuchungen muss sein, die gewonnenen Erkenntnisse auch in den klinischen Alltag zu übertragen. Damit sollen neue Behandlungsansätze bei pathologischen Fällen erarbeitet werden und die Möglichkeit zur Simulation von konservativen und chirurgischen Stimmbehandlungsmethoden erschlossen werden.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) (DO1247/10 - 1: no. 391215328) und dem Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF) (Projektnummer I 3702) gefördert.

Literatur

- [1] Patel, R.; Dixon, A.; Richmond, A.; Donohue, K.: Pediatric high speed digital imaging of vocal fold vibration: a normative pilot study of glottal closure and phase closure characteristics. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 76: S. 954–959, July 2012.
- [2] Echternach, M.; Döllinger, M.; Sundberg, J.; Traser, L.; Richter, B.: Vocal fold vibrations at high soprano fundamental frequencies. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 133(2), EL82-EL87, 2013.
- [3] Story, B.: Structure, movement, sound, and perception. *Perspectives on speech science and orofacial disorders*, 24: S. 7–20, August 2014.
- [4] Chhetri, D.; Neubauer, J.; Bergeron, J.; Sofer, E.; Peng, K.; Jamal, N.: Effects of asymmetric superior laryngeal nerve stimulation on glottic posture, acoustics, vibration. *The Laryngoscope*, 123: S. 3.110–3.116, December 2013.
- [5] Yamauchi, A.; Yokonishi, H.; Imagawa, H.; Sakakibara, K.-I.; Nito, T.; Tayama, N.; Yamasoba, T.: Quantification of vocal fold vibration in various laryngeal disorders using high-speed digital imaging. *Journal of Voice*, 30: S. 205–214, March 2016.
- [6] Birk, V.; Kniesburges, S.; Semmler, M.; Berry, D.A.; Bohr, C.; Döllinger, M.; Schützenberger, A.: Influence of glottal closure on the phonatory process in ex vivo porcine larynges. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 142: S. 2.197, October 2017.
- [7] Seo, J.H.; Mittal, R.: A High-Order immersed boundary method for acoustic wave scattering and Low-Mach number Flow-Induced sound in complex geometries. *Journal of Computational Physics*, 230(4): S. 1.000–1.019, 2011.
- [8] Tian, F.-B.; Dai, H.; Luo, H.; Doyle, J.F.; Rousseau, B.: Fluid-structure interaction involving large deformations: 3D simulations and applications to biological systems. *Journal of Computational Physics*, 258: S. 451–469, 2014.
- [9] Bhattacharya, P.; Siegmund, T.: A computational study of systemic hydration in vocal fold collision. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 17: S. 1.835–1.852, 2014.
- [10] Bhattacharya, P.; Siegmund, T.: The role of glottal surface adhesion on vocal folds biomechanics. *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology*, 14: S. 283–295, April 2015.
- [11] Döllinger, M.; Gröhn, F.; Berry, D.A.; Eysholdt, U.; Luegmair, G.: Preliminary results on the influence of engineered artificial mucus layer on phonation. *Journal of speech, language, and hearing research*, 57: S. 637–647, 2014.
- [12] Link, G.; Kaltenbacher, M.; Breuer, M.; Döllinger, M.: 2d finite-element scheme for fluid solid acoustic interactions and its application to human phonation. *Computer Methods in Applied Mechanics*, 198: S. 3.321–3.334, 2009.
- [13] Zörner, S.: Numerical simulation method for a precise calculation of the human phonation under realistic conditions. PhD thesis, Institut für Mechanik und Mechatronik, TU Wien, 2014.
- [14] Zörner, S.; Kaltenbacher, M.; Döllinger, M.: Investigation of prescribed movement in fluid-structure interaction simulation for the human phonation process. *Computers & Fluids*, 86: S. 133–140, 2013.
- [15] Kaltenbacher, M.; Escobar, M.; Becker, S.; Ali, I.: Computational aeroacoustics based on lighthill's acoustic analogy. In S. Marburg and B. Nolte, editors, *Computational Acoustics of Noise Propagation in Fluids*, chapter 4, pages 115 -

142. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2008. ISBN 978-3-540-77447-1.
- [16] Zörner, S.; Sidlof, P.; Hüppe, A.; Kaltenbacher, M.: Flow and acoustic effects in the larynx for varying geometries. *Acta Acustica United with Acustica*, 102: S. 257–267, 2016.
- [17] Schwarze, R.; Mattheus, W.; Klostermann, J.; Brücker, C.: Starting jet flows in a three dimensional channel with larynx-shaped constriction. *Computers & Fluids*, 48: S.68–83, 2011.
- [18] Jo, Y.; Ra, H.; Moon, J.; Döllinger, M.: Three-dimensional Computation of Flow and Sound for the Human Hemilarynx. *Computer & Fluids*, 34-35: S. 41–50, 2016.
- [19] Sidlof, P.; Zörner, S.; Hüppe, A.: A hybrid approach to the computational aeroacoustics of human voice production. *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology*, 14: S. 473–488, 2015.
- [20] Kniesburges, S.; Scott, T.; Barney, A.; Trieb, M.; Sidlof, P.; Horacek, J.; Brücker, C.; Becker, S.: In vitro experimental investigation of voice production. *Current Bioinformatics*, 6(3): S. 305–322, 2011.
- [21] Kirmse, C.; Trieb, M.; Brücker, C.; Döllinger, M.; Stingl, M.: Experimental flow study of modeled regular and irregular glottal closure types. *Logopedies Phoniatries Vocology*, 35(1): S. 45–50, 2010.
- [22] Trieb, M.; Brücker, C.: Three dimensional nature of the glottal jet. *Journal of the Acoustical Society of America*, 127(3): S. 1.537, 2010.
- [23] Becker, S.; Kniesburges, S.; Müller, S.; Delgado, A.; Link, G.; Kaltenbacher, M.; Döllinger, M.: Flow structure-acoustic interaction in a human voice model. *Journal of the Acoustical Society of America*, 125(3): S. 1.351–1.361, 2009.
- [24] Lodermeier, A.; Tautz, M.; Becker, S.; Döllinger, M.; Kniesburges, S.; Birk, V.: Aeroacoustic analysis of the human phonation process based on a hybrid acoustic PIV approach. *Experiments in Fluids*, 1, 2018.
- [25] Kniesburges, S.; Lodermeier, A.; Becker, S.; Traxdorf, M.; Döllinger, M.: The mechanisms of subharmonic tone generation in a synthetic larynx model. *Journal of the Acoustical Society of America*, 139(6): S.3.182–3.192, 2016.
- [26] Lodermeier, A.; Becker, S.; Döllinger, M.; Kniesburges, S.: Phase-locked flow field analysis in a synthetic human larynx model. *Experiments in Fluids*, 56(4), S 1–13, 2015.
- [27] Peters, G.; Lodermeier, A.; Becker, S.; Kutz, A.; Grön, F.: Einfluss der Stimmlippenoberfläche und asymmetrischer Elastizitätsmodule auf die Phonation. *Fortschritte der Akustik – DAGA 2017*.
- [28] Kniesburges, S.; Birk, V.; Lodermeier, A.; Schützenberger, A.; Bohr, C.; Becker, S.: Effect of the ventricular folds in a synthetic larynx model. *Journal of Biomechanics*, 55, S. –133, 2017.
- [29] Fulcher, L.; Lodermeier, A.; Kniesburges, S.; Kähler, G.; Döllinger, M.; Becker, S.: Phonation threshold pressure and the properties of the vocal tract. *Journal of the Acoustical Society of America*, 141(5), 2017. ■



Prof. Dr. Stefan Becker
Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg



Prof. Dr.-Ing. Michael Döllinger
HNO-Klinik Erlangen



Prof. Dr. Manfred Kaltenbacher
Technische Universität Wien

Audio- und Neuroplastizität der Klangwahrnehmung

Peter Schneider, Jan Benner, Bettina Zeidler, Markus Christiner, Annemarie Seither-Preisler, Dorte Engelmann

Das Musikergehirn erweist sich als exzellentes Modell, um die komplexe Wechselwirkung zwischen veranlagten musischen und kognitiven Potentialen, entwicklungsbedingten Reifeprozessen und lernbedingter Plastizität umfassend zu verstehen. In diesem Beitrag stellen wir einen neuen Ansatz zur Erforschung der neuronalen Grundlagen der Klang- und Musikwahrnehmung vor, der weitreichende Implikationen für die Begabungs- und Lernforschung, sowie für klinisch-diagnostische und pädagogische Anwendungen mit sich bringt und bislang zu einer Fülle neuer Erkenntnisse führte: (1) Der Hörkortex von Musikern zeigt ein um 130% vergrößertes Volumen an grauer Substanz; (2) Individuelle Besonderheiten in der Klangwahrnehmung (absolutes und relatives Gehör, Oberton- und Grundtonerkennung, Sensitivität für Melodien und Klangfarben) spiegeln sich in Anatomie und Funktion des Hörkortex wider; (3) Bei Hördefiziten wirkt sich Musizieren protektiv gegenüber Hörverlust, Tinnitus und Geräuschempfindlichkeit aus; (4) Bei viel musizierenden Kindern arbeiten der rechte und linke Hörkortex synchron, während Kinder mit Lese-Rechtschreibschwäche oder AD(H)S eine extreme Zeitverschiebung erkennen lassen. Musizieren scheint auf neurologischer Ebene solchen Entwicklungsauffälligkeiten direkt entgegenzuwirken. Die in kombinierten Längs- und Querschnittsuntersuchungen beobachteten subjektiven, individuellen Eigenschaften der Hörverarbeitung werden im Rahmen eines neurokognitiven Entwicklungsmodells zusammengeführt.

Einführung

Das musikalische Gehirn hat sich zu einem beliebten Forschungsmodell entwickelt, um die wechselseitige Beziehung zwischen veranlagten und trainingsbedingten Faktoren des Lernens und Verhaltens systematisch zu erforschen [1–5]. Der musikalische Mensch hat sich insbesondere deshalb als ideales Paradigma erwiesen, weil professionellen Musikern in der Regel Höchstleistungen abverlangt werden, die ein präzises Zusammenspiel und eine Optimierung verschiedenster Gehirnfunktionen erfordern [6]. Diese setzen einerseits günstige anfängliche Dispositionen, andererseits eine über viele Jahre durch intensives Training

Audio- and Neuroplasticity of Sound Perception

It is becoming increasingly clear that the brains of musicians are an excellent model for understanding the complex interplay among learning-induced plasticity, maturational factors of neurocognitive functions, and predispositional factors. In this article, we outline a new approach to explore the neural basis of auditory processing with respect to both outstanding musical skills and auditory dysfunction with considerable potential for pedagogic, therapeutic, diagnostic and clinical applications. The consequent implementation of this approach has led to a cascade of new findings: (1) The auditory cortex of musically gifted subjects contains on average 130% more gray matter volume as compared to non-musicians; (2) individual differences of sound perception (absolute and relative pitch, fundamental and spectral pitch, discrimination of melodies and timbre) are associated with specific neurological characteristics of auditory cortex; (3) in subjects with auditory dysfunction, musicality has been found to reduce the incidence of auditory impairments including tinnitus and hyperacusis; (4) musically trained children demonstrated a better synchronization of right and left auditory cortex, whereas in the case of dyslexia and attention deficit (hyperactivity) disorder a remarkable desynchronization has been observed. Playing a musical instrument therefore seems to counteract these deficits on the neuronal level. Overall, the results of the combined cross-sectional and longitudinal studies are put together in a neurocognitive model of aptitude and competence.

erworbene Expertise voraus, Eigenschaften, die als Modell für das Verhältnis von Anlage und Umwelt in der Nutzung menschlicher Gehirnfunktionen in einem weiter gefassten Rahmen dienen können.

Besonderheiten des musikalischen Gehirns

Im Zuge der Erforschung von Gehirnfunktionen, die in das aktive Musizieren einbezogen sind, ist es zunehmend gelungen, die Komplexität und Multimodalität der auditorischen Verarbeitung zu verste-

hen [7]. Es gibt zahlreiche neurowissenschaftliche Querschnittsstudien, die in der Kindheit positive Zusammenhänge zwischen Musizieren und auditorischen [8, 9], sprachlichen [10–12], motorischen [13] und allgemein-kognitiven [14, 15] Fähigkeiten nachweisen konnten. Auch bei erwachsenen Probanden wurden in großem Umfang Besonderheiten des musikalischen Gehirns entdeckt. Bildgebende Verfahren, insbesondere strukturelle und funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT) sowie Positron-emissionstomographie (PET) führten zu der Erkenntnis, dass die auditorischen oder auditorisch assoziierten Areale von Musikern größer sind [16–18], lokal verstärkte Aktivierungsmuster zeigen [19–21] und sich in der kortikalen Dicke der grauen Substanz unterscheiden [22]. Mittels elektrophysiologischer Verfahren (Elektroencephalographie / EEG und Magnetoencephalographie / MEG) fand man, dass die auditorisch evozierten Potentiale und Felder beim Hören von Sinustönen und Instrumentalklängen bei Musikern höhere Amplituden aufweisen, was eine stärkere Sensibilität anzeigt [23–26]. Darüber hinaus wurde innerhalb der auditorischen Netzwerke eine ausgeprägtere strukturelle und funktionelle Konnektivität [27–31] und intrazerebrale Synchronisation [32, 33] festgestellt. Messungen der Funk-

tionen des Hirnstamms weisen auf einen positiven Einfluss des Musizierens auf die Unterscheidung von elementaren Hörereignissen, die Wahrnehmung von akustischen Signalen unter Störbedingungen, das auditive Arbeitsgedächtnis und bestimmte kognitive Leistungen hin [34, 35]. Des Weiteren gelang es, die neurologischen Ursachen von Hördefiziten besser zu verstehen und sinnvolle Therapien zu entwickeln [36]. Auf Verhaltensebene gibt es vielfältige Evidenz, dass intensives Instrumentalspiel auch zu Transfereffekten in allgemein kognitive Domänen führen kann [37–42]. Auf Querschnittsstudien beruhende Unterschiede zwischen Musikern und Nichtmusikern werden in der Regel lernbedingt gedeutet und auf langjähriges und intensives musikalisches Training zurückgeführt. Häufig wird in diesem Zusammenhang auf die Expertiseforschung verwiesen, deren bekannteste Vertreter [43] davon ausgehen, dass jeder Mensch durch ausdauerndes und zielgerichtetes Üben ('deliberate practice') in einer bestimmten Domäne zum Experten wird, wobei hierfür ein Zeithorizont von einem Jahrzehnt angenommen wird ('10-Jahres-Regel'). Allerdings weisen jüngere Zwillingsstudien [44], genetische Untersuchungen [45–47], sowie Studien zur strukturellen Plastizität [48–51] darauf hin, dass auditorische und musikalische

Regupur®

REGUPUR® AUSGLEICHSSCHÜTTUNG

Regupur® comfort S1 » wasserfreier Einbau » nachhaltig » gesundheitlich unbedenklich » schnell und kostensparend » trittschalldämmend



sche Fähigkeiten darüber hinaus auch entscheidend durch prädispositionelle und genetische Faktoren beeinflusst werden.

Wechselspiel zwischen Veranlagung, Reifeprozessen und lernbedingter Expertise

Genaugenommen erlauben es reine Querschnittstudien nicht, Rückschlüsse auf das Ausmaß lernbedingter plastischer Prozesse zu ziehen, da es sich um 'Momentaufnahmen' handelt. Sie sagen nichts über die Ursachen und die zeitliche Veränderlichkeit der beobachteten individuellen Unterschiede aus. Um die Wechselbeziehung zwischen veranlagten Potentialen, motivationalen Faktoren und trainingsbedingter Expertise wirklich zu verstehen, ist eine Langzeitperspektive erforderlich, die aufzeigt, unter welchen Umständen bestimmte Menschen besondere musikalische Talente entwickeln und Leistungen erbringen, während andere mittelmäßig bleiben oder wenig Erfolg haben. Ähnliches gilt für die Frage, warum bei Menschen, die in der Kindheit von auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen betroffen waren, manchmal eine gravierende Besserung eintritt, während in anderen Fällen zeitlebens Beeinträchtigungen bestehen bleiben. Hängt dies davon ab, wann solche Probleme erkannt werden und ob rechtzeitig geeignete Lernmöglichkeiten zur Verfügung stehen?

Aus den genannten Gründen sind während der letzten zehn Jahre neurowissenschaftliche Längsschnittstudien zum Einfluss des Musizierens im Kindesalter zunehmend populär geworden. Diese Arbeiten zeigten umfassende trainingsbedingte Plastizitätseffekte in auditorischen [52], motorischen [13], sprachlichen [53–57] und allgemein-kognitiven [58, 59] Domänen. Im Vergleich dazu gibt es nur sehr wenige Längsschnittstudien mit Erwachsenen. Herdener und Kollegen beobachteten in einer solchen Untersuchung bei Jazzmusikstudenten trainingsbedingte Änderungen im Hippocampus und in sprachrelevanten Arealen [60, 61]. Herholz und Kollegen identifizierten kortikale und subkortikale Areale, deren Aktivitäten das musikalische Trainingsverhalten vorhersagten [62].

Kortikale Entwicklungsverläufe können sich von der pränatalen Phase bis ins junge Erwachsenenalter erstrecken, wobei in der Pubertät eine besonders sensible Phase durchlaufen wird, in welcher wichtige neuronale Schaltkreise häufig nochmals einer Umstrukturierung unterworfen werden [63, 64]. Daher sind vor allem Langzeitstudien von Interesse, welche diese wichtige Phase des Umbruchs mit einbeziehen. Leider wurde dieser Aspekt in Bezug auf die Hörverarbeitung bislang noch nicht systematisch erforscht.

Bisherige neuroanatomische Langzeitstudien zur Entwicklung des menschlichen Gehirns weisen allerdings darauf hin, dass der präfrontale Kortex während der Pubertätsphase eine besondere Rolle spielt. Im Alter von ca. 11–12 Jahren wird im dorso-medialen präfrontalen und auch im parietalen Kortex ein Maximum an Dichte der grauen Substanz und der Dendriten erreicht, das dann in eine stabile Plateauphase übergeht und danach wieder abnimmt [63, 65], während die Dichte an weißer Substanz weiter anwächst [66, 67]. In temporalen Bereichen schreitet die Reifung der grauen Substanz hingegen weiter fort [68] und nimmt erst im Alter von ca. 17 Jahren ihren maximalen Plateauwert an [63]. Dies deutet darauf hin, dass sich die zur Reifung vieler kognitiver Fähigkeiten erforderlichen audio-motorischen und multisensorischen kortikalen Netzwerke in dieser sensiblen Übergangsphase noch im Aufbau befinden [69–71]. Daher sollte ein intensives musikalisches Training in diesem Alter eine ganz besondere Schlüsselrolle für die volle Ausreifung der genannten Funktionen und für entsprechende Transfereffekte in kognitive Bereiche spielen.

Subjektive und objektive Aspekte der Klangwahrnehmung

Die Arbeitsgruppe 'Musik und Gehirn' an der Heidelberger Kopfklinik beschäftigt sich seit Anfang des dritten Jahrtausends im Rahmen einer ausgedehnten transdisziplinären, transalpinen Kooperation mit den Universitäten Basel, Genf, Zürich, Graz, Wien, sowie den Musikhochschulen in Basel, Mannheim und Riga mit der Erforschung der neuronalen Grundlagen subjektiver und objektiver Aspekte des Hörens und der Klangwahrnehmung. Im Rahmen des seit 2016 laufenden Heisenberg-Programms (Titel: „Klangwahrnehmung zwischen außergewöhnlicher Musikalität und Defiziten in der auditorischen Verarbeitung: Neuronale Grundlagen individueller Veranlagung, entwicklungsbedingter Reifung und lernbedingter Plastizität in der Lebenszeitperspektive“) wird mit der Erforschung des neuro-auditorischen Netzwerks ein großer Bogen von der Kindheit über die Pubertät bis zum Erwachsenenalter gespannt. Die Wichtigkeit solcher systematischen Langzeitstudien wird innerhalb der wissenschaftlichen Community zunehmend hochgehalten [72, 73]. Im Zusammenhang mit der Gegenüberstellung lernbedingter und prädispositioneller Faktoren wird es außerdem zunehmend relevant, die interindividuelle Variabilität der zugrundeliegenden anatomischen und funktionellen Merkmale zu berücksichtigen [68, 74, 75]. Die aktuell in Heidelberg durchgeführten Langzeitstudien zielen darauf ab, die Entwicklung des menschlichen Hörsystems auf behavioraler und

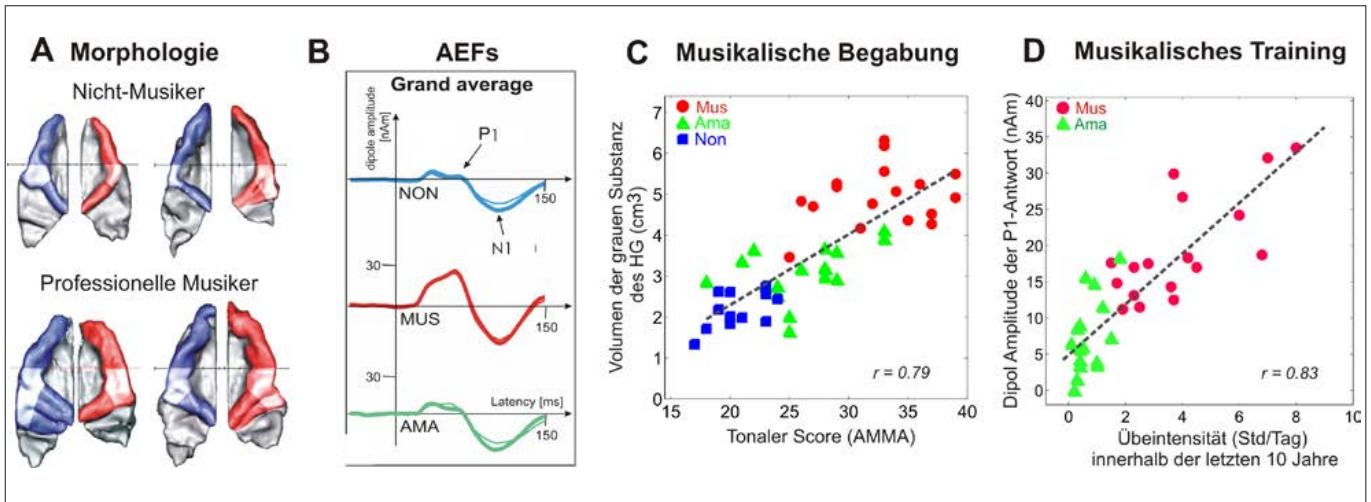


Abb. 1: Morphologie und Funktion des auditorischen Kortex bei Musikern und Nichtmusikern.

(A) Aufblick auf den Hörkortex zweier Nichtmusiker (oben) und zweier Profimusiker (unten). Die Heschlschen Querwindungen sind farblich markiert (rot: rechte Hemisphäre, blau: linke Hemisphäre); das dahinter liegende Planum temporale ist grau dargestellt. (B) Magnet-encephalografisch erfasste auditorisch evozierte Felder (AEF) der im auditorischen Kortex modellierten Gehirnaktivität beim passiven Hören von harmonisch-komplexen Tönen. Die Amplitude der ersten positiven P1 Antwort (ca. 30–70 ms nach Tonbeginn) war bei Profimusikern (Mus, rot) drei- bis fünffach größer als bei Nichtmusikern (Non, blau) und Amateurmusikern (Ama, grün). (C) Korrelationsplot für das Volumen an grauer Substanz innerhalb der Heschlschen Querwindung und die mit dem AMMA-Test von E. Gordon erfasste musikalische Begabung. (D) Korrelation der P1-Amplitude der AEFs mit der musikalischen Langzeitpraxis.

kortikaler Ebene umfassend zu verstehen. Dazu wurde ein umfassendes Testprogramm zur Erhebung der individuellen Höreigenschaften durchgeführt. Ziel war es, einerseits Klangwahrnehmungseigenschaften [76–78], besondere Aspekte des musikalischen Hörens [79, 80], und andererseits auditive Beeinträchtigungen zu erfassen. Letztere umfassen die Bereiche (a) Hörverlust, Geräuschempfindlichkeit, Misophonie und Tinnitus [81], (b) auditorische Verarbeitung im Zusammenhang mit psychomotorischen Defiziten (Williams-Beuren-Syndrom) [82], (c) auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen [83] sowie (d) phonologische Bewusstheit und Legasthenie [83–85].

Strukturelle und funktionelle Unterschiede im Hörkortex von Musikern

In der Anfangsphase wurde ein besonderes Augenmerk auf individuelle Besonderheiten von grundlegenden strukturellen und funktionellen Merkmalen des Hörkortex gerichtet. Dabei zeigte sich, dass Profimusiker im Vergleich zu Nichtmusikern ein um 130 % vergrößertes Volumen an grauer Substanz in den Heschlschen Querwindungen (Heschl Gyrus, HG) aufweisen [76]. Darüber hinaus zeigten die mittels MEG gemessenen frühen auditorisch evozierten Felder (AEF) bei Profimusikern im Zeitfenster von 30–70 ms nach Tonbeginn (primäre P1 Antwort) eine drei- bis fünffach vergrößerte Dipolamplitude. Dies bestätigte frühe exemplarische Befunde histo-

rischer Post mortem - Untersuchungen [86,87] und spätere planimetrische [16] und elektrophysiologische Ergebnisse [23]. Als wichtiger neuer Aspekt ließ sich zum ersten Mal eine funktionell-strukturelle Trennung von musikalischer Begabung einerseits und trainingsbedingter musikalischer Expertise andererseits ableiten.

Die musikalische Begabung wurde mit dem international standardisierten Test 'Advanced Measures of Music Audiation' (AMMA) des amerikanischen Musikpsychologen Edwin E. Gordon bestimmt. Nach Gordon bildet das Ergebnis des Tests die Fähigkeit ab, sich Klänge oder Musik mental vorstellen zu können ('Audiation', [88]). Während der tonale Subscore des AMMA-Tests – als Indikator musikalischer Begabung – stark mit der Morphologie und dem Volumen an grauer Substanz der Heschlschen Querwindungen korrelierte, spiegelte sich das Ausmaß der musikalischen Langzeitpraxis – auch nach Herauspartialisierung des Begabungseinflusses – hochsignifikant in der magnetencephalografisch erfassten Aktivierung in Form der primären auditorisch evozierten Antwort P1 wider (Abb. 1).

Oberton- und Grundtonerkennung

Als besonders zielführend erwies sich die Entwicklung eines Tests zur subjektiven Klangwahrnehmung (Oberton- versus Grundtonerkennung, [77]), der heute an vielen Musik(hoch)schulen und in zahlreichen internationalen Kooperationsprojekten als

Standardverfahren eingesetzt wird. Eine Kurzform dieses Test ist auf der Homepage unserer Arbeitsgruppe zu finden [89]. Dabei wird die subjektive Wahrnehmung des Tonhöhenverlaufs für jeweils zwei aufeinander folgende unvollständige harmonische Klänge bestimmt, bei denen die Grundtöne fehlen. Die präsentierten Obertongruppen weisen formantähnliche Strukturen auf, welche charakteristisch für Instrumentalklänge und stimmhafte Sprachlaute sind. Eine jeweils gegenläufige Verschiebung der Obertongruppen und des fehlenden Grundtones ermöglicht es, mit insgesamt 162 unterschiedlichen Tonpaaren den Grad an grund- oder obertonbezogenem Hören zu quantifizieren und vergleichend für verschiedene Personen einen 'Index der Klangwahrnehmung' zu berechnen [77, 78]. Die Testpersonen waren bisher vorwiegend Profimusiker, darunter Orchestermusiker, Rockmusiker, Dirigenten, Komponisten, Musikhochschuldozenten und -studenten, aber auch Amateure und Nichtmusiker. U.a. konnten auch die Gehirne der Musiker des Royal Liverpool Philharmonic Orchestra mit denen des Mannheimer Nationaltheaters verglichen werden. Interessanterweise zeigte sich nach der Auswertung der neurologischen und hörakustischen Daten, dass die Orchester sehr homogene, hemisphären-spezifische Unterschiede aufwiesen. Im Mannheimer Orchester zeigte sich nach der Analyse der neuroanatomischen und physiologischen Messungen eine linkshemisphärische Dominanz, verbunden mit zeitlich präziser, rhythmischer Spielweise, im Liverpooler Orchester eine größere Dominanz der rechten Gehirnhälfte, verbunden mit der bewussten Hervorhebung spektraler Klangelemente. Sowohl bei Musikern als auch bei Nichtmusikern wurde unabhängig vom Alter eine sehr breite Verteilung der Höreigenschaften mit unterschiedlich verlaufenden Grenzen zwischen Grundton- und Obertonwahrnehmung festgestellt. Die ersten Beschreibungen solch außergewöhnlicher subjektiver Unterschiede in der Klangwahrnehmung gehen bereits auf Hermann v. Helmholtz [90] zurück. Er wies zum einen auf die 'synthetische' Klangwahrnehmung hin, bei der die Wahrnehmungskomponenten zu einer 'Klangmasse' verschmelzen, zum anderen auf eine 'analytische' Wahrnehmung, bei der einzelne Obertöne eines Klanges zur bewussten Wahrnehmung gebracht werden. Die beiden Wahrnehmungsattribute Tonhöhe und Klangfarbe verhalten sich dabei komplementär. Grundtonhörer können die Tonhöhe und die Klangfarbe weitgehend unabhängig voneinander wahrnehmen, während sich für Obertonhörer die Tonhöhe und Klangfarbe wie zwei konjugierte Variable im Sinne der Heisenberg'schen Unschärferelation verhalten, d.h. bei der verschärf-

ten Wahrnehmung der einen Komponente tritt die andere Komponente in den Hintergrund.

In Anlehnung an Helmholtz beschrieb der Komponist und Musiker Arnold Schönberg das Konzept der 'Klangfarbenmelodien' [91]. Für Schönberg war die Klangfarbe in der Wahrnehmung wichtiger als die Tonhöhe. Er schrieb in seiner Harmonielehre „der Ton macht sich bemerkbar durch die Klangfarbe, deren eine Dimension die Klanghöhe ist“. Aus der Perspektive der Gehirnforschung bildet der Begriff 'Klang-Farbe' ebenso wie der Begriff 'Farb-Ton' eine Brücke zwischen Gehörtem (Klang) und Gesehenem (Farbe). Die Kopplung zu Emotionen hat der Psychologe Wilhelm Wundt in seinem Buch 'Grundzüge der physiologischen Psychologie' [92] als 'System der Klanggefühle' beschrieben, mit einer Polarität zwischen großer Klangstärke (energischer Gefühlston) und geringer Klangstärke (sanfter Gefühlston), Erregung und Beruhigung, Lust und Unlust bzw. Lösung und Spannung.

Präferenzen für bestimmte Musikinstrumente

Im Rahmen unserer Langzeitstudien gelang es mittlerweile für verschiedene zeitlich stabile Wahrnehmungsformen neurologische Korrelate zu identifizieren, wobei die Balance zwischen rechts-hemisphärisch-klangfarbenbezogenen und linkshemisphärisch-grundtonbezogenen Prozessen offenbar eine entscheidende Rolle spielt [76]. Darüber hinaus zeigte sich, dass die Hörweise auch der lernbedingten Plastizität unterliegt, wobei musikalisches Training häufig eine Verschiebung von einer konkret-spektralen hin zu einer eher abstrakt-grundtonbezogenen Wahrnehmung bewirkt [93, 94]. Die perzeptiv, strukturell und funktionell erfassten individuellen neuro-auditorischen Profile erlaubten es außerdem zuverlässig Präferenzen für bestimmte Musikinstrumente und Musikstile abzuleiten [95, 96]. Grundtonhörer bevorzugen oft Musikinstrumente, die kurze, scharfe, oder impulsive Töne produzieren (Schlagzeug, Gitarre, Klavier, Trompete, Querflöte und hohe Soloinstrumente) und neigen darüber hinaus zu virtuoser, impulsiver, zeitlich synchroner Spielweise. Obertonhörer bevorzugten hingegen in der Regel Musikinstrumente, die länger ausgehaltene Töne mit charakteristischen Klangfarben oder Formanten im Spektrum produzieren (Streich-, Blech- und Holzblasinstrumente in tieferen Lagen, Orgel oder Gesang).

Klinische Relevanz der Klangwahrnehmungsforschung

Während die frühen Untersuchungen vorwiegend auf Unterschiede zwischen Profi-, Amateur- und

Nichtmusikern fokussierten, zeigte sich zunehmend auch die klinische Relevanz des von mir entwickelten Forschungsansatzes. Dies wird besonders in zwei Projekten deutlich:

- Bei hörgeschädigten Orchestermusikern, Rockmusikern und Nichtmusikern untersuchten wir die neuronalen Korrelate von Tinnitus und Geräuschempfindlichkeit. Tinnitus-Patienten ließen eine systematische Reduktion des Volumens an grauer Substanz um ca. 60 % im Bereich des posteromedialen Abschnitts der vordersten Heschlschen Querwindung erkennen [81]. Interessanterweise zeigten betroffene Musiker im Vergleich zu Nichtmusikern eine weitaus geringere Gefährdung und emotionale Belastung sowie ein reduziertes Risiko für die Chronifizierung der Erkrankung, sodass insgesamt von einem 'protektiven Effekt' des Musizierens ausgegangen werden kann.
- Probanden mit dem genetischen Defekt 'Williams-Beuren-Syndrom' (WBS) zeigen eine ganz besondere Affinität zu Musik und Alltagsgeräuschen. Diese Probanden weisen aufgrund einer Mutation auf Chromosom 7 ein besonderes neuropsychologisches Profil auf, bei welchem ausgeprägte Schwächen in der logisch-räumlichen Domäne und psychomotorische Defizite mit charakteristischen Stärken im musikalisch-sprachlichen Bereich einhergehen. Bereits in der frühen Kindheit sind WBS-Betroffene meist begeistert von stark rhythmusbetonten Musikrichtungen wie Schlagern, Volksmusik, Country und Rock. Bei den in unserem Projekt durchgeführten MEG- und fMRT-Messungen zeigte sich eine auffällige Linksasymmetrie der auditorischen Verarbeitung während des Hörens musikalischer Klänge, verbunden mit einer extremen, nahezu homogenen grundtonbezogenen Klangwahrnehmung [82]. Zudem wiesen die Heschl Gyri der WBS-Patienten eine charakteristische Größe und Faltung ('Gyrierung') auf und waren wie bei Profimusikern oft verdoppelt oder verdreifacht. Da WBS-Patienten aufgrund psychomotorischer Defizite nicht in der Lage sind am normalen Musikunterricht teilzunehmen, lassen sich diese neurologischen Resultate als genetisches Modell für Musikalität interpretieren.

Audio- und Neuroplastizität des musikalischen Lernens

Seit 2009 führte die Heidelberger AG 'Musik und Gehirn' zwei umfassende Längsschnittstudien zur Neuroplastizität des musikalischen Lernens durch. Vorrangiges Ziel war die Aufklärung von Mechanismen plastischer Reife- und musikalischer Lernpro-

zesse auf der Ebene des beobachtbaren Verhaltens und der diesem Verhalten zu Grunde liegenden Gehirnfunktionen. Zum einen handelt es sich um die vom BMBF geförderte Studie „AMseL: Audio- und Neuroplastizität des musikalischen Lernens“ (Laufzeit 2009–2015), welche als Verbundprojekt mit der Universität Graz (PD Dr. A. Seither-Preisler) konzipiert wurde und mit dem von der DFG geförderten Projekt „Plastizität des neuro-auditorischen Netzwerks bei musizierenden Jugendlichen“ fortgesetzt werden konnte (Laufzeit 2016–2019). Die AMseL-Studie ist Teil des deutschen BMBF-Begleitforschungsprogramms zu dem musikpädagogischen Großprogramm „Jedem Kind ein Instrument (JeKi)“ [97] an dem bisher über 60.000 Grundschulkinder aus dem Raum Nordrhein-Westfalen und Hamburg teilgenommen haben. Ziel des AMseL-Projekts ist es, systematisch zu untersuchen, wie sich regelmäßiges Musizieren im Rahmen von privatem Instrumentalunterricht und schulischem JeKi-Unterricht auf folgende Bereiche auswirkt: (a) Morphologie des Hörkortex, (b) funktionelle Gehirnaktivierung durch musikalische Klänge, (c) Sensibilität des Gehörs (Unterscheidung von Tonhöhen, Klangfarben, Tonlängen, Lautheit, Melodien und Rhythmen), (d) allgemeine kognitive Fähigkeiten (Intelligenz, Kreativität, Aufmerksamkeit, Lesen, Rechtschreiben, Rechnen), (e) Lern- und Entwicklungsauffälligkeiten (Aufmerksamkeitsstörungen, Hyperaktivität, Impulsivität, Lese-Rechtschreibschwäche). Im Fokus der Längsschnitterhebungen stehen das Zusammenwirken von musikalischem Potential (Begabung), entwicklungsbedingter Reifung und trainingsbedingter Plastizität von relevanten Hirnstrukturen und -funktionen sowie mögliche Transfereffekte in nicht-auditive Domänen. Dafür wurden insgesamt 220 wenig und viel musizierende Kinder im Alter von 7–17 Jahren in 4 Erhebungswellen im Abstand von jeweils 1–3 Jahren hinsichtlich ihres neurologischen, hörakustischen, musikalischen und allgemein-kognitiven Entwicklungsstandes untersucht. Zum ersten Messzeitpunkt waren die Teilnehmer alle Zweit- oder Drittklässler (Alter 7–9 Jahre), zum derzeit abgeschlossenen vierten Messzeitpunkt sind sie 15–17 Jahre alt. Es ist geplant, ab 2019 mit allen Probanden eine weitere, fünfte Wiederholungsmessung im jungen Erwachsenenalter durchzuführen. Damit liegt ein einzigartiges Probandenkollektiv vor, an dem die Wechselwirkung veranlagter und entwicklungsbedingter Faktoren systematisch im Verlauf vom Grundschulzeitalter bis zum Erwachsenenwerden untersucht werden kann. Die Messungen fanden vorwiegend in der Heidelberger Kopfklinik statt. Dazu wurden musizierende Kinder aus den am Forschungsschwerpunkt mitwirkenden JeKi-Schu-

len aus Hamburg und Nordrhein-Westfalen sowie Kontrollkinder nach Heidelberg eingeladen. Die Messungen erfolgten im Rahmen von zweitägigen Mess-Wochenenden in Kleingruppen von jeweils ca. 5–10 Teilnehmern. Insgesamt fanden im Rahmen der Studie bisher 99 Mess-Wochenenden statt. Um zu gewährleisten, dass die Abstände zwischen den beiden Verlaufsmessungen über die Gruppen hinweg vergleichbar sind, wurden die Teilnehmer in etwa in chronologisch gleicher Reihenfolge einbestellt. Die kernspintomographischen Messungen (MRT, fMRT) wurden dabei jeweils am Freitagnachmittag / -abend am Forschungsscanner der Neuroradiologischen Klinik der Heidelberger Universitätsklinik durchgeführt, die magnetencephalographischen Messungen (MEG) am darauffolgenden Samstag im Labor der Sektion Biomagnetismus. Ausserdem gab es an beiden Tagen hörakustische und psychologische Testungen, Tests zur musikalischen Begabung, Fragebogenerhebungen, und seit der 4. Messreihe zusätzlich eine Testbatterie zur Erhebung sprachlicher Fähigkeiten. Die Sprachfähigkeit wurde in Form von Perzeptionstests durchgeführt, die Sprachmaterial beinhalten, welches für die Probanden nicht verständlich ist, um deren Begabung und Potential zu messen. Dabei wurden, ähnlich wie bei den Musiktests, Sprachen ausgewählt, welche sich rhythmisch, basierend auf linguistischen Kategorien, unterscheiden. Darüber hinaus fanden auch Tonsprachen Verwendung [98].

