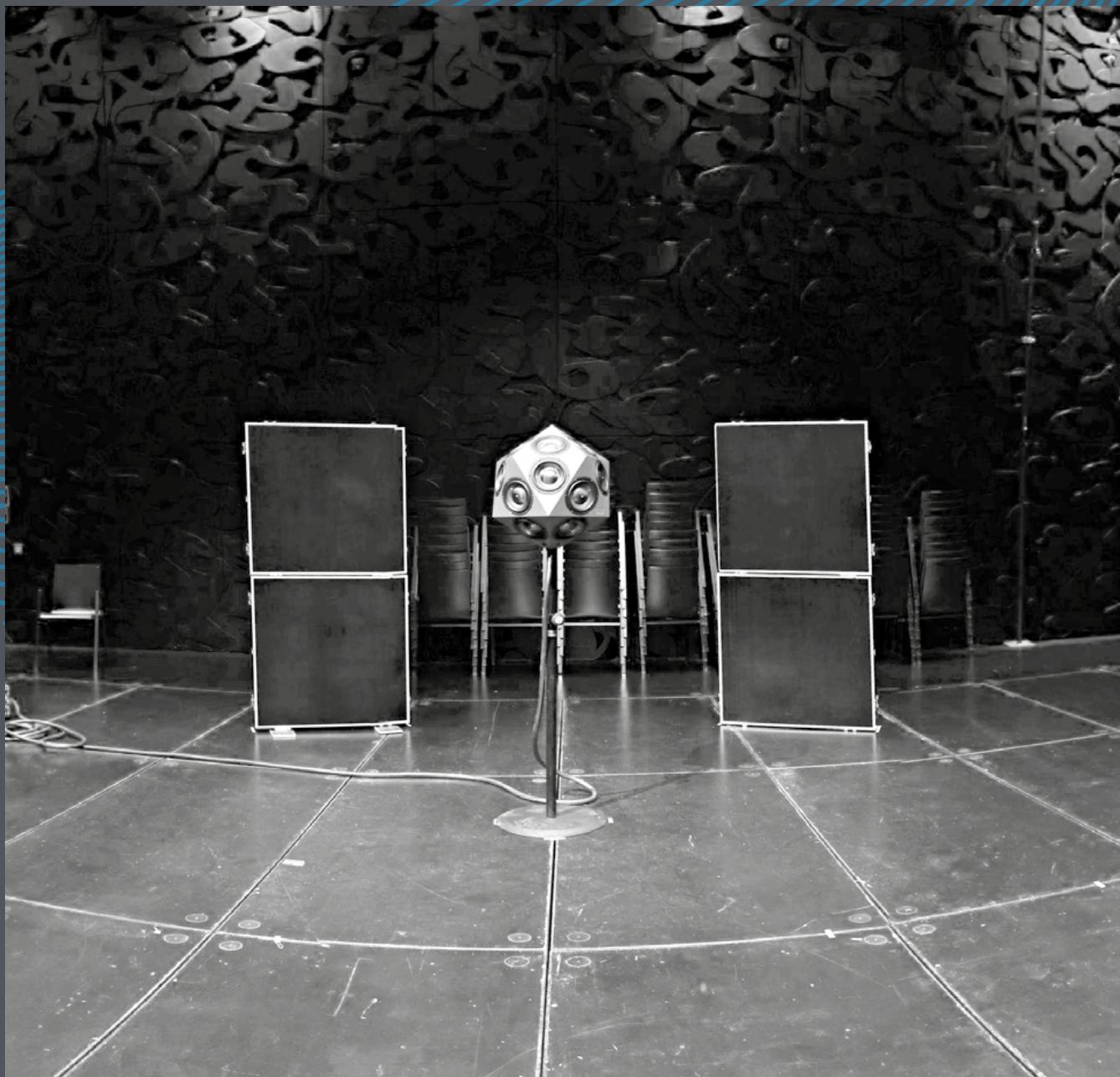


# AKUSTIK JOURNAL



Eberhard Zwicker – Zum 100. Geburtstag ■ Anwendungen der Virtuellen Akustik ■ Lärmwirkungen und ihre Beurteilung am Arbeitsplatz ■

Preisträger der DEGA 2024 ■ Jahrestagung DAGA 2024 in Hannover ■ Tag gegen Lärm – International Noise Awareness Day 2024 ■ DEGA-Akademie-Kurse im Jahr 2024 ■ Reisekostenzuschüsse „DEGA Young Scientist Grants“ ■





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



LivePad-X6



## TEAMPLAYER



LiveRec24+



LiveHub4

Volle Dynamik ohne Bereichswechsel  
für alle Anforderungen in der Schall- und Schwingungsanalyse

# Editorial

## Lärmschutz ist Gesundheitsschutz

Lärm ist ein erhebliches Umweltproblem und kann schwerwiegende gesundheitliche Folgen, wie Herzinfarkte und Schlaganfälle, haben. Auch der Klimawandel ist ein gravierendes Problem mit weitreichenden negativen Konsequenzen für die Menschheit. Während für die Klimaanpassung zurecht Milliarden investiert werden, erleben wir beim Lärmschutz eine gegenteilige Entwicklung. Die Personalsituation in den Behörden stagniert oder verschlechtert sich teilweise sogar und auch die finanziellen Ressourcen sind – wie immer – knapp bemessen.

Warum ist das so? Ein wesentlicher Grund für das schlechte Abschneiden des Lärmschutzes gegenüber dem Klimaschutz ist, dass Lärmschutz oft als Hemmnis empfunden wird, z.B. für den Wohnungsbau. Um neue Wohnungen zu errichten, müssten nach Ansicht der Bauindustrie die Immissionsrichtwerte der „Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm, TA Lärm“ deutlich erhöht werden. So wird derzeit ein nächtlicher Immissionsrichtwert von 50 dB(A) für urbane Gebiete diskutiert. Damit wäre es dort nachts so „laut“ wie heute in Gewerbegebieten. Dabei wird übersehen, dass gerade der Schutz vor nächtlichem Lärm besonders wichtig ist, denn ungestörter und ausreichend langer Schlaf ist für die menschliche Gesundheit unbedingt notwendig.

Aber auch andere Lärmschutzmaßnahmen werden in der Öffentlichkeit kontrovers erörtert. Das gilt besonders für eine deutliche Ausweitung der Tempo-30-Regelungen in Städten. Obwohl der Nutzen einer solchen Geschwindigkeitsbeschränkung schon lange bekannt ist, konnten noch keine politischen Mehrheiten für eine einfachere Anordnung von Tempo 30 gewonnen werden. So fand Ende vergangenen Jahres eine Gesetzesinitiative der Bundesregierung zur Ausweitung von Tempo-30-Zonen im Bundesrat keine Mehrheit.

Angesichts dieser Situation stellt sich die Frage, was wir vom Klimaschutz lernen können. Ich denke, wir sollten unsere Kommunikation wesentlich verbessern. Lärmschutz sollte in Teilen der Bevölkerung nicht länger als Erschwernis angesehen werden, sondern als effektives Instrument, um das Erkrankungsrisiko durch Lärm zu vermindern. Wir sollten verdeutlichen, dass Lärmschutz aktiver Gesundheitsschutz ist, der die Lebensqualität erhöht und darüber hinaus auch finanzielle Vorteile hat. Die Behandlung lärmbedingter Krankheiten ist ein bedeutender Kostenfaktor, der sich auf die Höhe der Krankenkassenbeiträge auswirkt; Lärmschutz verringert also diese Kosten. Einhergehend mit einer verbesserten Kommunikation sind aber auch alle Möglichkeiten zur Minderung des Lärms auszuschöpfen. Hierzu gehört insbesondere die Einführung einer gesetzlichen Regelung für die Lärmsanierung an bestehenden Straßen und Schienenwegen. Diese könnte idealerweise ein Kernelement einer gesetzlichen Regelung für eine Gesamtlärbetrachtung sein, oder auch als eigenständige Rechtsvorschrift realisiert werden. Das übliche Argument, dass hierfür große Finanzmittel erforderlich sind, darf kein K.-o.-Kriterium sein. Eine fundierte



Thomas Myck  
ehemals Umweltbundesamt

Diskussion über die Kostenfolgen erfordert eine sachgerechte Kostenschätzung. Diese darf nicht nur die hohen Investitionskosten im Blick haben und die schwierige Finanzlage der öffentlichen Haushalte thematisieren, sondern muss auch die Gesundheitskosten berücksichtigen, also eine Internalisierung der externen Kosten vornehmen. Auf der Grundlage einer solchen Kostenschätzung könnte dann eine verursachergerechte Kostenanlastung erfolgen und so ein fairer Wettbewerb zwischen den Verkehrsträgern erzielt werden. Zudem könnten die Kosten für die Lärmsanierung über mehrere Jahre gestreckt werden. Beginnend mit den „Lärm-Hotspots“ könnten die Beeinträchtigungen durch den Straßen- und Schienenverkehrslärm bundesweit kontinuierlich reduziert und damit das Erkrankungsrisiko der Bevölkerung durch Lärm gesenkt werden.

Zukünftig sind also noch umfangreiche Aktivitäten zum Schutz vor Lärm erforderlich, die adressatengerecht zu kommunizieren sind. Politik und Öffentlichkeit sind davon zu überzeugen, dass Lärmschutz kein Selbstzweck, sondern aktiver Gesundheitsschutz ist. Eine gute Gelegenheit ist der kommende „Tag gegen Lärm“, der auch „Tag des Gesundheitsschutzes“ heißen könnte.

Ihr  
Thomas Myck

# Inhalt

## Akustik Journal Nr. 01 / Februar 2024

- **5 Aktuelles**
- **7 Fachartikel**
  - 7 Eberhard Zwicker – Zum 100. Geburtstag  
Hugo Fastl
  - 16 Anwendungen der Virtuellen Akustik**  
Editor:innen: Annika Neidhardt, Jens Ahrens, Christoph Pörschmann
  - 27 Lärmwirkungen und ihre Beurteilung am Arbeitsplatz**  
Florian Schelle, Martin Liedtke
- **35 Ehrungen der DEGA**
  - 35 Preisträger 2024**
- **36 Menschen**
  - 36 Interview, Gratulationen und Personalien**
    - 36 Im Gespräch mit Wolfgang Ahnert
    - 37 Gratulationen und Personalien
- **38 Veranstaltungen**
  - 38 Veranstaltungshinweise**
    - 38 DAGA 2024
    - 40 DEGA-Akademie: Kurs „Bauakustik – von den Grundlagen zur Anwendung“
    - 40 Tag gegen Lärm – International Noise Awareness Day 2024
    - 41 DEGA-Akademie: Kurs „DEGA-Schallschutzausweis“
  - 41 Veranstaltungsrückblick**
    - 41 16. DEGA-Symposium „Akustik und Lärm in Büro und Schule“
  - 42 Veranstaltungskalender**
- **43 DEGA**
  - 43 Nachrichten und Mitteilungen aus der Fachgesellschaft**
    - 43 Einladung DEGA-Mitgliederversammlung
    - 43 Satzung und Wahlordnung der DEGA geändert
    - 43 Wahlauszeichnung zur Wahl des DEGA-Vorstandsrates
    - 44 DFG-Fachkollegien neu gewählt
    - 44 Reisekostenzuschüsse „DEGA Young Scientist Grants“
  - 44 Fachausschüsse / Fachgruppen**
  - 52 Mitglieder / Fördermitglieder**
- **54 Normen / Richtlinien**
  - 54 Neue Regelwerke zu den Themen Akustik und Lärminderung (Okt. 2023 – Jan. 2024)**
- **56 Publikationen**
  - 56 Zeitschriften, Tagungsbände, Empfehlungen und Memoranden, Broschüren etc.**
- **58 Impressum**

# Aktuelles

## Nachrichten aus der Akustik

### ■ DAGA 2024: 50. Jahrestagung für Akustik



Die 50. Jahrestagung für Akustik wird vom 18. bis 21. März 2024 in Hannover stattfinden.

Alle Informationen zur Tagung (Termin, Anmeldung, Programm und Ausstellung) erhalten Sie auf den Seiten [38f](#) oder unter <https://www.daga2024.de>. ■

### ■ DEGA-Akademie

#### Kurs „Bauakustik – von den Grundlagen zur Anwendung“

15.–17.04.2024, Braunschweig

#### Kurs „DEGA-Schallschutzausweis“

14.05.2024, online

Ausführliche Informationen zu den Kursen finden Sie auf den Seiten [40f](#) oder unter <https://www.dega-akustik.de>. ■

### ■ Satzung und Wahlordnung der DEGA geändert

Die Satzung der DEGA ist fortgeschrieben worden und die Wahlordnung der DEGA wurde durch den Vorstandsrat überarbeitet.

Weitere Informationen dazu erhalten Sie auf Seite [43](#). ■

### ■ Wahlauschreibung zur Wahl des DEGA-Vorstandsrates

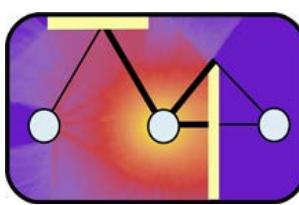
Im Herbst 2024 findet die nächste Wahl zum Vorstandsrat der DEGA statt.

Weitere Informationen dazu erhalten Sie auf Seite [43](#). ■

### ■ DAGA-Posterpreis: Bewerbungen bis 03.03.2024

Bei der diesjährigen DAGA-Tagung in Hannover wird es wieder eine Auszeichnung der besten Poster geben. Wie im letzten Jahr erfolgt die Bewertung durch eine Jury, und die Preisträgerinnen und Preisträger werden vor dem Plenarvortrag am Donnerstag, den 21.03.2024, bekannt gegeben (um 11:40 Uhr im Plenarsaal). Für einen ausreichenden zeitlichen Vorlauf werden alle interessierten Autorinnen und Autoren gebeten, ihr Poster in Form einer PDF-Datei bis spätestens Sonntag, den 03.03.2024 per E-Mail an die DEGA-Geschäftsstelle zu senden ([dega@dega-akustik.de](mailto:dega@dega-akustik.de)). Voraussetzung ist, dass das Poster während der DAGA-Tagung auch tatsächlich präsentiert wird. ■

### ■ Rückblick auf das 16. DEGA-Symposium



Unter dem Motto „Akustik und Lärm in Büro und Schule“ fand das 16. DEGA-Symposium am 14. und 15. November 2023 in Ilmenau mit knapp 140 Teilnehmerinnen und Teilnehmern statt.

Im Fokus der beiden Tage stand die Situation an Arbeitsplätzen, insbesondere in Büros und Schulen.

Einen kurzen Rückblick zum Symposium finden Sie auf Seite [41](#). Auf der Webseite <https://www.dega-akustik.de/16-symposium> stehen einige Vortragsfolien des Symposiums als PDF zum Download bereit. ■

### ■ Tag gegen Lärm – International Noise Awareness Day 2024

Am 24. April 2024 findet der 27. Tag gegen Lärm – International Noise Awareness Day statt.

Das Motto lautet: „Ruhe gewinnt, die Zukunft beginnt!“

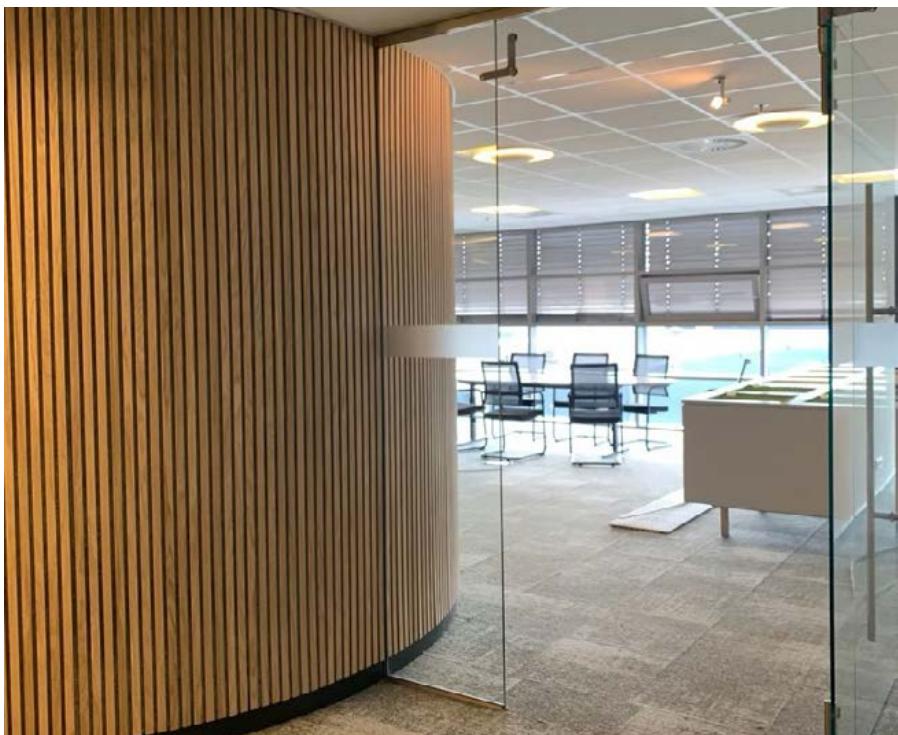
„Stadt, Lärm und Klimawandel“ stehen im Fokus für den diesjährigen Tag gegen Lärm.

Weitere Informationen zum Tag gegen Lärm finden Sie auf Seite [40](#) und auf der Website <https://www.tag-gegen-laerm.de>. ■

### ■ Reisekostenzuschüsse „DEGA Young Scientist Grants“

Um jungen Akustikerinnen und Akustikern 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 auf der Seite <https://www.dega-akustik.de/ys-grants>. ■

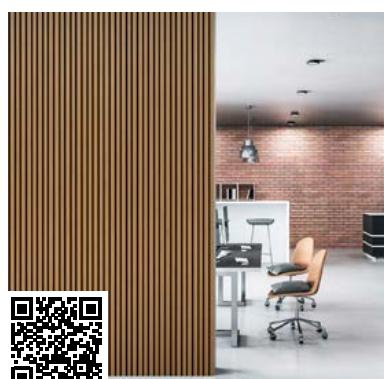


## ATTRAKTIVE SCHALLABSORPTIONSLÖSUNGEN

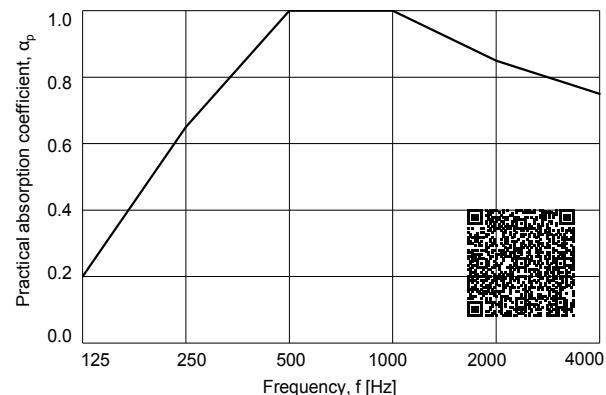
- Wir verbessern Ihr Büroleben
- Attraktive Schallabsorptionspaneele; hergestellt in Dänemark
- Schallabsorptionsgrade Messung nach DS/EN ISO 354-2003
- Echtholzfurnier; MDF und Filz
- Brandhemmende Zulassung nach B-s1, d0
- Innenklimanorm AgBB
- Umwelt Zertifikate FSC, Nordic Swan Ecolabel, LCA, EPD
- Paneelgröße maximum 20x600x3600mm



Linoleumpaneelle: Einzigartiges Design, Langlebigkeit und Exklusivität. Wählen Sie aus 20 Farbtönen.



Mit unseren nach EN 13823 / B-s1, d0 zugelassenen Paneelen entsprechen wir den Anforderungen sowohl an das Design als auch an die Gesetzgebung.



Frequency f [Hz]	$\alpha_p$
125	0.20
250	0.65
500	1.00
1000	1.00
2000	0.85
4000	0.75

$a_w = 0,85$
Absorption class: B

Unsere in Dänemark hergestellten Akustikpaneelle brechen den Schall und absorbieren die Schallwellen, sodass sie abklingen, wenn sie auf die Paneele treffen. Das bedeutet, dass die Schallwelle minimiert wird und die Nachschallzeit verkürzt wird, was das Raumklima verbessert und das Wohlbefinden im Raum steigert, unabhängig davon, ob es sich um private, gewerbliche oder öffentliche Gebäude handelt.