Die Ergebnisse der ersten beiden Messphasen des AMseL-Projekts [83–85] zeigen erstmals, dass es im rechten Hörkortex stabile neuroanatomische Marker für Musikalität gibt, welche bereits vor dem Beginn des formalen Musikunterrichts vorliegen und zu einem hohen Grad vorhersagen, ob und wie viel Zeit ein Kind in das Erlernen eines Instruments investieren wird. Je günstiger die neuroanatomischen Voraussetzungen sind, desto mehr Interesse zeigen Kinder in der Regel an musikalischen Aktivitäten. Daher sind die identifizierten neurologischen Merkmale als Ausdruck besonderer musikalischer Begabung oder Musikaffinität zu interpretieren. Andererseits konnte nachgewiesen werden, dass neben der Begabung auch das musikalische Üben eine wesentliche Rolle spielt. Je mehr die Kinder musizierten, desto rascher vollzog sich die biologische Reifung der hörbezogenen Gehirnfunktionen, da diese plastisch auf die neuen Lernerfahrungen reagierten. Dies schlug sich auch in entsprechend deutlichen Vorteilen musizierender Kinder bei der Sprach- und Musikwahrnehmung, bei Aufmerksamkeitsleistungen und im Lese-Rechtschreibbereich nieder. Umgekehrt konnte gezeigt werden, dass bei entwicklungsauffälligen Kindern mit AD(H)S [83] oder Legasthenie [80]

sowohl die anatomischen Merkmale der Hörrinde (Heschl Gyri und Plana temporalia) als auch die auditorisch evozierten Antworten der links- und rechtshemisphärischen Hörareale verändert sind. Dies erklärt das in der Literatur beschriebene Phänomen, dass auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (AVWS) häufig gemeinsam mit AD(H)S [99] und Legasthenie [100] einhergehen. Die Ergebnisse der AMseL-Studie lassen eindeutig darauf schließen, dass neurologisch bedingte Probleme in der Hörverarbeitung Folgeprobleme im Bereich der auditiven Aufmerksamkeit und der Lese-Rechtschreibkompetenz nach sich ziehen, so dass es sich lohnt, therapeutisch bereits auf der Ebene der elementaren Hörwahrnehmung anzusetzen. Dieser Weg wird beim Training legasthener Kinder bereits vereinzelt erfolgreich beschritten, während er im Bereich der AD(H)S-Therapie bisher aufgrund fehlender wissenschaftlicher Studien noch nicht in Betracht gezogen wurde. Besonders interessant ist, dass die untersuchten AD(H)S-Kinder und Legastheniker einen neurologischen Entwicklungsrückstand eben jener Gehirnfunktionen aufwiesen, welche bei Musizierenden besonders gut ausgebildet waren. Daher ist es naheliegend, diesen Problemen mit frühem Musizieren zu begegnen. Die wesentlichste Chance, die diese Forschungsergebnisse eröffnen, liegt aber wohl in einer objektiven neuro-auditiven Frühdiagnostik der Prädiktoren von AD(H)S und Legasthenie, welche noch vor Schuleintritt Kinder mit besonderem auditivem Trainingsbedarf identifizieren und so das Risiko für spätere Lernprobleme senken kann. Die bereits publizierten Ergebnisse zeigen, dass es allein mit Hilfe bestimmter neurologischer Marker der Hörrinde möglich ist, unauffällige Kinder von AD(H)S-Kindern mit einer Sicherheit (d. h. in Übereinstimmung mit ärztlichen bzw. psychologischen Diagnosen) von etwa 90 % zu unterscheiden. Zudem zeigen aktuelle Ergebnisse [80], dass es sogar möglich ist, auf dieser Basis eine präzise Differenzialdiagnostik für die drei Störungsbilder ADHS (mit Hyperaktivität), ADS (reine Aufmerksamkeitsstörung) und Legasthenie zu erreichen, deren Genauigkeit ähnlich hoch ist. Konkret ließen sich – unter zusätzlicher Einbeziehung einfacher Hörtests – in unserer Stichprobe die Störungsbilder mit folgender Präzision voneinander abgrenzen: Legasthenie vs. ADHS: 98 %; Legasthenie vs. ADS: 91 %; ADHS vs. ADS: 89 %. Bedenkt man, dass auch ärztliche Diagnosen, die hier die Referenz bildeten, nicht unfehlbar sind, so ist diese Trefferquote extrem hoch. Dies lässt darauf schließen, dass es mit Hilfe unserer langjährig entwickelten neurologischen Analysemethoden prinzipiell möglich ist, die genannten Störungsbilder nicht nur objektiv, sondern auch sehr valide zu diagnostizieren.

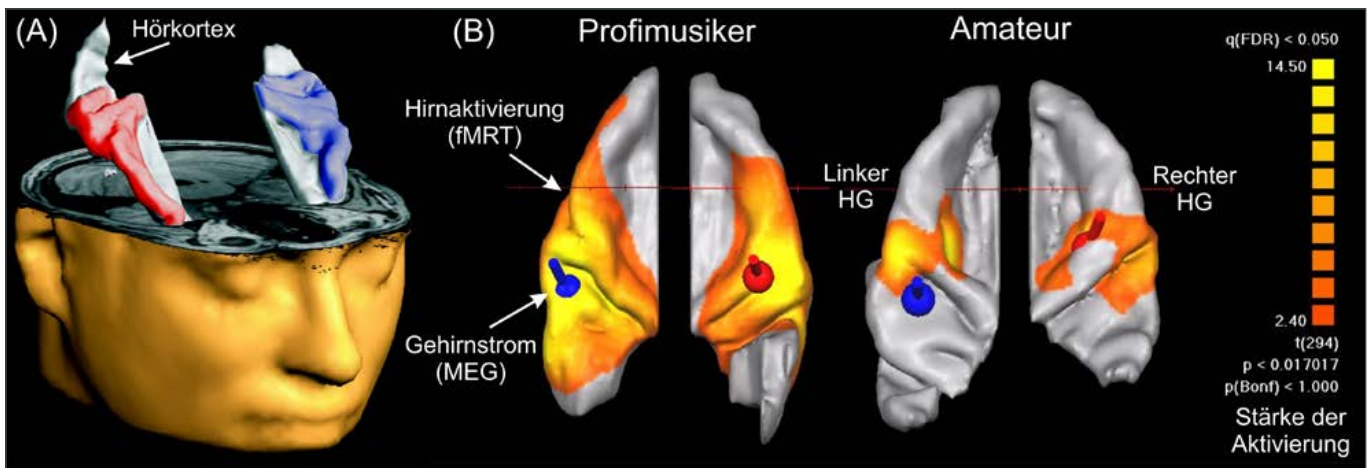


Abb. 2: (A) 3D-Rekonstruktionen des rechten und linken Hörkortex eines Pianisten. (B) Darstellung der fMRT-Aktivität (gelb) und Lokalisation der im MEG gemessenen auditorisch evozierten Felder (roter und blauer Dipol) eines Profimusikers und eines Amateurs beim Hören von Instrumentalklänge und komplexen harmonischen Tönen.

Auditorische Netzwerke des absoluten und relativen Gehörs

Zum anderen wurde im Rahmen eines vom Schweizer Nationalfond (SNF) und der DFG geförderten Langzeitstudie mit dem Titel „Auditorische Plastizität des erwachsenen musikalischen Gehirns“ in Kooperation mit dem Unispital Basel (PD Dr. M. Blatow), der Musikakademie Basel (Prof. E. Hofmann, Musikhochschule Basel und Prof. H.-P. Weber, Schola Cantorum Basiliensis) und der Universität Heidelberg durchgeführt. Hierfür wurden 30 Musikstudenten im Verlauf ihres Studiums in drei Erhebungswellen neurologisch, hörakustisch und musikalisch untersucht. Zum Vergleich wurde eine bezüglich Alter, Geschlecht und Musikalität parallelisierte Gruppe von 30 Medizinstudenten hinzugezogen. Zum Einsatz kamen neurophysiologische (MEG), neuroradiologische (fMRT), Diffusion Tensor Imaging (DTI), resting-state MRT (fcMRT) und psychoakustische Messungen. Ein besonderer Fokus der Studie lag dabei auf der Entwicklung des relativen Gehörs während des Musikstudiums. Beim relativen Gehör kommt es im Gegensatz zum absoluten Gehör auf die Fähigkeit an, musikalische Intervalle korrekt zu erkennen und bezeichnen zu können. Die ersten Ergebnisse wurden auf der Neuromusic-V Konferenz 2014 in Dijon sowie der Human Brain Mapping Konferenz 2015 in Hawaii vorgestellt und bestätigen zunächst eine spezifische Kongruenz der im fMRT und MEG gemessenen Schwerpunktaktivierungen auditorischer Areale (siehe Abb. 2) in Übereinstimmung mit anderen Studien [101,102]. Die MEG-Daten ermöglichten es darüberhinaus erstmals, die zeitliche Hierarchie der beteiligten primären, sekundären und über den auditorischen Kortex hinausgehenden kognitiven Verarbeitungsprozesse abzuleiten. Dabei zeigten sich mittlerweile

deutliche Tendenzen, dass sich die Entwicklung des relativen Gehörs in linkshemisphärischen Netzwerken zwischen auditorischem Kortex und dem Intraparietalen Sulcus (IPS) abbildet, während beim absoluten Hören ein spezifisches rechtshemisphärisches Netzwerk involviert ist, deren primäre auditorische, sensomotorische und sprachliche Areale synchron verschaltet sind [79].

Individuelle neuro-auditorische Profile

Ein wesentlicher Aspekt des beschriebenen Forschungsansatzes der Heidelberger AG 'Musik und Gehirn' fokussiert auf interindividuelle Unterschiede in der elementaren Hörverarbeitung, der subjektiven Klangwahrnehmung, sowie deren Verarbeitung im Gehirn. Auf der einen Seite des Spektrums stehen Personen mit außerordentlicher Expertise - also Profimusiker - auf der anderen Seite Menschen mit Wahrnehmungsdefiziten (auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen / AVWS, Tinnitus, Amusie etc.). Eine Gegenüberstellung der Hörprofile, der hirnanatomischen Merkmale und der neuronalen Aktivierungsmuster dieser besonderen Gruppen mit denen von normalhörenden Laien, lässt erstmals klare Aussagen zum Verhältnis von Anlage und Umwelt, sowie zum Ausmaß möglicher trainingsbedingter neuroplastischer Veränderungen zu. Hieraus ergeben sich wichtige pädagogische und klinisch-therapeutische Implikationen. Die erhebliche strukturelle Variabilität der Heschlschen Querwindungen zeigt sich erst nach der 3D-Rekonstruktion der Oberflächenstruktur, in Übereinstimmung mit zytoarchitektonischen Studien [103,104]. Abbildung 3 (siehe folgende Seite) zeigt exemplarisch die anatomische Variabilität der auditorischen Subareale (Heschlsche Querwindung, Planum temporale, anteriorer supratemporaler Gyrus), die sich in ihrer Größe,

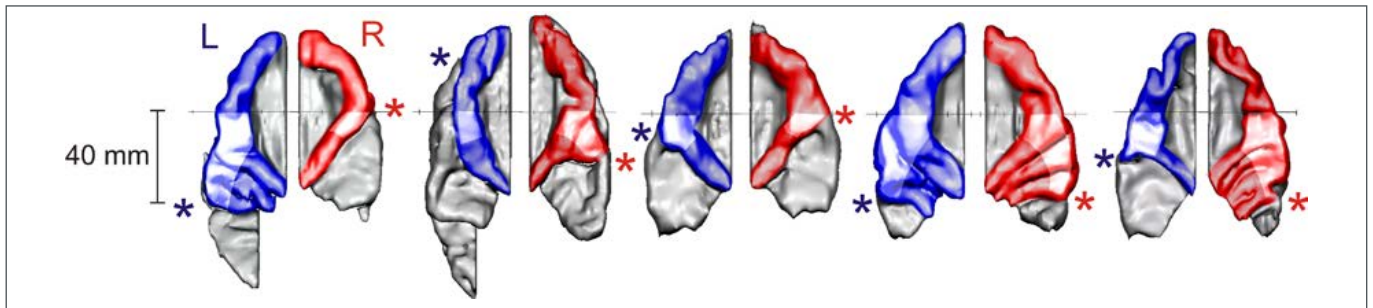


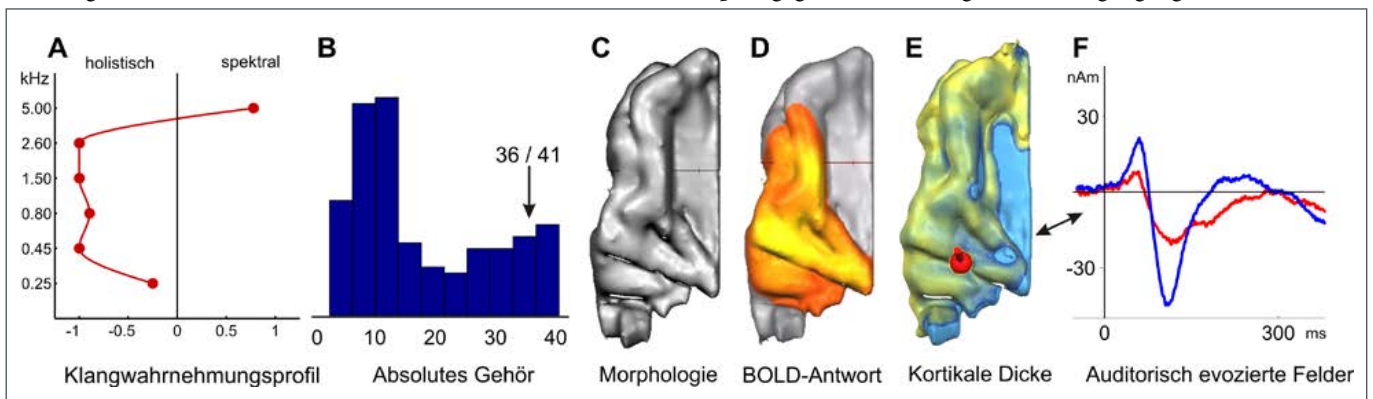
Abb. 3: Fünf individuelle 3D-Rekonstruktionen des rechten und linken Hörkortex (von links nach rechts: Schlagzeuger (25 J.), Kind mit LRS (8 J.), Nichtmusikerin (9 J.), musikalisch hochbegabter Amateurmusiker (48 J.), Konzert-Organist (85 J.)). Die Heschlschen Querwindungen im Zentrum des Hörkortex einschließlich dem anterior anschließenden supratemporalen Gyrus sind farbig gekennzeichnet. Das dahinterliegende Planum temporale ist grau dargestellt. Die Asterisken (*) kennzeichnen das seitliche Ende des ersten vollständigen Heschl Sulcus, der die Heschlschen Querwindungen einschließlich potentieller Duplikaturen vom dahinter liegenden Planum temporale trennt.

Rechts-Links-Asymmetrie, Ausmaß der Gyrierung (Gyrifizierungsfaktor, [50]), Position, sowie Neigungswinkel individuell beträchtlich unterschieden. Auch die Stärke und Ausdehnung der auditorischen Aktivierungsmuster richten sich in gewissen Grenzen nach der Form der Heschlschen Querwindungen [79, 105–107]. Es zeigte sich nach der Auswertung der individuellen Gyrierung, Form und Größe der Heschlschen Querwindungen immer wieder, dass es einen direkten Zusammenhang zwischen neuroanatomischen, neurofunktionellen und perzeptiven Merkmalen gibt [76, 77, 79, 108]. So spiegelt sich die Asymmetrie des Volumens an grauer Substanz zwischen den tonhöhenverarbeitenden Arealen des rechten und linken Hörkortex in der Art der subjektiven Klangwahrnehmung wider. Darüber hinaus zeigte sich, dass bestimmte perzeptive Merkmale extrem großen Schwankungen unterliegen. So variiert die Frequenzunterschiedsschwelle, d.h. die Fähigkeit, die Tonhöhe zweier nacheinander gespiel-

ter Töne zu unterscheiden, von 2–3 Halbtönen bei einigen Nichtmusikern und Tinnituspatienten bis hin zu nur 1.3 Cent (= ca. 1/80 Halbtönen) bei einer Solo-Geigerin eines Symphonieorchesters. Die mit unterschiedlichen neurologischen und behavioralen Verfahren gewonnenen Daten lassen sich allgemein zu einem individuellen 'neurologisch-perzeptiven Gesamtprofil' zusammenfassen. Abbildung 4 zeigt am Beispiel einer Dirigentin ein spezifisches individuelles 'neuro-auditorisches Profil'.

Inwieweit eine derartige anatomische und funktionelle Variabilität auch in anderen Bereichen des Gehirns zu finden sein könnte, ist bislang weitgehend unerforscht. Einige Pilotstudien unserer Arbeitsgruppe weisen darauf hin, dass die charakteristischen anatomischen Merkmale übergreifend im ganzen Gehirn zu finden sein müssten. Abbildung 5 zeigt als Beispiel verschiedene hirnanatomische Merkmale von künstlerisch (Abb. 5, A), motorisch (B) und musikalisch und kognitiv (C) hochbegabten Jugend-

Abb. 4: Neuro-auditorisches Gesamtprofil einer Dirigentin. (A) Klangwahrnehmungsprofil (Oberton-Grundtontest, Schneider et al., 2005). (B) Graduelle Ausprägung des absoluten Gehörs (Wengenroth et al., 2013). (C) Morphologie des Hörkortex. (D) fMRT-Aktivierung (BOLD-Antwort) beim Hören von Klängen. (E) Kortikale Dicke [109] und Lokalisierung des MEG-Dipols (rote Kugel). (F) Zeitabhängigkeit der auditorisch evozierten Antworten der rechten (rote Linie) und der linken (blaue Linie) Hemisphäre beim Hören von Instrumentalklängen. Die dargestellten individuellen Charakteristika der neurologischen und testpsychologischen Komponenten erlauben u. a. Prognosen, welches Musikinstrument, welcher Musikstil und welche pädagogische Lernstrategie besonders gut geeignet sein könnten.



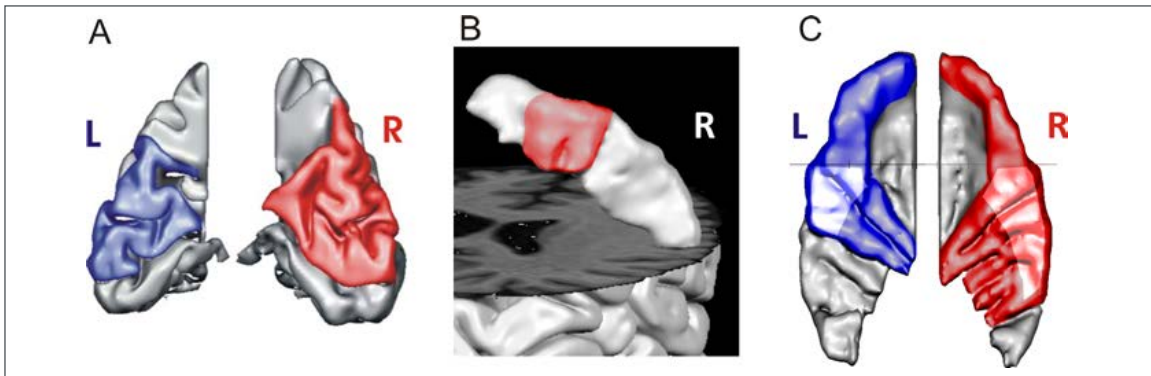


Abb. 5: Beispiele für charakteristische morphologische Profile in der Schrinde, der Zentralfurche und dem Hörkortex hochbegabter Jugendlicher. (A) segmentierter visueller Kortex; farbig markiert ist der aufgeklappte Bereich zwischen Sulcus calcarinus und Sulcus parieto-occipitalis. (B) Segmentierter rechter Handknopf, Ansicht von hinten auf den präzentralen Gyrus. (C) Heschlsche Querwindungen; Aufsicht von oben

lichen. In allen Fällen zeigen sich als übergreifendes Muster diverse Mehrfach- oder Multigyrierungen, sei es bezogen auf die Auffächerung des Sulcus calcarinus im primären visuellen Kortex (A), auf das Handknopf-Areal im präzentralen Gyrus (B) oder die Häufung von Duplikaturen im Hörkortex (C). Allein aus klinischer Sicht wäre es hochgradig relevant, solche individuelle Besonderheiten zu kennen, um diese z. B. im Rahmen der prächirurgischen Diagnostik vor operativen Eingriffen berücksichtigen zu können [110].

Dies wirft die Frage auf, ob es sich um Einzelfälle handelt oder ob es typische Konstellationen gibt, bei denen beispielsweise eine Multigyrierung der Heschlschen Querwindung mit entsprechenden Multigyrierungen motorischer, sprachlicher, präfrontaler oder/und visueller Areale zusammenhängt. In weiterführenden Studien soll untersucht werden, ob es übergreifende architektonische bzw. phänotypologische Merkmale im Aufbau des menschlichen Gehirns gibt, und – falls ja – in welchem Zusammenhang diese zu speziellen Fähigkeiten, Hochbegabungen oder kognitiven Defiziten stehen. Sollte es möglich sein, von den Eigenschaften eines speziellen Gehirnbereichs (z. B. des Hörkortex) auf andere Gehirnbereiche zurückzuschließen und damit auf der Basis von individuellen auditorischen Fähigkeiten auf sprachliche, visuell-räumliche oder numerisch-mathematische Potentiale zu schließen, könnten in Zukunft wichtige neue Zusammenhänge zwischen spezifischen Besonderheiten und globalen, modalitäts-übergreifenden, persönlichkeitspezifischen Merkmalen entlarvt werden.

Neurokognitive Modelle individueller Begabungs- und Kompetenzprofile

Die anhand der Verlaufsdaten mit musizierenden Kindern und Musikstudenten gefundenen Zusammenhänge führten zur Erstellung eines neurokognitiven Modells der individuellen Reife- und Lernprozesse

[83, 111], welches deutlich weitreichendere Aussagen ermöglicht als es bisher auf der Ebene reiner Verhaltensbeobachtungen und psychologischer Tests möglich war. Das in der Neuropädagogik weit verbreitete Modell des trainingsbedingten Lernerfolgs geht davon aus, dass dieser in erster Linie durch langfristiges, zielgerichtetes Üben (Expertise durch 'deliberate practice', [112]) zustande kommt. Neuropsychologisch bildet sich die Wirkung der 'deliberate practice' in unseren Längsschnittstudien als beschleunigter Reifeprozess der Hörfunktionen als Folge intensiven Musizierens ab. Das Ausmaß der natürlichen Latenzverkürzung der im MEG gemessenen evozierten Antwortkomponenten mit steigendem Lebensalter hängt außerdem linear von der Intensität des musikalischen Übeverhaltens ab. Die Ergebnisse der AMseL-Studie zeigen darüber hinaus, dass im Hörkortex auch zuverlässige neuroanatomische Marker für musikalische Begabung existieren, welche ihrerseits Einfluss auf das Lernverhalten nehmen [49, 50, 73]. Solche morphologischen Merkmale liegen bereits vor dem Beginn des formalen Musikunterrichts stabil vor und sagen zu einem hohen Grad vorher, wie viel Zeit ein Kind in das Erlernen eines Instruments investieren wird [83]. Je günstiger die neuroanatomischen Voraussetzungen in der Hörrinde sind, desto mehr Interesse zeigen die Kinder in der Regel an musikalischen Aktivitäten. Anders als in bisherigen Begabungsmodellen [113–115] ist die Motivation, welche die Intensität zielgerichteten Übens bestimmt, hier kein allgemeines Persönlichkeitsmerkmal, sondern hängt ihrerseits von der zugrundeliegenden Begabung in einem bestimmten Bereich ab [116]. Aufgrund von regressionsanalytischen Berechnungen unserer Daten konnte die Eigenmotivation zu musizieren (häusliche Übeintensität) etwa zu 60 % durch neuroanatomisch vorgegebene und zu 40 % durch mittels Fragebögen erhobene Umweltfaktoren vorhergesagt werden. In diesem Modell wird davon ausgegangen, dass die

Pädagogik auf die verschiedenen Ebenen Einfluss nehmen kann und so die lerninduzierten Entwicklungsprozesse fördern oder unter ungünstigen Umständen auch hemmen kann. Auf unterster Ebene gilt es, latente Begabungen möglichst frühzeitig zu erkennen. Wichtige Hinweise können Beobachtungen liefern, womit sich ein Kind von sich aus besonders gern und ausdauernd beschäftigt (intrinsische Motivation, [117]). Mit steigendem Lebensalter kann darauf aufbauend das konkrete Übeverhalten durch die Vermittlung von deklarativem und prozeduralem Wissen, also durch Theorie und Praxis, pädagogisch angeleitet und unterstützt werden. Dies sollte wiederum neuroplastische Lernvorgänge unterstützen und beschleunigen, mit dem Ziel, die bereits im Begabungsprofil latent angelegten Potentiale durch Expertise möglichst vollständig zur Geltung zu bringen. Als Konsequenz sollte es nicht so sehr darauf ankommen, alle Kinder in gleicher Weise möglichst früh und intensiv zu trainieren, sondern eher darauf, das individuelle Begabungsprofil (musikalisch, bildnerisch, sprachlich etc.) zu erkennen und gezielt zu fördern. Da sich der Lernerfolg und das Ausmaß an Neuroplastizität vermutlich direkt proportional zum veranlagten Potential verhalten, erscheint es zielführend, pädagogisch an jenen Punkten anzusetzen, an denen die stärksten Begabungen erkennbar sind und davon auszugehen, dass eher defizitäre Bereiche von dieser Förderung mit profitieren [84].

Die für den auditorischen Bereich gefundenen Zusammenhänge zwischen Struktur, Funktion und Wahrnehmung sollten prinzipiell auch auf weitere Systeme, wie sensomotorische, räumlich-visuelle, sprachliche oder multisensorische Netzwerke übertragbar sein. Daher ist es ein vielversprechendes Forschungsziel, die im Rahmen der Musikalitätsforschung entwickelte Methodik auch auf andere Bereiche, wie künstlerische, tänzerische, sportliche, sprachliche oder mathematische Begabungen zu übertragen. Dies würde die Möglichkeit eröffnen, zukünftig auf neurologischer Basis mehrdimensionale individuelle Begabungs- und Kompetenzprofile zu erstellen.

Literatur

[1] Münte, T. F.; Altenmüller, E.; Jäncke, L.: The musician's brain as a model for neuroplasticity. *Nature Neuroscience Reviews* 3: S. 473–478, 2002.

[2] Stewart, L.: Medicine, Music and the mind. Do musicians have different brains? *Clinical Medicine*, 8, S. 304–308, 2008.

[3] Jäncke, L.: The plastic brain. *Restor Neurol Neurosci* 27(5): S. 521–538, 2009.

[4] Zatorre, R. J.; Chen, J. L.; Penhune, V. B.: When the brain plays music. Auditory-motor interac-

tions in music perception and production. *Nature Reviews Neuroscience* 8: S. 547–558, 2007.

[5] Strait, D. L.; Kraus, N.: Biological impact of auditory expertise across the life span: musicians as a model of auditory learning. *Hearing research*, 308, S. 109–121, 2014.

[6] Gruhn, W.; Seither-Preisler, A. (Eds.): *Der musikalische Mensch: Evolution, Biologie und Pädagogik musikalischer Begabung* (Vol. 9). Georg Olms Verlag 2014.

[7] Scheich, H.; Brechmann, A.; Brosch, M.; Buidinger, E.; Ohl, F. W.; Selezneva, E.; Wetzels, W.: Behavioral semantics of learning and cross-modal processing in auditory cortex: the semantic processor concept. *Hearing research*, 271(1), S. 3–15, 2011.

[8] Overy, K.; Norton, A. C.; Cronin, K. T.; Gaab, N.; Alsop, D. C.; Winner, E.; Schlaug, G.: Imaging melody and rhythm processing in young children. *Neuroreport* 15: S. 1.723–1.726, 2004.

[9] Kraus, N.; Chandrasekaran, B.: Music training for the development of auditory skills. *Nature Neuroscience Reviews*, 11, S. 599–605, 2010.

[10] Norton, A.; Winner, E.; Cronin, K.; Overy, K.; Lee, D. J.; Schlaug, G.: Are there pre-existing neural, cognitive, or motoric markers for musical ability? *Brain and Cognition* 59: S. 124–134, 2005.

[11] Overy, K.; Molnar-Szakacs, I.: Being together in time: musical experience and the mirror neuron system. 2009.

[12] Jentschke, S.; Koelsch, S.: Musical training modulates the development of syntax processing in children. *NeuroImage*, 47(2), S. 735–744, 2009.

[13] Jabusch, H. C.; Alpers, H.; Kopiez, R.; Vauth, H.; Altenmüller, E.: The influence of practice on the development of motor skills in pianists: a longitudinal study in a selected motor task. *Human movement science*, 28(1), S. 74–84, 2009.

[14] Trainor, L. J.; Shahin, A. J.; Roberts, L. E.: Understanding the benefits of musical training. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169(1), S. 133–142, 2009.

[15] Moreno, S.; Bidelman, G. M.: Examining neural plasticity and cognitive benefit through the unique lens of musical training. *Hearing research*, 308, S. 84–97, 2014.

[16] Schlaug, G.; Jäncke, L.; Huang, Y.; Steinmetz, H.: In vivo evidence of structural brain asymmetry in musicians. *Science* 267: S. 699–701, 1995.

[17] Sluming, V.; Barrick, T.; Howard, M.; Cezayirli, E.; Mayes, A.; Roberts, N.: Voxel-based morphometry reveals increased gray matter density in Broca's area in male symphony orchestra musicians. *Neuroimage* 17: S. 1.613–1.622, 2002.

[18] Gaser, C.; Schlaug, G.: Gray matter differences

- between musicians and nonmusicians. *Ann. N Y Acad. Sci.* 999: S. 514–517, 2003.
- [19] Zatorre, R. J.; Belin, P.; Penhune, V. B.: Structure and function of auditory cortex: music and speech. *Trends in cognitive sciences*, 6(1), S. 37–46, 2002.
- [20] Sluming, V.; Brooks, J.; Howard, M.; Downes, J.; Roberts, N.: Broca's area supports enhanced visuospatial cognition in musicians. *Journal of Neuroscience* 27(14): S. 3.799–3.806, 2007.
- [21] Baumann, S.; Meyer, M.; Jancke, L.: Enhancement of auditory-evoked potentials in musicians reflects an influence of expertise but not selective attention. *Journal of Cognitive Neuroscience* 20: S. 2.238–2.249, 2008.
- [22] Bermudez, P.; Lerch, J. P.; Evans, A. C.; Zatorre, R. J.: Neuroanatomical correlates of musicianship as revealed by cortical thickness and voxel-based morphometry. *Cerebral Cortex*, 19(7), S. 1.583–1.596, 2009.
- [23] Pantev, C.; Oostenveld, R.; Engelien, A.; Ross, B.; Roberts, L. E.; Hoke, M.: Increased auditory cortical representation in musicians. *Nature*, 392(6678), S. 811–814, 1998.
- [24] Pantev C.; Roberts, L. E.; Schulz, M.; Engelien, A.; Ross, B.: Timbre-specific enhancement of auditory cortical representations in musicians. *Neuroreport* 12: S. 921–937, 2001.
- [25] Münte, T. F.; Kohlmetz, C.; Nager, W.; Altenmüller, E.: Neuroperception: Superior auditory spatial tuning in conductors. *Nature*, 409(6820), S. 580, 2001.
- [26] Shahin, A.; Roberts, L. E.; Trainor, L. J.: Enhancement of auditory cortical development by musical experience in children. *Neuroreport*, 15(12), S. 1.917–1.921, 2004.
- [27] Bengtsson, S. L.; Nagy, Z.; Skare, S.; Forsman, L.; Forssberg, H.; Ullén, F.: Extensive piano practicing has regionally specific effects on white matter development. *Nature neuroscience*, 8(9), S. 1.148–1.150, 2005.
- [28] Altenmüller, E.: Neurology of musical performance. *Clin Med* 8: S. 410–413, 2008.
- [29] Oechslin, M. S.; Imfeld, A.; Loenneker, T.; Meyer, M.; Jäncke, L.: The plasticity of the superior longitudinal fasciculus as a function of musical expertise: a diffusion tensor imaging study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 3, 2009.
- [30] Halwani, G. F.; Loui, P.; Rüber, T.; Schlaug, G.: Effects of practice and experience on the arcuate fasciculus: comparing singers, instrumentalists, and non-musicians. *Frontiers in Psychology*, 2, 2011.
- [31] Pinho, A. L.; de Manzano, Ö.; Fransson, P.; Eriksson, H.; Ullén, F.: Connecting to create: expertise in musical improvisation is associated with increased functional connectivity between premotor and prefrontal areas. *The Journal of Neuroscience*, 34(18), S. 6.156–6.163, 2014.
- [32] Elmer, S.; Hänggi, J.; Jäncke, L.: Processing demands upon cognitive, linguistic, and articulatory functions promote grey matter plasticity in the adult multilingual brain: Insights from simultaneous interpreters. *Cortex*, 54, S. 179–189, 2014.
- [33] Elmer, S.; Rogenmoser, L.; Kühnis, J.; Jäncke, L.: Bridging the gap between perceptual and cognitive perspectives on absolute pitch. *The Journal of Neuroscience*, 35(1), S. 366–371, 2015.
- [34] Kraus, N.; Hornickel, J.; Strait, D. L.; Slater, J.; Thompson, E.: Engagement in community music classes sparks neuroplasticity and language development in children from disadvantaged backgrounds. *Frontiers in psychology*, 5, 2014.
- [35] Kraus, N.; Slater, J.; Thompson, E. C.; Hornickel, J.; Strait, D. L.; Nicol, T.; White-Schwoch, T.: Music enrichment programs improve the neural encoding of speech in at-risk children. *The Journal of Neuroscience*, 34(36), S. 11.913–11.918, 2014.
- [36] Strait, D. L.; Kraus, N.: Biological impact of auditory expertise across the life span: musicians as a model of auditory learning. *Hearing research*, 308, S. 109–121, 2014.
- [37] Ho, Y. C.; Cheung, M. C.; Chan, A. S.: Music training improves verbal but not visual memory: cross-sectional and longitudinal explorations in children. *Neuropsychology*, 17(3), S. 439, 2003.
- [38] Schumacher, R.: *Macht Mozart schlau. Die Förderung kognitiver Kompetenzen durch Musik.* BMBF, Berlin. 2006.
- [39] Jäncke, L.: *Macht Musik schlau. Neue Erkenntnisse aus den Neurowissenschaften und der kognitiven Psychologie.* Huber, Bern. 2008.
- [40] Rittelmeyer, C.: *Warum und wozu ästhetische Bildung. Über Transferwirkungen künstlerischer Tätigkeiten. Ein Forschungsüberblick.* Oberhausen. 2010.
- [41] Schellenberg, E. G.: Examining the association between music lessons and intelligence. *British Journal of Psychology*, 102(3), S. 283–302, 2011.
- [42] Corrigall, K. A.; Schellenberg, E. G.; Misura, N. M.: Music training, cognition, and personality. *Frontiers in psychology*, 4, 2013.
- [43] Ericsson, K. A.; Krampe, R. T.; Tesch-Römer, C.: The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological review*, 100(3), S. 363, 1993.
- [44] Mosing, M. A.; Madison, G.; Pedersen, N. L.; Kuja-Halkola, R.; Ullén, F.: Practice does not make perfect: no causal effect of music practice on music ability. *Psychological science*, 25(9),

- S. 1.795–1.803, 2014.
- [45] Pulli, K.; Karma, K.; Norio, R.; Sistonen, P.; Goring, H. H.; Jarvela, I.: Genome-wide linkage scan for loci of musical aptitude in Finnish families: evidence for a major locus at 4q22. *J. Med. Genet.* 45: S. 451–456, 2008.
- [46] Ukkola, L. T.; Onkamo, P.; Raijas, P.; Karma, K.; Järvelä, I.: Musical aptitude is associated with AVPR1A-haplotypes. *PLoS One*, 4(5), S. e5534, 2009.
- [47] Oikkonen, J.; Järvelä, I.: Genomics approaches to study musical aptitude. *Bioessays*, 36(11), S. 1.102–1.108, 2014.
- [48] Golestani, N.; Zatorre, R. J.: Learning new sounds of speech: Reallocation of neural substrates. *Neuroimage* 21(2): S. 494–506, 2004.
- [49] Golestani, N.; Molko, N.; Pallier, C.; Dehaene, S.; Le Bihan, D.: Brain structure predicts the learning of foreign speech sounds. *Cerebral Cortex* 17(3): S. 575–582, 2007.
- [50] Golestani, N.; Price, C. J.; Scott, S. K.: Born with an ear for dialects? Structural plasticity in the expert phonetician brain. *The Journal of Neuroscience*, 31(11), S. 4.213–4.220, 2011.
- [51] Cai, D. C.; Fonteijn, H.; Guadalupe, T.; Zwiers, M.; Wittfeld, K.; Teumer, A.; Hagoort, P.: A genome-wide search for quantitative trait loci affecting the cortical surface area and thickness of Heschl's gyrus. *Genes, Brain and Behavior*, 13(7), S. 675–685, 2014.
- [52] Ellis, R. J.; Bruijn, B.; Norton, A. C.; Winner, E.; Schlaug, G.: Training-mediated leftward asymmetries during music processing: a cross-sectional and longitudinal fMRI analysis. *Neuroimage*, 75, S. 97–107, 2013.
- [53] Moreno, S.; Marques, C.; Santos, A.; Santos, M.; Castro, S. L.; Besson, M.: Musical training influences linguistic abilities in 8-year-old children: more evidence for brain plasticity. *Cerebral Cortex*, 19(3), S. 712–723, 2009.
- [54] Hyde, K. L.; Lerch, J. P.; Norton, A.; Forgeard, M.; Winner, E.; Evans, A. C.; Schlaug, G.: Musical Training Shapes Structural Brain Development. *Journal of Neuroscience* 29(10): S. 3.019–3.025, 2009.
- [55] Strait, D. L.; O'Connell, S.; Parbery-Clark, A.; Kraus, N.: Musicians' enhanced neural differentiation of speech sounds arises early in life: developmental evidence from ages 3 to 30. *Cerebral Cortex*, 24(9), S. 2.512–2.521, 2014.
- [56] Chobert, J.; François, C.; Velay, J. L.; Besson, M.: Twelve months of active musical training in 8-to 10-year-old children enhances the preattentive processing of syllabic duration and voice onset time. *Cerebral Cortex*, 24(4), S. 956–967, 2014.
- [57] Slater, J.; Skoe, E.; Strait, D. L.; O'Connell, S.; Thompson, E.; Kraus, N.: Music training improves speech-in-noise perception: Longitudinal evidence from a community-based music program. *Behavioural brain research*, 291, S. 244–252, 2015.
- [58] Schlaug, G.; Norton, A.; Overy, K.; Winner, E.: Effects of music training on the child's brain and cognitive development. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1060(1), S. 219–230, 2005.
- [59] Schellenberg, E. G.: Long-term positive associations between music lessons and IQ. *Journal of Educational Psychology*, 98(2), S. 457, 2006.
- [60] Herdener, M.; Esposito, F.; di Salle, F.; Boller, C.; Hilti, C. C.; Habermeyer, B.; Cattapan-Ludewig, K.: Musical training induces functional plasticity in human hippocampus. *Journal of Neuroscience*, 30(4), S. 1.377–1.384, 2010.
- [61] Herdener, M.; Humbel, T.; Esposito, F.; Habermeyer, B.; Cattapan-Ludewig, K.; Seifritz, E.: Jazz drummers recruit language-specific areas for the processing of rhythmic structure. *Cerebral Cortex*, 24(3), S. 836–843, 2014.
- [62] Herholz, S. C.; Coffey, E. B.; Pantev, C.; Zatorre, R. J.: Dissociation of Neural Networks for Pre-disposition and for Training-Related Plasticity in Auditory-Motor Learning. *Cerebral Cortex*, 26(7), S. 3.125–3.134, 2015.
- [63] Giedd, J. N.; Blumenthal, J.; Jeffries, N. O.; Castellanos, F. X.; Liu, H.; Zijdenbos, A.; Rapoport, J. L.: Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. *Nature neuroscience*, 2(10), S. 861–863, 1999.
- [64] Blakemore, S. J.: Imaging brain development: the adolescent brain. *Neuroimage*, 61(2), S. 397–406, 2012.
- [65] Petanjek, Z.; Judaš, M.; Šimić, G.; Rašin, M. R.; Uylings, H. B.; Rakic, P.; Kostović, I.: Extraordinary neurogenesis of synaptic spines in the human prefrontal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(32), S. 13.281–13.286, 2011.
- [66] Barnea-Goraly, N.; Menon, V.; Eckert, M.; Tamm, L.; Bammer, R.; Karchemskiy, A.; Reiss, A. L.: White matter development during childhood and adolescence: a cross-sectional diffusion tensor imaging study. *Cerebral cortex*, 15(12), S. 1.848–1.854, 2005.
- [67] Sowell, E. R.; Thompson, P. M.; Holmes, C. J.; Jernigan, T. L.; Toga, A. W.: In vivo evidence for post-adolescent brain maturation in frontal and striatal regions. *Nature neuroscience*, 2(10), S. 859–861, 1999.
- [68] Bonte, M.; Frost, M. A.; Rutten, S.; Ley, A.; Formisano, E.; Goebel, R.: Development from

- childhood to adulthood increases morphological and functional inter-individual variability in the right superior temporal cortex. *Neuroimage*, 83, S. 739–750, 2013.
- [69] Altenmüller, E.; Wiesendanger, M.; Kesselring, J.: *Music, motor control and the brain*. Oxford, New York: Oxford University Press. 2006.
- [70] Zatorre, R.J.; Chen, J.L.; Penhune, V.B.: When the brain plays music: auditory–motor interactions in music perception and production. *Nature reviews neuroscience*, 8(7), S. 547, 2007.
- [71] Rodriguez-Fornells, A.; Rojo, N.; Amengual, J.L.; Ripollés, P.; Altenmüller, E.; Münte, T.F.: The involvement of audio–motor coupling in the music-supported therapy applied to stroke patients. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1252(1), S. 282–293, 2012.
- [72] Skoe, E.; Kraus, N.: A little goes a long way: how the adult brain is shaped by musical training in childhood. *The Journal of Neuroscience*, 32(34), S. 11.507–11.510, 2012.
- [73] Zatorre, R.J.: Predispositions and plasticity in music and speech learning: neural correlates and implications. *Science*, 342(6158), S. 585–589, 2013.
- [74] Kanai, R.; Rees, G.: The structural basis of inter-individual differences in human behaviour and cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 12(4), S. 231–242, 2011.
- [75] Zatorre, R.J.; Fields, R.D.; Johansen-Berg, H.: Plasticity in gray and white: neuroimaging changes in brain structure during learning. *Nature neuroscience*, 15(4), S. 528–536, 2012.
- [76] Schneider, P.; Scherg, M.; Dosch, H.G.; Specht, H.J.; Gutschalk, A.; Rupp, A.: Morphology of Heschl's Gyrus reflects enhanced activation in the auditory cortex of musicians. *Nature Neuroscience* 5: S. 688–694, 2002.
- [77] Schneider, P.; Sluming, V.; Roberts, N.; Scherg, M.; Dosch, H.G.; Specht, H.J.; Bleeck, S.; Goebel, R.; Stippich, C.; Rupp, A.: Structural and functional asymmetry in lateral Heschl's gyrus predicts pitch perception preference. *Nature Neuroscience* 8: S. 1.241–1.247, 2005.
- [78] Schneider, P.; Wengenroth, M.: The neural basis of individual holistic and spectral sound perception. *Contemporary music review*, 28(3), S. 315–328, 2009.
- [79] Wengenroth, M.; Blatow, M.; Heinecke, A.; Reinhardt, J.; Stippich, C.; Hofmann, E.; Schneider, P.: Increased volume and function of right auditory cortex as a marker for absolute pitch. *Cerebral Cortex*, 24(5), S. 1.127–1.137, 2013.
- [80] Serrallach, B.; Gross, T.; Bernof, V.; Engelmann, D.; Benner, J.; Brunner, M.; Wengenroth, M.; Seitz, A.; Parncutt, R.; Schneider, P.; Seither-Preisler, A.: Neural biomarkers of AD(H)D and dyslexia in the auditory cortex of children. *Frontiers in Neuroscience*, 2016.
- [81] Schneider, P.; Andermann, M.; Wengenroth, M.; Goebel, R.; Flor, H.; Rupp, A.; Diesch, E.: Reduced volume of Heschl's gyrus in tinnitus. *Neuroimage* 45: S. 927–939, 2009.
- [82] Wengenroth, M.; Blatow, M.; Bendszus, M.; Schneider, P.: Leftward lateralization of auditory cortex underlies holistic sound perception in Williams syndrome. *PLoS ONE* 5 (8): S. e12.326, 2010.
- [83] Seither-Preisler, A.; Parncutt, R.; Schneider, P.: Size and synchronization of auditory cortex promotes musical, literacy, and attentional skills in children. *The Journal of Neuroscience*, 34(33), S. 10.937–10.949, 2014.
- [84] Seither-Preisler, A.; Schneider, P.: Positive Effekte des Musizierens auf Wahrnehmung und Kognition aus neurowissenschaftlicher Perspektive. In G. Bernatzky & G. Kreutz (Eds.), *Musik in der Medizin – Chancen für Prävention, Therapie und Bildung*; Springer. S. 375–393, 2015.
- [85] Schneider, P.; Seither-Preisler, A.: Neurokognitive Korrelate von JeKi-bezogenem und außerschulischem Musizieren. Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg). *Ergebnisse des JeKi-Forschungsschwerpunktes (Empirische Bildungsforschung)*, Berlin, 2015.
- [86] Auerbach, S.: Zur Lokalisation des musikalischen Talentes im Gehirn und am Schädel. *Archives of Anatomy and Physiology*, 1906, S. 197–230; 1908, S. 31–8; 1911, S. 1–10; 1913 (Suppl), S. 89–96.
- [87] Critchley, M.; Henson, R.A. (eds): *Music and the Brain. The search for a morphological substrate in the brains of eminent persons including musicians: a historical review*. S. 255–281. Heinemann, London. 1977.
- [88] Gordon, E.E.: *Introduction to research and the psychology of music*. GIA, Chicago. 1998.
- [89] <http://www.musicandbrain.de>
- [90] Von Helmholtz, H.: *Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik*. F. Vieweg und Sohn. 1863.
- [91] Schönberg, A.: *Harmonielehre* (Wien). 1911.
- [92] Wundt, W.M.: *Grundzüge der physiologischen Psychologie* (Vol. 1). W. Engelmann. 1874.
- [93] Seither-Preisler, A.; Johnson, L.; Krumbholz, K.; Nobbe, A.; Patterson, R.; Seither, S.; Lütkenhöner, B.: Tone sequences with conflicting fundamental pitch and timbre changes are heard differently by musicians and nonmusicians. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception*

PD Dr. rer. nat.**Peter Schneider**

Neurologische Klinik
und Neuroradio-
logische Klinik,
Universitätsklinikum
Heidelberg

Jan Benner

Neurologische Klinik
und Neuroradio-
logische Klinik,
Universitätsklinikum
Heidelberg

Bettina Zeidler

Neurologische Klinik
und Neuroradio-
logische Klinik,
Universitätsklinikum
Heidelberg; Uni-
versität Hamburg,
Institut für Musik-
wissenschaft

Markus Christiner

Universität Wien,
Institut für Sprach-
wissenschaft

Annemarie**Seither-Preisler**

Universität Graz,
Institut für systema-
tische Musikwissen-
schaft

Dorte Engellmann

Neurologische Klinik
und Neuroradio-
logische Klinik,
Universitätsklinikum
Heidelberg

and Performance, 33(3), S. 743, 2007.

- [94] Seither-Preisler, A.; Johnson, L.; Seither, S.; Lütkenhöner, B.: The perception of dual aspect tone sequences changes with stimulus exposure. *Brain Research Journal*, 2(3), S. 125–148, 2008.
- [95] Schneider, P.; Sluming, V.; Roberts, N.; Bleeck, S.; Rupp, A.: Structural, functional and perceptual differences in Heschl's gyrus and Musical Instrument preference, *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1060: S. 387–394, 2005.
- [96] Gruhn, W.; Hofmann, E.; Schneider, P.: Grundtonhören und Obertonhören. Hörtypen und ihre Instrumente. *Üben und Musizieren*, 1(12), S. 1-7, 2012.
- [97] <http://www.jedemkind.de>
- [98] Christiner, M.; Reiterer, S. M.: MULT/AP multilingual aptitude test. Vienna: Christiner Questionnaires. 2017.
- [99] Riccio, C.A.; Cohen, M.J.; Garrison, T.; Smith, B.: Auditory processing measures: correlation with neuropsychological measures of attention, memory, and behavior. *Child Neuropsychol.*, 11, S. 363–372, 2005.
- [100] Hämäläinen, J. A.; Salminen, H. K.; Leppänen, P. H. T.: Basic auditory processing deficits in dyslexia: Systematic review of the behavioral and event related potential/field evidence. *J. Learn. Disabil.*, 46, S. 413–427, 2013.
- [101] Mukamel, R.; Gelbard, H.; Arieli, A.; Hasson, U.; Fried, I.; Malach, R.: Coupling between neuronal firing, field potentials, and fMRI in human auditory cortex. *Science*, 309(5736), S. 951–954, 2005.
- [102] Hipp, J. F.; Siegel, M.: BOLD fMRI Correlation Reflects Frequency-Specific Neuronal Correlation. *Current Biology*. 2015.
- [103] Steinmetz, H.; Rademacher, J.; Huang, Y.; Hefter, H.; Zilles, K.; Thron, A.; Freund, H. J.: Cerebral Asymmetry: MR Planimetry of the Human Planum Temporale. *J. Comp. Assist. Tom.* 13: S. 996–1.005, 1989.
- [104] Rademacher, J.; Morosan, P.; Schormann, T.; Schleicher, A.; Werner, C.; Freund, H. J.; Zilles, K.: Probabilistic mapping and volume measurement of human primary auditory cortex. *Neuroimage*, 13(4), S. 669–683, 2001.
- [105] Warrier, C.; Wong, P.; Penhune, V.; Zatorre, R.; Parrish, T.; Abrams, D.; Kraus, N.: Relating structure to function: Heschl's gyrus and acoustic processing. *J. Neurosci* 29: S. 61–69, 2009.
- [106] Da Costa, S.; van der Zwaag, W.; Marques, J. P.; Frackowiak, R. S.; Clarke, S.; Saenz, M.: Human Primary Auditory Cortex Follows the Shape of Heschl's Gyrus. *J. Neurosci* 31, S. 14.067–14.075, 2011.
- [107] Benner, J.; Wengenroth, M.; Reinhardt, J.; Stippich, C.; Schneider, P.; Blatow, M.: Prevalence and function of Heschl's gyrus morphotypes in musicians. *Brain Structure and Function*, 222(8), S. 3.587–3.603, 2017.
- [108] Turker, S.; Reiterer, S. M.; Seither-Preisler, A.; Schneider, P.: „When music speaks”: Auditory cortex morphology as a neuroanatomical marker of language aptitude and musicality. *Frontiers in Psychology*, 8, S. 2.096, 2017.
- [109] Zoellner, S.; Benner, J.; Zeidler, B.; Goebel, R.; Heinecke, A.; Wengenroth, M.; Blatow, M.; Schneider, P.: Reduced cortical thickness in Heschl's gyrus as an in vivo marker for human primary auditory cortex. 2018. (Human Brain Mapping, in review).
- [110] Stippich, C.; Blatow, M.; Durst, A.; Dreyhaupt, J.; Sartor, K.: Global activation of primary motor cortex during voluntary movements in man. *NeuroImage* 34: S. 1.227–1.237, 2007.
- [111] Seither-Preisler, A.; Schneider, P.: Neurokognitive Aspekte musikalischer Begabung. In W. Gruhn & A. Seither-Preisler (Eds.), *Der musikalische Mensch: Evolution, Biologie und Pädagogik musikalischer Begabung*. Hildesheim: Olms. 2014.
- [112] Ericsson, K. A.; Krampe, R. T.; Tesch-Römer, C.: The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological review*, 100(3), S. 363, 1993.
- [113] Gagné, M.; Deci, E. L.: Self-determination theory and work motivation. *Journal of Organizational Behavior*, 26(4), S. 331–362, 2005.
- [114] Gembris, H.: Begabungsforschung und Begabungsförderung in der Musik. *Gegenwärtige Forschungssituation und aktuelle Entwicklungen in der Praxis. Individuelle Förderung multipler Begabungen: fachbezogene Förder- und Förderkonzepte*, S. 17–53, 2012.
- [115] Heller, K. A.; Hany, E. A.: Psychologische Modelle der Hochbegabtenförderung. *Psychologie des Lernens und der Instruktion*, Bd. 2, S. 477–513, 1996.
- [116] Winner, E.: The rage to master: The decisive role of talents in the visual arts. In K. A. Ericsson (Ed.), *The road to excellence. The acquisition of expert performance in the arts and sciences, sports, and games* (S. 271–301). Mahwah, NJ: Erlbaum. 1996.
- [117] Olbertz, F.: Hochbegabung, Wunderkinder und Inselbegabungen. In W. Gruhn & A. Seither-Preisler (Eds.), *Der musikalische Mensch: Evolution, Biologie und Pädagogik musikalischer Begabung*. Hildesheim: Olms. 2014 ■

Thesen zur Akustik anspruchsvoller Räume

Helmut V. Fuchs

Kompendien zur Raumakustik behandeln fast ausschließlich große Räume im Hinblick auf diverse musikalische und sprachliche Nutzungen, kaum kleine hinsichtlich Schallbelastung und Lärm durch ihre jeweiligen Nutzer. Die Fachleute sind sich eigentlich einig, dass raumakustische Qualität wesentlich durch den Direktschall der Quellen und die frühen Reflexionen aus dem Raum bestimmt wird. Es wurden daraus zwar zahlreiche Güte-Kriterien abgeleitet, aber meistens bleibt zur akustischen Kennzeichnung eines Raumes aus Zeit- und Geldmangel doch nur die Nachhallzeit übrig und leider allzu oft nur diejenige bei mittleren Frequenzen. Dabei hat dieser Parameter bei tiefen Frequenzen als notdürftiges Abbild der im Raum insgesamt vorhandenen Schallabsorption eine ganz besondere Bedeutung und ist daher ausdrücklich Gegenstand dieses Beitrages. Weil die jeweilige Nachhall-Charakteristik, insbesondere für ein sehr häufiges und stets kritisches Bassverhältnis $BR > 1$, aber bei kleinen und großen Räumen zu ganz unterschiedlichen Phänomenen führt, werden diese hier getrennt mit durchaus gleich starken Herausforderungen aber ganz unterschiedlichen Problemlösungen behandelt. Bei den großen (in Teil 1) wird dabei der verbreiteten Vorstellung widersprochen, dass tieffrequenter Nachhall für akustische „Fülle“, „Wärme“ und „Umhüllung“ bei Darbietungen sorgen müsse und deshalb z.B. viel mitschwingendes Holz zu vermeiden sei. Und wenn es etwa an solchem Nachhall fehle, solle man diesem z.B. durch ein „assisted resonance system“ elektroakustisch nachzuhelfen versuchen. Bei den kleinen (in Teil 2) wird in einer z. Zt. besonders heiß geführten Diskussion dezidiert Stellung bezogen, die durch eine Norm angefacht worden ist, die sogar Werte $BR \gg 1$ toleriert. Aus beiden Anwendungsfeldern für eine zeitgemäße Akustik werden Musterräume besprochen, die alternative Ansätze für ein anzustrebendes $BR \leq 1$ rechtfertigen können. Ein gravierender Unterschied zwischen kleinen und großen Räumen wird dabei allerdings bleiben: Über die Pegelminderungen z.B. in Klassenzimmern kann man eigentlich kaum streiten, über die Akustiken z.B. in Konzertsälen aber sehr wohl und mit Leidenschaft!

Propositions for the acoustics of pre-tentious rooms

Textbooks on room acoustics preferably concentrate on the suitability of larger rooms for various musical and lingual uses rather than on smaller ones with respect to noise caused by their respective users themselves. Experts seem to agree that acoustic quality mainly depends on the direct sound emitted from the sources and the early reflections from the room's boundaries. Numerous quality criteria were thus derived, yet due to lack of resources and time the reverberation time is mostly left as the only parameter and regrettably just that at the medium frequencies. As this parameter, as an indigent image of the total sound absorption incorporated in the room, has a very special meaning at the lower frequencies, this paper will explicitly address this specific aspect. Bass ratios $BR > 1$ are frequently found to cause critical situations with rather different characteristic phenomena created in large and small rooms. As these require different solutions, both problem areas with equally strong challenges are treated separately here. For larger rooms some propositions are at variance with common convictions that low-frequency reverb would be necessary to create 'volume', 'warmth', and 'envelopment' in performances and that therefore vibrating wooden paneling should mostly be avoided and when such reverb were missing, one should try and compensate for it e.g. by installing an electro-acoustical 'assisted resonance system'. For smaller rooms a decisive opposition is formulated against a recently released standard which tolerates values $BR \gg 1$. For both fields of application representative examples are discussed which could lead to alternative approaches to advisable bass ratios $BR \leq 1$. One fundamental difference between small and large rooms will, however, quite obviously remain: Noise level reduction in e.g. classrooms is almost indisputable; acoustical quality in e.g. concert halls, on the other hand, will always continue to evoke enthusiastic disputes.

Einführung

Im Schallschutz ringen Schalltechniker um jedes dB, um die Belastungen z. B. an lauten Arbeitsplätzen oder Verkehrswegen in durch zahlreiche Richtlinien streng vorgegebenen Grenzen zu halten. Wenn die spektrale und zeitliche Emissions-Charakteristik der jeweiligen Quellen bekannt ist, steht dem Akustiker auch eine breite Palette von Schall lenkenden, dämmenden und dämpfenden Bauteilen praxis- und marktgerecht zur Verfügung. Er weiß auch, dass man mit der Lärmbekämpfung am wirksamsten an den Quellen selbst ansetzt.

In der Raumakustik geht es primär darum, nützliche Schallereignisse möglichst klar und deutlich zur Geltung, d. h. zu Gehör zu bringen, z. B. Sprache in Theatern, Hörsälen und Klassenzimmern oder Musik in Konzertsälen, Studios und Proberäumen. In großen Räumen spielt die Schalllenkung, in großen wie in kleinen Räumen aber vor Allem das Spektrum und die Verteilung der Schallabsorption im Raum eine wichtige Rolle. Dabei sind dem Akustiker jedenfalls in größeren Räumen unvermeidliche Schallabsorber durch die Architektur sowie die Bauweise, Baumaterialien, Möblierung und Belegung mit Personen weitgehend vorgegeben. Wenn dieser es nicht ganz seinem oft außerordentlich selbstbewusst agierenden Baumeister oder dem Zufall überlassen will, muss er seine Planung mit einem einigermaßen verständlichen, berechenbaren und messbaren Konzept begründen und am besten solche Maßnahmen vorschlagen, die nicht nur physikalisch sondern auch psychisch auf die Schallemission der agierenden Quellen positiv einwirken.

Für die raumakustische Planung existieren, ganz anders als z. B. für die Bauakustik oder den technischen Schallschutz, bis heute leider keine allgemein verbindlichen Normen oder Richtlinien. Ein Grund für dieses Dilemma ist, dass es für diese akustische Qualität, Hörsamkeit in oder Nutzbarkeit von Räumen, zwar eine Fülle von Voraussetzungen, Kriterien und Maßnahmen gibt, von denen nur einige in Tabelle 1 aufgeführt sind. Weitere kann man in [1] finden. Auch führt die Honorarordnung für Architekten und Ingenieure die raumakustischen Planungsaufgaben genau so detailliert und umfangreich auf wie die bauakustischen. Aber B. Blesser et al. [2] beschreiben sehr treffend und unterhaltsam, dass „*architects almost exclusively consider the visual aspects of a structure. Only rarely do they consider the acoustic aspects*“. Auch Innenarchitekten folgen gern einem ausschließlich visuellen Konzept, wie es von R. Schricker [3] sehr subjektiv, naiv und gefühlsbetont mit Hunderten herrlicher Bilder, aber keiner einzigen objektiv nachvollziehbaren raumakustischen Kennzeichnung propagiert wird. Demnach gäbe man einem Raum seine

Qualität schon, „*wenn man der visuellen Ästhetik eine ästhetische Akustik hinzufügt*“, die keiner Rechnung oder Messung zugänglich sei.

Dazu passend, verbreitet ein aktuell so überaus renommierter Akustiker wie Y. Toyota (verantwortlich u. v. a. auch für die Elbphilharmonie in Hamburg und den Pierre-Boulez-Saal in Berlin) eine ziemlich fatalistische Einstellung z. B. in Die Welt vom 23.2.2012: „*Es gibt sehr große Unterschiede zwischen den physikalischen Berechnungen und dem tatsächlichen Höreindruck während eines Konzerts, der das Wahrnehmen von Musik ganz anders bewertet. Und wir rechnen während unserer Arbeit natürlich nicht mit Musik. Es ist so gut wie unmöglich, diese beiden Dinge miteinander zu vergleichen. Wie bewertet man Qualität mit Zahlen? Das ist unmöglich*“. Oder in Der Spiegel 26.2016: „*Mit dem Whisky ist es so wie mit der Akustik: Selbst Experten können nicht erklären, warum der eine gut schmeckt und der andere nicht*“.

So wird leider der Eindruck erweckt und bestärkt, bei der Akustik gehe es weniger um eine bautechnische Aufgabe als um eine geheimnisvolle Zufälligkeit im großartigen Baugeschehen. Dabei hat W. C. Sabine [4] bereits vor Zeiten einen entscheidenden physikalischen Parameter dingfest gemacht und diesen in seine Planung für die Symphony Hall in Boston (siehe weiter unten) eingeführt, die zweifellos zu den besten der Welt zählt. Seitdem ist die Nachhallzeit die wichtigste Kenngröße, deren Zahlenwerte man für die meisten namhaften Auditorien in Standardwerken wie dem von L. L. Beranek [5] (allein dort etwa 100) studieren und als Maßstab heranziehen kann. Für ein großes weltweit operierendes Beratungsbüro wie Nagata Acoustics [6] ist es eigentlich selbstverständlich, für alle (wohl an 50) selbst geplante Säle stets wenigstens das erzielte Nachhall-Spektrum zu veröffentlichen. Es fehlt also nicht an Daten aus existierenden großen Räumen für Sprache und Musik.

Wie alle Fachleute in seltener Übereinstimmung über die verschiedenen Qualitäts-Kriterien meinen, muss immer die Nachhallzeit und deren Frequenzabhängigkeit (wenigstens in Oktaven zwischen 125 und 4.000 Hz) im Vordergrund stehen. Diese Einschätzung von L. Cremer et al. [7] teilen Praktiker heute noch: „*Auch als man erkannte, dass sie nicht den einzigen Gütemaßstab darstellen konnte und als immer wieder neue Kriterien ergänzend angeboten wurden, blieb sie die einzige Größe, für die in Lehr- und Taschenbüchern Richtwerte angegeben wurden. Dies liegt vor allem daran, dass die Nachhallzeit auch heute noch das einzige Kriterium darstellt, das bei der Planung verhältnismäßig einfach, wenn auch nicht sehr genau, an Hand von Plänen und Materialangaben vorausberechnet werden kann. Kein verantwortungsbewusster Berater wird daher darauf verzichten, ihre Werte abzuschätzen*“.

Schon damals hielt man übrigens Abschätzungen bis zur 63-Hz-Oktave herunter für wichtig, doch gab es „hierfür kaum zuverlässige Angaben über die einzusetzenden Absorptionsgrade“ [7, S. 491].

Nachdem eine ganze Palette von universell einsetzbaren Breitband-Absorbern verfügbar und in unzähligen Fallbeispielen erprobt wurde [8], steht aber heute einer Bewertung des Nachhalls nach

$$T(f) = 0.163 \frac{s}{m} \frac{V}{A_s(f) + A_e(f) + A_p(f) + 4V m(f)} \quad (1)$$

im gesamten relevanten Frequenzbereich gemäß Tabelle 1 nichts mehr im Wege, wobei das Volumen in m^3 und alle äquivalenten Absorptionsflächen A im Raum (S für Begrenzungsflächen, E für Einrichtungen, P für Personen) in m^2 sowie die Dämpfungskonstante m in m^{-1} einzusetzen sind. In DIN EN ISO 3382-2000 [9] heißt es: „Diese internationale Norm

beschreibt auch weiterhin die raumakustischen Eigenschaften durch die Nachhallzeit allein“. Andere objektive Kriterien wie in Tabelle 1 werden dort in einen (nur informativen, d. h. unverbindlichen) Anhang A verwiesen. Oder wie J. S. Bradley [10] über [11] schreibt: „It is still a reverberation time standard“. Eine aktuelle Würdigung von I. B. Witew [12] aller weitergehenden Bemühungen der letzten 50 Jahre stellt „einen noch fehlenden Zusammenhang zwischen subjektiver Wahrnehmung und objektiven Messgrößen“ sowie oft sehr widersprüchliche Ergebnisse aus diversen Fragebogen-Auswertungen fest.

In [8, Abschn. 11.6] wird ausführlich die Meinung zur optimalen Bedämpfung anspruchsvoller Räume von G. v. Békésy, E. Skudrzyk, F. Trendelenburg, W. Reichardt, L. Cremer, H. Kuttruff bis in die frühen 30er Jahre zurückverfolgt, wonach die entsprechende Nachhallzeit in kleinen wie in großen Räumen,

Tabelle 1: Raum-Akustik: ein schlecht markiertes Spielfeld, (siehe Abb. 2), x = irrelevant

	große Räume Hörsamkeit	kleine Räume Störabstand
Standard-Voraussetzungen (weitgehend vorgegeben):		
Direktschall / Richtcharakteristik der Quellen		
Frühe Reflexionen aus der Umgebung	$\Delta t < 200 \text{ ms}$	x
Nachhall des Raumes	$\Delta t > 200 \text{ ms}$	x
Subjektive Kriterien (schlecht nachvollziehbar):		
Anhall / Präsenz	?	x
Fülle / Brillanz	?	x
Wärme / Umhüllung	?	x
Objektive Kriterien (einigermaßen messbar):		
Stärke G / Pegelverteilung ΔL in dB, $\Delta t = 0-80 \text{ ms}$	$f \approx 500-1.000 \text{ Hz}$	x
Klarheit C_{80} / Deutlichkeit C50 in dB, $\Delta t = 0-50 \text{ ms}$	$f \approx 500-4.000 \text{ Hz}$	x
Seitenschall S_s in dB, $\Delta t = 5-80 \text{ ms}$		
Nachhallzeit, T(f) in s	f = 63-4.000 Hz	
Bauliche Maßnahmen (gut plan- und realisierbar):		
Entfernung vom Zuhörer $\Delta L(x) \geq 20 \lg x$	„Schuhkarton“/„Weinberg“	x
Sichtlinien	„Schuhkarton“/„Weinberg“	x
Schalllenkung	$f \approx 500-4.000 \text{ Hz}$	x
Schallabsorption ($\rightarrow T(f)$ in s)	f < 250 Hz	f $\approx$ 63-500 Hz

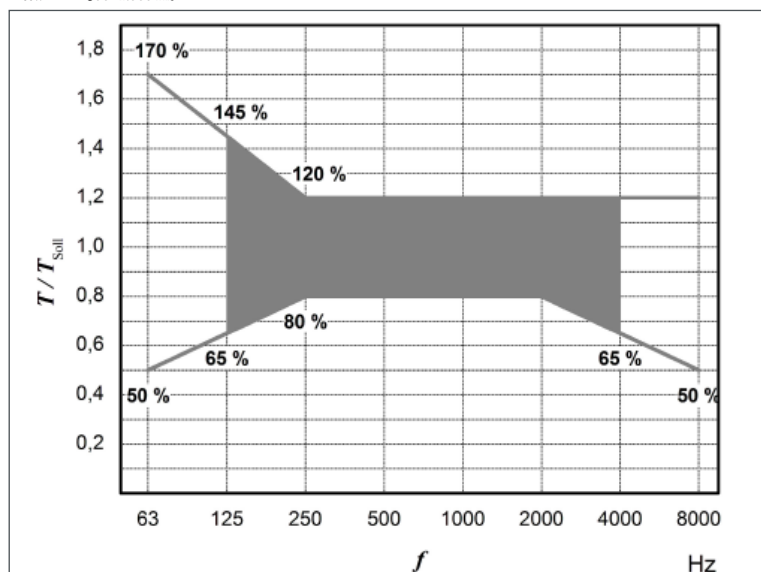
für Sprache wie für Musik, zu den Tiefen nicht ansteigen, vielmehr dorthin abfallen sollte. Dem widerspricht die aktuelle DIN 18041 [13] diametral. Dort liest man zwar: „ist in der Regel ein linearer frequenz-abhängiger Verlauf für die Nachhallzeit anzustreben. Jedoch beeinträchtigt ein moderater Anstieg zu tiefen Frequenzen die Hörsamkeit nicht.“ Gemäß Abbildung 1 dürfte die Nachhallzeit demnach von den höchsten bis zu den tiefsten Frequenzen kontinuierlich ansteigen – zum Leidwesen aller Nutzer besonders von kleinen aber auch von größeren Räumen, die vielleicht in bester Absicht nach einer Norm behandelt wurden, die so kaum baurechtlich bindend sein kann.

Seit gut 50 Jahren stand zwar ein fast sakrosanktes Dogma im Raum, das für Musik generell einen Anstieg der Nachhallzeit zu den Tiefen postulierte. Es war L. L. Beranek, der in [14] ein Bass-Verhältnis („Bass Ratio“)

$$BR = \frac{T_{125} + T_{250}}{T_{500} + T_{1000}} \quad (2)$$

mit den Nachhallzeiten T bei 125 und 250 Hz bzw. 500 und 1.000 Hz (immer für den besetzten Raum) ursprünglich als ein Qualitäts-Kriterium insbesondere für Konzertsäle definierte. Dieses sollte Werte zwischen 1,1 (für Räume mit hoher) und 1,5 (für Räume mit niedriger mittlerer Nachhallzeit) betragen mit der noch in [5, S. 21-38] in seinen „acoustical quality factors“ hoch gehaltenen Begründung: „If the surfaces of the walls or ceilings or seats absorb the low frequencies, the full orchestra may sound deficient in basses and cellos ... A hall lacks warmth when the reverberation times are lower at low frequencies (75 to 350 Hz) than at mid-frequencies (350 to 1.400 Hz),

Abb. 1: Toleranzbereich des Nachhalls, bezogen auf einen Sollwert
 $T_{soll} = T_{500-1.000 \text{ Hz}}$ nach [13, Bild 2]



i. e. a low BR“.

Dagegen sprechen Interferenzen der Schallwellen bei tiefen Frequenzen, die für die Klarheit von Musik wie für die Deutlichkeit von Sprache stets sehr destruktiv wirken, die sich aber in großen Räumen ganz anders als in kleinen ausbilden. Deswegen und weil es in kleineren Räumlichkeiten primär eher um Schallbelastungen, ausgedrückt z. B. durch den Störabstand, geht als um Hörsamkeit, findet die Diskussion dazu, auch anhand von jeweils repräsentativen Fallbeispielen, in zwei getrennten Artikeln statt. In beiden stehen die Nachhall-Spektren im Vordergrund, aber eigentlich nicht wegen des Nachhalls im Raum sondern als notdürftiges Abbild der entscheidenden Absorption an seinen akustisch relevanten Reflexionsflächen und -körpern.