# Eberhard Zwicker - Zum 100. Geburtstag

Hugo Fastl

**Am 15. Januar 2024 wäre Eberhard Zwicker 100 Jahre alt geworden. Aus diesem Anlass soll hier an bis heute fortwirkende Leistungen des Gründers der Münchener Schule der Psychoakustik erinnert werden. Die Darstellung basiert wesentlich auf detaillierteren Ausführungen von H. Fastl aus [1] sowie P. Költzsch aus [2].**

## Lebenslauf



Abb. 1: Eberhard Zwicker an seinem Schreibtisch,  
© T. Zwicker

Eberhard Zwicker wurde am 15. Januar 1924 in Öhringen (Baden-Württemberg, bei Heilbronn) geboren, er ist nach schwerer, geduldig ertragener Krankheit am 22. November 1990 in Icking (bei München) verstorben.

Von 1933–1941 besuchte Zwicker das Gymnasium in Bad Cannstatt, legte dort 1941 die Reifeprüfung ab und wurde unmittelbar danach als Funker zur Wehrmacht einberufen.

Nach dem 2. Weltkrieg studierte Eberhard Zwicker von 1946–1950 Physik und Elektrische Nachrichtentechnik an der TH Stuttgart (Dipl.-Ing. 1950). 1952 promovierte er an der TH Stuttgart mit der Dissertation „Die Grenzen der Hörbarkeit der Amplituden- und Frequenzmodulation von Tönen und ihre Berücksichtigung in der Übertragungstechnik und der Hörphysiologie“.

Der Überlieferung nach wurde dabei das Fundament seiner lebenslangen Beschäftigung mit der Psychoakustik gelegt. Im Institut von Richard Feldtkeller

## Eberhard Zwicker – for the 100th birthday

**Eberhard Zwicker would have been 100 years old on January 15, 2024. On this occasion, we would like to commemorate the achievements of the founder of the Munich School of Psychoacoustics, having an impact until today. The presentation is largely based on more detailed publications by H. Fastl from [1] and P. Költzsch from [2].**

der TH Stuttgart sollte in den 1950er Jahren ein Projekt zur Verbesserung der Qualität der Magnetbandaufzeichnung bearbeitet werden. Eberhard Zwicker ist diese Aufgabe nicht wie üblich mit rein technischen Untersuchungen angegangen, sondern hat die Lösung in Studien zum Empfänger der Information, dem menschlichen Gehör gesucht.

Auf diesem Konzept fußt auch seine Habilitationsschrift von 1956 „Die elementaren Grundlagen zur Bestimmung der Informationskapazität des Gehörs“ [3]. Sein Kernsatz „Eine optimale Übertragung ist dann erreicht, wenn all das, was das Gehör aufnehmen kann, auch übertragen wird, nicht mehr und nicht weniger“ gilt auch heute noch als Maxime moderner Verfahren der Nachrichtenübertragung und Speicherung.

Zwischen 1957 und 1964 wurde Eberhard Zwicker zu Forschungsaufenthalten in die USA eingeladen:

- Harvard University, Cambridge (Mass.), Psycho-Acoustics Laboratories, Forschungen mit Nobelpreisträger Georg von Békésy (1899–1972) und Stanley Smith Stevens (1906–1973),
- Syracuse University, Syracuse (N. Y.), Bio-Acoustics Laboratory
- Bell Telephone Laboratories, Murray Hill (N. Y.).

Abb. 2: Zwicker bei den Bell Labs, © T. Zwicker

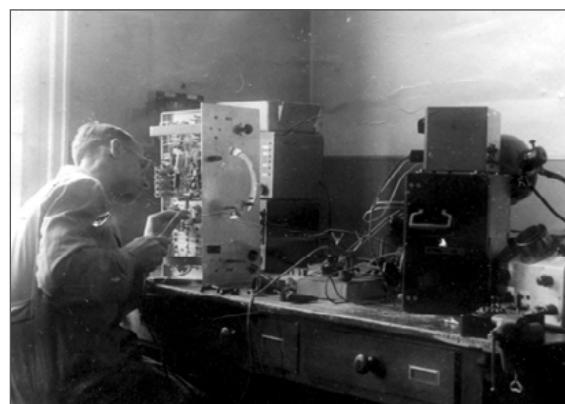




Abb. 3: Eberhard Zwicker mit Bundesverdienstkreuz,  
© T. Zwicker

An der TH Stuttgart war Eberhard Zwicker zunächst Wissenschaftlicher Assistent (1952–1956). 1956 erteilte ihm die TH Stuttgart die Venia legendi für Elektroakustik, die er ab 1957 als Privatdozent wahrgenahm. In die Zeit fielen einige der erwähnten Auslandsaufenthalte. 1961 wurde er Wissenschaftlicher Rat und hatte anschließend dort diese Stelle und die eines apl. Professors (1962–1967) inne.

1967 wurde Eberhard Zwicker zum Ordinarius für Elektroakustik und Direktor des neuen Instituts für Elektroakustik der TH München berufen. Es gelang ihm, dieses Institut zu einer national und international hochangesehenen Lehr- und Forschungsstätte für Psychoakustik aufzubauen und die sog. „Münchener Schule der Psychoakustik“ zu begründen. [1]

1977–1979 war Eberhard Zwicker Dekan der Fakultät für Elektrotechnik der TU München. Im Zeitraum zwischen 1964–1984 übte er seine Forschungs- und Lehrtätigkeit zeitweise, z. T. einsemestrig, in England, Japan, Frankreich, Schweiz, den Niederlanden, Belgien, Spanien, Polen, Tschechoslowakei, Ungarn, Italien, Österreich und Argentinien aus.

Eberhard Zwicker hat in seine Forschungstätigkeit viele Nachwuchswissenschaftler und -wissenschaftlerinnen einbezogen; in seinem Wirkungszeitraum an der TU München betreute er 35 Doktoranden und zahlreiche Habilitanden. Die Münchener Schule der Psychoakustik hat in dieser Zeit über 600 Publikationen veröffentlicht, die meisten davon mit Zwicker als hauptverantwortlichem Autor oder Alleinautor [2].

## Ehrungen

- 1982 Ehrenmitgliedschaft der Audio Engineering Society
- 1987 Silver Medal in Psychological and Physiological Acoustics der Acoustical Society of America (ASA), Auszeichnung mit dieser Medaille als erster Nichtamerikaner
- 1988 Karl-Küpfmüller-Ring der TH Darmstadt, Satzung: Verleihung als „außerordentliche Ehrung an Wissenschaftler, die durch ihre Forschungstätigkeit die wissenschaftlichen Erkenntnisse auch außerhalb ihres Fachgebietes gefördert und die wissenschaftliche oder technische Entwicklung maßgeblich beeinflusst haben“
- 1988 Förderpreis Stiftung „Forschungsgemeinschaft Deutscher Hörgeräte-Akustiker (FDHA)“, verliehen in Hamburg, „in Anerkennung seiner wissenschaftlichen Leistungen, die in seinen grundlegenden, für die Hörgeräteentwicklung richtungsweisenden Beiträgen zur Nachrichtenverarbeitung im auditorischen System des Menschen ihren Niederschlag gefunden haben“
- 1988 Bundesverdienstkreuz am Bande des Verdienstordens der Bundesrepublik Deutschland
- 1991 (posthum) Helmholtz-Medaille der Deutschen Gesellschaft für Akustik (DEGA), erstmalige Vergabe dieser Auszeichnung, für „herausragende Leistungen in Forschung und Lehre auf dem Gebiet der Psychoakustik“
- 1991 (posthum) AES Gold Medal Award (Audio Engineering Society), „for his career-long outstanding contributions to the science of hearing; in particular, for his research work on loudness perception, with the concept of 'Frequenzgruppen' or auditory critical bandwidths and development of loudness measuring devices, for his discovery concerning temporal auditory processing, for his physical model of cochlear hydrodynamics, and for his work with cochlear transplants.“

Berühmte Wissenschaftler erachten es als besonders große Ehre, wenn ihr Name nicht nur im Namensverzeichnis, sondern auch im Sachverzeichnis erscheint. Bei Eberhard Zwicker sind dies:

- Lautstärkeberechnungsverfahren nach Zwicker (Zwicker loudness)
- Zwicker-Ton (akustischer Nachton)

## Besondere Werke

Eberhard Zwicker hat die Ergebnisse seiner Forschungsarbeiten neben Publikationen in einschlägigen Fachzeitschriften in Büchern zusammenfassend dargestellt. Hier ist insbesondere

- „Das Ohr als Nachrichtenempfänger“, zweite neu bearbeitete Auflage;

Autoren: Eberhard Zwicker und Richard Feldtkeller. S. Hirzel-Verlag Stuttgart, 1967 (232 Seiten und 217 Abbildungen). [4]

zu nennen, das mehrfach übersetzt wurde:

- The ear as a communication receiver. (Eberhard Zwicker and Richard Feldtkeller). Übersetzung ins Englische durch Hannes Müsch. AIP Press, Woodbury, NY 1999 (297 Seiten).
- Psychoacoustique: l'oreille, récepteur d'information (par Eberhard Zwicker, Richard Feldtkeller). Übersetzung ins Französische durch Christel Sorin. Masson, Paris 1981 (234 Seiten).
- Ucho kak priemnik informacii. (E. Cviker, R. Feldtkeller). Übersetzung ins Russische von I. D. Gurvica (Redaktion: B. G. Belkina). 2. überarbeitete und verbesserte Auflage. Izdatel'stvo Svjaž, Moskva 1971 (255 Seiten).

Bis zu seinem Tod arbeitete Eberhard Zwicker am Buch

- „Psychoacoustics. Facts and Models“ (Zwicker, E. and Fastl, H.). 1. Auflage, Springer-Verlag Berlin, u. a. 1990 [5].

Die zusammenfassende Darstellung der Arbeiten der Münchener Schule der Psychoakustik wurde vom Autor weitergeführt und ist in folgendem Buch publiziert:

- „Psychoacoustics. Facts and Models“ (H. Fastl and E. Zwicker). 3. Auflage, Springer-Verlag Berlin, u. a. 2007 (with 53 psychoacoustic demonstrations on CD-ROM). [6]

#### Contents:

- Stimuli and Procedures
- Hearing Area
- Information Processing in the Auditory System
- Masking
- Pitch and Pitch Strength
- Critical Bands and Excitation
- Just-Noticeable Sound Changes
- Loudness
- Sharpness and Sensory Pleasantness
- Fluctuation Strength
- Roughness
- Subjective Duration
- Rhythm
- The Ear's Own Nonlinear Distortion
- Binaural Hearing
- Examples of Application

#### Contents of CD:

- Psychoacoustic Demonstrations

Dieses Buch wurde von Professor Ke'an Chen ins Chinesische übersetzt und 2022 von der Northwestern Polytechnical University (NPU) Press, Xi'an, China publiziert.



Abb. 4 (links): Buch Zwicker/Feldtkeller [4], © S. Hirzel Verlag, Stuttgart 1967

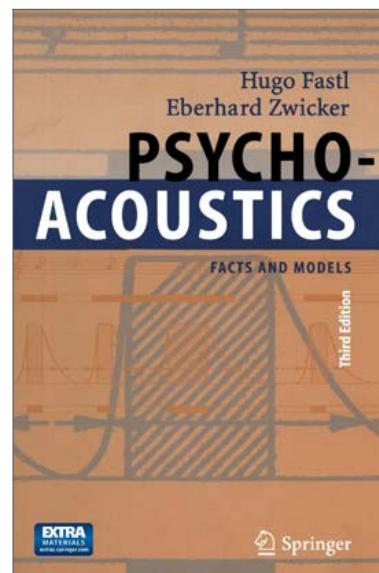


Abb. 5 (rechts): Buch Fastl/Zwicker 2007 [6], © Springer-Verlag, Heidelberg 2007

## Marksteine von Zwicker in der Psychoakustik

Grundlegende psychoakustische Größen und Erkenntnisse, auf denen aktuell noch viele wissenschaftliche Arbeiten oder Verfahren aufbauen, hat Zwicker geschaffen oder diese weiterentwickelt.

### Frequenzgruppe

Stark vereinfacht kann das Konzept der Frequenzgruppen folgendermaßen charakterisiert werden: Im Gehör werden Schalle durch Filter mit frequenzabhängiger Bandbreite, sogenannte Frequenzgruppen, analysiert. Unter 500 Hz weisen die Frequenzgruppen eine Bandbreite von 100 Hz auf, bei höheren Frequenzen eine Bandbreite von etwa 20 % der Mittelfrequenz [7]. Die Frequenzgruppen werden im Englischen als critical bands bezeichnet. Es ist verwunderlich, dass in neueren deutschsprachigen Publikationen die Frequenzgruppen als „kritische Bänder“ firmieren.

### Bark-Skala

Werden die Frequenzgruppen lückenlos aneinander gereiht entsteht eine „gehörgerechte Frequenzskala“ die zu Ehren des berühmten Dresdener Akustikforschers Barkhausen die Bezeichnung Bark-Skala trägt. Die 32 mm Länge der Basilarmembran im Innenohr vom Helicotrema zum Ovalen Fenster werden direkt auf die Bark-Skala von 0 bis 24 Bark abgebildet [4].

### Erregungsmuster

Die aus Mithörschwellen-Messungen abgeleiteten Erregungsmuster (Abb. 6) repräsentieren ein Maß für die Frequenzauflösung im Gehör; sie bilden den Ausgangspunkt zahlreicher praktischer Anwendungen.

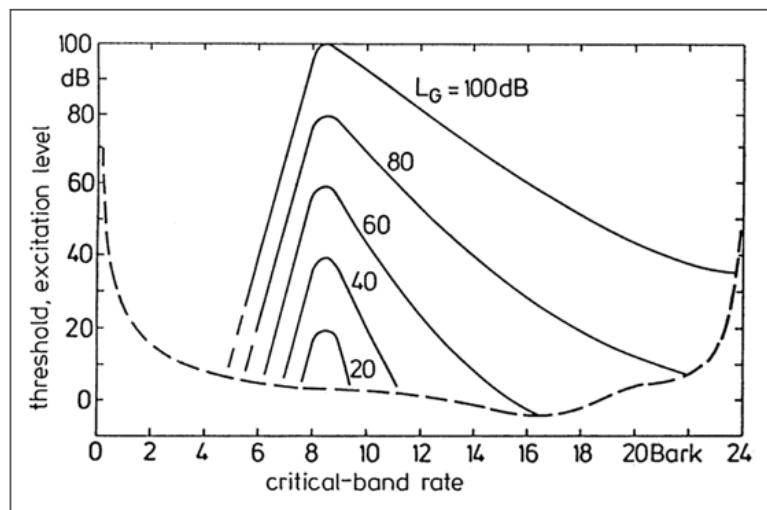


Abb. 6: Aus Mithörschwellen abgeleitete Erregungsmuster von Schmalbandrauschen bei 1 kHz mit 160 Hz Bandbreite für Pegel zwischen 20 dB und 100 dB. (nach [6])

#### Zwicker-Ton

Nach dem Abschalten von Breitbandrauschen mit einer spektralen Lücke erscheint ein kurzer leiser Ton mit einer Tonhöhe im Bereich der Lücke, den Zwicker 1964 entdeckt und als „negative afterimage“ beschrieben hat [8], für den sich aber international die Bezeichnung Zwicker-Ton eingebürgert hat.

#### Subjektive Dauer

Bei kurzen Dauern müssen für gleiche wahrgenommene Dauern die physikalischen Dauern von Pausen wesentlich länger sein als diejenigen von Impulsen. Beispielsweise erzeugt ein Impuls von 100 ms die gleiche wahrgenommene Dauer wie eine Pause von 380 ms [9].

#### Zwicker-Lautheit

Die Messung und Modellierung der Lautheit hat Eberhard Zwicker jahrzehntelang beschäftigt. Wesentliche Meilensteine sind in Kapitel 8 des Buches „Psychoacoustics – Facts and Models“ zusammengefasst [6]. Anhand Abbildung 7 sollen zentrale Aspekte der Berücksichtigung spektraler Effekte erläutert werden [10].

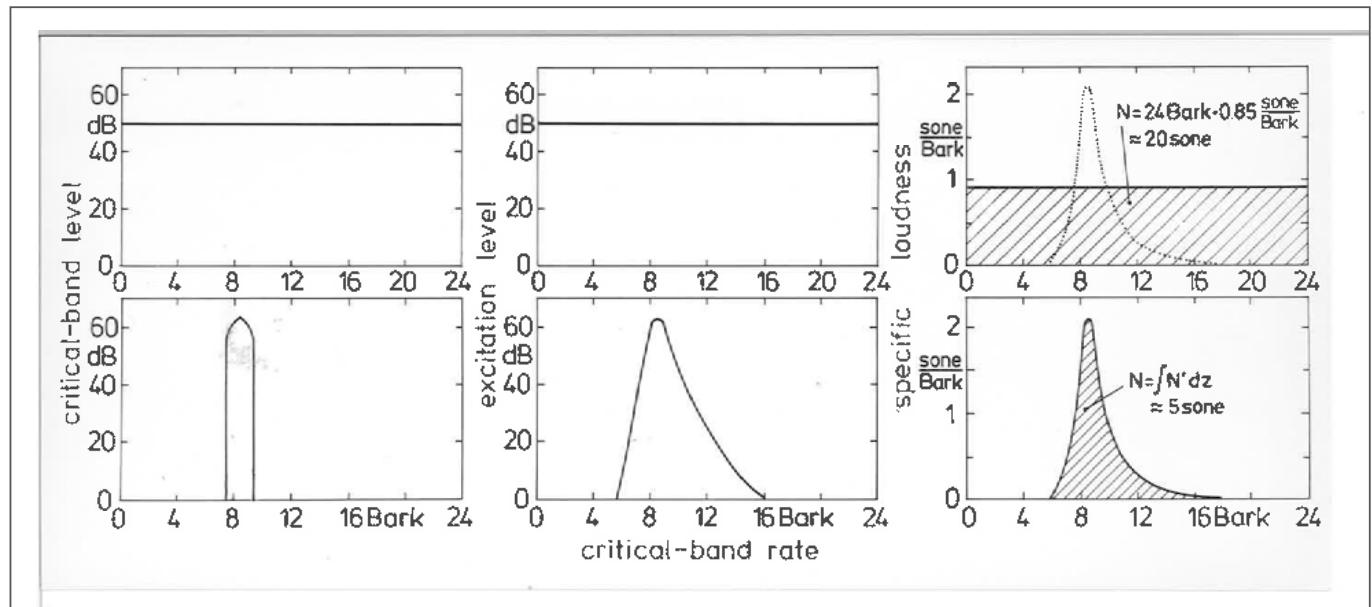
Die oberen Teilbilder erläutern die Verarbeitungsschritte für Breitbandrauschen, die unteren Teilbilder für ein Schmalbandrauschen bei 1 kHz mit 160 Hz Bandbreite. Die linken Teilbilder zeigen die Spektralverteilungen längs der Bark-Skala, die mittleren Teilbilder die zugehörigen Erregungsmuster. Die rechten Teilbilder repräsentieren die entsprechenden Lautheitsmuster. Besonders bedeutsam ist, dass die Flächen der Lautheitsmuster (schraffiert) der wahrgenommenen Lautheit direkt entsprechen. Anhand des Flächenvergleichs wird deutlich, dass breitbandige Schalle trotz gleichem Pegel erheblich lauter wahrgenommen werden als schmalbandige Schalle. Dies wird durch die gepunktete Kurve im rechten oberen Teilbild nochmal verdeutlicht.

Das in Abbildung 7 erläuterte Verfahren kann für die Berechnung der Lautheit stationärer Schalle verwendet werden. Es wurde auch in DIN 45631 [11] standardisiert.

Allerdings sind die meisten Alltagsgeräusche instationär und deshalb wurde das Verfahren zur Berechnung der Zwicker-Lautheit erweitert [12]. Nach einiger Zeit der Erprobung wurde das Verfahren in DIN 45631/A1[13] standardisiert. Anhand von Abbildung 8 sollen wesentliche Verarbeitungsschritte erläutert werden.

Der Schalldruck  $p(t)$  wird durch ein Mikrofon auf-

Abb. 7: Fig.8.16 aus [6]



genommen, verstärkt und einem Filter, das zwischen Freifeld und Diffusfeld unterscheidet, zugeführt. Es folgt eine Filterbank welche die Bark-Skala grob nachbildet; anschließend wird in jedem Kanal durch Gleichrichtung und einen Tiefpass mit 2 ms Zeitkonstante die Hüllkurve gebildet. Der Block N' symbolisiert die Transformation in die spezifische Lautheit, der Block NL steht für das dauerabhängige Abklingen: Nach kurzen Schallen klingt die Erregung steiler ab als nach längeren Schallen. Der Block + symbolisiert die Flächenbildung im Lautheitsmuster, der Block LP die zeitliche Integration durch einen Tiefpass dritter Ordnung. N(t) schließlich repräsentiert die zeitvariante Lautheit.