Teil 1:

Bass-Verhältnis und Hörsamkeit in größeren Räumlichkeiten

In Teil 1 geht es vor Allem um architektonische Unikate, deren optische Gestaltung, wie einem höheren künstlerischen Anspruch folgend, regelmäßig weit vor der akustischen rangiert. Dazu die Meinung eines allseits respektierten Akustikers [15, Abschn. 23.4.2]: „Für einen Konzertsaal kommt es nicht darauf an, dass der Zuhörer die zeitliche Struktur der dargebotenen Musik in allen Einzelheiten verfolgen kann, vielmehr entspricht eine gewisse zeitliche Verschmelzung aufeinanderfolgender Töne und Klänge den überkommenen Hörgewohnheiten und ist daher für einen Konzertsaal unerlässlich. Entsprechendes gilt für die räumliche Auflösung der Schallereignisse. Dass ein Orchester eine beachtliche räumliche Ausdehnung hat und die einzelnen Instrumentengruppen sich an verschiedenen Stellen des Podiums befinden, ist zwar unvermeidlich, soll vom Zuhörer aber nicht eigentlich 'gehört' werden. Die akustischen Eigenschaften des Saals und auch die Gestaltung des Podiums müssen also eine gewisse zeitliche und räumliche Vermischung der Schalle bewirken. Hierzu gehört in erster Linie eine hinreichend lange Nachhallzeit. Da es für das Ausmaß der anzustrebenden Verschmelzung keine objektiven Anhaltspunkte gibt, können optimale Bereiche der Nachhallzeit nicht aus Signal- und Höreigenschaften abgeleitet werden.“ Aber viele seiner Kollegen, die Musik ähnlich integrierend wahrzunehmen gewohnt sind, meinen, sie sollte in Konzertsälen zu den tiefen Frequenzen besser ansteigen als abfallen ($BR > 1$). Dem gegenüber wird hier der Klarheit von Musik und Deutlichkeit von Sprache höchste Priorität eingeräumt und dem Nachhall immer nur bei mittleren und hohen Frequenzen ein positiver Einfluss auf das Gehörte zugesprochen, so als wolle man Noten und Text eher differenzierend, fast wie in einer Partitur oder einem Textbuch mitlesend, hören.

Interferenzen bei tiefen Frequenzen durch frühe Reflexionen

Gute Sichtlinien zwischen allen Sendern und Empfängern sind stets auch Voraussetzung für eine passable Akustik und deshalb auch ein Argument für oder gegen eine Grobstruktur wie z.B. „Schuhkarton“ vs. „Weinberg“. Die Planung größerer Räume basiert üblicher Weise auf geometrischen Ansätzen [15, Abschn. 23.1.3]: „*Sprache, Musik, Geräusche haben fast immer ein sehr breites, meist auch ein zeitlich schnell wechselndes Spektrum. Überlagern sich in einem Punkt zwei oder mehrere Schallstrahlen, die ja im Allgemeinen unterschiedliche Laufwege zurückgelegt haben, so können die auf ihnen übertragenen Schallsignale als inkohärent angesehen werden, d.h. alle Phasendifferenzen können außer Betracht bleiben, und die in dem betreffenden Punkt vorliegende Energiedichte ist die Summe der Energiedichten der einzelnen Komponenten (Energieaddition). Die geometrische Raumakustik beschränkt sich demgemäß allein auf die Energieausbreitung im Raum.*“ Und so tun es auch die heute gebräuchlichen Spiegelquellen- und Strahlverfolgungs-Rechenprogramme [16, Kap. 11]. Dies setzt voraus, dass die Abmessungen reflektierender Flächen und die Laufwegunterschiede sich überlagernder Wellen groß sind im Vergleich zur Wellenlänge. Dies ist wiederum nur bei hohen und mittleren Frequenzen der Fall, auf die sich viele Auslegungen tatsächlich auch gern konzentrieren, z.B. bei der Bestimmung von Stärke-, Klarheits- und Deutlichkeitsmaßen als Verhältnis der Energieanteile von frühen zu den späteren Reflexionen, die nach Abbildung 2 und [18, Bild 4.59], abhängig vom Raumvolumen V in m^3 , etwa nach einer Laufzeit-Differenz Δt_{gr} in ms,

$$\Delta t_{gr} / ms \approx 2 \sqrt{V / m^3} \quad (3)$$

schließlich im Nachhall des Raumes aufgehen.

Für die Wahrnehmung und Lokalisierung einer oder auch mehrerer Quellen ist der Direktschall stets von besonderer Bedeutung. Alle später beim Hörer eintreffenden Schallwellen können diese Hörsamkeit bei mittleren und hohen Frequenzen aber nur dann ohne Verzerrung des Klangbildes unterstützen, wenn das Gehör entweder bei kleiner Laufzeitdifferenz ($\Delta t \ll T_f = \text{Periodendauer}$) bzw. Laufwegdifferenz ($\Delta x \ll \lambda = \text{Wellenlänge}$) zwischen direkter und reflektierter Welle nicht unterscheidet (siehe Tabelle 2, blaue Zahlen) oder bei $\Delta t \gg T_f$ vor dem Eintreffen der ersten Reflexionen genügend Zeit zur Wahrnehmung und Lokalisierung der Quelle hatte (siehe Tabelle 2, grüne Zahlen).

Für 1.000 Hz entsprechend einer Periodendauer $T_f = 1$ ms bzw. Wellenlänge $\lambda = 0,34$ m heißt dies z.B., dass diese energetische Unterstützung im Ab-

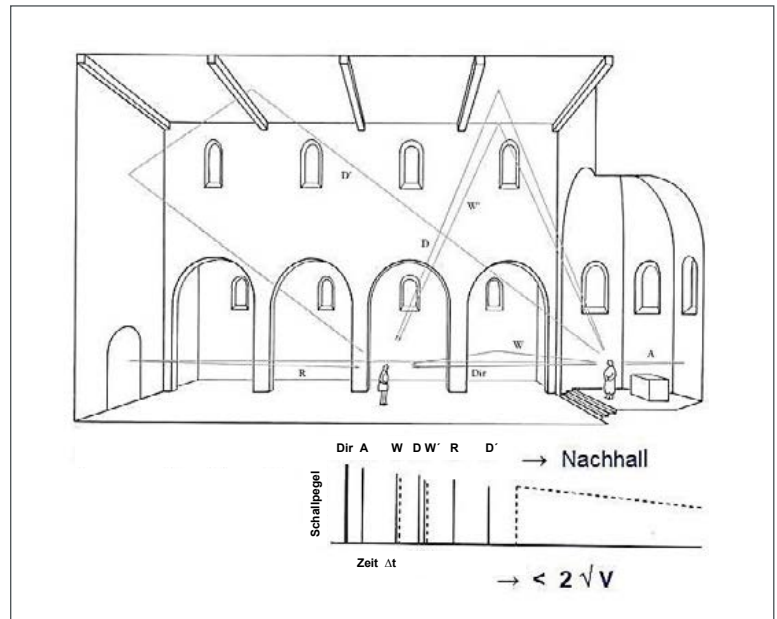


Abb. 2: Aufbau des Schallfeldes aus Direktschall, frühen Reflexionen und späterem Nachhall nach [17, Bild 2.6]

stand x von der Quelle, abhängig von der Pegeldifferenz

$$\Delta L_x = 20 \lg \frac{x + \Delta x}{x} \quad , \quad (4)$$

praktisch durch jede frühe Reflexion stattfindet. In [19] wird am Beispiel einer Kugelquelle aber veranschaulicht, wie bei Frequenzen unter 250 Hz, abhängig von der Wegdifferenz Δx , bei $\Delta t / T_f \approx 1$ direkte und reflektierte Wellen destruktiv interferieren können (siehe Tabelle 2, rote Zahlen). Diese Erscheinung erinnert etwas an den von Studio-Räumen bekannten „Kammfilter“-Effekt, wie er z.B. in [20, Abschn. 3.2.2.3] beschrieben wird. In größeren Auditorien kann sie beim Hörer einen tieffrequenten „Murm“ anstelle eines markanten Bass-Fundaments erzeugen. Dagegen hilft keine Verdopplung der Anzahl der Bass-Instrumente, stattdessen aber ihre Aufstellung vor einer großen reflektierenden Rückwand, siehe den blau markierten Bereich in Tabelle 2 und die Ausführungen in [21]. Ganz wirkungslos, sogar kontraproduktiv, wäre aber eine Anhebung des Nachhalls zu den tiefen Frequenzen hin, also $BR > 1$. Im Gegenteil: alle reflektierenden Flächen an Decke und Wänden, wie in Abb. 2 beispielhaft angedeutet, sollten die tiefen Frequenzen möglichst stark absorbieren!

Wenn raumakustische Mängel von dauerhaft aktiven oder passiven Nutzern der Räumlichkeit mit Nachdruck beanstandet werden, beschränken sich Besserungsversuche meist nur auf zusätzliche Schall lenkende Maßnahmen. Bei Bau- und Sanierungsvorhaben wird dagegen noch viel zu wenig auf die von vorn herein richtige Bedämpfung des Raumes geachtet.

Tab. 2: Laufzeit-Differenz Δt bzw. Laufweg-Differenz Δx im Verhältnis zur Periode T_f bzw. Wellenlänge λ von direkter und reflektierter Schallwelle bei der Frequenz f nach [19]

f [Hz]	λ [m]	T_f [ms]	Δx [m] Δt [ms]	1 2,9	2 5,8	4 12	8 23	16 46	32 92
$\Delta t / T_f = \Delta x / \lambda$									
16	22	63		0,05	0,09	0,18	0,37	0,73	1,5
31	11	32		0,09	0,18	0,37	0,73	1,5	2,9
63	5,5	16		0,18	0,37	0,73	1,5	2,9	5,9
125	2,8	8		0,37	0,73	1,5	2,9	5,9	12
250	1,4	4		0,73	1,5	2,9	5,9	12	23
500	0,7	2		1,5	2,9	5,9	12	23	46
1k	0,3	1		2,9	5,9	12	23	46	92
2k	0,2	0,5		5,9	12	23	46	92	184
4k	0,1	0,25		12	23	46	92	184	368

Eine systematische Untersuchung dieser Fragestellung an 77 Mehrzweckhallen [22] hat ergeben, dass ein etwas anders definiertes Bass-Verhältnis

$$BR = \frac{3}{2} \frac{T_{63} + T_{125}}{T_{500} + T_{1000} + T_{2000}} < 1 \quad (5)$$

von Musikern und Toningenieuren gleichermaßen als optimal für Darbietungen wie für Aufnahmen angesehen wird, ausführlicher in [8, Abschn. 11.7.7]. Eine andere Studie [23] kommt zu dem Schluss: "... this study indicated that the perceived strength of bass sound was not related to the (relativ hohen, der Autor) low frequency reverberation times but to the levels or strength of the low frequency sound". Schließlich schreibt auch der Urheber des $BR > 1$, der dieses einst in seine "orthogonal acoustical attributes that relate to the acoustical quality of concert halls" aufgenommen hatte, in seinem letzten Buch, dass er "found unexpectedly that it is immediately apparent that $BR (> 1)$, der Autor) does not correlate strongly with the rating categories ..." [24, S. 512].

In den Worten eines erfahrenen Tonmeisters, der diese Entwicklung seit den 30er Jahren miterlebt hat, klingt das so: „It is the direct sound which carries the message to the listener! The reflected sound only ‘suits’ it and lets the sound ‘flow’... A ‘slim’ hall (with little reverberation in the bass range) helps to ‘read’ the fundamental structures in the bass range which are so essential for all compositions of value. A space with great bass reverb, however, will rather hamper the desired transparency in the low ranges, although unassuming concert goers may be happy with the voluminous but

unstructured ‘bass clouds’ they can have in such halls. This second variety is more frequent, because until very recently there was no scientific knowledge to judge room acoustics in any other but a purely quantitative manner, just considering the amplitudes ... Recognizing the musical structure and architecture in the contra- and sub-contra ranges is just as important as doing it for the formants. Acousticians deal with just one aspect so far and that is ‘enveloping’ the listener in concert with ‘warm’ and ‘rich’ quantities of ‘space feeling’. All the better, if it comes across transparent enough!” [25, Kap. 12]

Wie bei den Parametern Pegelverteilung, Deutlichkeit und Klarheit bezieht man sich heute durchaus ungenügend auch bei der Charakterisierung des Nachhalls eines Raumes oft nur auf den Bereich zwischen 500 und 1.000 Hz, so auch im Fall der Elbphilharmonie [26]. Im Übrigen herrscht die in [8, Abschn. 11.6] ausführlich zitierte Lehrmeinung vor, dass eine zu den Tiefen ansteigende Nachhallzeit für die Darbietung insbesondere romantischer Musik förderlich sei. Darüber hinaus meint man, für gute Hörsamkeit sei der Nachhall im besetzten Saal ausschlaggebend. Am besten bilde man diese schon im unbesetzten Raum durch ein entsprechend gepolstertes Gestühl nach. Zu den nützlichen wie zu den eher schädlichen frühen Reflexionen tragen alle Publikumsflächen aber kaum bei, weil diese auch den hier überwiegend streifend einfallenden Direktschall bis zu tieferen Frequenzen hin relativ stark absorbieren. Zwar bestimmen sie den Nachhall bei den mittleren Frequenzen, aber nicht bei den tiefen. Dieser Umstand kann erklären, warum es Säle mit ganz un-

terschiedlicher Nachhall-Charakteristik gibt, denen eine exzellente Akustik nachgesagt wird. Nur wenn man die Absorption der für die so entscheidenden frühen Reflexionen nicht relevanten Publikumsflächen herausrechnet, indem man in Gleichung 1 A_p und A_e unberücksichtigt läßt, käme man einer Nachhallzeit als Qualitätskriterium näher. Ganz anders verhält es sich bei einem Saal wie dem in der Jesus-Christus-Kirche, in dem seit jeher nur ungepolsterte Kirchenbänke anzutreffen waren. Und hier bestätigt sich die obige These besonders deutlich, indem der Raum bei jeder Belegung, also ganz unterschiedlicher Absorption bei mittleren und hohen Frequenzen, doch stets in gleicher Weise von Musikern, Sprechern und Zuhörern für seine exzellente Akustik gerühmt wird. Aber auch dem Musikvereinsaal wurde vor wie nach seiner Ausstattung mit einem stärker gepolsterten Gestühl und seiner dadurch entsprechend veränderten Nachhall-Charakteristik doch stets eine gleichbleibend herausragende Qualität nachgesagt. Man hat auch nicht gehört, dass sich die Wiener Philharmoniker bei den Proben in ihrem leeren Saal etwa unwohler fühlen würden als im voll besetzten Saal. So erklärt sich vielleicht auch, warum „variable Akustik-Maßnahmen“, etwa wie im Kultur- und Kongresszentrum Luzern, die ebenfalls üblicher Weise nur im mittleren Frequenzbereich wirken, sich nur selten wirklich nützlich gemacht haben.

Räume mit besonderer Akustik

Jesus-Christus-Kirche in Berlin

Der Autor betrachtet die außen wie innen architektonisch ganz unspektakuläre Kirche mit ihrer Nachhallzeit gemäß Abbildung 3 ($BR \approx 0,67$ bzw. 0,59 nach Gleichung 2 bzw. 5) als einen akustisch nicht zu übertreffenden Musterraum für die Darbietung und Aufnahme von jeglicher Musik und Sprache. Und darin wird er von Rednern, Instrumentalisten, Sängern, Tonmeistern und Konzertbesuchern immer wieder bestätigt. Auch Teilnehmer einer Exkursion während der DAGA 2010 [28] konnten sich von der herausragenden Akustik dieses Raumes bei Sprache und Musik überzeugen. Dabei ist dieses Ergebnis aus dem Jahr 1931 nicht etwa einer besonders akribischen raumakustischen Planung, sondern, ganz ohne Vorplanung oder Nachbesserung, einzig einem glücklichen Zufall und einem den Argumenten seines Akustikers (J. Biehle) gegenüber völlig uneinsichtigen Architekten (J. Bachmann) zu verdanken. Man kann aber verstehen, dass sich nach [29] der mit der Akustik betraute C. Biehle im Jahre 1930 „immer mit äußerst großen Bedenken mit dem raumakustischen Zustand der Kirche“ befasst hat: „Die durchgeführte Berechnung hat ergeben, dass der Raum für rednerische und sogar auch für musikalische Zwecke zunächst völlig

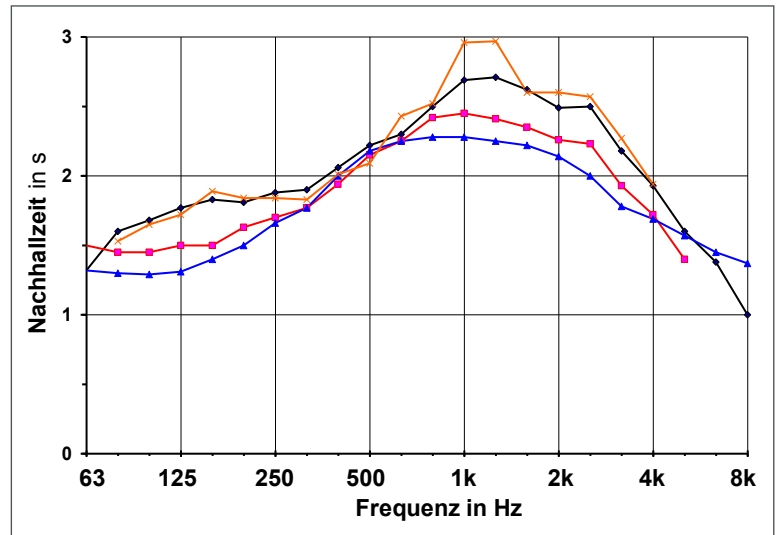


Abb. 3: Nachhallzeit in der ca. 8.000 m³ großen Jesus-Christus-Kirche, gemessen zwischen 1952 und 1963 bei unterschiedlicher Bestuhlung und Besetzung mit Musikern nach [27]

unbrauchbar sein wird. Der Kubikinhalte möchte möglichst verkleinert werden, am einfachsten durch starkes Senken der Decke ... Die Schwierigkeiten der hier zu lösenden Aufgabe liegen in dem Umstande, dass das Volumen des Kirchenraumes im Verhältnis zur Sitzplatzzahl in einem ungünstigen (zu großen, der Autor) Verhältnis steht.“

Dass J. Biehle sich mit seinen ernsthaften Bemühungen und ungewohnt selbstbewussten Forderungen stets – wie noch heute manche Akustiker – nur auf die mittleren Frequenzen konzentriert hat, geht auch aus seinen Gutachten hervor: „Da eine flache Decke den künstlerischen Absichten des Architekten entgegensteht, war es mein Bestreben, die Flächen des Satteldaches möglichst dämpfend auszubilden ... Zwischenrippen einzufügen ... kam ich auf eine Vermehrung der Lamellen. Indessen genügt bei Weitem nicht diese Maßnahme ... Für 500 Personen wird selbst bei einem phonetisch geschulten Prediger die Hörsamkeit fraglich werden; bei 300 Personen, welche Zahl als Durchschnitt angegeben wurde, ist eine Verständlichkeit der Rede nicht mehr zu erwarten ... ist als Maßnahme vorzusehen, dass die Kanzel in die Ecke des Saales verlegt wird ... Mir selbst ist der Bau wegen der Ungewöhnlichkeit der Anlage Gegenstand ständiger Sorge“ [29].

Diesem Bestreben, den Nachhall zwischen 500 und 1.000 Hz zu optimieren, sollten wohl die 15 bis 30 cm breiten Lamellen im Abstand von etwa 15 cm unter der inneren Dachhaut dienen. Ob auch die ca. 2 cm breiten Schlitzte in der Holzverschalung selbst aus schalltechnischen Gründen oder nur zu deren „Hinterlüftung“ vorgesehen waren, bleibt im Dunkeln. Der nicht näher beschriebene, insgesamt etwa 50 cm tiefe Hohlraum zwischen innerer und äußerer Dachschalung dahinter wurde, wohl zur Wärme-

dämmung, mit einer Art Holzfaserplatte (nur ca. 5 cm dick!) hinterlegt. Entgegen den Befürchtungen waren alle Verantwortlichen und Nutzer sofort von der Akustik der neuen Kirche begeistert. In [30] liest man: „Die akustischen Fragen hat J. Biehle mit bestem Erfolg bearbeitet“. Erst 1990 wurde das Rednerpult aus der Raumecke neben den Altar verlegt – ohne Verlust an Sprachverständlichkeit (auch ohne elektroakustische Verstärkung!). Aber bereits kurz nach dem Krieg würdigte der Tonmeister P.K. Burkowitz bei Aufnahmen in diesem wohl einzigen fast unbeschädigt gebliebenen größeren Saal Berlins dessen besondere Exzellenz: „Das Besondere im Klang der Aufnahmen aus der Kirche ist ihre auffällige Transparenz, 'luftige', vom Hintergrund abgehobene Präsenz aller Klangbestandteile, eine hochgradige klangästhetische Nachhallqualität ohne Verwischungen oder Maskierungen, trotzdem hervorragende, akustisch-*'sanghafte'* Bindung chorisch notierter Instrumentengruppen, besonders der Streicher, fest kontinierte, nicht wie in vielen anderen Sälen mulmig dröhnend ineinanderfließende tiefe Lagen, und kernige, klare *'betonfeste'* Bässe.“ Bald darauf nutzten aber auch die Berliner Philharmoniker mit W. Furtwängler diesen Raum trotz all seiner damaligen Notdürftigkeit wegen seiner überragend guten Akustik. Nach [29] „gab es fortan von Kammermusik bis Sinfonieorchester nichts, was irgendwo sonst schöner klang“. Es folgten weltweit beachtete Aufnahmen mit großem Orchester und Chor unter H. v. Karajan, C. Abado, S. Rattle u. v. a. Aber auch gefeierte Solisten wussten und wissen den Raum für Konzerte wie für Aufnahmen zu schätzen, z. B. E. Gilels mit Beethoven-Sonaten.

Seine offenbar auch ohne besondere Einbauten

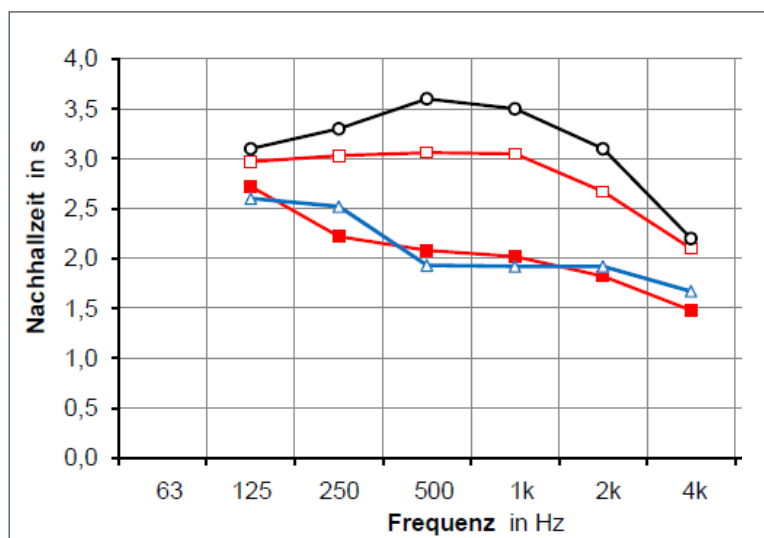
optimale Diffusität und Nachhall-Charakteristik hat dieser Raum mit allen original erhaltenen oder behutsam restaurierten Kirchen der Barockzeit gemeinsam, die nach [17, Abschn. 4.3 und 4.5] „zu einem hohen Maß an Deutlichkeit und Durchsichtigkeit“ führt. Und auf S. 154 schreibt derselbe Autor: „Unter dem Gesichtspunkt der Verdeckung der für die Deutlichkeit und Brillanz maßgeblichen höheren Frequenzen durch starke tieffrequente Klanganteile ist einer zu tiefen Frequenzen hin abfallenden Nachhallkurve gegenüber einem Anstieg der Vorzug zu geben“.

Musikvereinssaal in Wien

Ambitionierte Akustiker haben nicht nur die mittleren Frequenzen im Blick und nehmen gern den allseits gerühmten Musikvereinssaal in Wien mit einem zu den Tiefen vermeintlich notwendigen Nachhall-Anstieg als großartiges Vorbild. Sie sehen dabei den besetzten Saal als maßgeblich und deshalb ein entsprechend gepolstertes Gestühl als ratsam an, obwohl alle Publikumsflächen, besetzt oder unbesetzt, wegen ihrer Ausrichtung und Absorption kaum zu den für die Hörsamkeit überaus nützlichen frühen Reflexionen beitragen. Wenn also der Nachhall neben der offensichtlich sehr hohen Diffusität in diesem Saal, wie zu Recht vermutet, entscheidend für seine akustische Exzellenz ist, so sollte man einmal dessen Spektrum ohne eine dominante Absorption bei mittleren Frequenzen durch Personen oder Gestühl etwas näher betrachten: Gemäß Abbildung 4 hatte der Raum aber mit einem früher relativ harten Gestühl unbesetzt tatsächlich sein Nachhall-Maximum von 3,5 s nicht etwa bei tiefen Frequenzen sondern zwischen 500 und 1.000 Hz (BR < 0,9, besetzt BR ≈ 1 nach Gleichung 2). Würde man die mutmaßliche Absorptionsfläche dieses Gestühls nach [32, Tafel 9] mit ca. 0,15 m² pro Sitzplatz in Abzug bringen, so würden die verbleibenden Reflexionsflächen als Absorber bei einem Volumen von 15.000 m³ zu $T_m > 5$ s und damit zu einem noch steileren Abfall zu den Tiefen führen – ähnlich wie im etwa halb so großen Raum von Abbildung 3 mit seiner kargen Kirchen-Bestuhlung.

Das um 1960 eingebaute, etwas stärker gepolsterte Gestühl führt im unbesetzten Zustand gemäß Abbildung 4 zu einer zwischen 125 und 1.000 Hz konstanten Raumdämpfung, und erst bei voller Besetzung stellt sich heute tatsächlich eine zu den Tiefen kontinuierlich ansteigende Nachhallzeit ein. Zu allen Zeiten und bei beliebigen Besetzungen und Darbietungen hat aber dieser Saal nicht nur mit seinem Gold, sondern auch mit seiner Akustik bei Musikern wie bei Zuhörern brilliert. Die beiden von L. L. Beranek [5, 24] ebenso hoch gepriesenen Säle im Concertgebouw in Amsterdam [24, S. 425 und 611] und Sym-

Abb. 4: Nachhallzeiten gemessen im Musikvereinssaal ($V = 15.000 \text{ m}^3$), unbesetzt mit alter Bestuhlung (vor 1960) (○), mit neuen $n = 1.680$ Sesseln (□), jeweils nach [24, S. 594] und besetzt (■) sowie in der alten Berliner Philharmonie ($V = 18.000 \text{ m}^3$, besetzt) (△) nach [31, Bild 3]



phony Hall in Boston [24, S. 47 und 586] (eröffnet 1888 bzw. 1900) weisen bis 1982 unbesetzt eine von 1.000 Hz abwärts konstante bzw. sogar leicht abfallende Nachhall-Charakteristik auf, siehe Abbildung 5. Eine Restaurierung 1982 in Boston hat sogar zu einem von 2.000 bis 125 Hz stark abfallenden Nachhall geführt, der bei voller Belegung vergleichmäßig wird. Das spricht für die hier vertretene These, dass man an den für frühe Reflexionen besonders nützlichen Wand- und Deckenflächen unbedingt stets für ausreichende Bass-Absorber sorgen sollte, so wie dies 2001 im Neubau des Großen Hauses des Staatstheaters in Mainz konsequent realisiert werden konnte [33].

Berliner Philharmonie

Dieses von seiner äußeren wie inneren Erscheinung (Abb. 6) schon vor seiner Eröffnung 1963 als geradezu revolutionär angesehene Bauwerk mit $V = 26.000 \text{ m}^3$ und $n \approx 2.300$ Plätzen wurde von allen hinzugezogenen Akustikern (darunter auch L. L. Beranek) während seiner Planung durchaus lautstark als akustisch äußerst riskant eingestuft, siehe [8, Abschn. 11.8.4]. Nachdem es aber von Musikern und Zuhörern durchweg begeistert aufgenommen und später in [24, S. 297] sogar als „one of the models of successful acoustical designs“ geadelt wurde, diente seine „Weinberg“-Struktur bei zahlreichen später errichteten Konzertsälen ebenso häufig wie der „Schuhkarton“ (s. o.) als leuchtendes Vorbild, wenngleich nach [24, S. 500] nicht immer so erfolgreich: „A number of terraced, surround halls have been built, though none have been as acclaimed as the Berlin Philharmonie“.

In einem sehr löblichen Gegensatz zu den meisten ähnlich spektakulären Neubauten hat der hier verantwortliche Akustiker sofort nach dessen Eröffnung

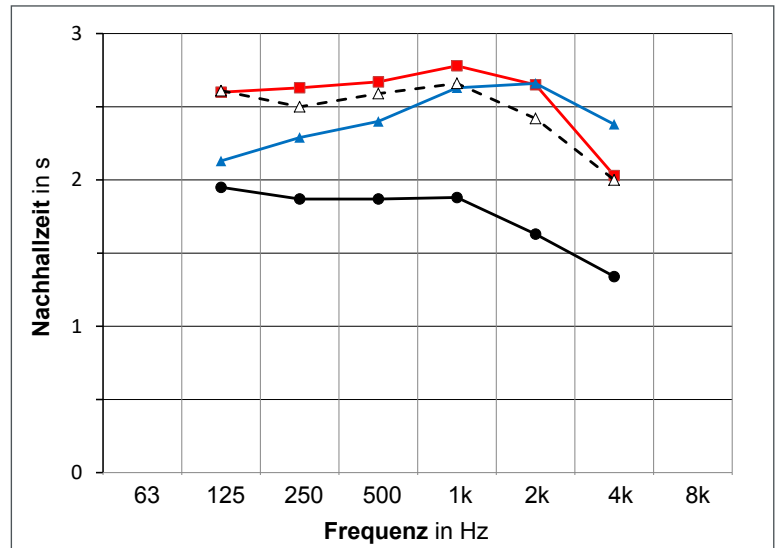
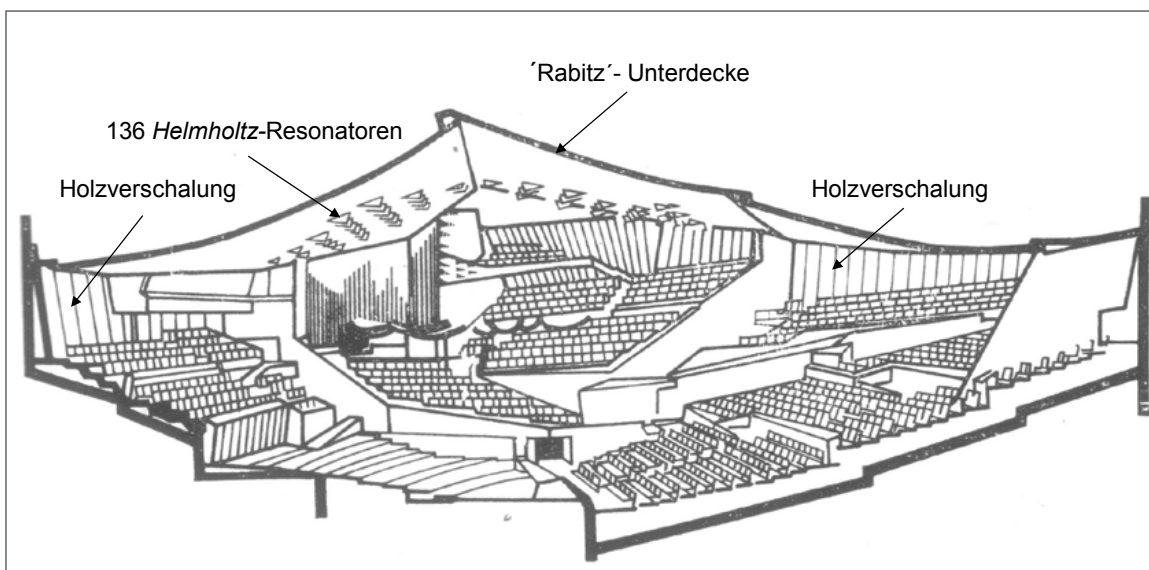


Abb. 5: Nachhall-Spektren der Symphony Hall in Boston ($V = 8.750 \text{ m}^3$, $n = 2.625$), unbesetzt vor 1982 (■) bzw. nach 1982 (▴) und besetzt (●) sowie im Concertgebouw in Amsterdam ($V = 18.780 \text{ m}^3$, $n = 2.037$) unbesetzt (Δ)

alle seine Planungsdetails den späteren Messergebnissen gegenübergestellt und freimütig veröffentlicht. Aus [31] kann man z. B. herauslesen, dass auch L. Cremer sich, wie allgemein üblich, zunächst auf die Nachhallzeit bei 500 bis 1.000 Hz konzentriert hat. Er berichtet aber zugleich von „sorgfältiger ingenieurmäßiger Abschätzung“ der eingeplanten Absorption, „wobei wir bei hohen Frequenzen wissen wollten, welche niedrigsten Werte (der Nachhallzeit, der Autor) wir zu befürchten hatten, bei den tiefen welche höchsten“. In einem ersten Schritt wurde das Volumen auf besagte 26.000 m^3 , d. h. auf probate 11 m^3 pro Platz, angehoben und die zeltartig konvex gekrümmte Decken-Konstruktion gefunden. Aus [31, Bild 7] kann man indirekt auf die prognostizierte und die tatsäch-

Abb. 6: Der große Saal der Berliner Philharmonie in einem perspektivischen Schnitt nach [32, Bild 10.47]



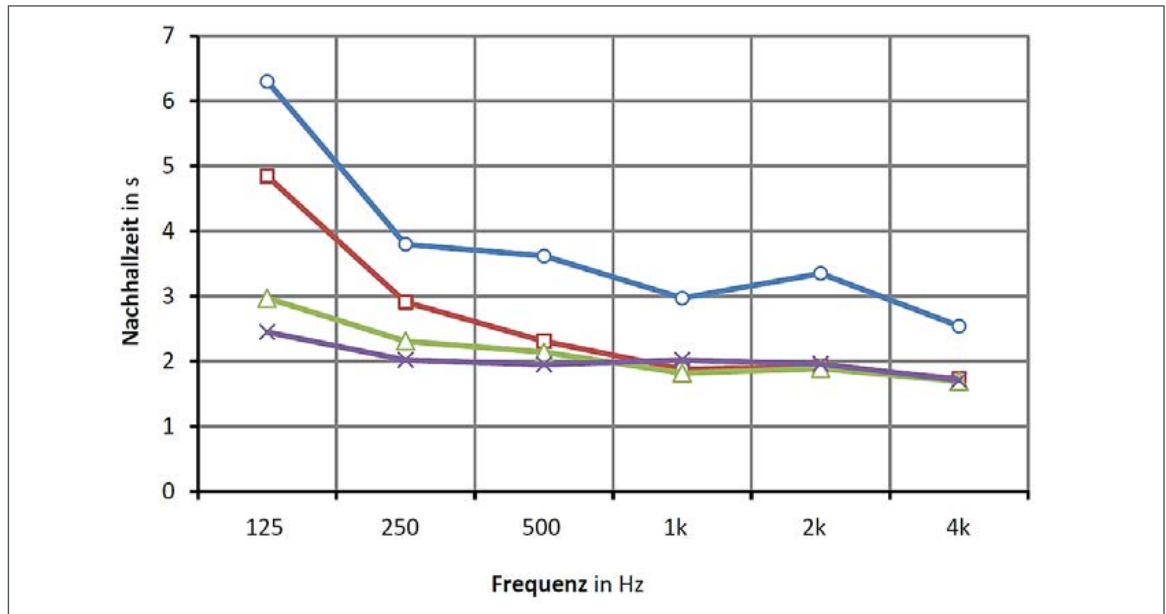


Abb. 7: Nachhallzeit-Spektren im Saal nach Abb. 6, errechnet aus Daten in [31]; unvermeidliche Absorption plus 2.200 gepolsterte Sitze (o), plus Publikum (□), plus Tiefen-Absorber (Δ) und tatsächlich gemessen (x)

lich erreichte Nachhallzeit (dort Bild 5) schließen, siehe Abbildung 7. Als unvermeidliche Absorption berücksichtigte die Planung u. a. Luftauslässe unter den Sitzen, als Tiefen-Absorber eine leichte, teilweise perforierte Holzverschalung vor einem unterschiedlich hinterlegten Luftkissen an den oberen Wandflächen sowie 136 Helmholtz-Resonatoren unter der Decke.

Die beiden unteren Kurven in Abbildung 4 zeigen den in [31, Bild 3] eigentlich angestrebten Anstieg des Nachhalls zu den Tiefen ($BR \approx 1,2$). Die unterste Kurve in Abbildung 7 offenbart aber, dass dieser nicht zustande kam. Dies ist wohl der riesigen, leichten, vielfach unterbrochenen, nur 12 bis 15 mm dicken Rabitz-Decke (Mörtelputz auf einem Drahtgeflecht) zu verdanken, die meterweit von der unteren Betondecke abgehängt wurde. In einer gewissen Analogie zum Baugeschehen der Jesus-Christus-Kirche wurde hier also, wiederum glücklicherweise, ein hinter der großen Deckenfläche verborgener „Tiefenschluck“ bei der raumakustischen Auslegung übersehen oder unterschätzt, der aber von Anfang an mit für eine gute Nachhall-Charakteristik dieses Saales gesorgt hat. Dass eine solche Deckenkonstruktion tatsächlich vom Schallfeld zum Mitschwingen angeregt wird, wurde drastisch offenbar, als 1988, also nach 25 Jahren intensivster Bespielung, ein ca. 1 m² großes Stück des Putzes auf das Podium herunterfiel. Daraufhin wurde die gesamte Decke, weiterhin unter den Augen von L. Cremer, durch eine leichte Betonschale ersetzt, die aber dauerelastisch von ihrer stabilen Unterkonstruktion abgehängt wurde. An der gleichmäßigen Nachhall-Charakteristik hat diese behutsame Sanierung so nichts geändert.

Ebenso hervorzuheben sind auch die vielen Schalllenkenden Maßnahmen wie die seitlichen und frontalen Brüstungen und die konvex gewölbten Reflektoren über dem Podium sowie die von den Terrassen erzeugte Makro- und (von L. Cremer so genannte) Mikro-Diffusität im Raum. Zu den stärksten Befürwortern der Berliner Philharmonie gehören bis heute die darin arbeitenden Musiker. Über die optischen und akustischen Eigenheiten jeder „Surround“-Struktur im Auditorium kann man natürlich, besonders im Hinblick auf das Direkt-Schallfeld, trotzdem geteilter Meinung sein.

Elbphilharmonie in Hamburg

Für die jüngste, nach 14 Jahren Planungs- und Bauzeit am 11.1.2017 mit großem Pomp eröffnete „Weinberg“-Architektur (siehe Bilder in [37]) sind, im Gegensatz zu [31] oder [33], auch 16 Monate danach kaum aussagefähige raumakustische Daten veröffentlicht. In [6, 26] geben die verantwortlichen Akustiker nur einen viel versprechenden Wert von 2,4 s für die Nachhallzeit bei 500 Hz im unbesetzten Saal preis. Als mögliche Erklärung dieser Zurückhaltung kann man lesen: „Critical assessments and judgments about the excellence or failings of a concert hall's acoustics do not come from people reading data sheets with reverberation time and other numerical measurements of physical properties. Ultimately, individuals seated in audience seats listen to performers playing music on the stage and the audience, by listening to the music, evaluates and judges the acoustics“ [26].

Solche und ähnliche Äußerungen zeugen noch nicht von einem erprobten verlässlichen Konzept, das die hier ganz enormen Ausgaben für Akustik rechtferti-

gen könnte. Über die aus der Raumform in [37] erkennbare Makro-Diffusität braucht man tatsächlich kein Wort zu verlieren. Die auffällige „Weiße Haut“ mit einer muschelartig feinstrukturierten Oberfläche an Decke und Wänden, die für eine angemessene Reflexion und Streuung der Schallwellen sorgen soll, überspannt auf 6.000 m² die Decke und alle Wände ([37], letztes Bild). Sie wurde aus 10.287 individuell gefertigten glasfaserverstärkten Gipsplatten mit einem mittleren Flächengewicht von 125 kg/m² extra schwer gemacht, „because we needed these panels to have sufficient weight to effectively reflect sound even at low frequencies“ [26]. Nach ihrem „Erfinder“, dem Architekten B. Koren, wurden in die Haut ca. 1 Million muschelartige Vertiefungen, alle individuell 10 bis 90 mm tief mit einem mittleren Durchmesser von 80 mm nach einem „kalkulatorischen Meisterwerk“ (Focus 5.2017), den Anforderungen der Akustiker gehorchend, gefräst. Sie sollen nach [26] „serve the role of promoting acoustical diffusion for the hall's acoustics“. Dies kann aber nach [34] wohl nur im höheren kHz-Bereich gelungen sein.

Die teils sehr nebulöse, teils ungewöhnlich euphorische Berichterstattung fast aller Akteure in den Monaten vor und nach der Eröffnung ließ reichlich Raum für Spekulationen, bisher natürlich vorwiegend in den populären Medien. In [35] wird von einem Phono-Experten, etwas zurückhaltend, resümiert: „Nur in einem Punkt herrscht Einigkeit: Der Klang ist klar, hell, durchsichtig und direkt“. Der Counter-Tenor des Eröffnungskonzerts P. Jaroussky lobt: „Es klingt sehr warm und sehr klar ... Hier habe ich das Gefühl, eine sehr große Stimme zu haben – das ist unglaublich“. Der Chefdirigent des Orchesters meint: „Dieser Saal ist anders als alle anderen ... phänomenal ... ein Wunderwerk“, spricht von Wucht und Transparenz der Musik und dass er nach der ersten Probe Tränen in den Augen seiner Musiker habe glänzen sehen. Auch der Orgelbauer und die erste Organistin überschlugen sich öffentlich vor Begeisterung.

Worauf dieser tatsächlich von vielen Nutzern bestätigte Klangeindruck zurückzuführen ist, erscheint diesen, wie oft jede Akustik, geheimnisvoll. Über die „interior design materials“ heißt es in [26] leider auch nur, dass sie „include not only the materials and finishes that are visible to the eye, but also the structure and properties of the underpinnings and backings of every interior element“. Dabei lohnt unbedingt ein Blick auf die Stahl-Unterkonstruktion der „Weißen Haut“. Man kann sicherlich kaum exakt berechnen, bei welchen Frequenzen diese Konstruktion als Feder zusammen mit den daran über U-Profile befestigten Gipsplatten als Massen von den auftreffenden tieffrequenten Schallwellen zum vielfältigen Mitschwingen und so zum breitbandigen Absorbieren

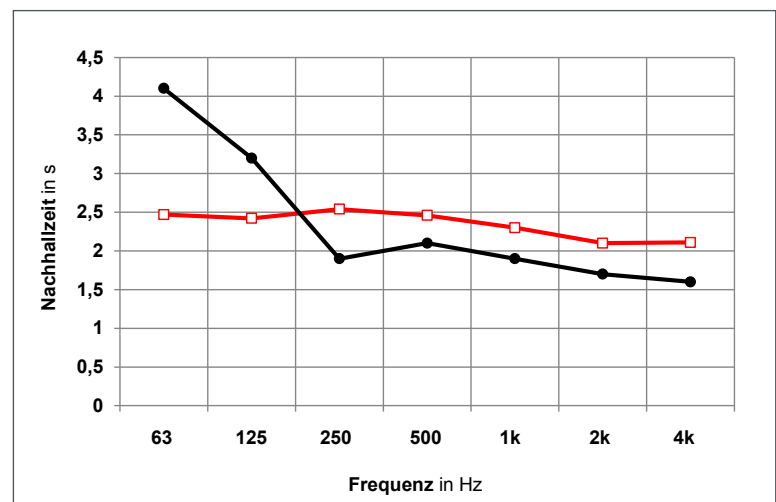
angeregt wird. Aber es erscheint sehr wahrscheinlich, dass sich nur so ein unerwartet gleichmäßiges Spektrum wie in Abbildung 8 mit einer Nachhallzeit von nur 2,5 s bei 63 Hz ergeben konnte. Unbestätigt war für den Saal mit einem Volumen $V = 23.000 \text{ m}^3$ und einer insgesamt 8.500 m² großen Oberfläche für 2.100 Sitzplätze angeblich ein zu den Tiefen hin stark ansteigender Nachhall gemäß Abbildung 8 ($BR \approx 1,3$ bzw. 1,9) geplant, wie er für die vielen von Nagata Acoustics bearbeiteten Konzertsäle durchgehend charakteristisch ist.

Um auf maximal ca. 4 s für die Elbphilharmonie zu kommen, hat man wahrscheinlich einen mittleren Absorptionsgrad der Flächen von ca. 0,1 bei 63 Hz zugrunde gelegt. Behält man diesen in einer Nachrechnung nur für die 2.500 m² außerhalb der „Weißen Haut“ bei, so verbleibt nach W. C. Sabine (natürlich nur sehr näherungsweise) eine äquivalente Absorptionsfläche von immerhin 1.250 m², die der Innenschale zugerechnet werden kann. Der daraus sich ergebende Absorptionsgrad von etwa 0,2 ist durchaus vergleichbar mit dem in der Planung üblicherweise z. B. für Fenster, Spiegel, Parkett (auf Leisten hohl liegend) nach [36, Tab. 4.9] angenommenen.

Vergleich mit anderen Sälen

Fast gleichzeitig mit der Elbphilharmonie wurde an der Staatsoper Berlin der Pierre-Boulez-Saal mit $V = 7.615 \text{ m}^3$ für $n = 682$ fertiggestellt. Hier hat dasselbe Büro Nagata Acoustics die erzielten Nachhallzeiten ohne jede Geheimniskrämerei der Öffentlichkeit freimütig mit $T = 3 \text{ s}$ bei 63 Hz ($BR \approx 1,4$ bzw. 1,6) in diesem viel kleineren Saal präsentiert, siehe Abbildung 9. Da die bereits vorhandene Decke der Rohbaubsubstanz zu hoch erschien, wurde – wie G. Steinke aus einer Führung am 19.8.2017 berichtet – zunächst

Abb. 8: Nachhallzeit im Großen Saal der Elbphilharmonie; unbestätigte Prognose für den besetzten Saal (•), 2016 gemessen im unbesetzten Saal (□) (Quelle: [38])



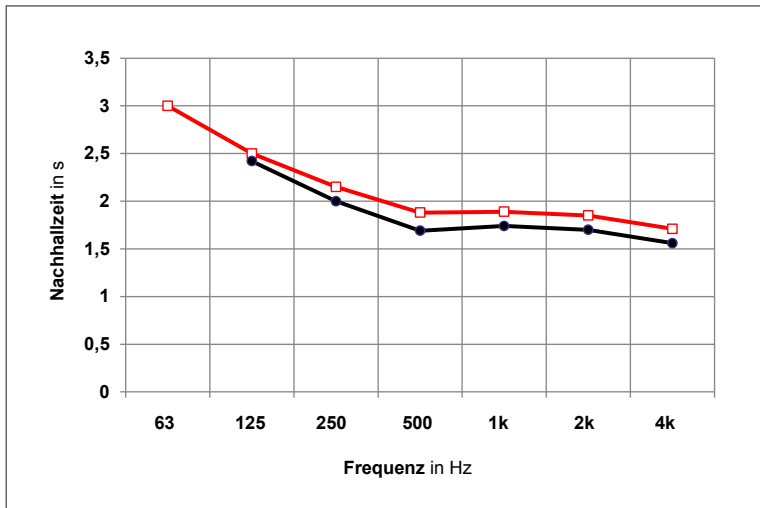


Abb. 9: Nachhallzeit im Pierre-Boulez-Saal in Berlin; gemessen im unbesetzten Saal (□), im besetzten Saal (●) (Quelle: [39])

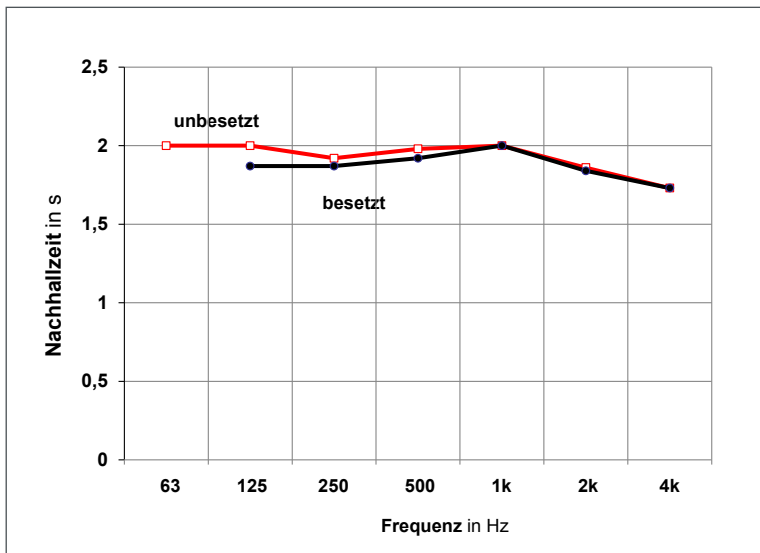
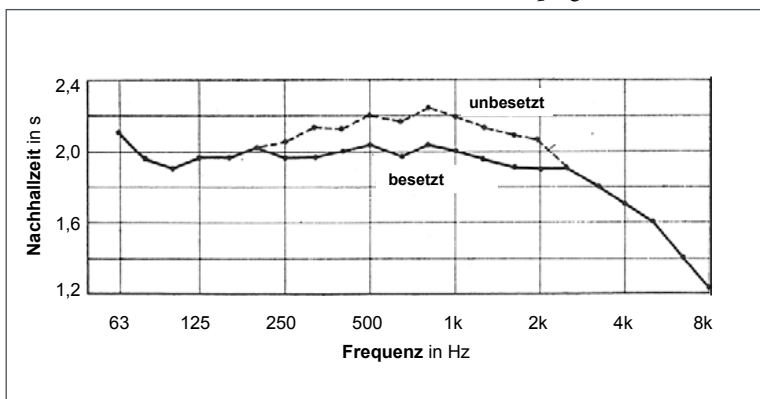


Abb. 10: Nachhallzeit in der Jinji Lake Concert Hall in Suzhou (Quelle: [40])

Abb. 11: Nachhallzeit im Neuen Gewandhaus in Leipzig nach [32]



eine leichte Holzdecke etwa 3 m tief abgehängt, siehe [39], Seite 1 unten. Um aber deren im Sinne des hier propagierten Konzepts durchaus nützlichen Tiefen-Absorption entgegenzuwirken, wurden 20 Tonnen Beton auf diese Unterdecke aufgetragen, was den offenbar unbedingt gewollten Tiefen-Anstieg in Abbildung 9 erklären kann. Hier ging das entgegengesetzte Auslegungskonzept des Akustikers (Y. Toyota) offenbar besser auf als in Hamburg, aber nach Meinung des Autors nicht zum Vorteil für die Akustik.

Im selben Jahr wurde aber auch ein Konzertsaal mit $V = 9.600 \text{ m}^3$ für $n = 509$ und einer „Weißen Haut“ aus fächerartigen glasfaserverstärkten Gipsplatten als Vorsatzschalen an den Wänden von Nagata Acoustics dokumentiert mit einer Nachhall-Charakteristik (Abb. 10) wiederum ganz ähnlich derjenigen in Hamburg. Aber auch im viel größeren Neuen Gewandhaus in Leipzig aus dem Jahr 1981 mit $V = 24.500 \text{ m}^3$ für $n = 2.230$ findet man im besetzten Zustand eine zwischen 1.000 und 63 Hz fast konstante Nachhallzeit und unbesetzt ein breites Maximum bei den mittleren Frequenzen, siehe Abbildung 11.

Im Rückblick von der Gegenwart bis in die Renaissance trifft man ebenfalls auf viele berühmte Räumlichkeiten mit einer ausgeglichenen, ohne Publikum oder dick gepolstertes Gestühl sogar zu den Tiefen abfallende Nachhall-Charakteristik: Da ist zunächst die schon erwähnte Symphony Hall in Boston mit $V = 8.750 \text{ m}^3$ für $n = 2.625$, die bei aller nach dem Vorbild des Alten Gewandhauses in Leipzig gestalteten raumakustischen Qualität den Unterschied zwischen unbesetzt und besetzt besonders deutlich werden lässt, siehe Abbildung 5.

In der Barockzeit boten nur die Kirchen größere Räume für die Darbietung von Musik und Gesang. Ganz unabhängig vom Raumvolumen sorgen hier die meist holzverkleideten Wände, Decken und Nischen stets für ausreichend Tiefen-Absorption (siehe Abb. 12), die besonders für die Transparenz polyphoner Musik eigentlich unverzichtbar ist, wie in [8, Abschn. 11.7.5] ausgeführt wird. Zur nur 6.900 m^3 großen Bachkirche in Arnstadt liest man z.B.: „... ergibt sich die barocke Nachhallkurve par excellence, die auch durch ein Maximum um 1.000 Hz geprägt wird ... Da die Personen vorwiegend mittlere und hohe Frequenzen absorbieren, baut sich bei einer vollen Besetzung des Kirchenschiffs das Nachhallmaximum ab und es bildet sich eine über einen weiten Bereich frequenzneutrale Nachhallzeit aus, die mit Werten um 2 s dem Klang volle räumliche Entwicklungsmöglichkeiten und andererseits bei einer klaren und hellen Färbung zu einem hohen Maß an Deutlichkeit und Durchsichtigkeit der klanglichen Zeitstrukturen führt. Dies wird noch durch die kurze Einschwingzeit der Basslagen unterstützt, die aus der kurzen Nachhallzeit bei tiefen Frequenzen re-

sultiert. Auch wenn zusätzlich die Emporen voll besetzt sind, entsteht nur ein schwacher Anstieg der Nachhallkurve bis in den Bereich um 250 Hz; es tritt also auch hier keine Hervorhebung der Tiefen auf“ [17].

Im Teatro Olimpico in Vicenza aus dem Jahr 1584 (Abb. 13) findet man eine Wiedergeburt der klassischen Amphitheater unter einem geschlossenen Dach. Aber auch hier entdeckt man, wegen großflächiger Holzverschalungen vor Allem im Bühnenbereich nicht weiter überraschend wiederum die hier favorisierte Absorptions- bzw. Nachhall-Charakteristik.

Schlussfolgerung und Ausblick

In akustisch anspruchsvollen Auditorien geht es stets vor Allem darum, Musik oder/und Sprache möglichst klar und deutlich von den Sendern zu den Empfängern zu übertragen. Dabei spielen der Direktschall und Reflexionen von Decke und Wänden sowie von eigens für mittlere und hohe Frequenzen installierten Reflektoren eine entscheidende Rolle. Und zwar nicht nur energetisch mit dem Ziel einer gleichmäßigen Pegelverteilung im Raum, sondern auch der Vermeidung schädlicher Interferenzen der Schallwellen, insbesondere bei tieferen Frequenzen. In großen Räumen fallen Zuschauerflächen, auch Gestühl mit auf diese sorgfältig abgestimmter Schallabsorption, für nützliche Reflexionen weitgehend aus. Entsprechend nachrangig bestimmen sie die Raum-Akustik. Es ist daher auch nicht sinnvoll, sich bei der Definition objektiver Gütekriterien etwa nur auf Frequenzen zwischen 500 und 1.000 Hz zu konzentrieren, bei denen der Einfluss eigentlich irrelevanter Absorptionsflächen dominiert.

In den ersten 50 Jahren nach W. C. Sabines grandioser Definition der Nachhallzeit setzte sich unter Experten mit plausiblen Gründen die Überzeugung

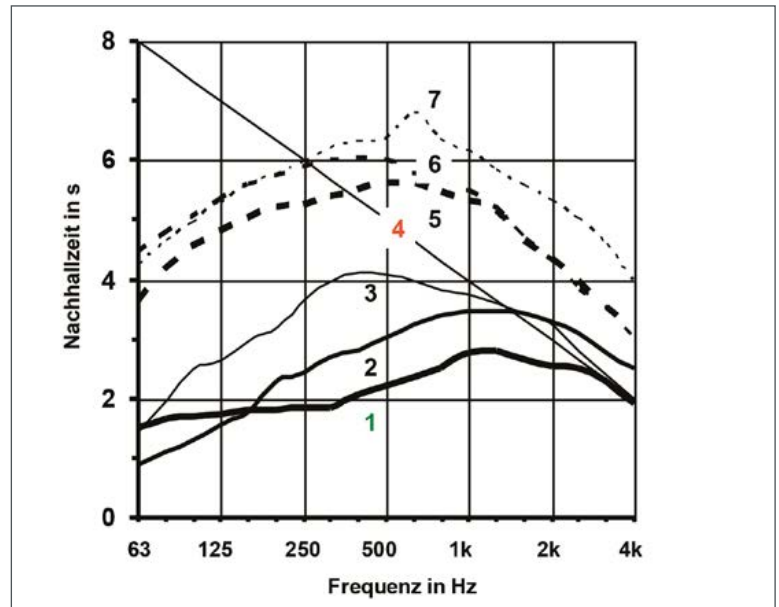
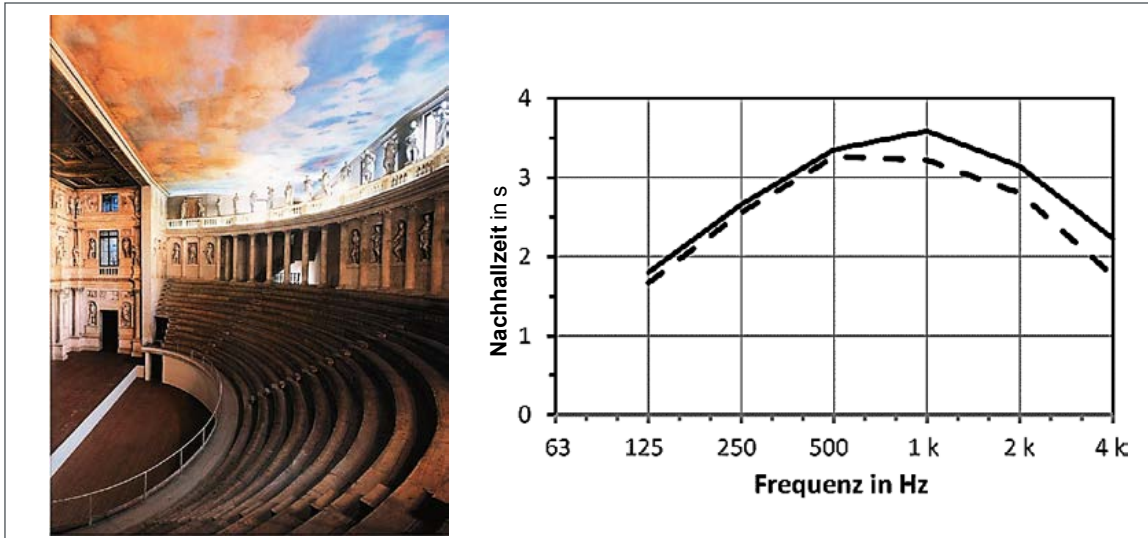


Abb. 12: Nachhallzeiten, wie sie in Barockkirchen typischer Weise gemessen werden [17]: (1) Jesus-Christus-Kirche Berlin, $V = 7.900 \text{ m}^3$; (2) „Bachkirche“ Arnstadt, $V = 6.900 \text{ m}^3$; (3) Thomaskirche Leipzig, $V = 18.000 \text{ m}^3$; (4) Kreuzkirche Dresden, $V = 30.000 \text{ m}^3$; (5) Frauenkirche Dresden, $V = 25.300 \text{ m}^3$; (6) Abteikirche Rot, $V = 30.000 \text{ m}^3$; (7) Michaeliskirche Hamburg, $V = 32.000 \text{ m}^3$

durch, dass diese zu den tiefen Frequenzen möglichst nicht ansteigen sollte, siehe [8, Abschn. 11.6]. Erst später meinte eine Mehrheit der Akustiker, dass ein $BR > 1$ sich vorteilhaft auf die Wahrnehmung von Musik auswirken könne. So entstanden hunderte Säle, die mehrheitlich eine zu den Tiefen ansteigende Nachhall-Charakteristik aufweisen. Man gab sich zwar über ein hinreichend großes Raumvolumen im Verhältnis zur Zuhörerzahl Mühe, dass die Mitten nicht zu kurz nachhallen, aber den Bassbereich überließ man oft dem Zufall oder trieb sogar Aufwand,

Abb. 13: Nachhallzeit auf der Bühne (strichliert) und im Auditorium (durchgezogen) im Teatro Olimpico in Vicenza (Foto: aus [41])



um „Tiefen-Schlucker“ zu vermeiden:

Bei M. Barron [42, Abschn. 2.8 und 3.4] liest man z. B.: „An increase in reverberation time ($BR > 1$) is very advantageous for orchestra concerts for energetic reasons, since most low instruments have their strongest sound contributions above 200 Hz and radiate only relatively weakly at lower frequencies. It is therefore advantageous when the fundamental registers of bass voices are strengthened by the hall ... The preferred degree of bass rise is a matter of taste ... A value at 125 Hz up to 50 % above that at mid-frequencies is normally recommended ... The implication for a concert hall, in which a long bass reverberation time is sought, is that all walls, ceilings and suspended elements need to be sufficiently massive to minimize low-frequency absorption. This approach obviously has cost implications“. Gern gab man deshalb schweren Massivbauteilen gegenüber leichten schwingfähigen Verschaltungen den Vorzug, etwa so wie es Y. Toyota bei der Elbphilharmonie mit der „Weißen Haut“ nach eigenen Worten im Sinn hatte und für den Pierre-Boulez-Saal ja tatsächlich auch erreicht hat.

Das Streben nach einem $BR > 1$ hat schon zu ganz eigenartigen Baumaßnahmen in Konzertsälen geführt, siehe [8, Abschn. 11.2.1]. Auch elektroakustische Hilfsmittel kamen dazu zum Einsatz. H. Kuttruff beschreibt in [43, Abschn. X.5] z. B. ein „assisted resonance system“, mit dem sich mittels 172 Lautsprechern in der Decke der Royal Festival Hall in London [24, S. 245] der Nachhall z. B. bei 63 Hz von 1,3 auf 2,2 s weit über den Wert von 1,4 s bei mittleren Frequenzen anheben ließ.

Das entgegengesetzte Konzept konnte zwar hier und da [33] überzeugend umgesetzt werden. Aber an der Mehrheitsmeinung hat sich dadurch noch nicht viel geändert. Diese kann sich leider durch eine jüngst erschienene Raumakustik-Norm [13] (siehe Abb. 1) sogar noch bestärkt fühlen. Deshalb wurden hier ganz bewusst einmal prominente Beispiele herausragender Akustik diskutiert, in denen namhafte Akustiker eigentlich etwas Besseres erreicht als geplant haben. Betrachtet man nämlich allseits hoch geschätzte historische Auditorien wie z. B. Musikvereinssaal, Concertgebouw, Boston Symphony genauer, so stellt man ebenfalls fest, dass deren Nachhall-Charakteristik entgegen der Norm eher auf ein $BR < 1$ als auf $BR > 1$ hinweist. Vermutlich würde man auch unter anderen als gut eingestuft Sälen sehr viele mit einem $BR < 1$ herausfinden, wenn man die für die raumakustische Qualität relativ unwesentliche Absorption der Zuschauer etwas außer Acht ließe.

Jedenfalls sollte man grundsätzlich dafür sorgen, dass

- der Direktschall breitbandig möglichst stark beim Hörer ankommt,
- für mittlere Frequenzen die frühen Reflexionen

so gut wie irgend möglich auf die beteiligten Akteure und Zuhörerbereiche ausgerichtet werden,

- für tiefe Frequenzen alle Begrenzungsflächen im Raum möglichst stark absorbierend ausgeführt werden.

Die entsprechenden Werkzeuge, Materialien und Bauteile für die optimale Schalllenkung und -dämpfung sind inzwischen längst in großer Auswahl praxis- und marktgerecht verfügbar [8]. Mit diesen drei Grundregeln wird das Arsenal verantwortungsvoller Planer natürlich noch längst nicht ausgeschöpft. Aber bei ihrer Missachtung wird der Rest umso schwieriger!

Auch wenn dies zur Ausnahme in der Baupraxis geworden ist: Bereits vor einer Entscheidung für oder gegen einen Entwurf zu einem größeren Saal für die Darbietung von Musik oder Sprache tut der Bauherr gut daran, einen Akustiker seines Vertrauens zu konsultieren. Das geschah so im bescheidenen Mainzer Projekt [33], aber auch beim Wettbewerb zur spektakulären Berliner Philharmonie. Der verantwortliche Akustiker in Berlin betont in [44], so könne auf voraussagbare akustische Probleme frühzeitig Einfluss genommen werden; es schließe aber ein Fortschreiten von Erprobtem und Bewährtem zu Neuland und Wagnis nicht aus. Bei allen drei von L. Cremer 1956 diskutierten Entwürfen spielte bereits die von ihm so getaufte „Tiefenschluckung“ eine wichtige Rolle. So sollte im schließlich preisgekrönten und ausgeführten die unterste Schale der Decke „mitschwingfähig und somit tiefenschluckend ausgeführt sein. Außerdem bieten die vielen Wand- und Stufenflächen, die mit Holzvertäfelung bedeckt sein sollen, hierzu Gelegenheit“ [44, S. 62]. Dass ein $BR \gg 1$, wie ihn die DIN 18041 gemäß Abbildung 1 toleriert, in kleineren Räumlichkeiten sich auf die Sprachverständlichkeit negativ auswirkt und auch eine erhöhte Schallbelastungen bewirken kann, wird in Teil 2 (siehe Akustik Journal 03/2018) dargestellt.

Literatur

- [1] Kuusinen, A.; Lokki, T.: Wheel of concert hall acoustics. Act. Acoust. Ac. 103, S. 185–188, 2017
- [2] Blesser, B.; Salter, L.-R.: Spaces speak, are you listening? Experiencing aural architecture. MIT Press, Cambridge, 2017.
- [3] Schricker, R.: Kreative Raum-Akustik für Architekten und Designer. DVA, Stuttgart, 2001.
- [4] Sabine, W. C.: Reverberation. The American architect, 1900.
- [5] Beranek, L. L.: Concert and opera halls – how they sound. Acoust. Soc. Am., New York, 1996.
- [6] Nagata, M.: Concert halls. <http://www.nagata>.

- co.jp/e_company/index.html
- [7] Cremer, L.; Müller, H.A.: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik, Bd. I., Hirzel, Stuttgart, 1978.
 - [8] Fuchs, H.V.: Raum-Akustik und Lärm-Minderung. Springer, Berlin, 2017.
 - [9] DIN EN ISO 3382-2000: Messung der Nachhallzeit von Räumen mit Bezug auf andere akustische Parameter.
 - [10] Bradley, J.S.: Review of objective room acoustics measures and future needs. Proc. Intern. Symp. Room Acoust. ISRA, Melbourne, 2010.
 - [11] ISO 3382-1 (2009): Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters.
 - [12] Witew, I.B.: Zur subjektiven Bewertung der Akustik in Konzertsälen: Gibt es die perfekte Akustik? VDT-Magazin 1. S. 19–23, 2006.
 - [13] DIN 18041-2016: Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung.
 - [14] Beranek, L.L.: Music, acoustics, and architecture. Wiley & Sons, New York, 1962.
 - [15] Kuttruff, H.: Raumakustik. In: Heckl, M., Müller, H.A. (Hrsg.) Taschenbuch der Technischen Akustik, Kap. 23. Springer, Berlin, 1994.
 - [16] Vorländer, M.: Auralization. Springer, Berlin, 2008.
 - [17] Meyer, J.: Kirchenakustik. Bochinsky, Frankfurt, 2003.
 - [18] Fasold, W.; Veres, E.: Schallschutz + Raumakustik in der Praxis. Verlag Bauwesen, Berlin, 2003.
 - [19] Fuchs, H.V.; Steinke, G.: Requirements for low frequency reverberation in spaces for music. Part 2: Auditoria for performances and recordings. Psychomusicology: Music, Mind and Brain 25, H. 3, S. 282–293, 2015.
 - [20] Ahnert, W.; Steffen, F.: Beschallungstechnik. Hirzel, Stuttgart, 1993.
 - [21] Meyer, J.: Die Schallabstrahlung der Streichergruppen im Orchester. In: 25. Tonmeistertagung, Leipzig 2008.
 - [22] Adelman-Larsen, N.W.: Rock and pop venues. Acoustic and architectural design. Springer, Berlin, 2014.
 - [23] Bradley, J.S.; Soulodre, G.A.; Norcross, S.: Factors influencing the perception of bass. J. Acoust. Soc. Amer. 101, S. 3.135, 1997.
 - [24] Beranek, L.L.: Concert halls and opera houses – music, acoustics, and architecture. Springer, New York, 2004.
 - [25] Burkowitz, P.K.: The world of sound – Music on its way from the performer to the listener. Schiele&Schön, Berlin, 2011.
 - [26] Toyota, Y.; Oguchi, K.: Elbphilharmonie opens in Hamburg. Highlights of room acoustics and sound isolation design. Nagata News 350 (017–02), 2017.
 - [27] Burkowitz, P.K.: Psychoakustische Verformungen der Wahrnehmung von aufgenommenem Schall. VDT-Magazin 1.2006, S. 10–18.
 - [28] Fuchs, H.V.: Raum-Akustik mal ganz anders – Exkursion 1. In: Deutsche Jahrestagung für Akustik – DAGA 2010, Berlin, Programm, S. 24–26.
 - [29] Leiberg, T.: Jesus-Christus-Kirche Berlin-Dahlem. Ev. Kirchengemeinde Dahlem, 1991.
 - [30] Horn, C.: Die kirchliche Bautätigkeit der letzten Jahre. Kunst und Kirche 9, H.1/2, S. 3–12, 1932.
 - [31] Cremer, L.: Die raum- und bauakustischen Maßnahmen beim Wiederaufbau der Berliner Philharmonie. Die Schalltechnik 24, H. 1, S. 1–11, 1964.
 - [32] Fasold, W.; Sonntag, W.; Winkler, H.: Bau und Raumakustik. Verlag Bauwesen, Berlin, 1987.
 - [33] Fuchs, H.V.; Zha, X.; Drotleff, H.: Eine neue Akustik für vier Sparten – Das Große Haus des Staatstheaters Mainz. Bauphysik 25, H. 3, S. 111–121, 2003.
 - [34] Fuchs, H.V.: Zum Bassverhältnis in akustisch herausragenden Konzertsälen. Bauphysik 40, H. 2, S. 74–85, 2018.
 - [35] Kunz, A.: Wirklich Weltklasse? Fono Forum 3.2017, S. 16–17.
 - [36] Fasold, W.; Veres, E.: (2003) Schallschutz + Raumakustik in der Praxis. Verlag Bauwesen, Berlin, 2003.
 - [37] http://www.nagata.co.jp/e_sakuhin/factsheets/Elbphilharmonie.pdf
 - [38] Fuchs, H.V.: 458 Tonnen für den guten Ton. Trockenbau Akustik 35, H. 2, S. 72–75, 2018.
 - [39] http://www.nagata.co.jp/e_sakuhin/factsheets/BoulezSaal.pdf
 - [40] http://www.nagata.co.jp/e_sakuhin/factsheets/Jinji Lake Concert Hall.pdf
 - [41] Pappalardo, U.; Borelli, D.: Antike Theater. Petersberg: Imhof, 2007.
 - [42] Barron, M.: Auditorium acoustics and architectural design. E&FN Spon, London, 1993.
 - [43] Kuttruff, H.: Room acoustics. Elsevier Appl. Sciences, 1991.
 - [44] Cremer, L.: Drei Entwürfe zur Berliner Philharmonie/Three projects for the Berlin Philharmonie. Gravesaner Blätter 3, H. 9, S. 55–66, 1957. ■

Prof. Dr.-Ing.
Helmut V. Fuchs,
 Casa Acustica,
 Berlin

acoustex 2018

the sound of innovation



acoustex

**Fachmesse für
Noise-Control und
Sound-Design
10.–11. Oktober 2018
Messe Dortmund**

www.acoustex.de

Ehrungen der DEGA

Auf der DAGA 2018 verlieh die DEGA folgende Auszeichnungen:

■ Helmholtz-Medaille für Prof. Wolfgang Ahnert

Auf der Eröffnungsfeier zur Tagung DAGA 2018 in München am 20. März 2018 überreichte der Präsident der DEGA, Prof. Michael Vorländer, die Helmholtz-Medaille an den Preisträger, Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Ahnert, für sein Lebenswerk zur raumakustischen Simulation und zur Beschallungstechnik.

Die Laudatio wurde gehalten von Prof. Ning Xiang, Troy (siehe folgende Seite). ■



■ Lothar-Cremer-Preis für Dr. Anna Warzybok

Auf der Eröffnungsfeier zur Tagung DAGA 2018 in München am 20. März 2018 überreichte der Präsident der DEGA, Prof. Michael Vorländer, den Lothar-Cremer-Preis an die Preisträgerin, Dr. rer. nat. Anna Warzybok, für ihre innovativen und wegweisenden Arbeiten zur audiologischen Akustik und zur internationalen Sprachtestentwicklung.

Die Laudatio wurde gehalten von Prof. Birger Kollmeier, Oldenburg (siehe Seite 50). ■



■ DEGA-Studienpreise 2018

Im Rahmen der diesjährigen Tagung DAGA 2018 wurden die folgenden herausragenden Bachelor-/Masterarbeiten auf dem Gebiet der Akustik mit dem DEGA-Studienpreis ausgezeichnet:

■ B.Sc. Hans-Fleming Kohlenberg (rechts)

für seine Bachelor-Arbeit „Bewertung der Lästigkeit von Geräuschen während des stationären Ladens batterieelektrischer Fahrzeuge“ an der Technischen Universität Berlin, und an

■ M.Sc. Norbert Kolotzek (links)

für seine Masterarbeit „Effect of head turning on localization in the horizontal plane with hearing aid satellites“ an der Technischen Universität München. ■



■ Posterpreise der DAGA 2018

Im Rahmen der Tagung DAGA 2018 in München wurden wieder die besten Poster durch eine Jury prämiert. Die Übergabe der Preise fand am 22.03.2018 vor dem Plenarvortrag statt.