Das hier im Prinzip erläuterte Verfahren zur Berechnung der Zwicker-Lautheit zeitvarianter Schalle wurde 2017 im internationalen Standard ISO 532-1 [14] publiziert.

#### Psychoakustik in einer Ingenieurfakultät

„Als Zwicker sein wissenschaftliches Lebenswerk begann, gehörten Mut und Selbstsicherheit dazu, sich in einer ingenieurwissenschaftlichen Fakultät mit ‚subjektiven‘ Reaktionen auf Schallsignale zu beschäftigen. Wenn die Psychoakustik, die Wissenschaft vom ‚System Gehör‘, heute in wachsendem Maße Interesse, Anerkennung und

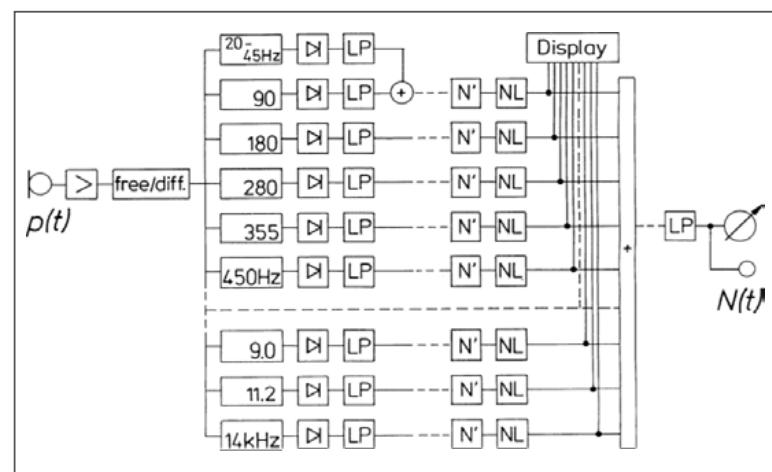


Abb. 8: Blockdiagramm eines Lautheits-Messgerätes für instationäre Schalle

informationstechnische Anwendungen findet, so gibt es sonst kaum eine einzelne Person, welche daran so große Verdienste hat wie Eberhard Zwicker“ [15].

#### **Brücke zwischen Physiologie und Psychoakustik**

Wie weit werden psychoakustische Erkenntnisse durch physiologische Erkenntnisse erklärbar? Die Brücke zwischen beiden Welten wird stetig belastbarer, und es ist spannend, sie zu beschreiben. Eberhard

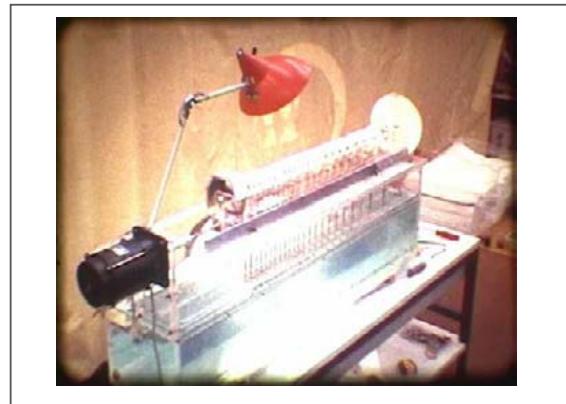
# Light-weight, wireless & easy to use!

## An omni-directional sound source for room acoustic measurements

- Complies with the ISO 3382 directivity pattern.
- Weighs only 1.5 kg.
- Connects via cable or AptX Bluetooth up to 30 m.
- Pre-installed rechargeable battery, providing 1.5 hours of continuous playback.



**Odeon Omni**  
available for purchase



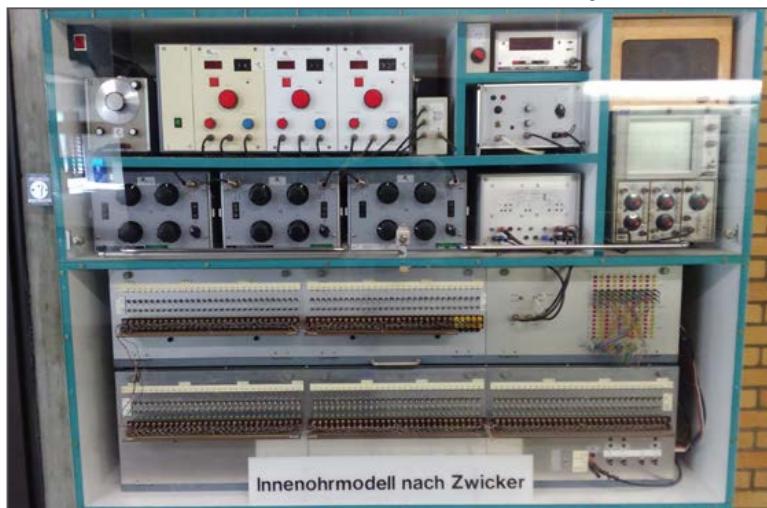
*Abb. 9: Zwickers hydroakustisches Innenohrmodell,*  
© T. Zwicker

Zwicker ist zwar insbesondere durch seine Leistungen auf dem Gebiet der Psychoakustik bekannt geworden. Er hat aber auch auf dem Gebiet der Physiologie wichtige Beiträge geleistet.

Für die Erstellung von Modellen des Innenohrs waren wesentliche anatomische Daten nicht verfügbar. Es ist ganz typisch für Eberhard Zwicker, dass er selbst diese Lücke schloss. Er erlernte bei Heinrich Spoendlin in Zürich (CH) und Ted Evans in Keele (GB) physiologische Präparationstechniken, die er dann in München anwandte. Der Autor hatte als junger Doktorand u. a. die Aufgabe, aus dem Schlachthof München Innenohre von Schweinen für seinen Doktorvater zu besorgen. Dieser konnte in umfangreichen Studien nachweisen, dass insbesondere die Abmessungen der Deckmembran im Corti-Organ in klassischen Darstellungen durch Fixationsartefakte verfälscht waren [16]. Mit den entsprechend korrigierten Eingangsgrößen konnten wesentlich verbesserte Innenohrmodelle erarbeitet werden.

Zum einen studierte Eberhard Zwicker in hydroakustischen Modellen den adäquaten Reiz der inneren Haarzellen des Corti-Organs. [17]

*Abb. 10: Zwickers elektronisches Innenohrmodell in analoger RC-Technik*



Zum anderen erstellte Eberhard Zwicker unter Mit hilfe von Werkstudenten, die dazu unzählige Lötstellen realisierten, ein elektronisches Innenohrmodell. Dieses Modell konnte die Frequenz-Ortstransformation, die pegelabhängige Frequenzselektivität, die Nichtlinearitäten und sogar die otoakustischen Emissionen quantitativ nachbilden. Darüber hinaus wurden auch digitale Innenohrmodelle erstellt [18].

## Praktische Anwendungen

### Geräuschbeurteilung

Eberhard Zwicker hat sein Leben lang für eine gehör gerechte Geräuschbeurteilung gekämpft. Anstelle des A-bewerteten Schallpegels in dB(A) sollte die Lautheit N in sone angewandt werden. Erste Erfolge konnte er selbst noch anstoßen (z. B. [19]). Leider hat er aber nicht mehr erlebt, dass in der Münchener Schule der Psychoakustik entwickelte Größen wie Lautheit, Schärfe, Rauhigkeit oder Schwankungs stärke heutzutage weltweit mit großem Erfolg für die Geräuschbewertung eingesetzt werden [6].

### Audiologie

Bereits während seiner USA-Aufenthalte begann Eberhard Zwicker sein psychoakustisches Wissen für die Diagnose und Rehabilitation von Hörstörungen einzusetzen.

Besonders hervorzuheben sind seine Untersuchungen von otoakustischen Emissionen mit deren Hilfe

*Abb. 11: Ur-Lautheitsmesser in analoger LC-Technik,*  
© T. Zwicker





Abb. 12: Lautheitsmesser mit digitaler Signalverarbeitung, © T. Zwicker



Abb. 13: Gerät zur Messung verzögter, evozierte otoakustische Emissionen (DEOAE), © T. Zwicker

das Hörvermögen von Babys zuverlässig prognostiziert werden kann [20]. Solche Verfahren gehören heutzutage zu den routinemäßigen Screenings von Neugeborenen.

Anhand der psychoakustischen Tuningkurven kann die reduzierte Frequenzselektivität bei Hörstörungen erfasst werden [21].

Während die Pegelunterschiedsschwelle bei Normalhörenden um 1,5 dB liegt, erreicht sie bei Patienten mit Acusticus neurinom Werte über 4 dB. Somit kann mit einer sehr einfachen psychoakustischen Messung ein Tumor an der Hörbahn zuverlässig diagnostiziert werden. [22]

Das reduzierte Zeitauflösungsvermögen Schwerhöriger kann wichtige Hinweise auf deren Probleme in Cocktailparty-Situationen geben [23].

## Eberhard Zwicker als Mensch

### Aus Sicht der Kollegen

„Wer mit Zwicker zusammentraf, konnte nicht umhin, von seiner geistigen Präsenz, temperamentvollen Redlichkeit und Autorität beeindruckt zu sein. Dass er zugleich ein äußerst feinfühliger, hilfsbereiter Mitmenschen war, das wissen – außer seinen Angehörigen – hauptsächlich diejenigen, welche das Glück hatten, längere Zeit mit ihm zusammenzuarbeiten.“ [15]

„Seine schwäbische Herkunft hat Eberhard Zwicker wesentlich geprägt. (...) Er war sich als weltbekannter, angesehener Forscher, als Ordinarius und Institutsleiter niemals zu gut, sich um ‚Kleinigkeiten‘ persönlich zu kümmern – gleichgültig, ob diese Technisches, Administratives oder Zwischenmenschliches betrafen. Seine persönliche Anspruchslosigkeit und sein hausväterlich-sparsamer Umgang mit den verfügbaren Ressourcen hinderten ihn nicht an weitblickender Großzügigkeit, wo diese am Platz war. Und angesichts seines Fleißes und seiner geradezu unglaublichen Arbeitskraft sind die Geduld und das Verständnis, welche er zu jeder Zeit für seine Mitarbeiter aufbrachte, besonders bemerkenswert.“ [24, S. 44]

### Aus Sicht seines Sohnes Dr. Tilmann Zwicker

„Mein Vater war:

- sehr verständnisvoll, fair, menschlich, bescheiden, weltoffen, von starker Familienorientierung und im Sinne von Werterhaltung konservativ („altmodisch“ war er überhaupt nicht!).
- von äußerst umfangreichem Wissen, nicht nur was seine Wissenschaft und das Ingenieurwesen anging, sondern auch weit darüber hinaus, denn er kannte sich auch in Astronomie und Geologie bestens aus und war dazu ein höchst erfolgreicher Schreiner und Gärtner auf semi-professionellem Niveau. Überhaupt waren sein praktischer Ansatz und seine handwerklichen Fähigkeiten im Bekannten- und Freundeskreis legendär.
- neben seiner Wissenschaft und seiner Familie liebte er die Berge und die Natur – bei gutem Wetter zog er des öfteren zusammen mit dem Familienhund in aller Frühe los, um möglichst bei Sonnenaufgang oder zumindest noch in den Morgenstunden einen Gipfel in den bayrischen Bergen zu erklimmen.“ [25].

So war es Tradition, dass jeder Doktorand vor seinem Rigorosum mit seinem Doktorvater Eberhard Zwicker eine Bergwanderung durchführen durfte. Dabei wurde der Schwierigkeitsgrad der Tour den bergsteigerischen Fähigkeiten des Doktoranden optimal angepasst. Start war jeweils gegen 4 Uhr früh in Icking.

Als Habilitand durfte der Autor mit Eberhard Zwicker von Hütte zu Hütte auf eine dreitägige Bergtour im Karwendelgebirge gehen, von der beide mit unvergesslichen Eindrücken und wundervollen Erlebnissen zurückgekehrt sind.

### Schlussbemerkung

Zum Schluss soll hier der Nobelpreisträger Georg von Bekesy mit Auszügen aus seiner Einschätzung zu Eberhard Zwicker zu Wort kommen:

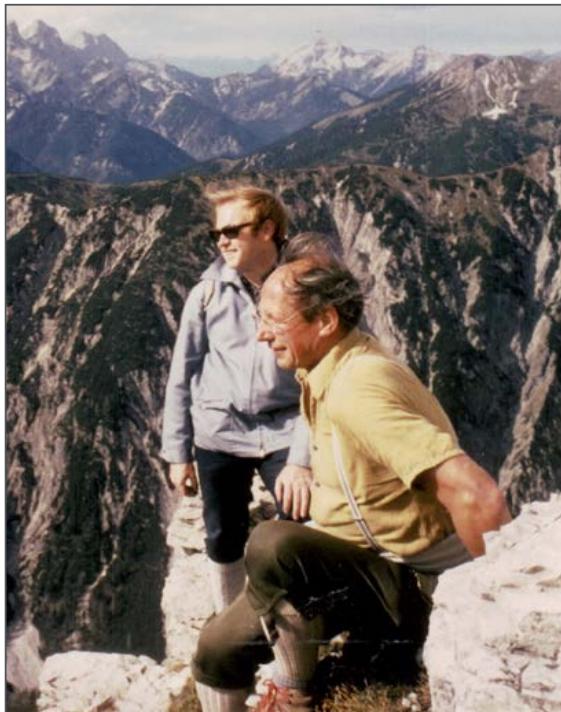


Abb. 14: Zwicker und Fastl im Karwendelgebirge,  
© T. Zwicker

„Herrn Prof. Dr. R. Feldtkeller,  
Harvard University, S. Jan. 1962

*Sehr geehrter Herr Prof. Feldtkeller!*

*Es hat mich außerordentlich gefreut, aus Ihrem Brief vom 1.12. zu vernehmen, dass die Fakultät für Maschinenwesen beschlossen hat, die Ernennung von Herrn Dozent Dr. E. Zwicker zum apl. Professor bei dem Kultusministerium zu beantragen.*

*Da ich Herrn Dr. Zwicker schon seit vielen, vielen Jahren kenne, mit ihm viele Besprechungen und Diskussionen gehabt habe und im Laboratorium hier bei uns in Harvard bei seiner Arbeit anwesend war, so kann ich die Fakultät nur beglückwünschen, wenn die Möglichkeit besteht, dass sie Herrn Dr. Zwicker als Kollegen haben wird.*

*Als Wissenschaftler habe ich ihn immer hoch geschätzt wegen seines Fleisses, seiner vollständig korrekten Beschreibung der Befunde und seiner Erfindungsgabe, nachrichtentechnische Methoden auf gewisse spezielle Probleme, wie das Ohr, mit grossem Erfolg anzuwenden. Ich bin ganz sicher, er hat und er wird auch fernerhin als Wissenschaftler viele junge Studenten beeinflussen und ihnen Genauigkeit der Beobachtung und Objektivität des Urteils beibringen.*

*Im Laboratorium hat er sich immer durch eine vollständige Beherrschung sämtlicher Instrumente bis in die kleinsten Detailfragen ausgezeichnet. Es ist gerade diese ausserordentliche Kenntnis der Kleinigkeiten, was seinen Arbeiten einen soliden Untergrund liefert.*

*Als Vortragender habe ich ihn öfters bei Vorlesungen gehört und diese waren klar, leicht zu verstehen und das*

*ganze Gebiet von jeder Seite erschöpfend behandelnd. Als Organisator hat er sich in jeder Beziehung durch die Organisation des Internationalen Kongresses in Stuttgart einen bleibenden Namen verschafft. Er hat keine Mühe gescheut, ist nie ausser Fassung gekommen und hat den alten Ruf deutscher Organisationsfähigkeit bestätigt. Ich habe von allen übrigen Kollegen in Europa nur freundliche Worte über seine Tätigkeit als Organisator gehört. Ich glaube daher nicht zu übertreiben, wenn ich annehme, dass er die Organisation eines Instituts mit Erfolg wird übernehmen können.*

*Als Kollege wird er von allen meinen Bekannten hoch geschätzt, wegen seiner geraden Aufrichtigkeit und seines freundlichen Benehmens.*

*Als Mensch ist er für mich eines der bestbalancierten Individuen, das wir hier im Laboratorium gehabt haben und das gleiche gilt nicht nur für ihn, sondern auch für seine Gemahlin, was die Grundlage für eine stetige ungestörte wissenschaftliche Arbeit liefert . . .*

Mit herzlichen Grüßen  
Ihr G. v. Békésy“

Der Autor dankt Herrn Dr.-Ing. Tilmann Zwicker für wertvolle Hinweise und die Überlassung von Archivmaterial.

## Literatur

- [1] Fastl, H.: Die Münchener Schule der Psychoakustik. *Acustica/Nuntius acusticus* 92, Heft 1, S. 1–21, 2006.  
<http://mediatum.ub.tum.de/doc/1138488/950811.pdf>
- [2] Kötzsch, P.: Schriftenreihe Geschichte der Akustik, Heft 10: Eberhard Zwicker, Lothar Cremer und Manfred Heckl, DEGA e. V. 2017.
- [3] Zwicker, E.: Die elementaren Grundlagen zur Bestimmung der Informationskapazität des Gehörs. *Acustica* 6, 4, S. 365–381, 1956.
- [4] Zwicker, E.; Feldtkeller, R.: Das Ohr als Nachrichtenempfänger. Zweite neubearbeitete Auflage. S. Hirzel Verlag, Stuttgart 1967 (232 Seiten, 217 Abbildungen).
- [5] Zwicker, E.; Fastl, H.: *Psychoacoustics. Facts and Models*, 1. Auflage Springer-Verlag, Berlin 1990.
- [6] Fastl, H.; Zwicker, E.: *Psychoacoustics. Facts and Models*, 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin u.a. 2007 (with 53 psychoacoustic demonstrations on CD-ROM).
- [7] Zwicker, E.: Zur Unterteilung des hörbaren Frequenzbereichs in Frequenzgruppen. *Acustica* 10, 185, 1960.
- [8] Zwicker, E.: “Negative afterimage” in hearing. *J. Acoust. Soc. Am.* 36, pp. 2413–2415, 1964.
- [9] Zwicker, E.: Subjektive und objektive Dauer von Schallimpulsen und Schallpausen. *Acustica* 22, pp. 214–218, 1970.
- [10] Zwicker, E.: Ein Verfahren zur Berechnung der Lautstärke. *Acustica* 10, pp. 304–308, 1960.
- [11] DIN 45631:1991-03: Berechnung des Lautstärkepegels und der Lautheit aus dem Geräuschspektrum; Verfahren nach E. Zwicker. 1991.
- [12] Zwicker, E.: Procedure for calculating loudness of temporally variable sounds. *J. Acoust. Soc. Am.* 62, pp. 675–682, 1977. Erratum: *J. Acoust. Soc. Am.* 63, p. 283, 1978.
- [13] DIN 45631/A1:2010-03: Berechnung des Lautstärkepegels und der Lautheit aus dem Geräuschspektrum – Verfahren nach E. Zwicker – Änderung 1: Berechnung der Lautheit

- zeitvarianter Geräusche; mit CD-ROM. 2010.
- [14] ISO 532-1: 2017-06: Acoustics – Methods for calculating loudness – Part 1: Zwicker method. 2017.
- [15] Terhardt, E.: Eberhard Zwicker †. *Acustica* 73, S. 175, 1991. (Zum Tod von E. Zwicker)
- [16] Zwicker, E.: Die Abmessungen des Innenohrs des Hausschweines. *Acustica* 25, pp. 232–239, 1971.
- [17] Zwicker, E.: Spaltweite und Spaltströmung in einem Ausschnittmodell des Innenohres. *Acustica* 31, pp. 47–49, 1974.
- [18] Zwicker, E.; Peisl, W.: Cochlear preprocessing in analog models, in digital models and in human inner ear. *Hearing Research* 44, pp. 209–216, 1990.  
[https://doi.org/10.1016/0378-5955\(90\)90081-Y](https://doi.org/10.1016/0378-5955(90)90081-Y)
- [19] Zwicker, E.: Loudness patterns (ISO 532 B), an excellent guide to noise-reduced design and to expected public reaction. In: Proc. of NOISE-CON 88, (J. S. Bolton, Ed.) Noise Contr. Found., New York, pp. 15–26, 1988.
- [20] Zwicker, E.; Schorn, K.: Delayed evoked otoacoustic emissions – an ideal screening test for excluding hearing impairment in infants. *Audiology* 29, pp. 241–251, 1990.  
<https://doi.org/10.3109/00206099009072855>
- [21] Zwicker, E.: Klassifizierung von Hörschäden nach dem Frequenzselektionsvermögen. In: *Kybernetik* 1977, ed. by G. Hauske, E. Butenandt, pp. 413–415. Oldenbourg, München 1978.
- [22] Fastl, H.; Zwicker, E.: Ein Gerät zur Messung von Pegel- und Frequenzunterschiedsschwellen. *Z. Hörger. Akustik* 18, pp. 26–34, 1979.  
[https://www.uzh.ch/orl/dga-ev/publikationen/zfaudiologie/archiv/HGAK\\_1979\\_18-1\\_026-034\\_Original.pdf](https://www.uzh.ch/orl/dga-ev/publikationen/zfaudiologie/archiv/HGAK_1979_18-1_026-034_Original.pdf) (letzter Aufruf: 14.12.2023)
- [23] Zwicker, E.: The temporal resolution of hearing – An expedient measuring method for speech intelligibility. *Audiol.*

- Acustics* 25, pp. 156–169, 1986.
- Zwicker, E.: Das Zeitauflösungsvermögen des Gehörs – Eine zweckmäßige Meßmethode im Hinblick auf die Sprachverständlichkeit. *Audiol. Akustik* 25, S. 156–169, 1986.  
[https://www.uzh.ch/orl/dga-ev/publikationen/zfaudiologie/archiv/AudAk\\_1986\\_25-5.pdf](https://www.uzh.ch/orl/dga-ev/publikationen/zfaudiologie/archiv/AudAk_1986_25-5.pdf) (letzter Aufruf: 14.12.2023)
- [24] Terhardt, E.: Eberhard Zwicker – In memoriam. *TUM-Mitteilungen* 2/3, S. 44, 1990/1991.
- [25] Zwicker, T.: Rede zur Verleihung (posthum) der Helmholtz-Medaille an Eberhard Zwicker durch die Deutsche Gesellschaft für Akustik (DEGA). DAGA 1991, Bochum. ■



**Prof. Dr.-Ing.  
Hugo Fastl**  
Technische Universität München

## FIT FÜR DIE LEBENSZYKLUSBETRACHTUNG PRODUKTE DER ACOUSTICS DIVISION

The diagram shows a circular model of a product's life cycle. It is divided into four segments: 1 Ressourcen (Resources), 2 Produktion (Production), 3 Langlebigkeit (Durability), and 4 Recycling. The center of the circle contains the brand name "REGUPOL". Below the diagram, there is contact information: email "akustik@regupol.de" and website "www.regupol.com".