Gewonnen haben die Poster der folgenden Erstautor(innen):

■ Anna-Sophia Henke („Untersuchung des Modalverhaltens strukturierter Bleche“)

■ Tim Lübeck („A real-time implementation for sound source localization inside a spherical microphone array“)

■ Jonas Stienen („Real-time auralization of propagation paths with re-

flection, diffraction and the Doppler shift“)

Wir gratulieren den Preisträger(inne)n und hoffen, auch in den kommenden Jahren viele weitere herausragende Poster auszeichnen zu können. ■

■ Laudatio für Prof. Wolfgang Ahnert

Sehr geehrter Vorstand der DEGA, liebe Kolleginnen und Kollegen, lieber Wolfgang,

die heutige Verleihung der Helmholtz-Medaille der DEGA für Professor Wolfgang Ahnerts herausragendes Lebenswerk gibt mir einen außergewöhnlichen Anlass, aus dem weit entfernten Troy in New York zur DAGA 2018 nach München zu kommen. Ich freue mich ganz besonders, Deiner ehrenvollen Auszeichnung, lieber Wolfgang, beizuwohnen. Es ist mir eine große Ehre, anlässlich dieser höchsten Auszeichnung der DEGA, einige Worte zu Deinem Schaffen und zu Deiner Person zu sagen.

Wir haben uns auf der DAGA 1989 in Duisburg kennengelernt, als ich noch als Doktorand bei Professor Jens Blauert in Bochum an meiner Dissertation arbeitete. Der wissenschaftliche Anknüpfungspunkt zwischen uns beiden war sicherlich die Maximalfolgenmesstechnik. Du warst gleichzeitig aus raumakustischem und beschallungstechnischem Interesse von dieser zahlentheoretischen Messtechnik fasziniert, die Du später in die messtechnische Software Deiner Firma weltweit in raumakustische und beschallungstechnische Anwendungen eingesetzt hast. Damit begann unsere fast dreißigjährige Freundschaft.

Geboren wurde Wolfgang Ahnert im Jahre 1945 in Buttstädt. Er hat das Diplom in Technischer Akustik an der Technischen Universität Dresden im Jahr 1970 abgelegt. Während seiner Studienzzeit hat er sich früh mit Programmieren beschäftigt und hat dies an einem Röhrenrechner „Zeiss-Rechen-Automat 1“ gelernt. Unmittelbar nach seinem Diplom absolvierte Wolfgang Ahnert einen fast zweijährigen Studienaufenthalt an der Moskauer Lomonossow-Universität, wo er auch fließend Russisch lernte. Von Russland zurückkehrt, promovierte er unter Professor Walter Reichardt an der Technischen Universität Dresden. Im Jahre 1975 verteidigte Wolfgang Ahnert seine Dissertation über den „Einsatz elektroakustischer Hilfsmittel zur Räumlichkeitssteigerung, Schallverstärkung und Vermeidung der akustischen

Rückkopplung“. Das Dissertationsthema sollte später seine gesamte wissenschaftliche und unternehmerische Laufbahn beeinflussen. Neben seiner exzellenten Doktorarbeit und dem unentwegten Forschen im Bereich Beschallungstechnik darf man nicht in den Hintergrund stellen, dass sein weiteres Interesse auch dem Programmieren, damals in FORTRAN galt. Ausgehend von seiner Zeiss-Rechen-Automat-Erfahrung hat der Umgang mit Rechen-technik seine außerordentliche Karriere in der Softwareentwicklung beflügelt. Bereits in den 1980er Jahren erkannte er frühzeitig den Bedarf an einem zeitgemäßen benutzerfreundlichen Simulationswerkzeug, um den damals relativ neuen Stand der Simulationstechnik (Strahlenverfolgung, CAD-Modelle, Auralisation) in der raumakustischen und beschallungstechnischen Praxis mit Unterstützung von Dr. Rainer Feistel einzusetzen.

Nach seiner Promotion war Dr. Ahnert zunächst für 15 Jahre am Institut für Kulturbauten in Berlin tätig. Bereits damals gelang es ihm, rege nationale und internationale Kontakte innerhalb seines wissenschaftlichen Gebietes zu knüpfen. Selbst in der schwierigen Zeit des damaligen politischen Umfeldes war Wolfgang Ahnert einer der wenigen in der ehemaligen DDR, der wegen wissenschaftlicher und technischer Zwecke regelmäßig in den Westen gerufen wurde. Vor allem durch das Buch Ahnert/Reichardt, Grundlagen der Beschallungstechnik, das 1981 zeitgleich in Ostberlin und in Stuttgart erschien, war sein Name in den westlichen Ländern bekannt geworden. So konnte er viele bedeutende musikalische Säle und Beschallungsanlagen im Westen besichtigen, raumakustisch vermessen und beraten. Dabei wurde auch das maßgeblich von ihm entwickelte, patentierte Beschallungssystem „Delta-Stereofonie“ u. a. in Japan, USA, in Österreich und Russland eingesetzt. Er hat auch regelmäßig Seminare und Vorträge, z. B. bei der Audio Engineering Society (AES) seit 1983 und noch vor 1990 bei DAGA-Tagungen über seine wissenschaftlichen Arbeiten gehalten. Es ist auch einem

wunderbaren Umstand zu verdanken, dass er bereits im Jahre 1985 in einem berühmten Konzertsaal der USA, der Troy Savings Bank Music Hall (Staat New York) raumakustische Messungen zusammen mit dem amerikanischen Akustiker Don Davis durchführte, also in Troy, wo ich seit 2003 als Universitätsprofessor am Rensselaer Polytechnic Institute tätig bin. Somit war es ganz folgerichtig, dass Wolfgang Ahnert zum Honorarprofessor am Rensselaer Polytechnic Institute berufen wurde, wo er unsere Studenten Jahr für Jahr mit Vorlesungen über raumakustische Simulation und Messtechnik begeistert.

Wolfgang Ahnert hat aber auch aktiv in den akustischen Kreisen in der ehemaligen DDR und in den osteuropäischen Ländern führend gewirkt. Kurz vor der Wende hat er als Sekretär die neunte Tagung der Akustik der ehemaligen DDR mitorganisiert, und einige Akustiker aus der Bundesrepublik wie z. B. Prof. Jürgen Meyer, Prof. Fridolin Mechel, Dr. Armin Kohlrausch (alle sind vorherige Helmholtz-Medaillenträger) und mich selbst als Plenarvortragende nach Rostock eingeladen. Als ein junger Doktorand war es mir bereits eine große Ehre dabei zu sein.

Die Wende im Jahr 1990 gab Wolfgang Ahnert die Gelegenheit, eine eigene Firma, ADA Acoustic Design Ahnert, in Berlin zu gründen. Seine Kontakte und sein exzellenter Ruf im In- und Ausland trugen dazu bei, dass er sehr schnell internationale Erfolge mit seiner Beratungstätigkeit hatte. Es sei durchaus anzumerken, dass obwohl die Gründung seines Unternehmens sehr zeit- und energieraubend war, es Wolfgang Ahnert gleichzeitig schaffte, sich 1992 an der Technischen Universität Dresden zu habilitieren. Seit der Gründung Anfang 1990 hat Wolfgang's Firma mehrere Erweiterungen, aber auch Ausgliederungen erlebt. So gibt es jetzt die ADA Acoustics & Media Consultants GmbH, die SDA Software Design Ahnert GmbH, die Ahnert Feistel Media Group Technologies GmbH (AFMG) und die AFMG Foundation GmbH. Im arabischen Raum wurde 2007 die Beratungsfirma ADA Gulf gegründet. Die

Ausgliederungsfirma ADA AcouMedia International GmbH wurde im Jahre 2012 gegründet, um im großen Umfang Planungsprojekte durchführen zu können, insbesondere in Saudi-Arabien. Sowohl in Deutschland als auch im Ausland hinterließ Wolfgang Ahnert mit zahlreichen raumakustischen und beschallungstechnischen Planungen unvergessliche Spuren: Dresdener Frauenkirche, Sheik Zayed Mosque Abu Dhabi, Beijing National Museum, Folklore Theatre Moskau und Greenpoint Stadium Kapstadt sind einige Orte, an denen er erfolgreiche Arbeiten durchführte.

Unmittelbar nach seiner Habilitation wurde Wolfgang Ahnert als Honorarprofessor im Jahre 1993 an die Hochschule für Film und Fernsehen in Potsdam-Babelsberg berufen. 2001 ehrte ihn die Staatliche Lomonossow-Universität Moskau mit der Auszeichnung zum „Foreign Professor“, und 2005 wurde er als Honorarprofessor für Architectural Acoustics am Rensselaer Polytechnic Institute in Troy berufen (s. o.). In Troy

hat er uns bei der Forschung tatkräftig unterstützt und dafür die gesamten Softwarepakete der Firma Software Design Ahnert GmbH auch für die Ausbildung unserer Studenten kostenfrei zur Verfügung gestellt.

Prof. Wolfgang Ahnert ist der Autor von mehr als 130 wissenschaftlichen Veröffentlichungen und auch Autor zahlreicher Bücher oder Buchkapitel. Hier ist zunächst 1980 das Buch „Akustik in Kulturbauten“ zu nennen; unmittelbar danach entstand das Buch „Grundlagen der Beschallungstechnik“ (Ahnert/Reichardt, Hirzel Verlag, 1981), welches 1984 auch in die russische Sprache übersetzt wurde. Das Standardwerk „Beschallungstechnik – Grundlagen und Praxis“ (Ahnert/Steffen, 1993) erschien in den Folgejahren auch in englischer, chinesischer und russischer Sprache (2000, 2002 und 2003). Eine weitere arabische Fassung wird in Kürze noch dieses Jahr erscheinen. Darüber hinaus verfasste Prof. Ahnert mit Ko-Autoren Kapitel in vielen Handbüchern. Auch

in dem 2017 veröffentlichten „Architectural Acoustics Handbook“ hatte Wolfgang Ahnert so viel Wissen zu vermitteln, dass ein Kapitel nicht genügte. Der Herausgeber des Buches, der Laudatioverfasser selbst, musste mehrere Buchseiten für ein zweites Kapitel einplanen. Seine herausragenden Verdienste für die Akustik und deren praktische Anwendungen wurden bei vielen wissenschaftlichen Gremien ehrenwürdig anerkannt. Bereits 1995 wurde Wolfgang Ahnert von der Audio Engineering Society, in 2005 von der Acoustical Society of America, und in 2013 vom Britischen Institut of Acoustics (IOA) als „Fellow“ geehrt. Ebenfalls vom IOA wurde er 2002 mit dem Peter Barnett Award ausgezeichnet. Meine Damen und Herren, ich danke Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit und Dir, lieber Wolfgang, möchte ich nochmal ganz herzlich gratulieren! ■

Ning Xiang



**Your partner for
Acoustics and Vibration Optimum
in Product Development**

**Virtual CAE Simulation
Acoustic testing facilities
Shaker and measurement systems**



www.arrk-engineering.com

Das Ganze sehen.



**Ihre unabhängigen Experten für das ganze Spektrum
der Schall- und Schwingungstechnik**

Messung · Planung · Berechnung · Beratung · Gutachtenerstellung · Troubleshooting

Maschinendynamik:

- Anlagenschwingungen
- Dauerüberwachung
- Schwingungsisolierungen

Erschütterungen:

- Bauwerksdynamik
- Rammarbeiten
- Dauerüberwachung

Strömungstechnik:

- Pulsationen
- Mengemessfehler
- Strömungssimulation

Immissionsschutz:

- Lärminderungsplanung
- Verkehrslärm
- Gewerbe-/Freizeitlärm

Pulsationsstudien:

- Rohrleitungsschwingungen
- Kolben- und Turbokompressoren
- Kolbenpumpen

Windenergie:

- Prognosen (Schall & Schattenwurf)
- Schalltechnische Messungen
- Konstruktionsakustik

Technische Akustik:

- Forschung & Entwicklung
- Technischer Schallschutz
- Konstruktionsakustik

Bauphysik:

- Bauakustik
- Raumakustik
- Bauteilprüfung

www.koetter-consulting.com

■ Laudatio für Dr. Anna Warzybok

Sehr geehrte Amtsträger, sehr geehrtes Präsidium der Deutschen Gesellschaft für Akustik, liebe Kolleginnen und Kollegen, und vor allen Dingen liebe Anna Warzybok!

Es ist mir eine große Freude und Ehre, hier die Laudation für Dr. Anna Warzybok halten zu dürfen, die ich als Brückenbauerin sowie als äußerst einflussreiche, visionäre, produktive und kooperative Nachwuchswissenschaftlerin äußerst schätze.

Eine Brückenbauerin zwischen verschiedenen Sprachräumen und zwischen Klinik und Grundlagenwissenschaft ist sie nicht nur aufgrund ihres biographischen Hintergrunds: Sie hat in Poznan/Polen Akustik und Hörgeräteakustik studiert und war bereits während ihres Studiums als Erasmus-Studentin in Deutschland, wo sie durch ihre schnelle Auffassungsgabe und sehr effiziente Arbeitsweise unter den Studierenden hervorstach. Zurück in Polen hat sie nach ihrem Diplom zunächst als Hörgeräteakustikerin gearbeitet und damit die Brücke zur Praxis geschlagen - doch zu unser aller Glück wurde ihr dies bald zu langweilig! Daher hat sie neue Herausforderungen in einer Doktorarbeit bei uns in Oldenburg gesucht, wo sie als Lichtenberg-Stipendiatin innerhalb ungewöhnlich kurzer Zeit bereits 2012 promovierte. Ihrem unvergesslichen Auftritt bei der Begutachtung durch die DFG ist es - unter anderem - zu verdanken, dass wir in Oldenburg und Hannover 2012 den Exzellenzcluster H4all einrichten konnten und ihr dort eine Perspektive für ihre weitere Wissenschaftler-Laufbahn als Post-Doc und Nachwuchsgruppen-Leiterin bieten konnten. Den dafür notwendigen Brückenschlag zwischen Physik, Neurobiologie, Psychologie, Sprachwissenschaft und klinischer Audiologie hat sie bravurös gemeistert. Und ihre internationalen Kontakte u. a. nach Russland, in die Ukraine, nach Italien, nach China, Rumänien und Brasilien haben ihren Ruf als internationale Brückenbauerin noch weiter gefestigt! Anna Warzybok ist visionär, weil sie von der Idee einheitlicher, internatio-

nal gültiger Standards in der klinischen Audiologie und Hörgeräteversorgung getrieben wird. Das treibt sie durch die Entwicklung von multilingualen Sprachtestverfahren voran, also Testverfahren für die Hördiagnostik und die Evaluation von Hörhilfen, die unabhängig von der Muttersprache des Patienten immer die gleiche Aussage ermöglichen und eine Vergleichbarkeit von Hörgeräte-Verarbeitungsverfahren über sämtliche Sprachgrenzen hinweg erlauben.

Anna Warzybok ist produktiv, weil sie nach ihrer Promotion bereits über 20 Zeitschriftenartikel in referierten internationalen Journalen mit einer Vielzahl verschiedener Co-Autoren publiziert hat, davon allein 15 in den letzten 2 Jahren. Neben der Entwicklung von multilingualen Sprachtests, also der „Internationalisierung der Sprachaudiologie“ gilt ihr Interesse der „Binauralisierung der Audiologie“, also des Einbeziehens des binauralen, räumlichen Hörens in die Hördiagnostik und die Therapie mit Hörgeräten. So hat sie beispielsweise den Effekt von Nachhall auf die binaurale Verständlichkeitsverbesserung in Räumen sehr akribisch ausgemessen und modelliert - letzteres in Zusammenarbeit mit Jan Rennies-Hochmuth, der vor 2 Jahren den Lothar Cremer Preis bekam.

Auch Ihr drittes Forschungsgebiet, die „Modellierung des Sprachverstehens von Schwerhörigen“ zielt darauf ab, die eher klinisch-empirische Audiologie hin zu einer exakten, Modell- und Theoriegestützten Wissenschaft zu transformieren: Durch exakt an den individuellen Patienten angepasste Hörmodelle kann sie den zu erwartenden Gewinn durch eine Hörgeräteversorgung in verschiedenen akustischen Situationen exakt vorhersagen. Dabei nutzt sie in Zusammenarbeit mit Marc René Schädler Methoden des maschinellen Lernens aus der automatischen Spracherkennung. Etwaige Abweichungen zwischen Erwartung und Messung in der Audiologie können so auf individuell gestörte Modellparameter wissenschaftlich fundiert zurückgeführt werden.

Anna Warzybok ist kooperativ: Alle ihre bisherigen wissenschaftlichen Erfolge zeugen von ihrem außergewöhnlichen

Engagement, mit Kollegen zusammenzuarbeiten und sich dabei voll einzubringen. Nicht nur an der Anzahl der lokalen, nationalen und internationalen Kooperationspartner bei sehr verschiedenen Themen lässt sich dies ausmachen, sondern auch an ihrer offenen, entgegenkommenden und alle schnell für sich einnehmenden Art: Bei den jährlich auf der Mittelmeerinsel Brac stattfindenden Schreib-Workshops mit einer bunten Mischung von Doktoranden, Postdocs und etablierten Wissenschaftlern ist sie immer irgendwie im Zentrum des Geschehens. Und morgens, wenn sich die Wissenschaftler langsam aus den Betten schälen, hat Anna Warzybok schon ein fantastisches Frühstück zubereitet - einfach weil es für sie zu langweilig wäre, nichts zu tun - welches Glück für uns als Ihre Kollegen!

Liebe Anna, es erfüllt mich mit besonderem Stolz und besonderer Freude, dass du die vierte Lothar-Cremer-Preisträgerin aus dem Kreis meiner ehemaligen Doktoranden bist (nach Torsten Dau, Volker Hohmann und Jan Rennies-Hochmuth) und zudem die vierte Frau, die einen Lothar-Cremer-Preis verliehen bekommt (also nach Ute Jekosch, Ute Rabe und Janina Fels). Die meisten dieser Preisträgerinnen und Preisträger wurden anschließend auf eine Professur berufen und haben noch weitere wesentliche Entwicklungen in der Akustik geleistet - damit ist der Preis sicher auch ein weiterer Ansporn für dich. Obwohl - ich glaube nicht, dass Du eines weiteren Ansporns noch bedarfst, sonst wäre es ja zu langweilig!

Meine sehr verehrten Damen und Herren, dass wir heute mit Frau Dr. Anna Warzybok eine würdige Nachwuchswissenschaftlerin prämiieren, hat auch die DFG festgestellt, die ihr vor kurzem eine umfangreiche Förderung mit eigener Stelle zuerkannt hat. Die Erwartungen an die weiteren Arbeiten von Anna Warzybok liegen also sehr hoch; aber ich bin überzeugt, dass Anna Warzybok noch für viele positive Überraschungen sorgen wird. Daher hoffe ich, dass Sie mit mir übereinstimmen: Mit Anna Warzybok wird der Lothar Cremer Preis genau an die Richtige verliehen! ■

Birger Kollmeier

Menschen

Ehrungen und Gratulationen

■ Rudolf-Martin-Ehrenurkunde für Prof. Hugo Fastl

Bei der Rudolf-Martin-Ehrenurkunde handelt es sich um eine hohe Auszeichnung durch den DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS). Im Rahmen der Eröffnungsfeier zur Tagung DAGA 2018 in München wurde die Urkunde an den diesjährigen Preisträger, Prof. Dr.-Ing. Hugo Fastl, durch den Vorsitzenden des NALS, Dr. Wolfgang Probst, verliehen.

Nach zwei Studienabschlüssen an der Musikhochschule München (Kontrabass) und der Technischen Universität München (Elektrotechnik) promovierte

und habilitierte Hugo Fastl am Lehrstuhl von Eberhard Zwicker. Seit 1991 ist er Professor für Technische Akustik an der TU München mit einer Vielzahl von Schwerpunkten (psychoakustische Größen, Sprachverständlichkeit, Lärmschutz an Fahrzeugen, Klangqualität, musikalische Akustik und Audiologie). Er hat zahlreiche Doktoranden betreut, eine große Zahl an wissenschaftlichen Veröffentlichungen publiziert und sich weltweit einen Namen als Experte auf dem Gebiet der Psychoakustik und verwandten Bereichen gemacht. So erhielt er eine Vielzahl nationaler und internati-

onaler Ehrungen, darunter die Rayleigh Medal des britischen Institute of Acoustics und die Helmholtz-Medaille der DEGA.

In der Normung engagiert er sich seit vielen Jahren vor allem für die Verankerung psychoakustischer Kenngrößen sowie generell für die Standardisierung in diesem Themenkreis. So leitete er den Arbeitskreis „Psychoakustische Messtechnik“ und war in weiteren Arbeitskreisen, Arbeitsausschüssen und im NALS-Beirat aktiv. Vor allem hat er die Inhalte der Normen DIN 45631 zur Berechnung der Lautheit und DIN 45692 zur messtechnischen Simulation der Schärfe maßgeblich mitgeprägt.

So möchte sich der NALS bei Hugo Fastl für sein Engagement im Rahmen der Normung sehr herzlich bedanken und ihm als Zeichen dieser Anerkennung die Rudolf-Martin-Ehrenurkunde überreichen. ■

■ Wir gratulieren

zum 85. Geburtstag (März 2018): Prof. Dr. Jürgen Meyer, ehem. Präsident der DEGA (1995–1998), Träger der Helmholtz-Medaille (2004), erster Leiter des DEGA-Fachausschusses Musikalische Akustik

zum 80. Geburtstag (April 2018): Dr. Erhard Werner, ehem. Leiter des DEGA-Fachausschusses Elektroakustik ■

■ Personalien

Prof. Dr. Frank Wefers ist seit März 2018 Professor für Virtual Reality an den International Audio Laboratories der Friedrich-Alexander-Universität (FAU) Erlangen-Nürnberg. ■



microphones & acoustic systems - founded 1928 by Georg Neumann



Sound intensity probe
SIS 194 3D

www.microtechgefell.de

Veranstaltungen

■ Veranstaltungshinweise

11.–14.09.2018

3rd Polish-German Structured Conference on Acoustics (PGSCA 2018)

Polnisch-Deutsche strukturierte Sitzungen

Im Rahmen der „Połączone Konferencje z Akustyki – Acoustics‘ 18“ (Joint Conferences on Acoustics – Acoustics‘18, 11.–14.09.2018, siehe <http://www.acoustics2018ustka.pl/>) in Ustka an der polnischen Ostseeküste wird auch die „3rd Polish-German Structured Conference on Acoustics“ (PGSCA 2018) stattfinden – die dritte PGSCA nach 2004 und 2011.

Sie wird von der Polnischen Gesellschaft für Akustik PTA und der DEGA gemeinsam organisiert und aus acht gemeinsamen polnisch-deutschen Sitzungen zu den Themen Ultrasonic Spectrometry of Liquids, Audio and Video Quality, Noise in the Working Environment, Psychological Acoustics, Traffic Noise, Electroacoustics and Room Acoustics, Building Acoustics und Acoustical Imaging in Medicine bestehen.

Nähere Informationen unter <http://pgsca2018.pl/>. ■

17.09.2018–18.09.2018

12. DEGA-Symposium

„Interdisciplinary Topics in Acoustics: Physiology and Virtual Reality“



Das DEGA-Herbstsymposium unter dem Titel „Interdisciplinary topics in Acoustics: Physiology and Virtual Reality“ hat zum Ziel, Wissenschaftler aus den Gebieten physiologischer Akustik und virtueller Akustik zusammenzubringen. Diese beiden aktuellen Gebiete der Akustik haben sowohl hohe gesellschaftliche Relevanz als auch Entwicklungspotential durch den rasanten technologischen Fortschritt. Ein grundlegendes Verständnis physiologischer Verarbeitung von Schall ist nicht nur notwendig um neue Technologien zu entwickeln, sondern auch um das große Problem von Hörschädigung in der Gesellschaft anzugehen. Fortschritte in der virtuellen Akustik erlauben es, neben neuen Anwendungen in der Audioindustrie, akustische Umgebungen mit höchster Kontrolle und Flexibilität zu generieren. Diese beiden Bereiche zusammen beinhalten das Potenzial grundlegende Fortschritte im Verständnis

der akustischen Verarbeitung im auditorischen System zu machen – jenseits der klassischen Herangehensweisen.

Verantwortlich für das Programm ist der Fachausschuss Hörakustik der DEGA. Koordination und weitere Informationen: Janina Fels (Janina.Fels@akustik.rwth-aachen.de) und Bastian Epp (bepp@elektro.dtu.dk).

Veranstaltungsort:

RWTH Aachen

Institut für Technische Akustik (ITA)

Kopernikusstr. 5

52074 Aachen

Programm und Anmeldung:

siehe beiliegendes Faltblatt oder <http://www.dega-akustik.de>

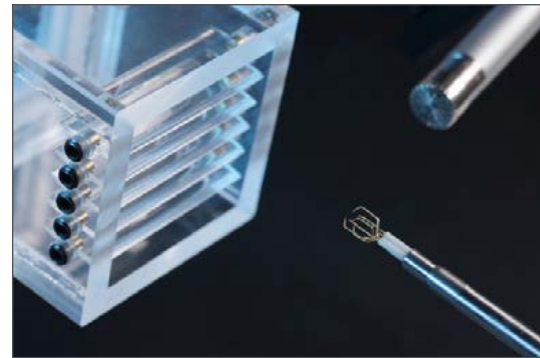
Anmeldeschluss:

Montag, 10.09.2018 ■

19.–21.09.2018

DEGA-Akademie

Kurs „Strömungsakustik – Grundlagen und Anwendungen in Lüftungs- und Klimasystemen“



Der Kurs „Strömungsakustik“ findet zum vierten Mal vom 19. bis 21. September 2018 in Erlangen statt. Er richtet sich an alle Interessierten, die noch keine intensive Erfahrung mit der Strömungsakustik bzw. Aeroakustik haben und ihr Wissen auf diesem Gebiet erweitern wollen.

Referenten:

- Prof. Dr.-Ing. Stefan Becker (Universität Erlangen, Leitung)
- Prof. Dr.-Ing. Jan Delfs (DLR, Braunschweig)
- Prof. Dr. Nicolas Gauger (TU Kaiserslautern)
- Prof. Dr.-techn. Manfred Kaltenbacher (TU Wien, Leitung)
- Prof. Dr. rer. nat. Claus-Dieter Munz (Universität Stuttgart)
- Prof. Dr.-Ing. Ennes Sarraj (TU Berlin)
- Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schröder (RWTH Aachen)
- Prof. Dr. Lars Enghardt (DLR, Berlin)
- Dr.-Ing. Roland Ewert (DLR, Braunschweig)

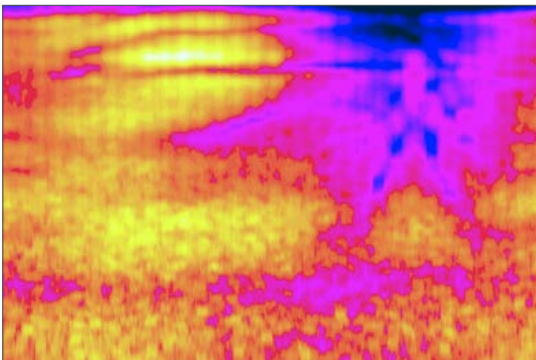
- Dr.-Ing. Florian Krömer (Universität Erlangen)
- Dipl.-Ing. Sebastian Floss (TU Wien)
- M.Sc. Alexander Lodermeier (Universität Erlangen)

Veranstaltungsort:

Universität Erlangen-Nürnberg
Cauerstraße 4, Kurssaal II
91058 Erlangen

Programm, Leistungen, Gebühren und Anmeldung:

siehe DEGA-Webseite <http://www.dega-akustik.de> ■

25.–27.09.2018**DEGA-Akademie****Kurs „Psychoakustik – Grundlagen und Anwendungen“**

Der Kurs „Psychoakustik“ richtet sich an alle, die Kenntnisse im Bereich der Wahrnehmung und Beurteilung von Geräuschen erlangen oder vertiefen möchten. Dabei sollen durch die Vermittlung der Grundlagen der Psychoakustik und deren Anwendung in Bereichen wie Produktgeräuschoptimierung, Umweltgeräuschbewertung und Soundscape, Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus Wissenschaft, Verwaltung und Industrie gleichermaßen adressiert werden.

Leitung und Referent(inn)en:

- Prof. Dr. Brigitte Schulte-Fortkamp, TU Berlin, Institut für Strömungsmechanik und Technische Akustik
- Prof. Dr.-Ing. Klaus Genuit, HEAD acoustics GmbH, Herzogenrath
- Dr. phil. André Fiebig, HEAD acoustics GmbH, Herzogenrath

Veranstaltungsort:

Hotel Ibis Marschtor
Friedlandstr. 6-8
52064 Aachen

Programm, Leistungen, Gebühren und Anmeldung:

siehe DEGA-Webseite <http://www.dega-akustik.de> ■

04.10.2018–06.10.2018**IOA Auditorium Acoustics 2018 Conference
in der Hamburger Elbphilharmonie**

Das britische Institute of Acoustics (IOA) veranstaltet seine „Auditorium Acoustics Conference“ im Jahr 2018 mit Unterstützung der DEGA in Hamburg.

Der inhaltliche Schwerpunkt der Konferenz wird der Konzertsaal in der Hamburger Elbphilharmonie sein, wobei auch eine Führung vorgesehen ist. Es werden Beiträge zu Aspekten des akustischen Designs, zur Simulation und zur Modellierung, zur Psychoakustik und zu historischen Analysen präsentiert. Bei den Tagungsgebühren erhalten DEGA-Mitglieder eine Ermäßigung.

Tagungsort:

Elbphilharmonie
Platz der Deutschen Einheit 1
20457 Hamburg
<http://www.elbphilharmonie.de>

Programm, Gebühren, Anmeldung:

<https://ioa.org.uk/civCRM/event/info?reset=1&id=294> ■

■ Vorschau

18.03.2018–21.03.2019

DAGA 2019

45. Deutsche Jahrestagung für Akustik



Einladung

Die Hansestadt Rostock zusammen mit seinem Seebad Warnemünde ist ein beliebtes Urlaubsziel an der Ostsee und eine Stadt mit langer Historie. Im Jahr 2018 feierte Rostock sein 800-jähriges Bestehen. In diesem Jahr darf nun auch die Wissenschaft, die ebenfalls auf eine lange Tradition in Rostock zurückblicken kann, einen runden Geburtstag begehen – 1419 gegründet, ist die Volluniversität Rostock die älteste Universität im Ostseeraum. Wir freuen uns, die DAGA zum 600-jährigen Jubiläum der Universität das erste Mal in Rostock ausrichten zu dürfen.

Heute umfasst die Universität neun Fakultäten, die sich in zahlreiche Institute und Kliniken untergliedern. Zusätzlich verbindet die Interdisziplinäre Fakultät als zentrale wissenschaftliche Einrichtung Forschende und Studierende aller Fachrichtungen. Aktuell werden etwa 13.800 Studentinnen und Studenten in über 100 Studiengängen ausgebildet. Die Hochschule für Musik und Theater Rostock, sowie die Seefahrtsschule der Hochschule Wismar ergänzen das lokale Bildungs- und Forschungsangebot.

Veranstaltungsort der DAGA 2019 ist die Stadthalle Rostock. Direkt am Hauptbahnhof gelegen verfügt sie über eine hervorragende Verkehrsanbindung. Das nahe gelegene historische Stadtzentrum sowie der Stadthafen bieten sich für einen Restaurantbesuch oder einen entspannten Spaziergang an.

Wir empfehlen Ihnen, die Zeit auch für einen Ausflug nach Warnemünde und dessen weitläufigen Sandstrand zu nutzen. Warnemünde ist leicht mit der S-Bahn zu erreichen.

Als besonderes Highlight möchten wir Sie zu einem geselligen Abend in das dortige Kreuzfahrtterminal einladen. Der freie Blick auf die Hafeneinfahrt bietet die Gelegenheit zum abendlichen Beobachten des regen Schiffsverkehrs.

Im Namen der Universität Rostock heißen wir Sie herzlich willkommen zur DAGA 2019!

Sascha Spors und Frank-Hendrik Wurm
Tagungsleiter

Veranstaltungsort

Stadthalle Rostock

Südring 90

18059 Rostock

<http://www.messe-und-stadthalle.de>

Wichtige Termine zur DAGA 2019

- ab September 2018: Online-Anmeldung zur Teilnahme und Einreichung von Poster- und Vortragsanmeldungen möglich
- Oktober 2018: umfassende Informationen zur DAGA 2019 im nächsten Akustik Journal
- 1. November 2018: letzter Termin für die Anmeldung von Beiträgen (Vorträge und Poster)
- Anfang Februar 2019: Versand des Programms an die angemeldeten Teilnehmer, Programm im Internet
- 31. Januar 2019: letzter Termin für die Anmeldung zu den günstigen „frühen“ Teilnahmegebühren
- 18. März 2019: Vorkolloquien, DEGA-Mitgliederversammlung
- 18.–21. März 2019: Tagung DAGA 2019
- Frühjahr 2019: Alle Teilnehmer erhalten per E-Mail den Online-Zugang zum Tagungsband

Rahmenprogramm

- Montag, 18. März 2019: Begrüßungsempfang im Ausstellungsbereich
- Mittwoch, 20. März 2019: Geselliger Abend für alle DAGA-Teilnehmenden
- Darüber hinaus sind interessante Fachexkursionen geplant.

Tagungsbegleitende Ausstellung

Die wissenschaftliche Tagung wird von einer Firmenausstellung begleitet, die die Kontaktvernetzung zwischen Theorie und Praxis pflegt und Unternehmen die Möglichkeit bietet, ihre Produkte und Dienstleistungen vorzustellen. Sie ist von Dienstag, den 19.03.2019 (10:00 Uhr) bis Donnerstag, den 21.03.2019 (14:00 Uhr) geöffnet.

Die Anmeldung zur Ausstellung beginnt im Herbst 2018. Nähere Informationen für Aussteller (Standpläne, Standortfotos, Preise, Zufahrt- und Parkmöglichkeiten) sowie das Anmeldeformular zur Ausstellung finden Sie ab Herbst auf der Seite <http://www.daga2019.de/ausstellung/>.

Anmeldung zur Teilnahme

Die Anmeldung zur Teilnahme ab September 2018 erfolgt über das Online-Anmeldeformular auf <http://www.daga2019.de/anmeldung/>.

Alle angemeldeten Teilnehmer erhalten ab Anfang Februar 2019 das Programmheft per Post. Das Tagungsprogramm sowie die Manuskripte der Beiträge (Vorträge und Poster) werden online veröffentlicht. Jeder registrierte Tagungsteilnehmer erhält den Online-Zugang im Frühjahr 2019 per E-Mail.

Beitragsanmeldung

Sie sind herzlich eingeladen, Beiträge als Poster oder als mündliche Vorträge zur Tagung einzureichen und zu präsentieren. Die Anmeldung von Beiträgen erfolgt bis zum 1. November 2018 über die Webseite <http://www.daga2019.de/de/autoren/> bei zeitgleicher Eingabe einer Kurzfassung, deren Umfang 200 Wörter nicht überschreiten soll. Die Tagungssprache ist Deutsch, Beiträge in englischer Sprache sind jedoch zugelassen.

Hotels und Tourismus

Ab Sommer 2018 finden Sie das exklusiv für die DAGA bereitgestellte Hotelkontingent unter <http://www.daga2019.de/tagungsort>.

Veranstalter

- Deutsche Gesellschaft für Akustik (DEGA)
- Institut für Nachrichtentechnik, Fakultät für Informatik und Elektrotechnik, Universität Rostock
- Lehrstuhl Strömungsmaschinen, Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik, Universität Rostock

unter Mitwirkung von

- Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG)
- Informationstechnische Gesellschaft (ITG) im VDE
- DIN/VDI - Normenausschuss NALS

Kontakt

Julia Schneiderheinze

Deutsche Gesellschaft für Akustik e. V.

Tel: 030 / 340 60 38 03

E-Mail: tagungen@dega-akustik.de ■

■ Veranstaltungsrückblick

25.04.2018

„Laut war gestern“

21. Tag gegen Lärm 2018



Am 25. April 2018 fand der 21. Tag gegen Lärm – International Noise Awareness Day statt. „Laut war gestern“ war das Motto und verdeutlicht, dass in vielen Bereichen in den letzten Jahren Erfolge erzielt wurden. Aber der Slogan zeigt auch, dass der Wunsch nach einer angenehmen akustischen Umwelt in der Bevölkerung sehr groß ist. Viele Bürgerinnen und Bürger, Verbände, Schulen und Hörgeräteakustiker haben dies mit ihren über 100 auf der Website eingetragenen und vielen zusätzlichen Aktionen bestätigt.

Die zentrale Veranstaltung zum Tag gegen Lärm, die von der DEGA gemeinsam mit dem Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten des Landes Rheinland-Pfalz organisiert wird, wird am 15. Juni 2018 in Berlin in acht Vorträgen unter dem Motto „Laut war gestern – Straßenverkehrskonzepte heute“ verschiedene Straßenverkehrsstrategien thematisieren. Die interessierte Öffentlichkeit, Fachleute aus der Verwaltung und aus Ingenieurbüros sowie Vertreterinnen und Vertreter der Politik und der Presse sind zu dieser Veranstaltung eingeladen, um über Erfahrungen u. a. mit neuen Verkehrskonzepten und die Zukunft der Mobilität oder auch Elektromobilität sowie Dialogformen informiert zu werden. Detaillierte Informationen zur Veranstaltung erhalten Sie unter <http://www.tag-gegen-laerm.de/aktuelle-aktionen/-2>.