**Schallschutz ✓**  
**Erschütterungsschutz ✓**  
**Ressourcenschutz ✓**

Mit dem Cradle to Cradle-Zertifikat und der Umweltproduktdeklaration (EPD) schaffen wir Transparenz für das Nachhaltige Bauen.



Was sind Ihre Schutzziele?

# Anwendungen der Virtuellen Akustik

Lukas Aspöck, Janina Fels, Matthias Frank, Matthias Bertsch, Andreas Mühlberger, Leon Kroczek, Sarah Roßkopf, Bernhard U. Seeber, Josep Llorca-Boffí, Michael Vorländer, Christoph Sladeczek, Jakob Bergner, Kevin Hock, René Rodigast, Joachim Bös, Franz Zotter, Gerriet K. Sharma, Meret Stellbrink, Stefan Weinzierl, Sebastià V. Amengual Garí

Editor:innen: Annika Neidhardt, Jens Ahrens, Christoph Pörschmann

**Virtuelle Akustik kann Personen auditiv in eine andere Umgebung versetzen, virtuelle Elemente zur realen Umgebung hinzufügen oder diese für den/die Nutzer:in modifiziert erscheinen lassen. Inzwischen erzielt die Virtuelle Akustik dabei perzeptiv so überzeugende Ergebnisse, dass sie sowohl als Werkzeug in der Forschung als auch als Technologie in kommerziellen Produkten zunehmend an Bedeutung gewinnt. Der vorliegende Artikel gibt einen Einblick in die Bandbreite der aktuellen und künftigen Einsatzmöglichkeiten der Virtuellen Akustik. Forschende berichten von ihren Arbeiten, zeigen die praktischen Anwendungen auf, die uns allen in naher Zukunft im Alltag begegnen könnten und welche Potenziale und Herausforderungen dabei bestehen.**

## Einleitung

„Wie können technische Systeme realisiert werden, die eine:n Hörer:in auditiv in eine virtualisierte Realität versetzen?“ Das war über viele Jahre die zentrale Forschungsfrage der Virtuellen Akustik. Dabei ging es vor allem um die Entwicklung von Methoden, Verfahren und technischen Realisierungen. Damit einher ging die Beantwortung perzeptiver Fragestellungen: „Welche Aspekte des physikalischen Schallfeldes müssen mit welcher Genauigkeit nachgebildet werden?“ Ziel der auf diese Weise technisch realisierten virtuellen Realität ist es, dass sich ein/eine Hörer:in in der virtuellen Umgebung präsent fühlt, diese als natürlich wahrnimmt und in dieser (näherungsweise) so agiert wie in einer realen Umgebung. Die darauf aufbauende Frage „Wie können wir die Qualität einer virtuellen Realität messen?“, z. B. um verschiedene technische Realisierungen und Systeme miteinander zu vergleichen, kann oft nicht mehr unabhängig von einer geplanten Anwendung beantwortet werden. Immer mehr Anwendungen der Virtuellen Akustik als eine Modalität der virtuellen Realität haben Eingang in unterschiedlichste Themenfelder gefunden. Und inzwischen ist das kommerzielle Interesse an solchen Anwendungen so groß, dass sich große multinationale Konzerne intensiv mit virtueller Realität beschäftigen und diese für ihre Anwendungsbereiche erforschen. Wir befinden uns mit der Virtuellen

## Applications of Virtual Acoustics

**Virtual acoustics can aurally transport people into a different environment, add virtual elements to the real environment or make it appear modified to the user. Over the years, virtual acoustics has reached such convincing perceptual results that it is becoming increasingly important both as a tool in research and as a technology in commercial products. This article provides an insight into the range of current and future applications of virtual acoustics. Researchers report on their work, highlight the practical applications that we could all encounter in everyday life in the near future and the potential and challenges that exist.**

Akustik also in einem Umfeld, in dem die Anwendungen selbst einen eigenen Forschungsgegenstand darstellen, die technische Machbarkeit und Fragen einzelner Details der auditiven Wahrnehmung sind dabei oft nur noch Nebenaspekte. Um diese sich über die Jahre veränderten Aspekte der wissenschaftlichen Arbeit zu verdeutlichen, widmet sich dieser Artikel den Anwendungen der Virtuellen Akustik. Dabei stellen verschiedene Arbeits- und Forschungsgruppen ihre Anwendungen und die damit verbundenen Möglichkeiten und Herausforderungen vor.

## Virtuelle Akustik in der Forschung – ein Überblick

- Lukas Aspöck, Janina Fels  
(Institut für Hörtechnik und Akustik, RWTH Aachen)

Beim Einsatz der Virtuellen Akustik als Werkzeug in der Forschung steht insbesondere eine geeignete Auralisierung im Vordergrund, um in Hörexperimenten Proband:innen kontrolliert verschiedene Szenarien über Kopfhörer oder mit Hilfe mehrkanaliger Lautsprechersysteme darzubieten.

Derartige Experimente werden beispielsweise häufig im Bereich der Hörforschung durchgeführt. So wurde bereits in den 1990er und 2000er Jahren mit Hilfe von simulierten Räumen untersucht, welchen Ein-

fluss das binaurale Hören auf die Sprachverständlichkeit hat [1]. Die Nutzung von Simulationen hat den Vorteil, dass die Szenarien, z. B. die Raumakustik, die Position oder der Pegel der Störschallquellen, exakt kontrolliert und verändert werden können, um Versuchspersonen in den Hörexperimenten verschiedene Bedingungen darzubieten. In jüngeren Studien wurde beispielsweise untersucht, wie sich bewegender Störschall bei jüngeren oder älteren Personengruppen auf die Sprachverständlichkeit auswirkt [2]. Abseits davon gibt es auch die Anwendung im Bereich der musikalischen Akustik, z. B. zur Untersuchung der Bewegung von Musikinstrumenten [3], oder zur Beurteilung der Raumakustik von Konzertsälen [4]. Auch im Bereich der Bauakustik findet Virtuelle Akustik in Experimenten Anwendung [5]. Zunehmend hat sich die Komplexität der dargebotenen Szenen erhöht, die inzwischen eine hohe Anzahl von aktiven, sich bewegenden Schallquellen beinhaltet kann. So wird es möglich, auch Alltagssituatien wie sie im Restaurant, an einem Bahnhof oder bei einer Tagung auftreten, realistisch nachzubilden. Solche komplexen Szenen können auch bei der Untersuchung der selektiven auditiven Aufmerksamkeit eine wichtige Rolle spielen [6], welche dann in Experimenten mit unterschiedlichsten Personengruppen, z.B. mit Kindern untersucht werden kann [7]. Ebenso weit hat sich die Anwendung Virtueller Akustik in vielen Bereichen der Lärmwirkungsorschung etabliert, z.B. bei Studien zu Großraumbüros [8] oder bei der Untersuchung von Flug- oder Straßenlärm [9]. Im urbanen Kontext bietet zudem die Durchführung von virtuellen Soundwalks [10] den Vorteil, die Szenarien kontrollierbar zu halten, was in der Durchführung von realen Soundwalks häufig nicht gewährleistet werden kann.

In den folgenden Beiträgen werden die Nutzung der Virtuellen Akustik für musikalisches Training, für die Untersuchung und Erhaltung des Kulturerbes, für psychologische Therapiemaßnahmen als auch zur Entwicklung von Hörhilfen, in der akustischen Stadtplanung, sowie in der Komposition und Veranstaltungstechnik tiefgehender beleuchtet.

## Virtuelle Akustik für musikalisches Training

■ Matthias Frank<sup>1</sup>, Matthias Bertsch<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Universität für Musik und darstellende Kunst Graz; <sup>2</sup>Universität für Musik und darstellende Kunst Wien)

Die akustische Umgebung eines:r Musikers:in beeinflusst die Spielweise der Instrumente und den Einsatz der Stimme [1]. Mit Hilfe der Virtuellen Akustik kann schnell zwischen unterschiedlichen Umgebun-

gen umgeschaltet werden, um so bewusst gewisse Reaktionen zu provozieren. Dabei ist es wichtig, die Latenz des akustischen Systems (vom Mikrofon am Instrument durch die gesamte Signalverarbeitungskette bis zu den Ohren der:s Musiker:in) so gering wie möglich zu halten, damit die natürliche Spielweise möglichst wenig gestört wird [2]. Deshalb bieten sich Systeme an, die den Direktschall des Instruments ungehindert durchlassen und nur den Raumanteil mit Hilfe der Virtuellen Akustik zuspielen. Für die Zuspielung können entweder transparente Kopfhörer [3] oder umgebende Lautsprecherkuppeln [4, 5] verwendet werden. Während früher für die schnelle Berechnung noch digitale Signalprozessoren notwendig waren, sind heutzutage normale Computer nutzbar [3]. Auch die Verfügbarkeit von transparenten Kopfhörern [6] wird durch aktuelle Entwicklungen für Augmentierte Realität leichter. Nachfolgend wird der Einsatz von Virtueller Akustik in zwei Szenarien der musikalischen Ausbildung skizziert.

Typischerweise ist die zum Üben verfügbare Zeit in Konzertsälen sehr begrenzt, und meist sind solche Räume auch erst gegen Ende der Musikausbildung überhaupt zugänglich. Deshalb wird der Umgang mit unterschiedlichen akustischen Umgebungen erst sehr spät gelernt. Mit Hilfe der Virtuellen Akustik können Konzertsäle im kleinen Überzimmer auralisiert werden und so schon sehr früh in die musikalische Ausbildung einfließen. Studienergebnisse zeigen, dass das Erkennen von unterschiedlichen akustischen Umgebungen und das Reagieren darauf bei jungen Anfänger:innen noch nicht stark ausgeprägt sind, aber mit Virtueller Akustik erlernt werden kann [7]. Während die Lehrenden in der Studie vom Einfluss der Virtuellen Akustik auf Agogik, Artikulation, Tempo, Intonation und andere musikalische Parameter berichten, bemerken die Lernenden in erster Linie bewusst eine Steigerung der Freude beim Musizieren.

Extremes Lampenfieber ist ein sehr häufiges Hindernis für Musiker:innen, in außergewöhnlichen und angstbesetzten Auftrittssituationen wie Aufnahmeprüfungen, Orchesterprobespielen oder Konzerten an legendären Auftrittsorten Topleistungen zu erbringen. Mit Hilfe von Virtual Reality Headsets können räumliche 360°-Kameraaufnahmen dieser Orte in Verbindung mit einer adäquaten Virtuellen Akustik ein intensives immersives Erlebnis erzeugen, das als effektives Expositionstraining eine neue virtuelle Variante des Lampenfiebertrainings ermöglicht [8]. Das realitätsnahe Training ermöglicht es, in einer sicheren Umgebung individuelle Zugänge und Fähigkeiten zu entwickeln, die helfen, Ängste zu überwinden [9]. Insbesondere bei Bläser:innen und Sänger:innen funktioniert das Spiel mit Headset ohne Sicht auf das Instrument sehr gut. Ergänzt durch psychophysiologische

Messungen können zusätzlich Stressparameter erfasst und analysiert werden. Aktuell stört das hohe Gewicht der Headsets teilweise die natürliche Spielweise, doch durch die rasante Entwicklung von solchen Geräten im Bereich der virtuellen Realität ist eine Besserung in den nächsten Jahren zu erwarten.

### Virtuelle Akustik in der Psychotherapie

- Andreas Mühlberger, Leon Kroczek, Sarah Roßkopf  
(Universität Regensburg)

Beim Einsatz von Virtueller Realität (VR) als Hilfsmittel in der Psychotherapie geht es darum, die sozial-kognitive Verarbeitung der störungsrelevanten Situation durch das Eintauchen in die Situation (Präsenz) und die Wahrnehmung der relevanten Aspekte intuitiv zu aktivieren. Insbesondere für phobische Störungen konnte die Exposition in Virtueller Realität als eine erfolgreiche Methode wissenschaftlich sehr gut belegt werden [1]. Nach der Netzwerktheorie der Emotionsverarbeitung [2] ist dabei die Passung der Wahrnehmung mit dem abgespeicherten Furchtnetzwerk zentral. Theorien gehen von einer Wechselwirkung zwischen der Qualität der Virtuellen Realität in Bezug auf die erzielte Immersion und der ausgelösten Präsenz sowie der emotionalen Reaktion als Voraussetzung für den Therapieerfolg aus [3]. Bezuglich der akustischen Simulation bedeutet dies, dass deren Plausibilität von herausragender Bedeutung ist. Eine die Methoden der Virtuellen Akustik nutzende auditive Darbietung, durch die Schallquellen externalisiert und kongruent zu der visuellen Umgebung wahrgenommen werden, kann das Eintauchen in die Simulation unterstützen. Drei Einsatzgebiete in der Psychotherapie mit hoher Relevanz der Virtuellen Akustik werden exemplarisch vorgestellt:

Abb. 1: Beispiel einer typischen sozialen Leistungssituation (Öffentliches Sprechen) in Virtueller Realität



Verhaltensübungen bei der Sozialen Angststörung, bei der die Furcht vor negativer Bewertung im Vordergrund steht, beinhalten soziale Interaktionen, bei denen die angstbesetzte Situation (z.B. Öffentliches Sprechen, Auftritte vor Publikum, oben beschriebenes Lampenfiebertraining) neu verarbeitet wird. Die Übungen können erfolgreich in Virtueller Realität durchgeführt werden. In ersten Untersuchungen konnte bereits gezeigt werden, dass eine optimierte auditive Darbietung in relevanten virtuellen Situationen (Seminarraum, siehe Abbildung 1) die soziale Präsenz verbessert und den Aufmerksamkeitsfokus automatisch auf die sprechende Person (z.B. im Auditorium) zu lenken erlaubt [4]. Es kann davon ausgegangen werden, dass auch Raumklang sowie Geräusche eines virtuellen Publikums (z.B. Gähnen) emotionale Prozesse stärker anstoßen. Über die Aktivierung der emotionalen Netzwerke kann dann die Widerlegung von Befürchtungen als relevanter Wirkmechanismus von Psychotherapie optimiert werden.

Die Aufmerksamkeits-Hyperaktivitätsstörung ist durch eine erhöhte Ablenkbarkeit gekennzeichnet, die insbesondere in Situationen mit vielen externen Reizen (z.B. im Klassenzimmer) verstärkt auftritt. Es konnte gezeigt werden, dass virtuelle Klassenzimmer für die Diagnostik effektiv genutzt werden können [5]. Eine mit Hilfe der Virtuellen Akustik optimierte auditive Darbietung und damit eine externalisierte Wahrnehmung der ablenkenden auditiven Reize wird voraussichtlich die Qualität der Diagnostik, aber auch den Einsatz von VR für die Therapie von Aufmerksamkeits-Hyperaktivitätsstörungen verbessern.

Für die Therapie akustischer Halluzinationen, ein typisches Symptom im Rahmen einer Psychose, wurde die sogenannte AVATAR-Therapie [6] entwickelt, bei der Patient:innen lernen, mit einer nach ihren Vorgaben generierten visuellen und akustischen Repräsentation der halluzinierten Stimme zu interagieren. Die Bedrohlichkeit der Stimme wird im Laufe von wenigen Therapiesitzungen immer mehr reduziert. Eine optimierte auditive Darbietung kann die Erfahrungen mit der Repräsentation der virtuellen Stimme verstärken und dadurch den Therapieerfolg zusätzlich erhöhen.

Insgesamt gibt es leider noch wenige Befunde zum Einsatz Virtueller Akustik im Bereich der Psychotherapie. Erste Ergebnisse deuten auf ein großes Potenzial zur Optimierung psychotherapeutischer Methoden hin. Eine interessante Forschungsfrage ist dabei auch, ob die Wechselwirkung zwischen emotionaler Erregung und auditiver Kognition die Anforderungen an Präzision der akustischen Stimulation reduzieren könnte. Generell eröffnet der technische Fortschritt bei der auditiven Ausgestaltung virtueller sozialer Interaktionen weitreichende Möglichkeiten, da Psy-

chotherapie, die ja im Kern eine soziale Interaktion darstellt, durch innovative virtuelle Formate ergänzt werden kann.

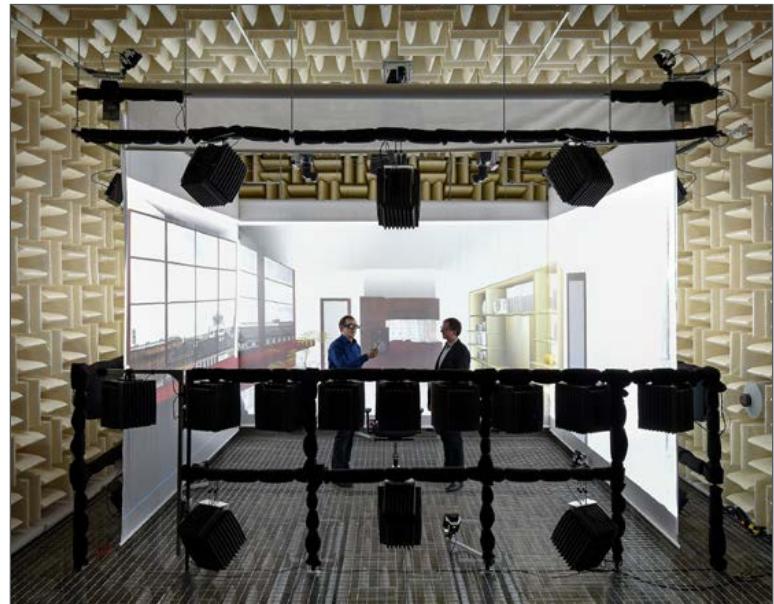
## Virtuelle Akustik in der Audiologie

■ Bernhard U. Seeber  
(Technische Universität München)

Audiologie beschäftigt sich mit den Funktionen und den Erkrankungen des menschlichen Gehörs. Diagnostik spielt dabei eine zentrale Rolle. Die Höreleistung einer Person wird ohne und mit Hörhilfen charakterisiert, wobei das Hören in Kommunikationssituationen im Fokus steht. Diese werden durch Satztests nachgebildet, in denen meist ein Störschall das Sprachverständnis beschränkt. Die räumliche Lage des Störschalls ist dabei ausschlaggebend für den binauralen Vorteil, und es kann bis zu 10 dB mehr Störschall toleriert werden, wenn er aus einer anderen Richtung als das Zielsprachsignal kommt [1]. Die Mechanismen des Sprachverständnisses können gut in diesen abstrakten Laborsituationen charakterisiert werden. Allerdings korrelieren die Ergebnisse schlecht mit den Berichten der Patienten über ihre Probleme in schwierigen realen Hörsituationen [2].

Virtuelle Akustik ermöglicht die Synthese und Auralisation von realitätsnahen Hörsituationen mit beliebiger Komplexität – aber was macht eine Hörsituation komplex? Die Anzahl, die räumliche Verteilung und Orientierung der Schallquellen sowie die Art des Signals beeinflussen das Sprachverständnis entscheidend, da der binaurale Vorteil und die Fähigkeit, in zeitliche Lücken zu hören, direkt betroffen sind [3]. Der Informationsgehalt der Störquellen ist ebenfalls wichtig, da verständliche störende Sprache von der Zielsprache ablenken kann und verwechselt werden kann. Starke frühe Reflexionen an Wänden und Objekten können den Zielschall besser verständlich machen, während später diffuser Hall den binauralen Vorteil reduziert. Hörgeräte nutzen komplexe Algorithmen für die automatische Umschaltung der Richtcharakteristik und die Unterdrückung von Störschall und Hall, die eine Situationserkennung und Lokalisation der Quellen erfordern und daher nur in komplexen Hörsituationen getestet werden können. Um solche Hörsituationen definiert und auch in anderen Labors reproduzierbar zu gestalten, können virtuelle Referenzszenen verwendet werden [4], welche Messergebnisse liefern, die nur sehr gering von jenen abweichen, die in der betreffenden Originalszene erzielt wurden [5].

In der Audiologie wird Virtuelle Akustik somit als Messgerät verwendet. Dies erfordert eine Schallwiedergabe mit einer vorgegebenen hohen Messgenauigkeit, was in der Praxis eine Herausforderung darstellt



*Abb. 2: Beispielhaftes audiovisuelles Interaktionsszenario in der real-time Simulated Open Field Environment im reflexionsarmen Raum an der TUM.*

[6]. Ein weiterer Aspekt ist die Abhängigkeit der Auralisationsqualität vom Laboraufbau – während an Universitäten komplexe Laborsysteme mit vielen Lautsprechern zu finden sind (Abbildung 2), haben Kliniken Systeme mit üblicherweise wenigen Lautsprechern in Hörkabinen. Virtuelle Akustik nutzt zudem Verfahren mit unterschiedlicher Rechenkomplexität, um frühe und späte Reflexionen zu simulieren und dynamisch wiederzugeben. Insbesondere bei einer Vereinfachung von Raumakustiksimulationen und Auralisationsverfahren sind Evaluationen mit normalhörenden Proband:innen, in denen keine hörbaren Unterschiede ermittelt wurden, nicht unbedingt auf Personen mit Hörstörungen übertragbar. So nimmt die Störwirkung von Reflexionen bei Hörstörungen oft zu, da Mechanismen des Präzedenzeffekts nur eingeschränkt funktionieren. Daher kommt der richtungstreuen Abbildung von frühen Reflexionen eine größere Bedeutung zu als bei Normalhörenden [7]. Die Anwendung von Virtueller Akustik in der Audiologie ist nicht auf Laboruntersuchungen und die Forschung an Hörhilfen beschränkt. Die Einstellung von Hörhilfen beim/bei der Hörgeräteakustiker:in erfordert realitätsnahe Hörsituationen, wofür die Verfahren der Virtuellen Akustik ebenfalls genutzt werden können. Auch kann eine patientengesteuerte Einstellung der Hörhilfe für problematische Hörsituationen hilfreich sein. Zur Therapie eignet sich Virtuelle Akustik ebenfalls: ein Hörtraining in realistischen Situationen macht nicht nur mehr Spaß, sondern verbessert den Umgang mit schwierigen Hörsituationen. Die Nutzung von Virtueller Akustik in der Audiologie steht somit erst am Anfang.

## Virtuelle Akustik in der Stadtplanung

■ Josep Llorca-Bofí, Michael Vorländer  
(Institut für Hörtechnik und Akustik, RWTH Aachen)

Das Interesse an der Bewertung von Lärm in Städten und im Freien nimmt stetig zu. Das gilt nicht nur für etablierte Methoden wie die Lärmkartierung [1], sondern geht darüber hinaus. Eine Möglichkeit, Menschen partizipativ in Planungsprozesse einzubeziehen, ist der Einsatz von Auralisationen in der virtuellen Realität, bei denen Schallquellen, Schallausbreitung und Empfängerkonfigurationen separat gesteuert werden können [2, 3]. Ergänzt durch eine visuelle Darstellung können diese Modelle als plausible Repräsentationen der Umgebung dienen, um

*Abb. 3: Halbautomatische Erstellung eines 3D-Modells für die Virtuelle Akustik des komplexen Szenarios am Strand von Copacabana, Brasilien. Von oben nach unten: Akustische und visuelle Datenerfassung, Photogrammetrisches Netz, akustisches Modell, akustisches Ray-Tracing.*



die Wahrnehmung und die Präferenzen der Menschen zu untersuchen (siehe Abbildung 3).

Offene städtische Umgebungen enthalten eine Vielzahl von Geräuschen, die von Quellen aus dem Verkehr, von Menschen oder aus der Natur stammen. Diese Geräusche breiten sich über unterschiedliche Entfernung in der Umgebung aus. Die variablen physikalischen Eigenschaften des inhomogenen Mediums Luft, die geometrischen Merkmale der Umgebung und der Schallabsorption und -streuung von Oberflächen sind dabei wesentlich. Ausbreitungsverluste sind ein weiterer erwähnenswerter Aspekt, da die Energieverluste des Schalls nicht nur durch die Entfernung zur Quelle, sondern auch durch Wettervariablen wie Luftfeuchtigkeit, Temperatur oder Dichte der Luft beeinflusst werden kann. Infolgedessen sind diese Klanglandschaften schwieriger nachzubilden als die Akustik geschlossener Innenräume.

Dennoch sind die Ansätze der Schallausbreitungssimulation denjenigen der Raumakustik ähnlich. Sehr unterschiedlich sind jedoch die Schritte der Audiosignalverarbeitung bei der Verrechnung von „trockenen“ (hallfreien) Primärsignalen mit den Ausbreitungsfunktionen (Impulsantworten). Während bei raumakustischen Auralisationen im Wesentlichen von einem zeitlich konstanten System ausgegangen werden kann, ist bei Außengeräuschen eher von einer sehr dynamischen Situation mit vielen bewegten Quellen auszugehen. Und im Gegensatz zur Raumakustik sind die entsprechenden Impulsantworten eher dünn besetzt, enthalten eher einzelne Reflexionspfade als einen dichten Nachhall. Daher sind weniger Faltungsoperationen mit kompletten Impulsantworten als vielmehr „Variable Delay Line“ VDL-Strukturen vorteilhaft, die nebenbei den Dopplereffekt von bewegten Quellen mitliefern [4, 5].

Falls nun noch Informationen über die Geräuschequellen vorliegen (Signale, Richtcharakteristiken), kann die Auralisation durchgeführt werden [6]. An all diesen Komponenten, insbesondere an der Quellcharakterisierung wird intensiv gearbeitet [7, 8]. Die Ergebnisse klingen schon recht plausibel, sind aber eher „typisch“ als authentisch und ermöglichen somit noch keine unmittelbaren Rückschlüsse auf die tatsächliche Schallausbreitung in einer spezifischen Umgebung, z. B. in einer realen Straßenschlucht mit bestimmten Gebäudefassaden.

Neben der Erfassung von Quellsignalen durch Messung oder Synthese gibt es nämlich noch zahlreiche offene Fragen bezüglich der Schallausbreitungssimulation. Wellenmodelle benötigen möglichst präzise Eingangsdaten wie Oberflächenimpedanzen oder Parameter der Atmosphäre, insbesondere bei der Betrachtung von Fluglärm. Bei Modellen der geometrischen Akustik trifft das ebenso zu, aber diese müssen

auch weiterentwickelt werden, um die eher stochastischen Effekte der Interaktion von Schall mit Gebäudefassaden besser abzubilden. Dies sind Anwendungen, in denen die Einflüsse von Streuung und Beugung besonders wichtig sind, mehr als in der Raumakustik, und insofern besteht auch ein Bedarf an besser geeigneten Modellen mit spezifischen (z.B. einfallswinkelabhängigen) Eingangsdaten für die Absorption und die Streuung an Gebäudeoberflächen.

## Virtuelle Akustik in der Veranstaltungstechnik

- Christoph Sladeczek<sup>1</sup>, Jakob Bergner<sup>1</sup>, Kevin Hock<sup>1</sup>, René Rodigast<sup>1</sup>, Joachim Bös<sup>1,2</sup>  
(<sup>1</sup>Fraunhofer-Institut für Digitale Medientechnologie IDMT, Ilmenau; <sup>2</sup>Fachgebiet Industrielle Anwendungen von Medientechnologien IAM, Technische Universität Ilmenau)

In der Veranstaltungstechnik zielen lautsprecherbasierte Anwendungen der Virtuellen Akustik auf ein effektvolles Hörerlebnis und eine bestimmte emotionale Wirkung ab. Methoden der Virtuellen Akustik erlauben die Erzeugung künstlicher akustischer Umgebungen, die realen Umgebungen gleichen oder sich bewusst davon unterscheiden. Dafür wichtige Aspekte sind die Reproduktion von Schallquellen, die eine korrekte Lokalisation sowie eine plausible und effektvolle raumakustische Einhüllung im Auditorium zulassen. Je nach Anwendung wird dafür ein geeignetes Audio-Wiedergabeverfahren ausgewählt, sowie Anzahl und Position der Lautsprecher festgelegt [1]. Ein Beispiel für räumliche Großbeschallungssysteme ist die Seebühne der Bregenzer Festspiele, auf der eine Vielzahl von Lautsprechern für das Publikum unsichtbar in die Kulisse der über 80 m breiten Bühne integriert ist. Sie werden verwendet, um ein Auditorium mit über 7000 Sitzplätzen zu beschallen [2]. Dafür werden die Lautsprecher zu sogenannten Richtungsgebieten gruppiert und individuell durch Laufzeit- und Pegelkorrektur so eingemessen, dass das verstärkte akustische Signal immer mit der visuellen Position der Akteure auf der Bühne übereinstimmt. Auch für Live-Konzerte besteht der Wunsch nach immersiven Beschallungskonzepten und dabei sowohl nach korrekter Lokalisation der Akteur:innen auf der Bühne als auch nach virtuellen raumakustischen Effekten. Hierzu werden z. B. Lautsprecher-Arrays oder verteilte Lautsprecher-Cluster installiert, die objektbasiert angesteuert werden, um etwa die Lokalisation von Schallquellen oder die raumakustische Einhüllung zu gewährleisten.

Für andere Veranstaltungsorte besteht der Wunsch, Multifunktionsräume mit einem flexiblen immersiven Beschallungssystem auszustatten. Ein Beispiel

ist die Schaubühne auf dem Kreuzfahrtschiff Mein Schiff 1 von TUI Cruises. Dieser Veranstaltungssaal bietet Platz für 150 Gäste und wird unter anderem für Stand-up-Comedy, Zaubershows, Lesungen, Sprechtheater, Konzerte und Filmvorführungen genutzt. Um den Reisenden ein einzigartiges Erlebnis zu bieten, wurde ein objektbasiertes Beschallungssystem bestehend aus 34 Lautsprechern installiert. Das System erlaubt die gleichzeitige Wiedergabe von bis zu 64 Audioobjekten und eine variable Veränderung der Raumakustik.

Die akustische Erweiterung von Großbildwiedergabesystemen in Planetarien ist ein weiteres Anwendungsbeispiel [3]. Diese Einrichtungen haben sich in den letzten Jahren von klassischen Visualisierungen des Sternenhimmels hin zu Entertainment-Erlebnisorten gewandelt. Die Kuppelprojektionen bieten ein beeindruckend einhüllendes Bild für das Publikum, was analog auch für die Audiomeldewiedergabe erwünscht ist. Insbesondere die Verbindung von Live-Acts mit Full-dome-Shows oder immersive Hörspiele wie „Die drei Fragezeichen“ haben in den letzten Jahren zu einem verstärkten Zuschauerinteresse an Veranstaltungen in Planetarien geführt. Installationen dieser Art sind im ZEISS-Planetarium in Jena, sowie in Planetarien in Hamburg, Bochum, Berlin und Kiel zu finden.

## Virtuelle Akustik und Hörskulpturen in der elektroakustischen Komposition

- Franz Zotter<sup>1</sup>, Matthias Frank<sup>1</sup>, Gerriet K. Sharma<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup>Universität für Musik und darstellende Kunst, Graz, <sup>2</sup>Hochschule für Gestaltung, Karlsruhe)

Auf der Weltausstellung 1958 wurden mit der Darbietung von Edgar Varéses Werk „poème électro-nique“ zum ersten Mal räumliche Hörskulpturen als eine Form der elektroakustischen Komposition einem großen Publikum präsentiert. Dabei nutzte der Komponist 350 Lautsprecher mit einer eigens dafür entwickelten Ansteuerung. Im Deutschen Pavillon der Weltausstellung 1970 in Osaka führte Karlheinz Stockhausen einige Werke auf einer hemisphärischen Lautsprecheranlage auf, in der 50 Lautsprecher-Cluster mit 7-Kanalton angesteuert wurden [1]. Der technische Aufwand war in beiden Fällen erheblich, auf eine einmalige Installation ausgerichtet und daher nur zeitlich begrenzt zugänglich. Darüber hinaus wurden seit den 1970er Jahren vereinzelt permanente Aufbauten realisiert [2].

Eine Studie im Jahr 2008 [3] beleuchtete die Sichtweisen von Klangkünstler:innen und Komponist:innen zur Verräumlichung von Klängen. 44 % der Befragten gaben an, räumliche Aspekte als künstlerisches Ausdrucksmittel einzusetzen und mehr als 20 % von ihnen arbeiten typischerweise mit Systemen mit mehr als

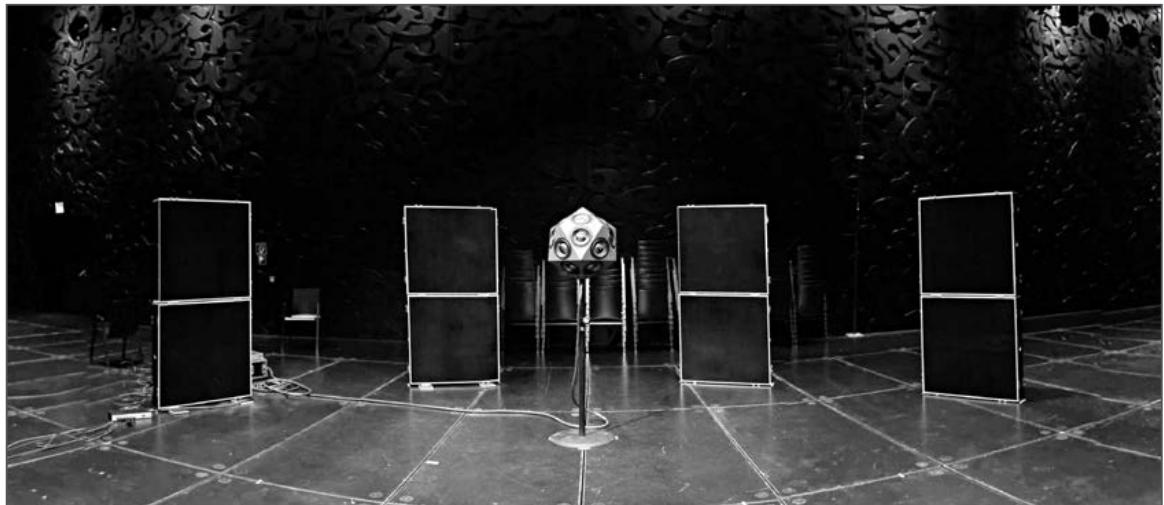


Abb. 4: Ikosaederlautsprecher IKO im Ligeti-Saal der Kunsthochschule Graz, mit Reflektorenwänden, deren zusätzliche Reflexionen helfen, elektroakustische Hörskulpturen für eine große Publikumsfläche zu erzeugen (Foto: Zotter).

zwei Lautsprechern. Seither hat die Verfügbarkeit von diversen Software-Werkzeugen drastisch zugenommen (z. B. SpatS, Blue Ripple Sound, Ambix, SPARTA Plugins, IEM Plugin Suite), darunter auch zahlreiche freie und quelloffene. Diese können räumliche Kompositionen über definierte und gut erforschte Formate mit umgebenden Lautsprechersystemen oder über Kopfhörer wiedergeben [4] und somit eine größere Verbreitung der Kompositionen ermöglichen. Parallel dazu wird seit etwa den 2000er Jahren immer besser dokumentierte künstlerische Forschung betrieben, um die Einsatzmöglichkeiten für die klangkompositorische Praxis zu verfeinern, z. B. [5, 6]. Natasha Barrett beschreibt dazu beispielhaft die Schaffung einer räumlichen Illusion in Bezug auf die akustische Hülle und Größe eines Raums durch die darin befindlichen Klangobjekte und deren relative Lage und Bewegungspfade. Aber auch die Anspielung auf verfremdete raumakustisch/physikalische Gegebenheiten, ggf. durch Raumsimulation, wird angedeutet.

Umgekehrt zu umgebenden Lautsprecheranlagen kann ein kompaktes Kugellautsprecher-Array (z. B. Ikosaederlautsprecher, siehe Abbildung 4) von seinem Standort aus gebündelt Schallstrahlen in frei wählbare Richtungen abstrahlen. Die Reflexion von Schallstrahlen eines solchen Kugel-Arrays an Raumwänden beeinflusst dabei die Lokalisation sowie das räumliche Erscheinungsbild einer Hörskulptur [7]. Dies eröffnet kompositorisches Neuland, in welchem künstlerische Forschungsfragen psychoakustische Fragestellungen aufwerfen. Komponierte Hörskulpturen verknüpfen statische und veränderliche Schallstrahlenanteile mit verschiedenen Signalen und können auf diese Art Höreindrücke in unterschiedlicher Form (Umriss, räumliche Schichtung, richtungsbezogene Aufmerksamkeitsführung) erzeugen [8]. Zu-

dem ließ sich beispielsweise die Unterscheidbarkeit skulpturaler Grundtypen Kernplastik, Kern-Schale-Prinzip und Raumplastik nachweisen [7].

Nach wie vor ist die Frage von übereinkommend benennbaren akustischen Gestalten unbeantwortet. Bezuglich der Verwendung von aufgenommenem räumlichen Klangmaterial als Ausgangspunkt für Kompositionen skizziert Barrett die Zerlegung des Klangmaterials in einzelne Komponenten und die dafür nötige Strukturerkennung als bislang herausfordernden, manuellen Kompositionsansatz [9]. Potenzial liegt in der automatisierten Zerlegung solchen Klangmaterials in eine Vielzahl von Klang- und Bewegungsbausteinen, die kompositorisch verfremdet und variiert werden können [10]. In der elektroakustischen Musik mit umgebenden Lautsprechern zeigt sich auch deutlich: Ein oft erwünschter, vollständiger Eindruck von gleichmäßiger Einhüllung des/der Hörers/in gelingt entweder nur unter speziellen Bedingungen für Signale mit einer gewissen zeitlichen Struktur, oder er erfordert neue Beschallungsansätze für Hörpositionen, die außerhalb des Zentrums der verwendeten Lautsprecheranordnung liegen.