Wie auch schon in den letzten Jahren, war der Tag gegen Lärm auf vielfältige Weise in den verschiedenen Medien vertreten. Zahlreiche Beiträge wurden in überregionalen und regionalen Zeitungsmedien (z. B. Süddeutsche Zeitung, Tagesspiegel, Frankfurter Rundschau) insbesondere online veröffentlicht und neben diesen wurden auch umfangreiche Fernseh- und Radiobeiträge (RBB-Abendschau, NDR, Deutschlandfunk Kultur, etc.) zum Thema gesendet. Auch in anderen sozialen Medien war der Tag gegen Lärm Gegenstand von vielen Diskussionen. Informationen im Detail sind unter <http://www.tag-gegen-laerm.de> abrufbar. („Der Tag gegen Lärm 2018 in den Medien“). Neu in diesem Jahr sind ein Twitter- und ein

Facebook-Kanal, die direkt vom Team der Deutschen Gesellschaft für Akustik organisiert wurden. Klicken Sie doch unseren Twitter-Kanal mit zahlreichen Informationen rund um den Tag gegen Lärm mal an: <https://twitter.com/TGL2018>.

Eine hervorragende Bilanz, zu der alle Akteurinnen und Akteure überzeugend beigetragen haben. Herzlichen Dank dafür! Ein besonderer Dank geht in diesem Jahr auch wieder an die BG BAU und den Gesundheitsladen München, sowie unbedingt an die Förderer und Sponsoren.

Das Datum des 22. Tag gegen Lärm – International Noise Awareness Day 2019 steht bereits fest. Er wird am 24. April 2019 stattfinden. ■

*Evelin Baumer
Brigitte Schulte-Fortkamp*

■ Kalender

■ 18.–20.06.2018 in Drübeck:

Workshop des Fachausschusses Ultraschall,
siehe <https://www.dega-akustik.de/fachausschuesse/us/>

■ 26.–29.08.2018 in Chicago (USA):

Inter-Noise 2018,
siehe <http://www.internoise2018.org>

■ 11.09.2018 in Bad Grund:

Sitzung des Fachausschusses Bau- und Raumakustik,
siehe Seite 63

■ 11.–14.09.2018 in Ustka (PL):

Polish-German Structured Conference on Acoustics,
siehe Seite 52 und <http://pgsca2018.pl>

■ 17.–18.09.2018 in Aachen:

12. DEGA-Symposium „Interdisciplinary Topics in Acoustics: Physiology and Virtual Reality“,
siehe Seite 52 und <http://www.dega-akustik.de>

■ 19.–21.09.2018 in Erlangen:

DEGA-Akademie-Kurs „Strömungsakustik – Grundlagen und Anwendungen in Lüftungs- und Klimasystemen“,
siehe Seite 52f und <https://www.dega-akustik.de/aktuelles/>

■ 21.–23.09.2018 in Bad Honnef:

Workshop „Physik trifft Musik“ der Fachgruppe junge DEGA, der jDPG und dem Fachausschuss Musikalische Akustik,
siehe Seite 61

■ 25.–26.09.2018 in Dresden:

Herbstworkshop des Fachausschusses Fahrzeugakustik,
siehe Seite 63

■ 25.–27.09.2018 in Aachen:

DEGA-Akademie-Kurs „Psychoakustik - Grundlagen und Anwendungen“,
siehe Seite 53 und <https://www.dega-akustik.de/aktuelles/>

■ 04.–06.10.2018 in Hamburg:

IOA Auditorium Acoustics 2018 Conference,
siehe Seite 53 und <https://ioa.org.uk/civicrm/event/info?reset=1&id=294>

■ 10.–12.10.2018 in Oldenburg:

13. ITG Fachtagung Sprachkommunikation, einschließlich Treffen des Fachausschusses Sprachakustik,
siehe Seite 65 und <https://www.uni-oldenburg.de/itg2018/>

■ 18.–19.10.2018 in Bad Honnef:

24. Workshop „Physikalische Akustik“,
siehe Seite 65

■ 02.–04.11.2018 in Detmold:

Konferenz „Technologien des Singens“,
siehe <http://www.hfm-detmold.de/die-hochschule/forschung/aktuelle-projekte/technologien-des-singens-dfg/>

■ 18.–21.03.2019 in Rostock:

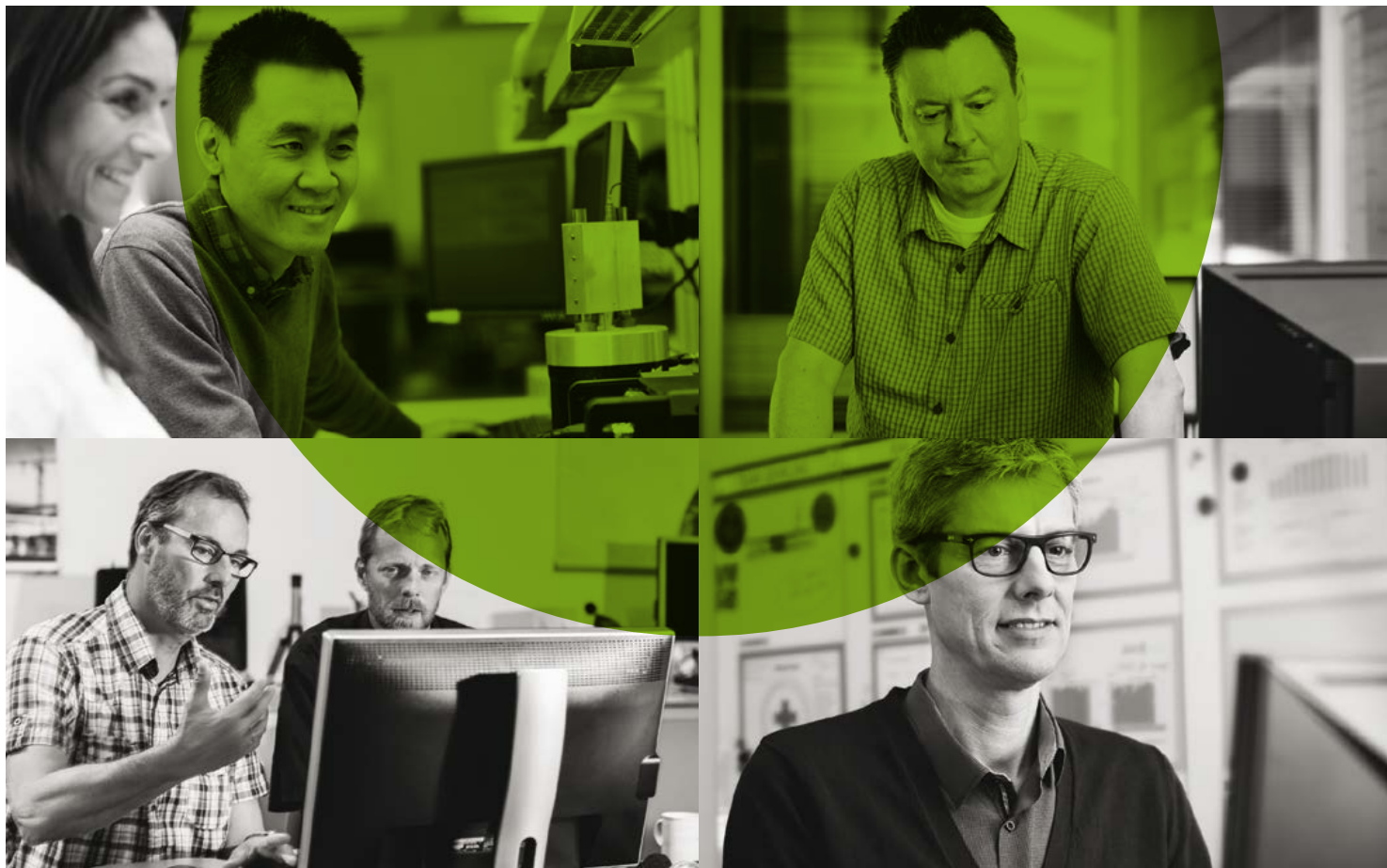
Jahrestagung DAGA 2019,
siehe Seite 54f und <http://www.daga2019.de>

■ 09.–13.09.2019 in Aachen

23rd Int. Congress on Acoustics (ICA 2019) / EAA Euroregio,
siehe <http://ica2019.org>

Weitere Termine (International) finden Sie im Newsletter „EAA Nuntius“:
<http://euracoustics.org/news/ea-newsletter>

SCHALL- UND SCHWINGUNGS- SOFTWARE, DIE SO ARBEITET, WIE SIE ARBEITEN



BK CONNECT™ – EINE FLEXIBLE SOFTWARE-PLATTFORM, DIE AUF IHRE BEDÜRFNISSE UND AUFGABEN ZUGESCHNITTEN IST

Mit ihren vielen innovativen Funktionen und Eigenschaften ist BK Connect – die neue Softwareplattform von Brüel & Kjær für Schall- und Schwingungsanalysen – genau auf Ihre Arbeitsabläufe, Bedürfnisse und Aufgaben zugeschnitten, damit Sie Zugriff auf das haben, **was Sie brauchen, wenn Sie es brauchen**. Diese benutzerfreundliche Plattform vereinfacht Test- und Analyseabläufe. So arbeiten Sie intelligenter, mit größerer Flexibilität und **wesentlich geringerem Fehler-Risiko**.



Nachrichten und Mitteilungen aus der Fachgesellschaft

■ Protokoll der Mitgliederversammlung

am Montag, den 19. März 2018 um 17:00 Uhr im Hörsaal MW 1801 der Technischen Universität München

1. Begrüßung

Der Präsident der DEGA, Michael Vorländer, eröffnet die Mitgliederversammlung, begrüßt die ca. 95 anwesenden Mitglieder und stellt die Beschlussfähigkeit fest.

2. Genehmigung der Tagesordnung

Die Einladung mit Tagesordnung wurde allen Mitgliedern im Akustik Journal Nr. 01/18 fristgerecht zugestellt. Diese Tagesordnung wird ohne Ergänzungen angenommen.

3. Bericht des Vorstands

Einleitend fasst Herr Vorländer die wichtigsten Ereignisse und Entwicklungen seit der letzten Mitgliederversammlung vor einem Jahr zusammen:

- Als große Neuerung ist die erste Ausgabe der neuen DEGA-Zeitschrift „Akustik Journal“ erschienen. Herr Vorländer bedankt sich insbesondere bei Herrn Krahé (dem Chefredakteur), dem Redaktionsbeirat, bei Frau Baumer sowie den Autor(inn)en für ihr Engagement. Er ruft alle Mitglieder dazu auf, für die kommenden Ausgaben Beiträge einzureichen.
- Die DEGA hat derzeit ca. 1.950 persönliche Mitglieder. Seit etwa zwei Jahren hat sich die Mitgliederzahl, mit leichtem Zuwachs, auf hohem Niveau stabilisiert.
- Die DAGA-Tagung 2017 in Kiel war sehr erfolgreich. Besonders in positiver Erinnerung bleiben die „Nacht der Akustik“ mit dem akustischem Ratespiel sowie das begleitende Sportprogramm.
- Als eine besondere Ehrung erhielt Hugo Fastl den „EAA Award 2017 for Lifetime Achievements in Acoustics“.
- Im zurückliegenden Jahr hat der Vorstand sechs neue Projekte bewilligt:
 - Workshop „junge DEGA“ 2017,

- Geschichte der Akustik, 9. Heft,
- Beurteilungspegel für Geräusche aus gebäudetechnischen Anlagen,
- International School Day 2017 „Akustik“,
- Konzept „Mentoring-Programm“ der Fachgruppe „junge DEGA“,
- Klärung des Bedarfs und der technischen Möglichkeiten für eine Forschungsdatenbank im Fachgebiet Akustik.

- Der Vorstandsrat der DEGA hat einstimmig beschlossen, dass sich die DEGA mit der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) gemäß Satzung §25(3) assoziiert. Hiermit verbunden ist eine gegenseitige Entsendung von Vertretern in die jeweiligen Vorstandsrate. Seitens der DEGA wird jeweils der Leiter des Fachausschusses Physikalische Akustik (momentan Herr Bös) die DEGA in der DPG vertreten.

Es folgen Berichte der übrigen Mitglieder des Vorstands über die Aktivitäten der DEGA, die in ihrer jeweiligen Verantwortung liegen:

- Herr Genuit verweist auf einen Zuwachs der Fördermitglieder innerhalb des letzten Jahres von 74 auf 79. Die Einnahmen aus Fördermitgliedschaften, Ausstellung, Sponsoring und Werbung haben mittlerweile einen recht hohen Anteil an den gesamten DEGA-Einnahmen.
- Herr Sarraj berichtet von zwei neu erschienenen Heften innerhalb der Schriftenreihe „Geschichte der Akustik: „Große Wissenschaftler mit Beiträgen zur Akustik“ (Heft 8, Koltzsch/Künzel) und „Kundtsche Staubfiguren, Waetzmansche Horchübungen, Schustersche Brücke“ (Heft 9, Koltzsch).
- Frau Schulte-Fortkamp blickt auf den 20. Tag gegen Lärm - International Noise Awareness Day zurück. Neben vielen Einzelveranstaltungen unter dem Motto „Akustische Vielfalt in Deutschland“ und zentralen Einzel-

veranstaltungen der DEGA bzw. des ALD gab es auch internationale Aktivitäten: Ein EAA/WHO-Workshop „Noise in Europe“ in Brüssel mit 460 Teilnehmenden sowie ein EU-weiter Wettbewerb „Sounds of my place“ für Schülerinnen und Schüler.

- Herr Seeber verweist auf eine neu erschienene Version der DEGA-Empfehlung 103 „Schallschutzausweis“. Nach Abschluss des Einspruchsverfahrens hat der Vorstandsrat der Veröffentlichung im Januar 2018 zugestimmt. Ferner stellt er die neue DAGA-App vor, die als DEGA-Eigenproduktion ab sofort zur Verfügung steht. Als browser-basierte App wird diese laufend aktuell gehalten; für den eigenen Kalender müssen Cookies aktiviert sein.
- Herr Verhey erläutert als Sprecher des Hochschulbeirats, dass beim Projekt „Dissertationsregister“ Einträge aus der Zeit von 1950 bis 2000 weiterhin eingepflegt werden (im letzten Jahr vorwiegend aus Berlin). Er berichtet ferner, dass der Vorstand eine Überarbeitung der Fachausschuss-Muster-geschäftsordnung angeregt hat.

Herr Klemenz blickt auf den Umzug der Geschäftsstelle vor einem Jahr zurück. Aufgrund der höheren Kapazitäten und des guten Komforts fühlt sich das DEGA-Personal dort sehr wohl. Die Mietkosten haben sich zwar erhöht; günstigere Büroflächen sind in Berlin derzeit aber kaum zu finden.

Im Jahr 2017 fanden vier Kurse der DEGA-Akademie statt, nämlich „Grundlagen der Technischen Akustik“ (Berlin), „Bauakustik“ (Braunschweig), „Raumakustik und Beschallungstechnik“ (Aachen) und erstmals ein neuer Kurs „Psychoakustik“ (Berlin). Herr Klemenz dankt allen Kursleiter(inne)n für ihren Einsatz. Im Jahr 2018 werden wieder die Kurse „Bauakustik“ (Braunschweig), „Strömungsakustik“ (Erlangen) und „Psychoakustik“ (Aachen) angeboten.

Im zurückliegenden Jahr hat die DEGA sechs „Young Scientist Grants“ vergeben, und zur laufenden DAGA werden 12 junge Teilnehmer(innen) mit einem „DEGA Student Grant“ gefördert.

4. Finanzbericht

Herr Klemenz erläutert den Finanzrechnungsbereichsbericht für das Jahr 2017 sowie den vom Vorstand aufgestellten und vom Vorstandsrat genehmigten Finanzplan für 2018, jeweils unterteilt in Ein- und Ausgaben. Er erläutert auch die sich daraus ergebenden Rücklagen der DEGA.

Im Jahr 2017 entsprechen die meisten Positionen im Wesentlichen der Planung, wobei die Überschüsse der Akademie-Kurse die Planungen übersteigen und die Ausgaben für Personal höher ausfielen. Dadurch haben sich die Rücklagen gegenüber dem Jahr 2016 verringert.

In der Planung für das Jahr 2018 sind erstmals nach 2015 wieder Zuschüsse des Umweltbundesamtes für den Tag gegen Lärm und den Arbeitsring Lärm der DEGA (ALD) enthalten. Ansonsten enthält die Kalkulation höhere Ausgaben in den Bereichen Personal, Büromiete und Zeitschrift, die als Investition in die Zukunft aufgefasst werden können, um auch künftig für ausgeweitete Tätigkeiten vorbereitet zu sein. Die Einnahmen werden die Ausgaben zwar nicht abdecken; allerdings enthält die Kalkulation einige „Worst-Case-Abschätzungen“, und im kommenden Jahr kann aufgrund der ICA-Tagung wieder ein Überschuss erwartet werden. So hat der Vorstandsrat den Finanzplan für 2018 bereits genehmigt.

5. Bericht der Rechnungsprüfer

Bei der letzten Mitgliederversammlung wurden Volker Wittstock und Stephan Lippert als Rechnungsprüfer gewählt. Beide Prüfer berichten, dass die Kasse der DEGA im Geschäftsjahr 2017 wieder einwandfrei und übersichtlich geführt wurde. Alle Einzelbuchungen und Rücklagen sind belegbar; in umfangreichen Stichproben konnten keine Unregelmäßigkeiten festgestellt werden.

Herr Vorländer dankt Herrn Wittstock und Herrn Lippert für den Bericht und

Herrn Klemenz für die einwandfreie Kassenführung. Da Herr Wittstock sein Amt als Rechnungsprüfer nach vier Jahren abgeben möchte, dankt ihm Herr Vorländer für seinen Einsatz in diesem wichtigen Ehrenamt.

6. Entlastung des Vorstands

Auf Antrag von Herrn von Estorff werden Vorstand und Geschäftsführer einstimmig entlastet, wobei sich die Vorstandsmitglieder und der Geschäftsführer bei dieser Abstimmung nicht beteiligen.

7. Wahl der Rechnungsprüfer

Herr Lippert hat sich bereit erklärt, als Rechnungsprüfer der DEGA weiterhin zur Verfügung zu stehen. Herr Thomas Geyer ist ebenso bereit, dieses Amt neu anzunehmen. Beide werden ohne Gegenstimmen in dieses Amt gewählt, und Herr Vorländer dankt ihnen für ihre Bereitschaft.

8. Berichte aus den Fachausschüssen und Fachgruppen

Die Vertreter(innen) der einzelnen DEGA-Fachausschüsse (FA) und Fachgruppen (FG) berichten über die Aktivitäten des letzten Jahres sowie über aktuelle Planungen und verweisen auf die kommenden Sitzungen bzw. Versammlungen. Im Folgenden werden die wichtigsten Ereignisse in Stichpunkten aufgezählt:

- FG ALD – Arbeitsring Lärm der DEGA (Regina Heinecke-Schmitt): Rückblick auf vier Workshops in 2017/18 (zweimal „Baulärm“ in Frankfurt/M. und Berlin, „Das Urbane Gebiet“ in Hannover, „Ruhige Gebiete“ in Stuttgart), neue Broschüre „Schienenverkehrslärm“, erfolgreiche Einwerbung von UBA-Zuschüssen
- FA Bau- und Raumakustik (Martin Schneider): Neue Version der Empfehlung „DEGA-Schallschutzausweis“ veröffentlicht, laufendes Projekt „Gebäudetechnische Anlagen“, Rückblick auf Herbstworkshop 2017 in Hamburg
- FA Fahrzeugakustik (Wolfgang Foken): Rückblick auf Herbstworkshop 2017 (München) mit speziellem Fokus u. a. auf Körperschall und Psychoakustik
- FA Hörakustik (Janina Fels): Leitung neu gewählt, Planung des 12. DEGA-Symposiums im Herbst 2018 zum Thema Hörakustik
- FG „junge DEGA“ (Maike Wehmeyer): Leitung neu gewählt, neues Logo, Organisation eines Vorkolloquiums zur DAGA 2017, Rückblick auf Herbstworkshop 2017 (Darmstadt) und den „International School Day“ zusammen mit der „jDPG“ der Dt. Physikalischen Gesellschaft, in 2018 gemeinsamer Herbstworkshop mit jDPG und FA Musikalische Akustik, demnächst Mentoring-Programm
- FA Lärm – Wirkungen und Schutz (André Fiebig): Mitwirkung beim Tag gegen Lärm 2017 sowie bei strukturierten Sitzungen auf internationalen Tagungen
- FA Musikalische Akustik (Malte Kob): Rückblick auf Herbstworkshop 2017 „Richtwirkung von Musikinstrumenten“ (gemeinsam mit FA Virtuelle Akustik in Berlin), in 2018 gemeinsamer Herbstworkshop mit „junge DEGA“ und jDPG, demnächst Unterstützung des DIN zur Bildung einer Arbeitsgruppe „Musical Instruments“, Ausblick auf ISMA-Tagung 2019 in Detmold
- FA Physikalische Akustik (Joachim Börs): Leitung neu gewählt, Rückblick auf Herbstworkshop 2017 in Bad Honnef (Thema „Charakterisierung von Materialien“); Thema des nächsten Workshops demnächst festgelegt
- FA Sprachakustik (Alexander Raake): Zunehmende Vernetzung mit der ITG und der ESSV-Tagung
- FA Strömungsakustik (Manfred Kaltenbacher): Rückblick auf Tagung ICTCA 2017 in Wien und Workshop Strömungsschall 2017 in Wien, Vorschau auf DEGA-Akademie-Kurs „Strömungsakustik“ im Herbst 2018
- FA Ultraschall (Ulrike Steinmann): Workshops in Drübeck zu den Themen „Schallfeldbasierte Messverfahren“ in 2017 und „Messtechnische Anwendungen“ in 2018
- FA Virtuelle Akustik (Franz Zotter): Rückblick auf Herbstworkshop 2017 „Richtwirkung von Musikinstrumenten“ (gemeinsam mit FA Musikali-

sche Akustik in Berlin), demnächst Ergebnisse des Projekts „Stimulus-Datenbank“, neues Projekt „Forschungs-Datenbank“

Herr Vorländer dankt allen Vertreter(inne)n für ihre Berichte und das darin sichtbar gewordene Engagement ihrer Fachausschüsse/-gruppen.

9. Verschiedenes

Herr Klemenz erläutert, dass DEGA-Mitglieder seit 2011 eine jährliche CD-ROM der Zeitschrift „Acta Acustica united with Acustica“ mit allen sechs Ausgaben des Jahres kostenlos erhalten, wenn Sie diese jeweils auf der DEGA-Webseite bestellen. Die Nachfrage ist allerdings seit 2011 von ca. 100 auf ca. 50 zurückgegangen, und der Stückpreis hat sich von 12 € (2012) auf 33 € (2018) erhöht. Der Vorstand schlägt vor, die CD künftig zum Selbstkostenpreis anzubieten, falls die Mitglieder in ausreichender Anzahl hieran weiterhin interessiert sind. Von den Anwesenden erklärt aber nur ein Mitglied sein Interesse. Daher

wird beschlossen, die CD-ROM mangels Nachfrage künftig nicht mehr anzubieten, zumal die Zeitschrift in naher Zukunft ohnehin frei zugänglich („open access“) sein wird.

10. Termin der nächsten Mitgliederversammlung

Die nächste Mitgliederversammlung wird voraussichtlich am Montag, den 18.03.2019 um 17:00 Uhr während der DAGA 2019 in Rostock stattfinden. Termin und Ort werden im Akustik Journal vier Wochen vorher bekannt gegeben. Herr Vorländer dankt allen Anwesenden und schließt gegen 18:20 Uhr die Mitgliederversammlung.

Berlin, den 01.06.2018 ■

Martin Klemenz
(Geschäftsführer der DEGA),
Michael Vorländer
(Präsident der DEGA)

■ Hinweise zum Datenschutz

Seit Ende Mai 2018 gelten in der EU neue Datenschutz-Bestimmungen. Hierzu hat die DEGA ein Dokument mit Hinweisen zum Datenschutz erstellt. Neue Mitglieder müssen bei ihrem Beitritt künftig ihre Einwilligung zu diesen Hinweisen geben.

Auch bestehende Mitglieder können diese Hinweise jederzeit auf der Webseite <https://www.dega-akustik.de/mitglieder-und-beitritt/service/> einsehen und sich insbesondere darüber informieren, wie die DEGA personenbezogene Daten verarbeitet und welche Rechte bzw. Möglichkeiten des Widerrufs bestehen. ■

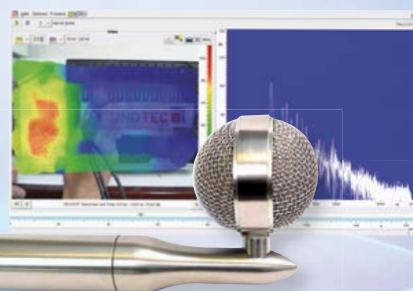
www.soundtec.eu

SOUNDTEC

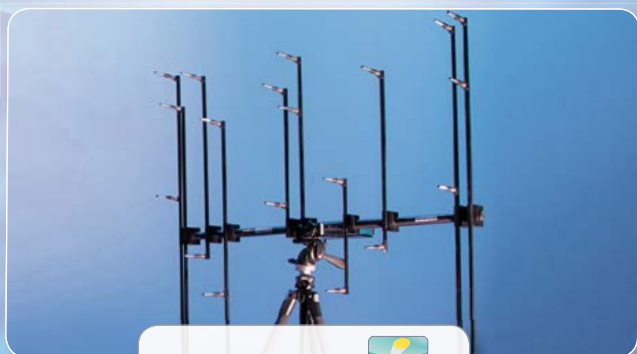
High-Precision Hard- und Software
für Entwicklung, Prüfstand und Produktionstest



LivePad-X



SoundFlow Sensor



siTracer



LiveRec24+



■ Fachausschüsse / Fachgruppen

Fachgruppe „junge DEGA“



Vorsitzender:

B.Sc. Martin Heroldt, Uppenkamp und Partner GmbH, Berlin
martin.heroldt@web.de

Die Fachgruppe junge DEGA ist die Anlaufstelle für alle jungen Akustikerinnen und Akustiker. Sie ist offen für alle Studierenden, Promovierenden und Berufseinsteigenden, die das erste Mal die DAGA besuchen oder sich über ihre Ausbildung und Arbeit hinaus vernetzen und inspirieren lassen wollen. Deshalb hieß auch dieses Jahr die junge DEGA schon am Vorabend der offiziellen Eröffnung der DAGA München alle Interessierten willkommen zum Ice Breaker mit anschließendem Kneipenabend in einer studentischen Bar auf dem Campus der TU München. So entstand gleich zu Beginn der Tagung die Möglichkeit, sich kennen zu lernen oder wiederzusehen. Die Themen in der jungen DEGA sind weniger fachspezifisch; vielmehr stehen orientierende Fragen im Mittelpunkt: Je nach Ausbildungsabschnitt sind das Studium, Abschlussarbeiten und Praktika, Förderungen wie die DEGA Student Grants, später Promotionsstellen, Jobeinstieg oder allgemein der Einblick in die Forschungs- und Anwendungsfelder der Akustik. Bis die Kneipe gegen Mitternacht ihre Türen schloss, hatten die Gesprächsthemen allerdings längst aufgehört ausschließlich um fachliche Fragen zu kreisen. Nach dem regen Austausch waren alle gut eingestimmt auf die kommenden Tage voller Vorträgen und vielversprechendem Programm. Mit der Fachgruppensitzung der jungen DEGA fiel gleichzeitig der Startschuss für das neue Mentoring-Programm. Mitglieder, die sich in der Promotion befinden oder darauf vorbereiten, haben die Möglichkeit, im Rahmen eines Tandem-

Mentorings von den Erfahrungen und dem fachlichen Wissen eines Mentors oder einer Mentorin aus den Reihen der DEGA zu profitieren. Als Mentee kann man so wertvolle Impulse und Unterstützung für den eigenen Berufsweg bekommen. Gleichzeitig hat ein Mentor oder eine Mentorin die Chance, am frischen Wind und den Ideen der Jüngeren teilzuhaben. Interessierte, sowohl von Seiten der jungen DEGA als auch mögliche Tandem-Partner, sind eingeladen sich bei der Leitung der jungen DEGA zu melden.

Im Rahmen der Fachgruppensitzung wurde Maik Wehmeyer als bisherige Vorsitzende entlastet und eine neue Leitung gewählt. Bis zur nächsten DAGA werden Martin Heroldt als Leiter und Dorothea Lincke als stellvertretende Leiterin in der jungen DEGA aktiv sein. Beide stehen gern für Fragen über die Facebookseite oder per E-Mail zur Verfügung.

Die nächste große Veranstaltung im Kalender der jungen DEGA ist der diesjährige Herbstworkshop zum Thema „Physik trifft Musik“. In einem Kooperationsworkshop treffen sich dafür vom 21.–23.09.2018 die junge DEGA mit der jungen Deutschen Physikalischen Gesellschaft (jDPG) und dem DEGA-Fachausschuss Musikalische Akustik im Tagungszentrum der DPG in Bad Honnef. Der Workshop richtet sich an alle Mitglieder und Interessierten der kooperierenden Fachgruppen sowie an Lehrkräfte, die sich für Methoden der Vermittlung von Akustik interessieren. Es sind Vorträge und interaktive Workshops von ExpertInnen sowohl aus der Forschung als auch aus dem Instrumentenbau geplant; außerdem wird eine Exkursion in eine Instrumentenwerkstatt stattfinden. Es gibt ebenso die Gelegenheit eigene Vorträge und Workshops durchzuführen. Neben fachlichen Themen geht es auch beim Herbstworkshop um Kennenlernen, Austausch und eine gute Portion Spaß. Die Anmeldung wird voraussichtlich ab Anfang Juli auf der Seite <https://www.dega-akustik.de/jd> freigeschaltet. Die Teilnahmeplätze sind

begrenzt, daher empfehlen wir eine rechtzeitige Anmeldung! ■

*Dorothea Lincke
Martin Heroldt*

Arbeitsring Lärm der DEGA (ALD)



Vorsitzender:

Dipl.-Ing. Michael Jäcker-Cüppers, Berlin
m.jaecker-cueppers@ald-laerm.de

Der ALD hat eine neue Leitung



Auf der 10. Mitgliederversammlung des ALD am 21.03.2018 in Garching bei München wurde turnusgemäß – eine „Amtsperiode“ dauert drei Jahre – eine neue Leitung gewählt. Vorsitzender der Leitung ist Michael Jäcker-Cüppers, die beiden Stellvertreter sind Dr. Christian Beckert und Dirk Schreckenberger. M. Jäcker-Cüppers und D. Schreckenberger gehörten schon der alten Leitung an, C. Beckert ist seit 1993 im Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt für Lärmminimierung in der Umwelt zuständig. Die Zusammensetzung der neuen Leitung hat also die bewährte gute Mischung aus den Bereichen des praktischen Immissionsschutzes auf Landes-, Bundes- sowie europäischer Ebene und der Lärmwirkungsforschung.

Die neue Leitung freut sich über alle Beiträge zur Arbeit des ALD. Ihre Kontaktdaten sind unter <http://www.ald-laerm.de/ald/wir-ueber-uns/organe-und-einrichtungen-des-ald/ald-leitung/>

zu finden. Sie dankt der scheidenden Vorsitzenden der alten Leitung, Dr. Regina Heinecke-Schmitt für die engagierte und kompetente Arbeit in den letzten drei Jahren, die wegen der ausgebliebenen Förderung durch das Bundesumweltministerium nicht einfach war.

UBA-Projektförderung

Für die nächsten zwei Jahre wird der ALD – zusammen mit der DEGA-Aktion „Tag gegen Lärm“ – in Form der Verbändeförderung im Projekt „Lärmschutz-Lösungen für die neuen Herausforderungen in der Stadtentwicklung“ vom Bundesumweltministerium finanziell unterstützt. Im Zeitraum vom 01.04.2018 bis zum 31.03.2020 stehen für das gemeinsame ALD/TGL-Projekt mehr als 100.000 € zur Verfügung. Thematischer Schwerpunkt des Projekts sind die neuen Herausforderungen an den Lärmschutz, die sich durch Bevölkerungswachstum in den Ballungsräumen, das Leitbild einer weltoffenen Stadt, den demografischen Wandel, das Erfordernis der Umweltgerechtigkeit und die gestiegene Sensibilität der Bevölkerung ergeben.

Der Fokus liegt vor allem auf der Öffentlichkeitsarbeit. Dabei soll insbesondere die Kommunikation zwischen Fachleuten, Bevölkerung, NGOs, Verwaltung/Politik und Verursachern geführt und moderiert werden. Besonderes Gewicht wird auf innovative Lösungen und gute städtebauliche Beispiele gelegt, die die Vereinbarkeit von städtischer Lebensdigkeit und hohem Lärmschutzniveau demonstrieren.

Bericht zur Strukturierten Sitzung des ALD auf der DAGA 2018, „Aktuelle Ergebnisse der Lärmwirkungsforschung zum Umgebungslärm“

Die sehr gut besuchte ALD-Sitzung auf der diesjährigen DAGA 2018 am 22.03.2018 in München widmete sich der Lärmwirkungsforschung. Hier wurden neueste Ergebnisse aus Deutschland und der Schweiz vorgestellt.

Die Vortragssitzung startete mit einem Vortrag von Martin Röösl von der Universität Bern zu zentralen Ergebnissen der umfassenden Schweizer Studie Si-

RENE (Short and Long Term Effects of Transportation Noise Exposure).

Drei weitere Vorträge widmeten sich dem Vorschlag der Einführung von Maximalpegelkriterien für die Beurteilung des nächtlichen Schienenverkehrslärms. Es wurden zunächst verschiedene Expositions-Wirkungskurven zu den Wirkungen des nächtlichen Schienenverkehrslärms als Ergebnis von Re-Analysen von Daten aus der NORAH-Studie und der DEUFRAKO-Bahnlärmstudie des DLR vorgestellt (Dirk Schreckenberger, ZEUS GmbH, u. a. in Vertretung von Uwe Müller vom DLR e.V., Köln): (1) zum Prozentanteil hoch durch Schienenverkehrslärm schlafgestörter Personen bezogen auf den nächtlichen Dauerschallpegel und den höchsten Maximalpegel über alle Zugarten und (2) zur physiologischen Aufwachwahrscheinlichkeit durch den ereignisbezogenen Maximalpegel von Güter- und Personenzuggeräuschen. Im Anschluss stellte Ulrich Möhler von der Möhler+Partner Ingenieure AG, München, dar, wie anhand der zuvor ermittelten Expositions-Wirkungskurven für den Prozentanteil schlafgestörter Personen und der Wahrscheinlichkeit zusätzlicher, bahnlärmbedingter Aufwachreaktionen ein „psychologisches“ und ein „physiologisches“ Maximalpegelkriterium abgeleitet wurde. Anhand von Fallbeispielen stellte er die Auswirkungen vor.

Frieder Kunz von der TH Bingen berichtete über die Ergebnisse einer Studie zu den Erschütterungen des Eisenbahnverkehrs am Mittelrhein und welche Auswirkungen diese auf die Erschütterungs- und Lärmbelastigung von Anwohnern haben. In der Studie wurden an der Mittelrheinstrecke in den Innenräumen von Anwohnern durch den Bahnverkehr verursachte nächtliche Erschütterungen- und Innengeräuschpegel gemessen und die Anwohner zur Belästigung und den Schlafstörungen befragt.

Den Abschluss bildete der Vortrag von Rainer Guski von der Ruhr-Universität Bochum. Er berichtete über ein gerade gestartetes Vorhaben einer deutsch-schweizerischen Forschungskoope- ration (EMPA, Ruhr-Universität, ZEUS GmbH). In dem Forschungsprojekt geht es darum, anhand von Fluglärm-

wirkungsdaten aus Deutschland und der Schweiz die Expositions-Wirkungs- beziehung zur Fluglärmbelästigung anhand verschiedener akustischer Kenn- größen zu untersuchen. Es wird geprüft, ob in Ergänzung zum Dauerschallpegel, weitere Kenngrößen einzeln oder in Kombination (z. B. Maximalpegel kom- biniert mit Flugbewegungszahlen) die Erklärung/Vorhersage der Fluglärmbelästigung verbessert bzw. die Wahl alternativer Halbierungsparameter im Mittelungspegel zu einer Verbesserung der Vorhersage führen.

Zu allen Vorträgen liegen Manuskripte vor, die im Archiv der Online-Proceedings der DEGA (<https://www.dega-akustik.de/publikationen/online-proceedings/>) bereitgestellt sind.

Band 3 der ALD-Schriftenreihe jetzt online verfügbar



Unter dem Titel „Schienenverkehrslärm – Ursachen-Wirkungen-Schutz“ erschien Anfang März 2018 der dritte Band der ALD-Schriftenreihe.