### Virtuelle Akustik zur Erforschung und Bewahrung des Kulturerbes

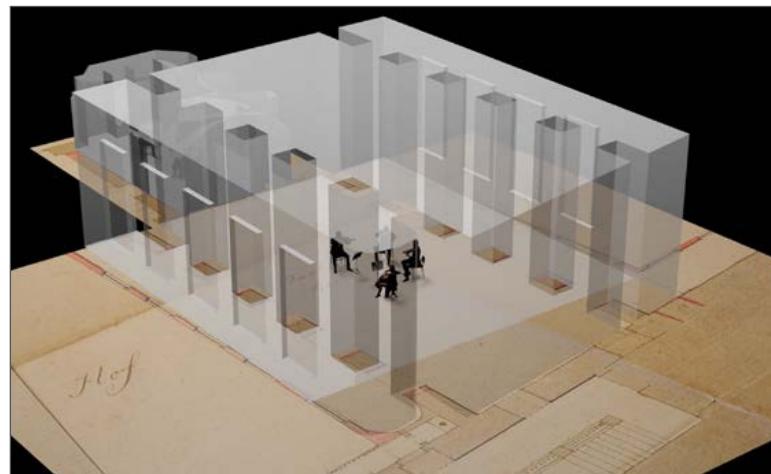
- Meret Stellbrink, Stefan Weinzierl  
(Technische Universität Berlin, Fachgebiet Audiokommunikation)

Erste Anwendungen der Virtuellen Akustik zur Erforschung und Dokumentation des kulturellen Erbes entstanden bereits Ende der 1990er Jahre mit dem Einsatz von raumakustischen Simulationen etwa zur Rekonstruktion der historischen Aufführungsbedingungen der Orchesterwerke Ludwig van Beethovens in Wien [1], der akustischen Verhältnisse in Theaterbauten der

klassischen Antike [2] oder von Meilensteinen der elektronischen Medienkunst wie dem oben genannten Poème électronique von Le Corbusier und Edgard Varèse, für das auf der Weltausstellung 1958 in Brüssel ein Pavillon entworfen und bereits kurz nach der Ausstellung wieder demontiert wurde [3]. Im Gegensatz zu Simulationen für die raumakustische oder elektroakustische Planung geht es bei diesen Projekten nicht darum, ein zukünftiges Gebäude zu planen, sondern ein verlorenes oder jedenfalls nicht mehr im Originalzustand erlebbbares Gebäude oder eine nicht mehr verfügbare akustische Installation digital zu rekonstruieren. In einigen dieser Projekten wurden die Ergebnisse akustischer Simulationen auf unterschiedliche Weise hörbar gemacht.

In diesem Kontext wurden z. B. offene und geschlossene Theaterbauten der griechischen und römischen Antike durch Messungen und Simulationen akustisch analysiert [4], oder es wurden die Klavierwerke Joseph Haydns auf historischen Instrumenten eingespielt und in originalen Aufführungsräumen auralisiert [5]. „Concert Life in Vienna 1780–1830. Performances, Venues, and Repertoire“ (DFG Förderung #471268557) widmet sich der Erforschung der Konzertgeschichte in der Zeit der Wiener Klassik. Hierbei entsteht eine multimediale Online-Datenbank, in der nicht nur alle musikalischen Aufführungen in Wien zwischen 1780 und 1830, sondern auch die Orte dieser Aufführungen anhand von Grundrissen und 3D-Modellen beschrieben sind, inklusive einer Einordnung der Räume hinsichtlich ihrer akustischen Bedingungen anhand zeitgenössischer Einschätzungen. Die Auswertung dieses multimedialen Datensatzes soll Aufschluss über den Wandel der musikalischen Aufführungspraxis geben, gegenüber der Zeit, in der ein Großteil des heutigen Konzertrepertoires entstanden ist.

Die Herausforderung solcher Projekte liegt zum einen in der Offenlegung von Unsicherheiten, die aus Lücken in den historischen Quellen und aus den Unsicherheiten der akustischen Simulation selbst resultieren. Abbildung 5 gibt ein Beispiel, wie der Bezug zu den historischen Quellen sichtbar gemacht werden kann, indem das 3D-Modell für die Simulation auf den historischen Grundriss des Gebäudes projiziert wird, der der Rekonstruktion zugrunde lag. Zum anderen ist die Frage, was aus einer Auralisation historischer Räume über die Musikerfahrung einer vergangenen Zeit geschlossen werden kann, da ein heutiges Publikum diese „Re-enactments“ natürlich vor einem vollkommen anderen Erfahrungshintergrund bewertet [6]. Die Auralisation eines historischen Raums kann hierbei sinnvoll nur im Vergleich zu einer bekannten Referenz bewertet werden, z. B. einem populären, modernen Saal, da es in der medientechnisch vermittelten Hörsi-



*Abb. 5: Die Säle „Zum römischen Kaiser“ in Wien, in denen im Jahr 1813 erstmals eine öffentliche Konzertreihe mit der Aufführung von Streichquartetten, u. a. von L. v. Beethoven gegeben wurde. Das aus einer Planserie der Bauzeit rekonstruierte 3D-Modell ist auf den historischen Grundriss projiziert [7].*

*Die Binauralsynthese einer Streichquartetaufführung in diesem Raum, im Vergleich zu einer Aufführung im Kammermusiksaal der Berliner Philharmonie, ist unter <https://www.tu.berlin/ak/forschung/forschungsprojekte/konzertleben-in-wien-1780-1830-auffuehrungen-spielstaetten-und-repertoires> verfügbar.*

tuation ansonsten schwierig ist, eine geeignete innere Referenz aufzurufen. Insgesamt lässt sich nur durch einen interdisziplinären Zugang, der Methoden der Akustik, der historischen Musikwissenschaft und der Ethnographie verbindet, das materielle und das noch schwerer zu haltende immaterielle Kulturerbe in Gestalt von Klangcharakteristiken historischer Musik-aufführungen wissenschaftlich reflektiert erforschen und für ein breiteres Publikum erlebbar machen.

### Virtuelle Akustik im Metaverse

- Sebastià V. Amengual Garí  
(Reality Labs Research at Meta, Menlo Park, CA, USA)

Erstmals wurde das Metaverse in dem Roman Snow Crash (1992) als eine immersive virtuelle Welt beschrieben, in der Menschen mit virtuellen Objekten, mit ihrer Umgebung sowie miteinander interagieren können. In den letzten Jahren wurden Head-Mounted-Displays (HMDs) und Anwendungen der Extended Reality (XR) als Zugangsgeräte zum Metaverse für das breite Publikum verfügbar, was zunehmend auch zu Diskussionen über die gesellschaftliche Rolle und den Nutzen dieser Technologie führt. Das World Wide Web Consortium (W3C) [1] gliedert das Metaverse in vier Teilbereiche: Virtuelle Welten, Spiegelwelten, Augmented Reality (AR) und Lifelogging. Während Virtuelle Welten vollständig synthetische, immersive Umgebungen sind, bilden Spiegelwelten

bestehende Räume nach, bieten Zugang zu schwer zugänglichen Orten und ermöglichen dadurch neue Formen der Interaktion. Beide können in der Praxis unter dem Begriff Virtual Reality (VR) zusammengefasst werden. Bei Augmented Reality (AR) werden virtuelle Objekte und Informationen der realen Welt überlagert, und Lifelogging beschreibt die Erfassung von Ereignissen und Erfahrungen der Nutzer:innen, oft aus der Ich-Perspektive, um diese mit anderen zu teilen oder erneut selbst zu erleben. Audio ist bei all diesen Erlebnissen ein wesentlicher Bestandteil.

Eine geeignete Audiodarbietung schafft eine räumliche Trennung von Schallquellen, eine bessere Orientierung in komplexen Umgebungen [2] und ermöglicht den Nutzer:innen eine natürlichere Kommunikation, wie z. B. das Führen beiläufiger Unterhaltungen. Außerdem unterstützt es im Vergleich zu herkömmlichen Videoanrufen eine bessere Sprachverständlichkeit, eine geringere kognitive Belastung [3], geringere Ermüdung [4] und ein besseres Verständnis [5]. Derzeit wird VR vor allem für Online-Videospiele und immersive soziale Anwendungen genutzt. Doch auch im professionellen Kontext gewinnen VR und Spatial Audio zunehmend an Bedeutung, beispielsweise für virtuelle Klassenräume oder Schulungen im industriellen Bereich, in der Notfallvorsorge oder dem Gesundheitswesen, und insbesondere in Situationen, in denen diese in der realen Welt nur begrenzt möglich sind [6]. In der Kunst ermöglichen virtuelle Welten und Spiegelwelten, dass sich mehrere Musiker einen virtuellen Raum teilen, während sie sich physisch an verschiedenen Orten befinden [7].

Augmented Reality erlaubt die Platzierung virtueller Gesprächspartner in der eigenen realen Umgebung oder kann durch räumliches Audio auch die Navigation, u. a. für sehbehinderte Personen [8] unterstützen. Spatial Audio im Lifelogging konzentriert sich auf die Aufnahme von Szenen mit kompakten Mikrofonarrays zur späteren Wiedergabe. In Verbindung mit der Aufnahme von 360°-Videos entstehen so immersive Szenen, die mit HMDs wiedergegeben werden können. Obwohl aktuelle kommerzielle Lösungen dedizierte Kameras und Mikrofon-Arrays erfordern, wurden kürzlich neue Ansätze für die Kodierung, Dekodierung und Optimierung von Mehrkanalsignalen präsentiert, welche mit tragbaren Arrays aufgenommen wurden [9, 10].

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass räumliches Audio eine Schlüsselkomponente für eine Vielzahl von Metaverse-Anwendungen ist. Eine Herausforderung wird sein, eine einheitliche technologische Plattform zu erschaffen, in welcher die verschiedenen Teile des Metaverse miteinander verbunden werden können.

Die DEGA-Community hat bereits sowohl durch

die Ausbildung von Wissenschaftlicher:innen und Ingenieur:innen als auch durch wissenschaftliche Kolaborationen wichtige Beiträge zur Technologie geliefert, die das Metaverse formen wird.

Aktuelle Forschungsansätze verbessern die technische Umsetzung von AR und unterstützen das Wohlbefinden des/der Nutzers:in.

## Literatur

Virtuelle Akustik in der Forschung – ein Überblick:

- [1] Peng, J.: Feasibility of subjective speech intelligibility assessment based on auralization. *Applied Acoustics*, 66(5), pp. 591–601, 2005.
- [2] Munoz, R. V.; Aspöck, L.; Fels, J.: Spatial release from masking under different reverberant conditions in young and elderly subjects: Effect of moving or stationary maskers at circular and radial conditions. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 62(9), pp. 3582–3595, 2019.
- [3] Ackermann, D.; Böhm, C.; Brinkmann, F.; Weinzierl, S.: The acoustical effect of musicians' movements during musical performances. *Acta Acustica united with Acustica*, 105(2), pp. 356–367, 2019.
- [4] Lokki, T.; Pätynen, J.; Tervo, S.; Siltanen, S.; Savioja, L.: Engaging concert hall acoustics is made up of temporal envelope preserving reflections. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 129(6), pp. EL223–EL228, 2011.
- [5] Rodríguez-Molares, A.: A new method for auralisation of airborne sound insulation. *Applied Acoustics*, 74(1), pp. 116–121, 2013.
- [6] Oberem, J.; Seibold, J.; Koch, I.; Fels, J.: Intentional switching in auditory selective attention: Exploring attention shifts with different reverberation times. *Hearing Research*, 359, pp. 32–39, 2018.
- [7] Loh, K.; Fintor, E.; Nolden, S.; Fels, J.: Children's intentional switching of auditory selective attention in spatial and noisy acoustic environments in comparison to adults. *Developmental Psychology*, 58(1), p. 69, 2022.
- [8] Zaglauer, M.; Drotleff, H.; Liebl, A.: Background babble in open-plan offices: A natural masker of disruptive speech? *Applied Acoustics*, 118, pp. 1–7, 2017.
- [9] Pieren, R.; Lincke, D.: Auralization of aircraft flyovers with turbulence-induced coherence loss in ground effect. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 151(4), pp. 2453–2460, 2022.
- [10] Oberman, T.; Jambrosic, K.; Horvat, M.; Bojanic Obad Scitaroci, B.: Using virtual soundwalk approach for assessing sound art soundscape interventions in public spaces. *Applied Sciences*, 10(6), 2020.

Virtuelle Akustik für musikalisches Training:

- [1] Schärer Kalkandjiev, Z.: The Influence of Room Acoustics on Solo Music Performances. An Empirical Investigation, Dissertation, TU Berlin, 2015.
- [2] Marentakis, G.; Kranzler, C.; Frank, M.; Opitz M.; Sontacchi, A.: Latency Tolerance Enhancement in In-Ear Monitoring Systems. In: Fortschritte der Akustik – DAGA 2012, 38. Jahrestagung für Akustik, Darmstadt, S. 323–324.
- [3] Frank, M.; Rudrich, D.; Brandner, M.: Augmented Practice-Room – Augmented Acoustics in Music Education. In: Fortschritte der Akustik – DAGA 2020, 46. Jahrestagung für Akustik, Hannover, S. 151–154.
- [4] Yadav, M.; Cabrera, D.; Martens, W. L.: A system for simulating room acoustical environments for one's own voice, vol. 73(4), 2012.  
<https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2011.10.001>
- [5] Amengual Gari, S. A.; Eddy, D.; Kob, M.; Lokki, T.: Real-time auralization of room acoustics for the study of live music performance. In: Fortschritte der Akustik – DAGA 2016, 42. Jahrestagung für Akustik, Aachen, S. 1474–1477.
- [6] Mülleider, A.; Romanov, M.; Meyer-Kahlen, N.; Zotter, F.: Do-it-yourself headphones and development platform for

- augmented-reality audio. AES 2023 International Conference on Spatial and Immersive Audio, August 2023. <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=22188>
- [7] Klanjscek, N.; David, L.; Frank, M.: Evaluation of an e-learning tool for augmented acoustics in music education, *Music & Science*, vol. 4, 2021. <https://doi.org/10.1177/205920432110375>
- [8] Bertsch, M.; Frank, M.: Stage-Fright Training with EMG- or Biofeedback for Musicians by means of Virtual and Augmented Reality. In: *Fortschritte der Akustik – DAGA 2022*, 48. Jahrestagung für Akustik, Stuttgart, S. 818–821. <https://www.mdw.ac.at/mrm/iasbs/virtual-performance> (Projekt-URL)
- [9] Bissonnette, J.; Dubé, F.; Provencher M.D.; Moreno Sala, M. T.: Virtual Reality Exposure Training for Musicians: Its Effect on Performance Anxiety and Quality, Medical Problems of Performing Artists, 30(3), pp. 169–177, 2015. <https://doi.org/10.21091/mppa.2015.3032>
- Virtuelle Akustik in der Psychotherapie:
- [1] Carl, E.; Stein, A. T.; Levihn-Coon, A.; Pogue, J. R.; Rothbaum, B.; Emmelkamp, P.; Asmundson, G. J. G.; Carlbring, P.; Powers, M. B.: Virtual reality exposure therapy for anxiety and related disorders: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Anxiety Disorders*, 61, pp. 27–36, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2018.08.003>
- [2] Foa, E. B.; Kozak, M. J.: Emotional processing of fear: Exposure to corrective information. *Psychological Bulletin*, 99(1), pp. 20–35, 1986. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.99.1.20>
- [3] Diemer, J.; Alpers, G. W.; Peperkorn, H. M.; Shiban, Y.; Mühlberger, A.: The impact of perception and presence on emotional reactions: A review of research in virtual reality. *Frontiers in Psychology*, 6, 2015. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00026>
- [4] Roßkopf, S.; Kroczeck, L. O. H.; Stärz, F.; Blau, M.; Van De Par, S.; Mühlberger, A.: Comparable sound source localisation of plausible auralisations and real sound sources evaluated in a naturalistic eye-tracking task in virtual reality. *Forum Acusticum*, 2023.
- [5] Mühlberger, A.; Jekel, K.; Probst, T.; Schecklmann, M.; Conzelmann, A.; Andreatta, M.; Rizzo, A. A.; Pauli, P.; Romanos, M.: The Influence of Methylphenidate on Hyperactivity and Attention Deficits in Children With ADHD: A Virtual Classroom Test. *Journal of Attention Disorders*, 24(2), pp. 277–289, 2020. <https://doi.org/10.1177/1087054716647480>
- [6] Craig, T. K.; Rus-Calafell, M.; Ward, T.; Leff, J. P.; Huckvale, M.; Howarth, E.; Emsley, R.; Garety, P. A.: AVATAR therapy for auditory verbal hallucinations in people with psychosis: A single-blind, randomised controlled trial. *The Lancet Psychiatry*, 5(1), pp. 31–40, 2018. [https://doi.org/10.1016/S2215-0366\(17\)30427-3](https://doi.org/10.1016/S2215-0366(17)30427-3)
- Virtuelle Akustik in der Audiologie:
- [1] Bronkhorst, A. W.: The Cocktail Party Phenomenon: A Review of Research on Speech Intelligibility in Multiple-Talker Conditions. *Acta Acustica united with Acustica* 86, pp. 117–128, 2000.
- [2] Wolters, F.; Smeds, K.; Schmidt, E.; Christensen, E. K.; Norup, C.: Common Sound Scenarios: A Context-Driven Categorization of Everyday Sound Environments for Application in Hearing-Device Research. *J Am Acad Audiol* 27, pp. 527–540, 2016.
- [3] Weisser, A.; Buchholz, J. M.; Keidser, G.: Complex Acoustic Environments: Review, Framework, and Subjective Model. *Trends Hear* 23, 2331216519881346, 2019.
- [4] van de Par, S.; Ewert, S. D.; Hládek, L.; Kirsch, C.; Schütze, J.; Llorca-Bofí, J.; Grimm, G.; Hendrikse, M. M. E.; Kollmeier, B.; Seeber, B. U.: Auditory-visual scenes for hearing research. *Acta Acust* 55, 2022. <https://doi.org/10.1051/aacus/2022032>
- [5] Hládek, H.; Ewert, S.; Seeber, B. U.: Communication conditions in virtual acoustic scenes in an underground station. In: *2021 Immersive and 3D Audio: from Architecture to Auto-* motive (I3DA) (Bologna, Italy), pp. 1–8, 2021. <https://doi.org/10.1109/I3DA48870.2021.9610843>
- [6] Kuntz, M.; Bischof, N. F.; Seeber, B. U.: Sound field synthesis for psychoacoustic research: in-situ evaluation of auralized sound pressure level. *J Acoust Soc Am*, 154 (3), 2023. <https://doi.org/10.1121/10.0021066>
- [7] Kerber, S.; Seeber, B. U.: Localization in reverberation with cochlear implants: predicting performance from basic psychophysical measures. *J Assoc Res Otolaryngol* 14, pp. 379–392, 2013.
- Virtuelle Akustik in der Stadtplanung:
- [1] Kang, J.; Schulte-Fortkamp, B.: Soundscape and the Built Environment. CRC Press, Boca Raton, U.S., 2016.
- [2] Llorca-Bofí, J.; Dreier, C.; Heck, J.; Vorländer, M.: Urban Sound Auralization and Visualization Framework – Case Study at IHTApark. *Sustainability* 14(4), 2022. <https://doi.org/10.3390/su14042026>
- [3] Tarlao, C.; Steele, D.; Blanc, G.; Guastavino, C.: Interactive soundscape simulation as a co-design tool for urban professionals. *Landscape and Urban Planning* 231, 104642, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104642>
- [4] Stienen, J.: Real-time auralisation of outdoor sound propagation. Dissertation RWTH Aachen, Logos-Verlag, Berlin, 2023.
- [5] Hornikx, M.; Forssén, J.: Noise abatement schemes for shielded canyons. *Applied Acoustics* 70 (2), pp. 267–283, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2008.04.002>
- [6] IHTApark. Physically-based auralization and visualization. <https://youtu.be/rudxfV94UwA>
- [7] Pieren, R.: Auralization of Environmental Acoustical Scenarios – Synthesis of Road Traffic, Railway and Wind Turbine Noise. Dissertation Delft University of Technology, 2018.
- [8] Dreier, C.; Vorländer, M.: Aircraft noise – Auralization-based assessment of weather-dependent effects on loudness and sharpness. *J. Acoust. Soc. Am.* 149 (5), pp. 3565–3575, 2021. <https://doi.org/10.1121/10.0005040>
- Virtuelle Akustik in der Veranstaltungstechnik:
- [1] Sladeczek, C.; Rodigast, R.; Seideneck, M.; Frutos-Bonilla, J.; Gehlhaar, T.: Objektbasierte interaktive 3D-Audio Anwendungen. *FKTG Fachzeitschrift*, November 2016.
- [2] Dausel, M.; Deguara, J.; Gatzsche, G.; Melchior, F.; Reicheit, K.; Strauss, M.: Universal System for Spatial Sound Reinforcement in Theatres and Large Venues – System Design and User Interface, 120th Convention of the Audio Engineering Society (AES), Paris, 2006.
- [3] Rodigast, R.; Overschmidt, G.; Schröder, U. (Hrsg.): Full-space Projection, Kapitel 27 – Klangraum Kuppel. Springer Verlag Heidelberg 2013. ISBN 978-3-642-24655-5.
- Virtuelle Akustik und Hörskulpturen in der elektroakustischen Komposition:
- [1] Winckel, F. W.; Krause, M.: Acoustical and Electroacoustical Arrangement for the Dynamically Focused Room. *Journal of the Audio Engineering Society*, 20(3), pp. 198–206, 1972. <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=2084>
- [2] Barrett, N.: Spatial Music Composition: in 3D Audio, 1st ed, Justin Paterson and Hyunkook Lee (eds), Routledge, 2021. <https://doi.org/10.4324/9780429491214>
- [3] Peters, N.; Marentakis, G.; McAdams, S.: Current technologies and compositional practices for spatialization: A qualitative and quantitative analysis. *Computer Music Journal*, 35(1), pp. 10–27, 2011. [https://doi.org/10.1162/COMJ\\_a\\_00037](https://doi.org/10.1162/COMJ_a_00037)
- [4] Spors, S.; Wierstorff, H.; Raake, A.; Melchior, F.; Frank, M.; Zotter, F.: Spatial Sound With Loudspeakers and Its Perception: A Review of the Current State. In: *Proceedings of the IEEE*, Vol. 101, No. 9, pp. 1920–1938, Sept. 2013. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2013.2264784>
- [5] Barrett, N.: Spatio-musical composition strategies: Organised sound, 7(3), pp. 313–323, 2002. <https://doi.org/10.1017/S1355771802003114>
- [6] Baalman, M.: On Wave Field Synthesis and electro-acoustic music, with a particular focus on the reproduction of arbitra-

- rily shaped sound sources, Dissertation, TU Berlin, 2008. <https://doi.org/10.14279/depositonce-1883>
- [7] Wendt, F.; Sharma, G. K.; Frank, M.; Zotter, F.; Höldrich, R.: Perception of spatial sound phenomena created by the icosahedral loudspeaker. *Computer Music Journal*, 41(1), pp. 76–88, 2017. [https://doi.org/10.1162/COMJ\\_a\\_00396](https://doi.org/10.1162/COMJ_a_00396)
- [8] Sharma, G. K.; Frank, M.; Zotter, F.: Evaluation of Three Auditory-Sculptural Qualities Created by an Icosahedral Loudspeaker. *Applied Sciences*, 9(13), p. 2698, 2019. <https://doi.org/10.3390/app9132698>
- [9] Barrett, N.: Composing Spatial Music Beyond Technology. Keynote at AES Int. Conf. on Spatial and Immersive Audio, Huddersfield, UK, 2023.
- [10] Tremblay, P. A.; Roma, G.; Green, O.: Enabling Programmatic Data Mining as Musicking: The Fluid Corpus Manipulation Toolkit. *Computer Music Journal*, 45 (2), pp. 9–23, 2022. [https://doi.org/10.1162/comj\\_a\\_00600](https://doi.org/10.1162/comj_a_00600)
- Virtuelle Akustik zur Erforschung und Bewahrung des Kulturerbes:
- [1] Weinzierl, S.: Beethovens Konzertträume: Raumakustik und symphonische Aufführungspraxis an der Schwelle zum modernen Konzertwesen. Erwin Bochinsky Verlag, 2002.
- [2] Rindel, J. H.; Lisa, M.: The ERATO project and its contribution to our understanding of the acoustics of ancient Greek and Roman theatres. In: Proceedings of the ERATO Project Symposium, pp. 1–10, 2006.
- [3] Lombardo, V.; Valle, A.; Fitch, J.; Tazelaar, K.; Weinzierl, S.; Borczyk, W.: A virtual-reality reconstruction of poème électronique based on philological research. *Computer Music Journal*, 33(2), pp. 24–47, 2009.
- [4] Naif Haddad: Criteria for the Assessment of the Modern Use of Ancient Theatres and Odea. *International Journal of Heritage Studies*, 13:3, pp. 265–280, 2007.
- [5] Beghin, T.: The virtual Haydn: Paradox of a twenty-first-century keyboardist. University of Chicago Press, 2015.
- [6] Weinzierl, S.; Lepa, S.: On the epistemic potential of virtual realities for the historical sciences. A methodological framework. In: J. M. Ariso (Hrsg.), *Augmented reality: Reflections on its contribution to knowledge formation* (S. 61–80). De Gruyter, 2017.
- [7] Albrecht, C.; Weinzierl, S.: Die Säle Zum Römischen Kaiser. Rekonstruktion und Auralisation der ersten öffentlichen Aufführungsräume für Kammermusik in Wien. *Musiktheorie*, 37(1), S. 69–83, 2022.
- Virtuelle Akustik im Metaverse:
- [1] Smart, E. J.; Cascio, J.; Paffendorf, J.: Metaverse Roadmap Overview. World Wide Web Consortium (W3C), 2007.
- [2] Amengual Garí, S.; Calamia, P.; Robinson, P.: Navigation of virtual mazes using acoustic cues. In: *Audio Engineering Society Convention 154*. Audio Engineering Society, 2023.
- [3] Xia, J.; Nooraei, N.; Kalluri, S.; Edwards, B.: Spatial release of cognitive load measured in a dual-task paradigm in normal-hearing and hearing-impaired listeners. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 137(4), pp. 1888–1898, 2015.
- [4] Fauville, G.; Luo, M.; Queiroz, A. C. M.; Bailenson, J. N.; Hancock, J.: Zoom Exhaustion & Fatigue Scale. *Computers in Human Behavior Reports*, 4:100119, 2021.
- [5] Baldis, J. J.: Effects of spatial audio on memory, comprehension, and preference during desktop conferences. In: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '01, pp. 166–173, New York, NY, USA, 2001. Association for Computing Machinery.
- [6] Renganayagalu, S. K.; Mallam, S. C.; Nazir, S.: Effectiveness of VR Head Mounted Displays in Professional Training: A Systematic Review. *Technology, Knowledge and Learning*, 26(4), pp. 999–1 041, December 2021.
- [7] Cairns, P.; Hunt, A.; Cooper, J.; Johnston, D.; Lee, B.; Daffern, H.; Kearney, G.: Recording Music in the Metaverse: A case study of XR BBC Maida Vale Recording Studios. In: AES 2022 International Audio for Virtual and Augmented Reality Conference. Audio Engineering Society, August 2022.
- [8] Zhao, Y.; Kupferstein, E.; Rojnirun, H.; Findlater, L.; Azen-  
kot, S.: The Effectiveness of Visual and Audio Wayfinding Guidance on Smartglasses for People with Low Vision. In: Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '20, pp. 1–14, New York, NY, USA, April 2020. Association for Computing Machinery.
- [9] McCormack, L.; Politis, A.; Gonzalez, R.; Lokki, T.; Pulkki, V.: Parametric ambisonic encoding of arbitrary microphone arrays. *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 30:2 062–2 075, 2022.
- [10] Fernandez, J.; McCormack, L.; Hyvärinen, P.; Politis, A.; Pulkki, V.: A spatial enhancement approach for binaural rendering of head-worn microphone arrays. In: ICA 2022 Proceedings, 2022. ■

**Editor:innen:**

**Annika Neidhardt**  
*University of Surrey,  
 Guildford (UK)*

**Jens Ahrens**  
*Chalmers University  
 of Technology,  
 Göteborg (SWE)*

**Christoph  
 Pörschmann**  
*Technische Hochschule  
 Köln*

# Lärmwirkungen und ihre Beurteilung am Arbeitsplatz

Florian Schelle, Martin Liedtke

**Lärm ist eine der häufigsten Belastungen und Gefährdungen an Arbeitsplätzen. Dank umfangreicher Forschung ist die lärmbedingte Hörschwellenverschiebung heutzutage gut verstanden und in der staatlichen und normativen Regelsetzung ausführlich berücksichtigt. Zahlreiche Präventions- und Lärminderungsmaßnahmen wurden entwickelt und eine breite Produktpalette an wirksamer, zertifizierter Schutzausrüstung steht zur Verfügung – trotzdem bleibt die „Lärmschwerhörigkeit“ eine der am häufigsten anerkannten Berufskrankheiten. Außerdem stellt sie nur einen Teilaспект der vielfältigen Lärmwirkungen dar, denen Beschäftigte während der Arbeit ausgesetzt sein können. Ist Lärm am Arbeitsplatz noch immer ein Thema für die Forschung?**

## Die Berufskrankheit „Lärmschwerhörigkeit“

Unter der „Lärmschwerhörigkeit“ wird eine durch beruflich bedingte Lärmexposition hervorgerufene, permanente Hörschwellenverschiebung bezeichnet. Im Jahr 2022 verzeichnete die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung 15 449 Verdachtsanzeichen auf eine beruflich bedingte Lärmschwerhörigkeit. In 6 637 Fällen erfolgte eine Anerkennung [1]. Mit Ausnahme der in Folge der Corona-Pandemie rasant angestiegenen Fälle berufsbedingter Infektionskrankheiten stellt die Lärmschwerhörigkeit damit noch immer die häufigste anerkannte Berufskrankheit in Deutschland dar. Seit 1996 ist die Zahl der Verdachtsanzeichen und Anerkennungen relativ konstant (siehe Abbildung 1 auf der folgenden Seite). Das durchschnittliche Alter der Beschäftigten, die eine Verdachtsanzeige stellen, liegt bei etwa 55–60 Jahren, der geburtenstärkste Jahrgang war 1964. Seitdem nahm die Geburtenrate bis zu ihrem Tiefpunkt im Jahr 2011 ab. Aufgrund dieser demografischen Entwicklung ist zu erwarten, dass die Zahl der Berufskrankheitsfälle in naher Zukunft abnehmen wird. Den größten Anteil der anerkannten Lärmschwerhörigkeiten machen „beginnende“ bis „geringgradige“ Schwerhörigkeiten aus. Erst ab einem beidseitigen Hörverlust von 40 % wird die Schwerhörigkeit nach Königsteiner Empfehlung [2] als „gering- bis mittelgradig“ eingestuft. In der Statistik der DGUV sind diese Fälle unter den „Renten“ zu finden. Allerdings enthält diese Kategorie auch sog. „Stützrenten“, bei denen zwar ein geringerer Schwerhörigkeitsgrad vorliegt, aber gleichzeitig auch eine

## Effects and rating of noise at workplaces

**Noise is a major strain and health hazard at workplaces. Due to extensive research, the noise-induced hearing threshold shift nowadays is well understood and respected in both regulation and standardization. Numerous prevention and noise abatement measures have been developed and a wide range of effective, certificated protection equipment is available – yet still the noise induced hearing loss remains one of the most frequently recognised occupational diseases. Beyond that there is a multitude of other noise effects that employees at work can be exposed to. Is noise at workplaces still a research topic?**

zusätzliche andere Berufskrankheit. Eine genaue Aussage über den Schweregrad der anerkannten Lärmschwerhörigkeitsfälle lässt sich somit nicht treffen. Es ist aber erkennbar, dass in Relation zur Gesamtzahl der jährlichen Anerkennungen nur sehr wenige neue Rentenfälle vorliegen (siehe Abbildung 2 auf der folgenden Seite): Im Jahr 2022 war dies beispielsweise in 254 Fällen gegeben. Zum Vergleich: Mitte der 90er Jahre lag die Zahl der neuen Rentenfälle noch bei etwa 1 200 pro Jahr [3]. Dass die Zahl der neuen Rentenfälle seither abnimmt, wird als Erfolg der Prävention gedeutet – auch wenn der technologische Fortschritt eine zusätzliche Rolle spielt, in dessen Folge einerseits die Anzahl der sehr hoch exponierten Arbeitsplätze und andererseits die Geräuschemission der vom Menschen bedienten Arbeitsmittel und -maschinen in einigen Branchen abnimmt. Nach Schätzungen der DGUV arbeiten etwa 3–4 Millionen Beschäftigte in Deutschland in Lärmbereichen, d.h. in Bereichen, an denen während einer Arbeitsschicht der obere Auslösewert nach Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung [4] in Höhe von  $L_{EX,sh} = 85 \text{ dB}$  erreicht oder überschritten werden kann. Damit lässt sich zumindest abschätzen, dass bei näherungsweise 7 000 Anerkennungen pro Jahr ca. 0,2 % der lärmexponiert Beschäftigten im Laufe ihres Erwerbslebens eine berufliche Lärmschwerhörigkeit erleiden. Auch wenn es sich dabei in den allermeisten Fällen um eine geringe Minderung der Erwerbsfähigkeit handelt, steckt hinter jedem Einzelfall eine irreversible Schädigung des Innenohrs, die für die Betroffenen eine dauerhafte Beeinträchtigung in allen Lebenssituationen bedeu-

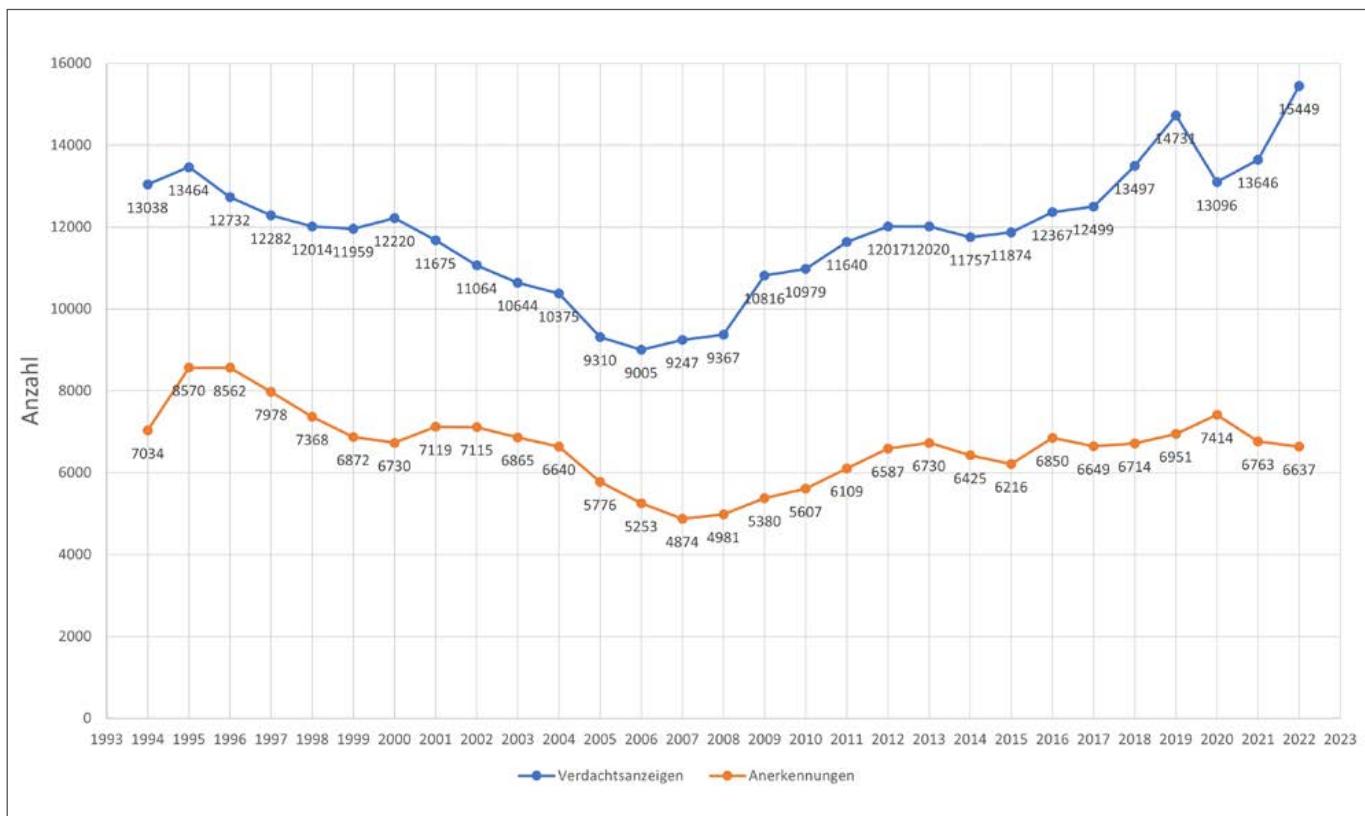


Abb. 1: Anzahl der Verdachtsanzeichen und Anerkennungen der Berufskrankheit 2301 „Lärmschwerhörigkeit“ im Zeitraum 1994–2022.

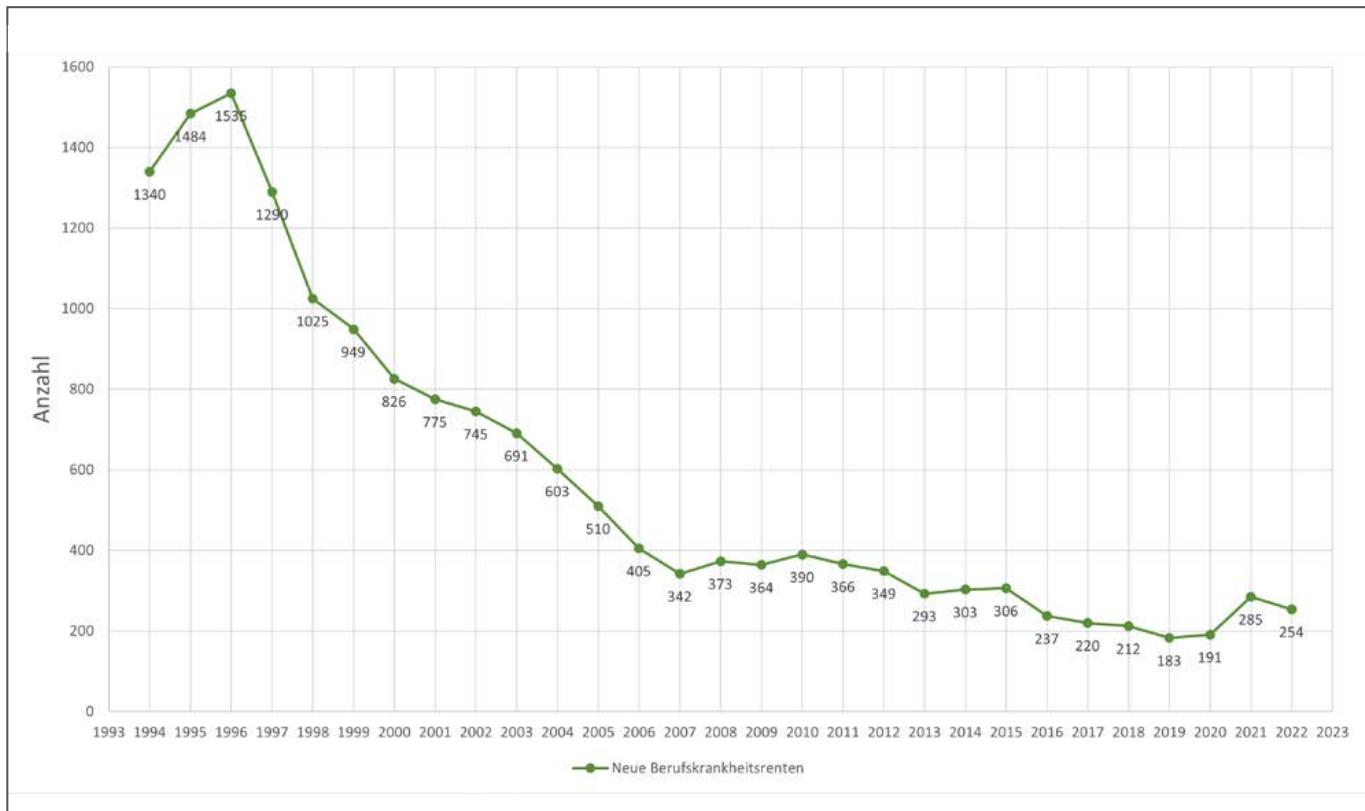


Abb. 2: Anzahl der jährlich neu hinzugekommenen Renten in der Berufskrankheit 2301 „Lärmschwerhörigkeit“.

tet. Umso wichtiger war die Einführung wirksamer Präventionsmaßnahmen, zunächst mit der Unfallverhütungsvorschrift „Lärm“ im Jahre 1974 [5] sowie der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung [4] im Jahre 2007. Ein wichtiger Aspekt sowohl in der Erarbeitung wirksamer Schutzmaßnahmen, aber auch in der Kompensation von Berufskrankheiten, ist einerseits das gesicherte Verständnis der zugrundeliegenden Kausalität, andererseits das Vorhandensein eines anerkannten Dosis-Wirkungs-Modells. Im Folgenden wird daher zunächst die Erforschung der lärmbedingten Hörschwellenverschiebung und Entstehung der ISO 1999 [6] beschrieben, aus der sich die aktuell gültigen Beurteilungskriterien für den gehörgefährdenden Lärm am Arbeitsplatz ableiten.