Die hohen Belastungen an Schienen- trassen und das politische Ziel einer verstärkten Verkehrsverlagerung auf die Schiene erfordern deutlich stärkere Be- mühungen um Lärminderung als bis- her. Die damit einhergehende Verbesse- rung des Gesundheitsschutzes und der gesellschaftlichen Akzeptanz wird nur im Einklang mit allen Akteuren – den Bahnen, den Gemeinden, den Bundes- ländern, dem Bund und der Europäi- schen Union unter angemessener Betei- ligung der Betroffenen – erreichbar sein. Diese Broschüre verfolgt das Ziel, die betroffenen Gemeinden und ihre Bür- gerinnen und Bürger über die Möglich-

keiten zum Lärmschutz zu informieren und Hinweise zur Lösungen von Problemen zu bieten. Es unterstützt den fachlich fundierten und sachlichen Dialog mit Bahnen, Politik und Verwaltung, indem die Beteiligten über Fachwissen verfügen und sich in der gleichen Terminologie verständigen können. Deshalb vermittelt die Broschüre die physikalisch-technischen Grundlagen der Entstehung von Schienenlärm, erläutert wesentliche Fachbegriffe aus dem Instrumentarium der Lärmvorsorge und der Lärmsanierung und zeigt die rechtlichen Rahmenbedingungen auf, in denen die Beteiligten ihre Belange verfolgen können. Die Broschüre verdeutlicht darüber hinaus, welche Erfolge beim Lärmschutz im Schienenverkehr erreicht wurden und wo die Grenzen der heute geltenden rechtlichen Regelungen liegen. Damit verbunden ist ein Appell an die Politik, den ressourcenschonenden Schienenverkehr stärker finanziell und verkehrspolitisch zu fördern.

Die Broschüre ist unter dem Link http://www.ald-laerm.de/fileadmin/ald-laerm.de/Publikationen/Druckschriften/ALD-Broschuere_Schienenverkehrslaerm_Web.pdf elektronisch verfügbar.

Wir danken allen beteiligten ALD-Mitgliedern und externen Autoren für ihre Mitwirkung! ■

*Michael Jäcker-Cüppers
Christian Beckert
Dirk Schreckenberg*

Fachausschuss Bau- und Raumakustik



Vorsitzender:

M. Sc. Martin Schneider, Hochschule für Technik Stuttgart
martin.schneider@hft-stuttgart.de

Auf der diesjährigen DAGA 2018 in München hat sich der Fachausschuss

aktiv an einer strukturierten Sitzung zur DIN 4109 beteiligt. Die Neufassung der DIN 4109 hat im Bereich der bauakustischen Nachweise wesentliche Änderungen gebracht. Hier wurde über Erfahrungen mit dem neuen Rechenverfahren berichtet. Es wurden neue Daten für den Bauteilkatalog im Holzbau vorgestellt. Kritik gab es vor allem bezüglich der Anforderungen an den Außenlärm beim Schienenverkehr. Hier ist immer noch ein Schlichtungsverfahren im Gange. Weiterhin kritisiert wurden die noch vorhandenen Unsicherheiten bei der bauaufsichtlichen Umsetzung.

Während der DAGA fand auch die 52. Sitzung des Fachausschusses statt, an der ca. 80 Mitglieder teilnahmen. Hier stand die Neuwahl der Vertreter des Fachausschusses in der Fachkommission Schallschutz auf der Tagesordnung. Herr Sorge und Herr Burkhart hatten diese Aufgabe in den letzten drei Jahren übernommen und wurden vom Fachausschuss wiedergewählt.

Die überarbeitete DEGA-Empfehlung 103 wurde im Januar 2018 veröffentlicht und kann von der DEGA-Webseite heruntergeladen werden. Allerdings gibt es bislang noch keine Version des aktualisierten zugehörigen Berechnungsprogramms, das bislang von der Homepage als Excel-Datei kostenfrei heruntergeladen werden konnte. Es wird angestrebt, sowohl eine kostenfreie Version der aktualisierten Berechnung als auch ein kostenpflichtiges Programm bereitzustellen.

Auf der Sitzung wurde auch über einen Aufruf zur Veröffentlichung von: „Messergebnisse zur Akustik des Großen Saales der Elbphilharmonie“ diskutiert. Da hierzu im Fachausschuss sehr unterschiedliche Meinungen geäußert wurden, konnte keine von der Mehrheit des Ausschusses getragene Resolution verabschiedet werden.

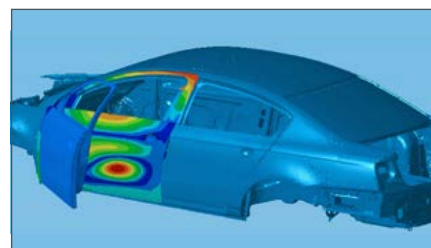
Die nächste (53.) Sitzung des Fachausschusses findet am 11. September 2018 bei der Fa. Fermacell in Bad Grund statt. Die Teilnehmer haben die Möglichkeit, am nächsten Tag an der VMPA-Info-Veranstaltung im ca. 70 km entfernten Braunschweig (12.09.2018) teilzunehmen. Eine Einladung mit einem aktuali-

sierten Programm wird dann im Juli an die Mitglieder versandt.

Die bei der letzten Sitzung sehr positiv aufgenommene Diskussionsrunde zu aktuellen Fragen soll beibehalten werden. Auf der Tagesordnung stehen bislang bauakustische Vorträge zu Beurteilungspegeln, zur Flankenübertragung von Leichtbauelementen im Skelett- und Massivbau und zur Trittschalldämmung von Trockenestrichen. Raumakustische Vorträge sind zu den Themen Großraumbüro und zur Messung von frühen Reflektionen mit der akustischen Kamera geplant. ■

*Martin Schneider
Henning Alphe
Klaus Focke*

Fachausschuss Fahrzeugakustik



Vorsitzender:

Prof. Dr. M. Ercan Altinsoy, TU Dresden
ercan.altinsoy@tu-dresden.de

Der diesjährige Herbstworkshop des FAFA wird in Dresden am 25.09. und 26.09.2018 stattfinden.

Die Beitragsanmeldung ist ab sofort unter der E-Mail-Adresse ercan.altinsoy@tu-dresden.de möglich. ■

Ercan Altinsoy

Fachausschuss Hörakustik



Vorsitzende:

Prof. Dr. Janina Fels, RWTH Aachen
Janina.Fels@akustik.rwth-aachen.de

Fachausschusssitzung Hörakustik im Rahmen der DAGA 2018

An der Fachausschusssitzung Hörakustik im Rahmen der DAGA 2018 am 22.03.2018 nahmen insgesamt 24 Mitglieder und Interessierte teil. Zunächst wurde von den Aktivitäten 2017/2018 der Mitglieder des Fachausschusses Hörakustik berichtet. Zahlreiche Mitglieder waren, bzw. sind aktiv an Konferenzbeiträgen & -organisation von internationalen und nationalen Tagungen beteiligt.

Im April 2017 wurde die Mitgliederliste des FA Hörakustik auf den aktuellen Stand gebracht. In der Fachausschusssitzung in München wurde diese Liste nochmals aktualisiert. Der Fachausschuss Hörakustik zählt nun 54 Mitglieder und 334 Interessierte.

Zur Verbesserung der Verfügbarkeit der Ressourcen und Sichtbarkeit der Hörakustik können Mitgliederinnen und Mitglieder Inhalte, die auf der Webseite erscheinen sollen, der Fachausschussleiterin zur Verfügung stellen. Auch das Dissertationsregister der DEGA ist eine attraktive Ressource, die viel Potential bietet für den FA Hörakustik. Darüber hinaus bietet auch die Zeitschrift „Akustik Journal“ eine Möglichkeit, Überblicks- und Anwendungsartikel in didaktischer Aufbereitung in deutscher Sprache zu veröffentlichen. Auch willkommen sind Tagungsberichte (siehe letzte Ausgabe mit einem Beitrag aus dem FA Hörakustik: Tagungsbericht Abschlusskonferenz iCARE).

Des Weiteren wurde auf der Sitzung diskutiert, dass die Vorsitzende und der Stellvertreter des FA Hörakustik gerne die physiologische Akustik sichtbarer in

der DEGA machen wollen. Die Gründe sind z. B., dass zum einen die physiologische Akustik ein klarer Bestandteil der Richtung „Psychological and Physiological Acoustics, PPA“ ist, dem internationalen Pendant zur Hörakustik. Zum anderen ist die moderne Hörakustik stark interdisziplinär und mit immer neuen Anwendungen und Relevanz (VR, medical, e-mobility), hat eine hohe Relevanz im Bereich Biomedizintechnik („hearing assistive devices“), vor Allem vermehrte Entwicklung im Bereich „Bio-inspired processing“ in HA und CI (Kombination mit EEG). Die physiologischen Prinzipien von Schallverarbeitung sind noch nicht hinreichend verstanden, was wiederum zu „Verfeinerung“ der Psychoakustik führt. Zu diesen Themen wird das 12. DEGA-Herbstsymposium am 17.–18.09.2018 in Aachen stattfinden (siehe Seite 52). Zudem wird angestrebt, strukturierte Sitzungen auf kommenden DAGAs mit (internationalen) Teilnehmern aus den Bereichen Biologie (Physiologie) und relevanter Teilbereiche der Neurowissenschaften (Imaging, Neuro-engineering) und verwandter Bereiche (OAEs, experimentelle CIs/Neuroimplantate) anzubieten. Mögliche Terminkollisionen, zum Beispiel mit der Jahrestagung der Tagung der Deutschen Gesellschaft für Medizinische Physik, sollen zukünftig besser koordiniert werden.

Im weiteren Verlauf der Sitzung wurden zwei mögliche Vorhaben für DEGA-Projekte diskutiert:

- Bastian Epp stellt einen Vorschlag zur „Sammlung und Implementierung akustischer Illusionen als Demonstrationsmaterial (als gratis APP)“ vor. Es soll eine Sammlung interessanter/relevanter Effekte (alles von Zwicker-Töne bis Streaming). Die Ressource soll auch für Lehre genutzt werden. Die anwesenden Mitglieder befürworten diesen Vorschlag mit zwei Enthaltungen. Herr Epp wird das Vorhaben weiter ausarbeiten.
- Jesko Verhey stellt einen Vorschlag zur „Terminologie: Psychoakustische Begriffe in der virtuellen Akustik“ vor. Er erläutert die Problematik von der Gültigkeit und Bedeutung von in

der Psychoakustik etablierter Begriffe in Spatial Audio. Die anwesenden Mitglieder befürworten diesen Vorschlag einstimmig. Der Vorsitzende des FA Virtuelle Akustik zeigt Interesse an der Mitarbeit. Ebenso Interesse hat Wolfgang Ellermeier für die Sicht aus der Psychoakustik gezeigt. Herr Verhey wird das Vorhaben weiter ausarbeiten.

Abschließend werden die Mitglieder gebeten, mögliche strukturierte Sitzungen auf der nächsten Tagung in Rostock der Fachausschussleitung per E-Mail zu melden.

Weitere Details zur Fachausschusssitzung sind unter dem Link <https://www.dega-akustik.de/fachausschuesse/ha/dokumente/> auf der DEGA-Homepage des Fachausschusses Hörakustik zu finden. ■

Janina Fels
Bastian Epp

Fachausschuss Lärm: Wirkungen und Schutz



Vorsitzender:

Dr. André Fiebig, HEAD acoustics GmbH, Herzogenrath
Andre.Fiebig@head-acoustics.de

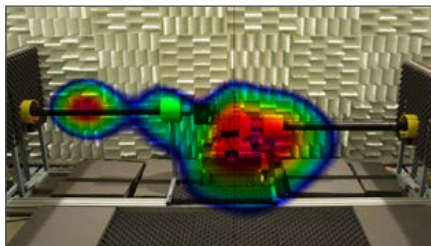
Die Mitgliederversammlung des FA Lärm fand am 20. März 2018 in München statt und war sehr gut besucht. Im Bericht über die Aktivitäten des vergangenen Jahres standen vor allem die Beteiligung an der zentralen „Tag gegen Lärm“-Veranstaltung zum Thema „Akustische Vielfalt in Deutschland“ und die Organisations- und Beitragsaktivitäten auf internationalen Tagungen im Mittelpunkt. Auch in diesem Jahr beteiligt sich der FA Lärm wieder aktiv an der zentralen Veranstaltung der Aktion Tag gegen Lärm.

Ferner stimmten die Mitglieder dafür, im Herbst einen Workshop zum Thema

„extra-aurale Lärmwirkungen unter Berücksichtigung von kombinierten Belastungsfaktoren“ durchzuführen. Nähere Informationen zum Herbstworkshop erhalten Sie in Kürze. ■

*André Fiebig
Silvester Siegmann*

Fachausschuss Physikalische Akustik



Vorsitzender:

Dr. Joachim Bö, Technische Universität Darmstadt

boes@sam.tu-darmstadt.de

Strukturierte Sitzungen bei der DAGA 2018 in München

Bei der DAGA 2018 in München waren drei Strukturierte Sitzungen dem Fachausschuss Physikalische Akustik zuzuordnen: „Betrachtung von Unsicherheiten in der Vibro- und Aeoroakustik“ (Kheirollah Sepahvand, Patrick Langer), „Meeresakustik“ (Jan Abshagen, Dietmar Stiller) und „Strukturintensität – Berechnung, Messung, Nutzen“ (Joachim Bö). Diese oder ähnliche Sitzungen sollen auch wieder für die DAGA 2019 in Rostock organisiert werden.

Fachausschusssitzung am 20.03.2018 im Rahmen der DAGA 2018 in München

Am DAGA-Dienstag fand eine Fachausschusssitzung statt. Themen waren Strukturierte Sitzungen für die DAGA 2019 in Rostock und den ICA 2019 in Aachen, das Assoziierungsabkommen zwischen der DEGA und der DPG (Deutsche Physikalische Gesellschaft – der Fachausschussleiter Physikalische Akustik wird als DEGA-Vertreter in den DPG-Vorstandsrat entsandt), die Themen für die nächsten DEGA-Workshops Physikalische Akustik (siehe auch unten), die erfolgte Bereinigung der Mit-

gliederliste des Fachausschusses (nun 29 Mitglieder und 304 Interessierte) sowie Artikel für das Akustik Journal der DEGA aus dem Fachausschuss Physikalische Akustik (ein Beitrag zur Akustik von Weingläsern wird in der kommenden Ausgabe erscheinen, ein weiterer zum Thema Hydroakustik wird in einer der nächsten Ausgaben veröffentlicht werden).

24. DEGA-Workshop Physikalische Akustik am 18./19.10.2018 in Bad Honnef

Am 18./19.10.2018 wird in gewohnter Weise im Physikzentrum Bad Honnef unter Mitwirkung des DPG-Fachverbands Akustik der 24. DEGA-Workshop Physikalische Akustik stattfinden. Das Thema des diesjährigen Workshops wird „Impulsschall/Transientenschall“ lauten. Zum Organisationsteam gehören außer dem Fachausschussleiter bislang auch Martin Ochmann und Stephan Lippert. Aktuell sind bereits Vorträge zu den Themen Rammschall, Schießlärm, Simulation von Stoßwellen, Zeitbereichs-BEM und Impulsantworten über Impedanzböden zugesagt. Das detaillierte Workshopprogramm und eine Möglichkeit zur Anmeldung werden im Sommer 2018 auf der DEGA-Webseite des Fachausschusses bereitgestellt.

Auch wenn es bzgl. der Nummerierung erst der 24. DEGA-Workshop Physikalische Akustik ist, so können wir in diesem Jahr doch „25 Jahre DEGA-Workshop Physikalische Akustik“ feiern: Der erste Workshop des im Jahre 1993 neu gegründeten DEGA-Fachausschusses Physikalische Akustik fand auf Initiative von Fridolin Mechel vom 23. bis 25. November 1993 ebenfalls im Physikzentrum Bad Honnef statt. Das Thema des ersten Tages war „Nichtkonventionelle Erzeugung und Detektion von Ultraschall“ (Leitung: Heinz-Jürgen Fröhlich), das Thema des zweiten Tages lautete „Schallausbreitung in der Atmosphäre“ (Leitung: Volker Mellert), am Vormittag des dritten Tages fand eine Sitzung zu diversen organisatorischen Themen statt – heute würde man dazu Fachausschusssitzung sagen. Dass nun im 25. Jahr erst der 24. Workshop statt-

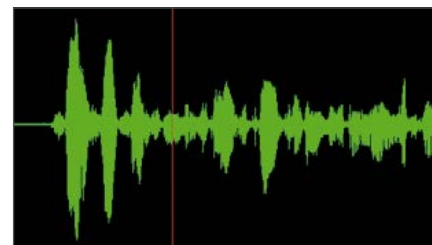
findet liegt daran, dass 2014 aus dem eigentlich 21. Workshop das 8. DEGA-Symposium (zum Thema „Messmethoden der physikalischen Akustik“) wurde, so dass der 21. Workshop erst im Jahr 2015 stattfand. Vorteil: So werden wir also im kommenden Herbst auf „25 Jahre DEGA-Workshop“ und im Herbst 2019 noch einmal auf den 25. DEGA-Workshop anstoßen können.

Nächste Fachausschusssitzung am 18. Oktober 2018 im Rahmen des 24. DEGA-Workshops

Die nächste Sitzung des Fachausschusses Physikalische Akustik wird im Rahmen des o.g. 24. DEGA-Workshops voraussichtlich am Nachmittag des 18.10.2018 in Bad Honnef stattfinden. Mitglieder und Interessierte des Fachausschusses, aber auch Gäste sind herzlich zur Sitzung und zur engagierten Mitarbeit eingeladen. ■

Joachim Bö

Fachausschuss Sprachakustik



Vorsitzender:

Dr. Janto Skowronek, Technische Universität Ilmenau

Janto.Skowronek@tu-ilmenau.de

Das nächste Treffen des FA Sprachakustik soll im Herbst auf der 13. ITG Fachtagung Sprachkommunikation (Oldenburg, 10.–12. Oktober 2018) stattfinden. Genauer Ort und Zeit werden noch bekannt gegeben.

Allgemeine Infos des Veranstalters zur Tagung finden Sie auf <https://www.uni-oldenburg.de/itg2018/>. ■

Janto Skowronek

■ Mitglieder / Fördermitglieder

Derzeit hat die Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V.

- 1.980 persönliche Mitglieder
- und 79 Fördermitglieder (Stand Juni 2018).

Über alle Leistungen und Angebote, die mit einer Mitgliedschaft verbunden sind, können sich interessierte Akustiker(innen) und Firmen auf <http://www.dega-akustik.de/mitglieder-und-beitritt> informieren.

Die Arbeit der DEGA wird dankenswerterweise durch die Fördermitgliedschaft folgender Firmen besonders unterstützt:

- ACOEM GmbH, Hallbergmoos
- Akustikbüro Schwartzberger und Burkhart, Pöcking / Weimar
- ALN Akustik Labor Nord GmbH, Kiel
- AMC Schwingungstechnik, Asteasu (E) / Nürnberg
- Amorim Deutschland GmbH, Delmenhorst
- BASF SE, Ludwigshafen
- Baswa AG, Baldegg (CH)
- Bayer Bauphysik Ingenieurgesellschaft mbH, Fellbach
- Berleburger Schaumstoffwerk GmbH, Bad Berleburg
- Bertrandt Technikum GmbH, Ehningen
- BeSB GmbH, Berlin
- Bette GmbH & Co. KG, Delbrück
- Brose Fahrzeugteile GmbH, Oldenburg
- Brüel & Kjaer GmbH, Bremen
- CADFEM GmbH, Grafing
- CAE Software und Systems GmbH, Gütersloh
- Carcoustics TechConsult GmbH, Leverkusen
- Cervus Consult GmbH, Willich
- Cirrus Research plc Deutschland, Frankfurt/M.
- Comsol Multiphysics GmbH, Göttingen
- DataKustik GmbH, Gilching
- deBAKOM GmbH, Odenthal
- Ecophon Deutschland, Lübeck
- EM Plan, Neusäß
- ESI Engineering System International GmbH, Eschborn
- FAIST ChemTec GmbH, Worms
- Gardner Denver Deutschland GmbH, Bad Neustadt/Saale
- Gesellschaft für Sonder-EDV-Anlagen mbH, Hofheim
- Getzner Werkstoffe GmbH, Bürs (A)
- GN Bauphysik Ingenieurgesellschaft mbH, Stuttgart
- G.R.A.S., Holte (DK)
- HEAD acoustics GmbH, Herzogenrath
- HEAD-Genuit-Stiftung, Herzogenrath
- IAC Industrial Acoustics Company GmbH, Niederkrüchten
- IFB Ingenieure GmbH, Bad Teinach-Zavelstein
- Knauf AMF GmbH & Co. KG, Grafenau
- Kötter Consulting Engineers GmbH & Co. KG, Rheine
- Kraiburg Relastec GmbH & Co. KG, Salzwedel
- Kurz und Fischer GmbH Beratende Ingenieure, Winnenden
- Lärmkontor GmbH, Hamburg
- Laird Bochum GmbH, Bochum
- Laim Consult GmbH, Bargteheide
- Lehrstuhl Strömungsmaschinen, Universität Rostock
- Lignotrend Produktions GmbH, Weilheim-Bannholz
- Microflow Technologies BV, Arnhem (NL)
- Microtech Gefell GmbH, Gefell
- Möhler + Partner Ingenieure AG, München
- Müller-BBM Gruppe, Planegg bei München
- Norsonic Tippkemper GmbH, Oelde-Stromberg
- Novicos GmbH, Hamburg
- NTi Audio GmbH, Essen
- Odeon A/S, Lyngby (DK)
- PCB Synotech GmbH, Hückelhoven
- Peiker acoustic GmbH, Friedrichsdorf
- P+Z Engineering GmbH, München
- Renz Systeme GmbH, Aidlingen
- Rockwool Rockfon GmbH, Gladbeck
- Röchling Automotive SE & Co. KG, Worms
- Rossoacoustic, Stuttgart
- Saint-Gobain Isover G+H AG, Ladenburg
- Schaeffler Engineering GmbH, Werdohl
- Schöck Bauteile GmbH, Baden-Baden
- Sennheiser electronic GmbH & Co. KG, Wedemark
- Siemens Industry Software GmbH, München
- Sinus Messtechnik GmbH, Leipzig
- solaris Ingenieur-Consult GmbH, Chemnitz
- Sonatech GmbH & Co. KG, Ungerhausen
- soni.eK Planung Beratung SV-Büro, Bamberg
- SoundPLAN GmbH, Backnang
- Soundtec GmbH, Göttingen
- Spektra Schwingungstechnik und Akustik GmbH, Dresden
- Stapelfeldt Ingenieure GmbH, Dortmund
- Steffens Systems GmbH, Köln
- Sto SE & Co. KGaA, Stühlingen
- Verlagsgesellschaft R. Müller GmbH & Co. KG, Köln
- Wölfel Gruppe, Höchberg
- Xarion Laser Acoustics GmbH, Wien (A)
- ZF Friedrichshafen AG, Friedrichshafen
- Zodiac Data Systems GmbH, Bergisch Gladbach

Aus der Industrie

Veranstaltungshinweise

10.10.2018–11.10.2018

Premiere für die acoustex

Neue Fachmesse für Noise-Control und Sound-Design in Dortmund



Dortmund erlebt 2018 eine thematische Weltpremiere. Mit der acoustex geht am 10. und 11. Oktober die erste Fachmesse für Noise-Control und Sound-Design an den Start.

Unternehmen, die Produkte und Lösungen für Noise-Control und Sound-Design anbieten, stellen bislang häufig auf der Leitmesse ihrer Branche aus. Doch dort spielen akustische Fragestellungen aufgrund der Vielzahl an Themen oftmals nur eine untergeordnete Rolle. Auf der acoustex sind nun Noise-Control und Sound-Design die alleinigen Leitthemen.

Zum einen beinhaltet die Themenwelt Architecture (Building & Interior) Produkte und Dienstleistungen, die einen positiven akustischen Einfluss auf Gebäude und Räume haben. Die Themenwelt Industry (Materials, Equipment & Production) zeigt zum anderen, wie Arbeitsplätze so gestaltet werden können, dass sie ein angenehmes Klima zurückgewinnen – für mehr Leistungsfähigkeit der arbeitenden Menschen. In der Themenwelt Traffic (Vehicles & Transit) zeigt die zuliefernde Industrie, welche Lösungen bereit stehen, um eine leisere oder angenehmer klingende Umwelt zu fördern. Die acoustex bietet Fachforen mit rund 60 Einzelvorträgen sowie Best-Practise-Exkursionen am Tag vor der Messe, die Network-Night am ersten Messeabend sowie thematische Führungen für die Fachbesucher aus Deutschland und dem benachbarten europäischen Ausland.

Veranstaltungsort:

Messe Dortmund
Rheinlanddamm 200
44139 Dortmund

Programm und Anmeldung:

<http://www.acoustex.de>

eingereicht von:

Westfalenhallen Dortmund GmbH ■

05.11.2018–07.11.2018

DIN Akademie / BeSB GmbH

„Die wissenschaftlichen Grundlagen der Technischen Akustik“



Was Sie schon immer über Akustik wissen wollten, erklärt Prof. Möser in seiner ‚Einführung in die Technische Akustik‘ und verdeutlicht die physikalischen Grundlagen mit anschaulichen, allgemein verständlichen und leicht nachvollziehbaren Überlegungen.

Das Seminar richtet sich an Konstrukteure, Architekten, Fachplaner, Behördenmitarbeiter und alle Interessierten, die mit Schall und Schallpegeln zu tun haben und die Grundlagen festigen wollen. Mit der Teilnahme an dem Seminar erwerben Sie wichtige Grundkenntnisse und anwenderorientiertes Praxiswissen zur Technischen Akustik.

- Sie werden mit den Gesetzmäßigkeiten der Wahrnehmung vertraut gemacht und erwerben die Fähigkeit, Schallpegel einzuordnen, zu bewerten und mit ihnen zu rechnen.
- Sie lernen, die physikalischen Gesetzmäßigkeiten zu verstehen, die Schallfeldern in Gasen zugrunde liegen, und welche Effekte und Eigenschaften daraus hervorgehen.
- Sie erlernen die Fähigkeit, Schallpegel im Freien und in Räumen zu bestimmen und (z.B. zur Geräuschminderung) zu verändern.

Veranstaltungsort:

DIN-Akademie im Beuth Verlag
Am DIN-Platz
Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin
E-Mail: dinakademie@beuth.de
Auskünfte: Telefon: 030 2601-2518

Programm und Anmeldung:

<https://www.beuth.de/de/seminar/die-wissenschaftlichen-grundlagen-der-technischen-akustik/288404888>

eingereicht von:

BeSB GmbH ■

Publikationen

Übersicht

- Alle Online-Publikationen sind auf <https://www.dega-akustik.de/publikationen> frei verfügbar.
- Gedruckte Publikationen (außer ⁶⁾) können bei der DEGA-Geschäftsstelle bestellt werden (Preise inkl. MwSt; zzgl. Versand; Zahlungsbedingungen siehe <https://www.dega-akustik.de/publikationen/tagungsbaende/zahlung>)

	Name	gedruckt	online
Zeitschrift	Akustik Journal (drei Ausgaben pro Jahr)	0 € ¹⁾	X
	Acta Acustica united with Acustica	X ²⁾	X ³⁾
Tagungsbände	DAGA-Tagungsbände „Fortschritte der Akustik“ (1970–2018)		X ⁴⁾
	Proceedings ICA / INTER-NOISE		X ⁵⁾
Empfehlungen und Memoranden	DEGA-Empfehlung 101: Akustische Wellen und Felder		X
	DEGA-Empfehlung 102: Mindestkanon Akustik in der Bachelor-Ausbildung		X
	DEGA-Empfehlung 103: Schallschutz im Wohnungsbau - Schallschutzausweis		X
	Memorandum „Die allgemein anerkannten Regeln der Technik in der Bauakustik“		X
	Memorandum „Schallschutz im eigenen Wohnbereich“		X
Schriftenreihe „Geschichte der Akustik“	Heft 1: Von der Antike bis in das 20. Jahrhundert	10,- €	
	Heft 2: Akustisches Wissen auf den Transferwegen	10,- €	
	Heft 3: Preisträger europäischer Wissenschaftsakademien	10,- €	
	Heft 4: Sondhauß-Röhre, Seebeck-Sirene	15,- €	
	Heft 5: Von den Äolstönen bis zur Strouhal-Zahl	12,- € ⁶⁾	
	Heft 6: Von der Luftsirene bis zur russischen Aeroakustik	12,- € ⁶⁾	
	Heft 7: Lord Rayleigh, Sir Horace Lamb, Sir James Lighthill	10,- € ⁶⁾	
	Heft 8: Große Wissenschaftler mit Beiträgen zur Akustik	14,- € ⁶⁾	
	Heft 9: Kundt, Waetzmann, Schuster	12,- € ⁶⁾	

¹⁾ für Mitglieder

²⁾ jährlich zzgl. 60,- € für DEGA-Mitglieder

³⁾ ohne Aufpreis für DEGA-Mitglieder

⁴⁾ die zugehörigen CD-/DVD-/Buchprodukte (sofern vorhanden) können weiterhin käuflich erworben werden

⁵⁾ Anleitung für den Zugang unter <https://www.dega-akustik.de/dega/aktuelles/ica-und-inter-noise/>

⁶⁾ Bestellungen ausschließlich online über <http://www.book-on-demand.de>

	Name	gedruckt	online
Fachgebiet Lärm	Broschüre „Lärm im Alltag“		X
	ALD-Broschüre „Straßenverkehrslärm“	2,- €	X
	Hörbeispiele und Geräuschsituationen		X
	ALD-Broschüre „Energiewende und Lärmschutz“		X
	ALD-Broschüre „TEchnologies of NOise Reduction (TENOR)“		X
	ALD-Broschüre „Schienenverkehrslärm – Ursachen, Wirkungen, Schutz“		X
Fachgebiet Musikalische Akustik	Tagungsband (2015) „Musikalische Akustik zwischen Empirie und Theorie“		X
	Tagungsband (2013) „Nuancen in der musikalischen Akustik“		X
	Literaturdatensammlung Musikalische Akustik		X
Fachgebiet Lehre der Akustik	Dissertationsregister Akustik		X
	Studienführer „EAA Schola“		X
Fachgebiet Hörakustik	Kompodium zur Durchführung von Hörversuchen in Wissenschaft und industrieller Praxis (Entwurf)		X

Impressum

Akustik Journal Nr. 02 / Juni 2018

Herausgeber

**Deutsche Gesellschaft
für Akustik e.V. (DEGA)**

eingetragen ins Vereinsregister am
Amtsgericht Berlin-Charlottenburg, VR
26648 B

Geschäftsstelle:

Alte Jakobstraße 88
10179 Berlin

E-Mail: dega@dega-akustik.de

Tel.: +49 (0)30 - 340 60 38-00

Fax: +49 (0)30 - 340 60 38-10

Web: www.dega-akustik.de

ISSN

2569–1597 (Print)

2569–1600 (Online)

Chefredaktion

Prof. Dr.-Ing. Detlef Krahé

E-Mail: chefredaktion-aj@dega-akustik.de

Redaktionsbeirat

Prof. Dr.-Ing. habil. Ercan Altinsoy

Dr. rer. nat. Judit Angster

Prof. Dr.-Ing. habil. Stefan Becker

Dr. phil. André Fiebig

Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Kletsch-
kowski

ao. Univ.-Prof. Dr. med. Peter Lercher

Prof. Dr.-Ing. Schew-Ram Mehra

Redaktionsassistentz

Dipl.-Ing. Evelin Baumer

Dr.-Ing. Martin Klemenz

Anzeigen

Julia Schneiderheinze (M.A.)

E-Mail: jschneiderheinze@dega-akustik.de

Layout und Satz

Dipl.-Ing. Evelin Baumer

E-Mail: ebaumer@dega-akustik.de

Gestaltungskonzept

Heilmeyer und Sernau Gestaltung

Web: www.heilmeyerundserneu.com/

Druck

Laserline Druckzentrum Berlin GmbH
& Co. KG

Web: www.laser-line.de

Bildnachweise

S. 1 – Titelseite: Modell des Kehlkopfes © Kurt Fuchs/ www.fuchs-foto.de, Copyright Universität Erlangen-Nürnberg ; S. 5 – Aktuelles: 12. DEGA-Symposium © psdesign1 / fotolia.com; S. 5 – Aktuelles: Tag gegen Lärm 2018 © Großstadtbild: Sean Pavone / Alamy Stock Photo; Hand:Piman Khrutmuang / Dreamstime.com; S. 6 – Aktuelles: ALD-Broschüre „Schienenverkehrslärm“ © siehe Bildnachweise in der Broschüre; S. 47 – Ehrungen der DEGA © Michael Campos Viola, Campos Viola Photography, Copyright DEGA e. V.; S. 52 – Veranstaltungen: 12. DEGA-Symposium © psdesign1 / fotolia.com; S. 53 – Veranstaltungen: IOA-Auditorium, Elbphilharmonie © Thies Rätzke; S. 54 – Veranstaltungen: DAGA 2018 © Ina Platte, inani-design.de; S. 55 – Veranstaltungen: Tag gegen Lärm 2018 © Großstadtbild: Sean Pavone / Alamy Stock Photo; Hand:Piman Khrutmuang / Dreamstime.com; S. 62 – Arbeitsring Lärm der DEGA: ALD-Broschüre „Schienenverkehrslärm“ © siehe Bildnachweise in der Broschüre; S. 63 – Fachausschuss Bau- und Raumakustik: © mit freundlicher Genehmigung der Firma Müller-BBM GmbH; S. 63 – Fachausschuss Fahrzeugakustik: © Novicos GmbH, Hamburg; S. 64 – Fachausschuss Hörakustik: © psdesign1 / fotolia.com; S. 64 – Fachausschuss Lärm: Wirkungen und Schutz: © A.F.X. Süß, Berlin; S. 65 – Fachausschuss Physikalische Akustik: © SAM, TU Darmstadt; S. 65 – Fachausschuss Sprachakustik: © SpeechRecorder, IPS, LMU München

23RD INTERNATIONAL CONGRESS ON ACOUSTICS

INTEGRATING EAA EUROREGIO 2019



AACHEN, GERMANY
SEPTEMBER 09 - 13, 2019
WWW.ICA2019.ORG

Invitation

The German Acoustical Society (Deutsche Gesellschaft für Akustik, DEGA) is pleased to invite you to the 23rd International Congress on Acoustics in the beautiful and historical city of Aachen in September 2019. The technical program will include plenary, distinguished, invited, contributed, and poster papers covering all fields of acoustics. There will be an extensive technical exposition highlighting the latest advances in acoustical products.

The congress will integrate the conference EUROREGIO of the European Acoustics Association, EAA, with invited papers focusing on European projects, educational programs, standards, and legislation. The conference will include a FORUM for Young Acousticians and platforms for discussion and joint activities in the student committees of DEGA student council and the EAA Young Acousticians Network.

The two satellite events are:

ISRA 2019, *International Symposium on Room Acoustics*, held at Concertgebouw Amsterdam, The Netherlands (September 15 to 17) www.isra2019.eu

ISMA 2019, *International Symposium on Musical Acoustics*, held at Hochschule für Musik, Detmold, Germany, (September 13 to 17) www.isma2019.de



Important Dates

- | | |
|------------------------------|------------------|
| Early Bird Registration | ► by Jun 1, 2019 |
| Abstract Submission Deadline | ► Feb 1, 2019 |
| Paper Submission Deadline | ► Jun 1, 2019 |

EAA Summer School

The Summer School of the European Acoustics Association will be held in Leuven, Belgium. It is especially of interest to Young Acousticians and takes place from 6 to 8 September 2019. Updated information is provided at www.ica2019.org/de/eaa-summer-school



Source of Photographs:
(1) (2) © davis / fotolia.com;
(3, bottom) © Karl Bruninx

Die neue akustische Kamera AC100

*** kompakt * mobil * robust * preisgünstig ***

SINUS
Messtechnik GmbH



Sehen was man hört: mit der akustischen Kamera AC100

Die AC100 ist eine kompakte und sehr einfach zu bedienende akustische Kamera zur Schallquellenortung. Verbinden Sie die Kamera AC100 über das USB-Kabel mit ihrem PC, installieren und starten Sie die Software BeamformX und führen Sie in kürzester Zeit die Messungen und Analysen durch.

Aufgrund der hohen Leistung, der einfachen Bedienung und des unschlagbar günstigen Preises ist die AC100 für eine breite Palette von Anwendungen in Forschung und Produktion bestens geeignet. BeamformX benutzt den innovativen Algorithmus **Robust Functional Beamforming**. Im Vergleich zum herkömmlichen Beamforming werden eine wesentlich höhere Dynamik sowie mehr räumliche und zeitliche Details erzielt.



Technische Spezifikation der AC100

Array-Abmessung	40 x 40 x 3 cm
Mikrofone	40 interne MEMS-Mikrofone
AD-Wandler	24 Bit ADC
Abtastrate	51.2 kHz, Dezimation wählbar
Anti-Aliasfilter	ja, integriertes Digitalfilter
Frequenzbereich	200 Hz bis 20 kHz optimal 5 kHz bis 20 kHz
Maximaler Pegel	112 dB
Dynamikbereich	20 dB (5 kHz bis 20 kHz)
Arbeitsentfernung	0.3 m bis unendlich
DSP-System	im Array integriert
Interface	USB 2.0 (Daten, Strom)
Optische Kamera	5 Megapixel-Kamera
Halterung	Stativgewinde 3/8"
Handgriffe	2 abnehmbare Griffe
PC-Anforderungen	i5 mit Win7 oder höher, 64 Bit
Optional	4 digitale I/O (2x In, 2x Out)
Software	BeamformX für Windows (Echtzeit und Postprozeß)