## Hörschwellenverschiebung

Es ist Bernardo Ramazzinis Verdienst, die Kausalität von Lärm und Hörverlust bei den Kupferschmieden in Venedig erkannt und auf anschauliche Weise in seiner systematischen Abhandlung „Die Krankheiten der Handwerker“ [7] im Jahre 1700 beschrieben zu haben.

Einen brauchbaren Ansatz für die Beantwortung der Frage, wie Lärm hinsichtlich seiner gehörschädigenden Wirkung charakterisiert werden könnte, lieferte Eldred 1955 [8]: Er postulierte, dass der gleiche Betrag der auf das Ohr treffenden Schallenergie auch jeweils den gleichen Betrag an Hörverlust bewirkt. Diesem Ansatz folgend gewann in diesem Zusammenhang der äquivalente Dauerschalldruckpegel  $L_{eq}$  an Bedeutung. Die A-Frequenzbewertung hatte bei ihrer Entwicklung und Einführung zwar nicht das primäre Ziel, die gehörschädigende Wirkung des Lärms zu beschreiben, hat sich aber dennoch und trotz begründeter Kritik [9] dafür etabliert.

Das Ergebnis eines 1981 durchgeführten internationalen Impulslärm-Kolloquiums [10] schließlich stellte einen bis heute gültigen Stand der Erkenntnisse dar: Es gibt einen beachtlichen Bestand an experimentellen Belegen für das Energieäquivalenzprinzip in Bezug auch auf fluktuierenden Lärm (aber frei von Impulsen mit  $L_{peak} > 145$  dB) für Expositionsdauern bis zu einigen Stunden. Auf dieser Grundlage wurde in der Praxis daher die Gültigkeit des Energieäquivalenzprinzips für eine Arbeitsschicht (acht Stunden) angenommen und der Tages-Lärmexpositionspegel  $L_{EX,8h}$  konnte durch die ISO 1999 [6] international definiert werden. In Deutschland wurde diese Messgröße (mit teilweise geringer Modifikation als „Beurteilungspegel“) zur Verhütung von Gehörschäden durch Lärm schon in der Unfallverhütungsvorschrift (UVV) Lärm 1974 verwendet. 1990 wurde diese UVV zwecks Umsetzung der Europäischen Lärm-Richtlinie 86/188/EWG überarbeitet. Die Europäi-

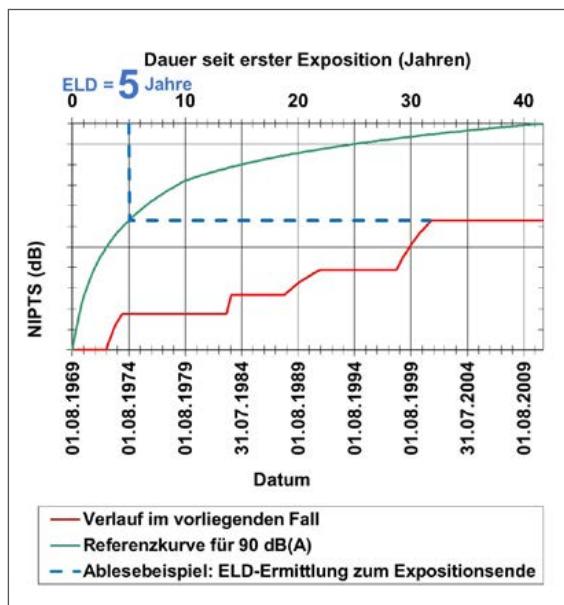
sche Lärm-Richtlinie von 2003 (Richtlinie 2003/10/EG) machte die Verwendung des  $L_{EX,8h}$  mit Verweis auf die ISO 1999:1990 verbindlich. Diese Europäische Richtlinie wurde in Deutschland mit der heute gültigen Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung im Jahr 2007 umgesetzt.

Aufgrund physiologischer Überlegungen [11], aber auch tierexperimenteller Befunde, war davon auszugehen, dass das Energieäquivalenzprinzip nicht ohne Weiteres auf Zeiträume von z.B. mehreren Jahren übertragbar sein dürfte. Tatsächlich weist die ISO 1999 für das 5%-Perzentil einer männlichen, 40 Jahre alten Population für eine Lärmexposition von  $L_{EX,8h} = 85$  dB über 20 Jahre eine permanente Hörschwellenverschiebung (PTS: permanent threshold shift) bei 4 kHz von 33,7 dB aus. Für eine energieäquivalente Exposition von  $L_{EX,8h} = 93$  dB über 3 Jahre und 2 Monate für dieselbe Population ergibt sich aber eine PTS bei 4 kHz von 38,5 dB. Die Differenz der PTS zur PTS der gleichen, nicht lärmexponierten Population beträgt im ersten Fall 6,6 dB und im zweiten Fall 11,4 dB.

Um unter Berücksichtigung der beschriebenen Erkenntnisse auch die schädigende Wirkung langfristiger Lärmeinwirkungen beurteilen zu können, die im  $L_{EX,8h}$  und in der Dauer über Monate/Jahre wechseln, wurde die Effektive Lärdosis nach Liedtke (ELD) auf Basis des in der ISO 1999 beschriebenen Lärdosis-Wirkungsmodells entwickelt [12, 13]. Die ISO 1999 stützt sich auf mehrere kausalanalytisch qualitätsgesicherte, arbeitsmedizinisch-epidemiologische Studien mit quantitativ belastbaren Dosis-Häufigkeits-Beziehungen auf der Ursachenseite. Die ELD ist unabhängig vom Alter, vom Geschlecht und vom Perzentil (für Perzentile < 50) und nutzt NIPTS-Äquivalenzen (ISO 1999: NIPTS: Noise induced permanent threshold shift). Obwohl die Hörschwellenverschiebungen, und zwar sowohl die altersbegleitenden als auch die lärmbedingten, nach ISO 1999 eine große Streuung aufweisen, gelingt es mit der Effektiven Lärdosis nach Liedtke dadurch, dass sie nur Relationen (Äquivalenzbeziehungen) nutzt und nicht absolute Werte der Hörschwellenverschiebung verwendet, Schwellenkurven gleicher Schädigung einheitlich zu beschreiben. Im Rahmen der Begutachtung der Lärm-schwerhörigkeit wird durch die Berechnung der ELD die Lärmexposition für das gesamte Arbeitsleben durch die Anzahl der Lärmjahre bezogen auf einen einheitlichen Wert von  $L_{EX,8h} = 90$  dB angegeben [2] (siehe Abbildung 3 auf der folgenden Seite).

## Schallereignisse mit unmittelbarer Gehörgefährdung

Während sich die Lärm-schwerhörigkeit erst im Laufe eines Erwerbslebens entwickelt, können Einzelereignisse das Gehör auch unmittelbar schädigen. Solche



*Abb. 3: Anwendungsbeispiel zur Berechnung der Effektiven Lärm dosis (ELD). Die auf ISO 1999 basierenden, expositionsabhängigen Verläufe der Hörschwellenverschiebung werden den jeweiligen Expositionsabschnitten zugeordnet und anschließend auf eine Referenzkurve bezogen, die einer äquivalenten NIPTS bei hypothetischer, gleichbleibender Exposition von 90 dB entspricht. Das Ergebnis der Effektiven Lärm dosis wird in „Lärmjahren“ angegeben. Eine Beschäftigungszeit von einem Jahr bei einer Lärmexposition von  $L_{EX,8h} = 90 \text{ dB}$  entspricht einer Effektiven Lärm dosis von einem Lärmjahr. Im Beispiel in der obigen Abbildung ergibt sich nach Berücksichtigung aller Expositionsabschnitte eine ELD von 5 Lärmjahren.*

Ereignisse können in unterschiedlichsten Berufsbildern vorkommen. Beispiele hierfür sind Explosio nen aller Art, platzende LKW-Reifen oder berstende Druckluftleitungen, aber natürlich auch Waffenknalle. Bei Vorliegen der arbeitstechnischen Voraussetzun gen sowie entsprechendem fachärztlichem Befund werden solche Ereignisse als Arbeitsunfall anerkannt und kompensiert. Maßgeblich für die Art der mögli chen Schädigung ist dabei der Verlauf des Impulses des Schallereignisses. So unterscheidet bspw. die VDI-Richtlinie 2058 Blatt 2 [14] zwischen „Explosions trauma“ bei einer Druckwelle von mehr als 3 ms Dauer, und „Knalltrauma“ bei einer Druckwelle von 1–3 ms Dauer. Beide Fälle sind durch Spitzenschalldruckpe gel von mindestens  $L_{C,peak} = 150 \text{ dB}$  gekennzeichnet. Das medizinische Schadensbild unterscheidet sich aber insoweit, dass bei einem Knalltrauma das Trommelfell intakt bleibt, während ein Explosionstrauma immer mit einer Trommelfell- und ggf. Mittelohrschädigung verbunden ist, wobei das Innenohr zusätzlich betroffen sein kann [14, 15]. Da der Peak-Pegel keine Angabe über die Dauer des Ereignisses macht, wird zur Beurteilung der A- und Impuls-bewertete Maxi-

malpegel  $L_{AI,max}$  herangezogen. Ab einem Pegel von  $L_{AI,max} = 120 \text{ dB}$  und mehrminütiger Einwirkzeit ist eine irreversible Schädigung nicht auszuschließen, während höhere Pegel ab  $L_{AI,max} = 135 \text{ dB}$  auch unmittelbar (für Einzelereignisse) bleibende Schädigungen des Gehörs hervorrufen können [14]. Bei der Mes sung von Knallereignissen korrelieren die Kenngrößen  $L_{C,peak}$ ,  $L_{AI,max}$  und der unter anderem in der Schweiz zur Beurteilung verwendete Einzelereignispegel  $L_{AE}$  (bzw. SEL, „Single Event Level“) [16, 17, 18]. In An betracht der leichten regulativen Inkonsistenz könnte perspektivisch ein Wechsel zu einer Beurteilung anhand des  $L_{AE}$  sinnvoll erscheinen. Eine weitere Alternative könnte auch der seit langem bekannte „Auditory Hazard Assessment Algorithm for Humans“ („AHAH“) sein [19], der sich jedoch bislang in Europa nicht durchsetzen konnte. Der hinsichtlich Impulslärm weit verbreitete  $L_{C,peak}$  kann ausschließlich dem Zweck der Prävention dienen. Die Auslösewerte nach Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung liegen mit 135 dB bzw. 137 dB [4] deutlich unterhalb der akuten Gehörgefährdung durch Einzelereignisse, die erst ab einem  $L_{C,peak}$  von ungefähr 150 bis 160 dB zu erwarten sind.

### Extra-aurale Lärmwirkungen

Die mittel- und unmittelbaren lärmbedingten Gehör gefährdungen sind intensiv erforscht und reguliert. Zahlreiche Arbeitsschutz- und Präventionsmaßnahmen wurden und werden fortlaufend erarbeitet und das berufsbedingte Krankheitsbild der Lärmschwer hörigkeit im Schadensfall sozialversicherungsrechtlich kompensiert. Jedoch lässt sich die Wirkung von Lärm am Arbeitsplatz keinesfalls auf die unterschiedlichen Arten der Gehörgefährdung reduzieren. Eine Vielzahl weiterer, nicht das Gehör betreffender Wirkungen ist in der Literatur dokumentiert und nach wie vor Ge genstand aktueller Untersuchungen und Forschungs projekte. Als mögliche Wirkungen werden insbeson dere Beeinträchtigungen der Leistung, Zufriedenheit und Motivation von Beschäftigten genannt, aber auch Auswirkungen auf das Herz-Kreislauf-System sowie das Muskel-Skelett-System [20, 21]. Die Erforschung extra-auraler Lärmwirkungen ist populär: Alleine die Betrachtung der aktuellen Entwicklungen in der speziellen Fragestellung, wie sich Lärm auf die kognitive Leistungsfähigkeit auswirkt, ergab im entsprechenden ICBEN-Review 2021 eine Anzahl von 78 relevanten Reports im Zeitraum 2017–2021 [22]. Die Nutzbarkeit von Reviews und Übersichtsarbeiten zur Ableitung von konkreten Beurteilungskriterien wird durch den Umstand erschwert, dass die einzelnen Studien sich in ihren Details grundlegend unterscheiden kön nen und daher ihre Ergebnisse nicht immer über tragbar oder überhaupt vergleichbar sind [20]. Eine

gesicherte Kausalität vergleichbar dem Beispiel der lärmbedingten Gehörgefährdung liegt für die Vielzahl extra-auraler Wirkungen von Lärm bislang nicht vor, eine oder mehrere Dosis-Wirkungsbeziehungen konnten noch nicht abgeleitet werden. Entsprechend findet sich in der Regulierung im Falle der LärmVibrationsArbSchV [4] samt zugehörigen Technischen Regeln [23] lediglich ein Hinweis, dass extra-aurale Wirkungen zu berücksichtigen sind. In der Arbeitsstättenverordnung [24] existiert bis heute lediglich die Vorgabe, dass der Schalldruckpegel am Arbeitsplatz so gering zu halten sei, wie dies nach Art des Betriebes möglich ist. Erst im Mai 2018 wurde diese Verordnung durch Veröffentlichung der Arbeitsstättenregel ASR A3.7 [25] konkretisiert. Konsequenterweise behält die ASR A3.7 den Bezug zum Schalldruckpegel bei und definiert, wohl auch aus Mangel an Alternativen, den aus DIN 45645-2 stammenden Beurteilungspegel  $L_r$  zum verbindlichen Kennwert, der neben dem äquivalenten Dauerschallpegel  $L_{Aeq}$  noch Zuschläge für Impuls- und Tonhaltigkeit enthält. Abhängig von der Art der ausgeübten Tätigkeit und den damit verbundenen Anforderungen an Sprachverständlichkeit oder Konzentrationsfähigkeit definiert die ASR A3.7 drei Kategorien mit den jeweiligen Grenzwerten 55 dB (Tätigkeitskategorie I), 70 dB (Tätigkeitskategorie II) und „so gering wie möglich“ (Tätigkeitskategorie III). An der Eignung des Beurteilungspegels als Prädiktor für extra-aurale Lärmwirkungen bestehen in einigen Fällen, wie beispielsweise die Beeinträchtigung der Leistung, begründete Zweifel. In Ergänzung zur Bestimmung der tätigkeitsbezogenen Pegelwerte kann eine zuverlässige Beurteilung der psychischen Belastung beispielsweise durch den Einsatz validierter

Fragebögen erfolgen, die auf die unterschiedlichen, lärmspezifischen Belastungsfaktoren des betrachteten Arbeitsplatzes angepasst wurden [26]. Vor dem Hintergrund, dass es sich bei der ASR A3.7 um ein staatliches Regelwerk handelt, welches im Konsens unterschiedlicher Interessensgruppen erarbeitet und verabschiedet wurde, und sich am Ende auf einen normativ geregelten und langjährig angewendeten Beurteilungsparameter stützt, ohne dabei die Inhalte der Arbeitsstättenverordnung konterkarieren zu dürfen, scheint die Erwartungshaltung gegenüber diesem Regelwerk sehr hoch. Dem Anspruch einer umfassenden, differenzierten, adäquaten und praktikablen Beurteilung extra-auraler Lärmwirkungen oder gar einer effektiven Reduzierung der psychischen Belastung am Arbeitsplatz kann die ASR A3.7 unmöglich gerecht werden. Derartiges ist bislang weder auf wissenschaftlicher noch normativer Ebene vorhanden und konnte entsprechend auch nicht in die Erarbeitung des staatlichen Regelwerks eingebracht werden. Insgesamt erscheint es für die Berücksichtigung, Reduzierung und Prävention extra-auraler Wirkungen von Lärm am Arbeitsplatz ratsam, Beschäftigte wie Arbeitgeberinnen und Arbeitgeber noch stärker für das Thema zu sensibilisieren. Auch wenn die ASR A3.7 hierfür alleine nicht ausreichend ist, bewirkt sie in vielen Fällen zumindest eine Auseinandersetzung mit der akustischen Gestaltung von Arbeitsstätten, die ohne eine verbindliche Regulierung zumindest nicht in vergleichbarer Tiefe stattfinden würde. Die Zahl der Fehltage durch psychische Erkrankungen hat sich im Zeitraum 1991 bis 2021 mehr als verdreifacht, die Anzahl der zugehörigen Arbeitsunfähigkeits-Fälle ist von 2,5 % auf 7,1 % gestiegen [27] (siehe Abbildung 4). Stressbedingte

Abb. 4: Entwicklung der durch psychische Erkrankungen bedingten Arbeitsunfähigkeit in Deutschland in den Jahren 1997–2021. Quelle: DAK-Gesundheitsreport 2022 [27]



Erkrankungen sind ein gesamtgesellschaftliches Problem, zu dem neben vielen weiteren Einflussfaktoren auch Lärm am Arbeitsplatz beiträgt.

### Weitere physiologische Wirkungen und offene Fragestellungen

#### Tieffrequenter Schall und Infraschall

Nach der Definition aus DIN 1320 [28] handelt es sich bei Lärm ausschließlich um Hörschall. Jedoch kann es an Arbeitsplätzen auch zur Exposition durch Infraschall kommen, dessen prinzipielle Wahrnehmbarkeit bis hinab zu 1 Hz untersucht wurde [29, 30]. Eine Gehörgefährdung erscheint unwahrscheinlich, Betroffene beklagen jedoch vielfältige Wirkungen wie z.B. Ohrendruck, Unwohlsein oder Angstzustände [31, 32]. In den staatlichen Regelwerken wird zur Messung und Beurteilung auf DIN 45680 [33] verwiesen, die das Thema umfassend behandelt.

#### Hochfrequenter Hörschall und luftgeleiteter Ultraschall

Auch die Wirkung und Messung von Ultraschall ist in den letzten Jahren wieder vermehrt in den Fokus der Forschung geraten. Dank unbestreitbarer Vorteile für eine Vielzahl industrieller Anwendungen sind ultraschallbasierte Arbeitsmittel und Maschinen heutzutage von vielen Arbeitsplätzen nicht mehr wegzudenken. Neben den bekannten Wirkungen wie Unwohlsein, Schwindelgefühle oder Übelkeit existieren in mehreren Reviews auch Hinweise auf aurale Wirkungen, die sich beispielsweise in Form einer Senke im Audiogramm zeigen, die mit Subharmonischen der Arbeitsfrequenzen von Ultraschallmaschinen übereinstimmt, die von den Betroffenen bei der Arbeit eingesetzt werden (ein Überblick findet sich bspw. in [34]). Als wesentliches Regelwerk zur Messung und Beurteilung von Ultraschall galt lange Zeit die Richtlinie VDI 3766 [35], die jedoch aufgrund ihres Alters nicht mehr dem aktuellen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnis hinsichtlich Messtechnik und Messverfahren entspricht [36–45]. Richtwerte für den AU-bewerteten (Kombination der Frequenzbewertungen A und U nach DIN EN 61672-1 und DIN EN 61012, siehe auch [35]) Tages-Lärmexpositionspegel sowie den Z-bewerteten Spitzenschalldruckpegel finden sich ebenfalls in VDI 2058 Blatt 2 [46], die darüber hinaus als zusätzliche Schutzmaßnahme die Einhaltung von Richtwerten für maximale 5-Minuten-Terzbands-Pegel empfiehlt. Im Terzbands mit der Mittenfrequenz 16 kHz sollten  $L_{Z_{eq,Terz,Smin}} = 90 \text{ dB}$  nicht überschritten werden, in den übrigen Terzbändern bis hin zur Mittenfrequenz 40 kHz werden  $L_{Z_{eq,Terz,Smin}} = 110 \text{ dB}$  als einzuhalten der Höchstwert empfohlen.

#### Kombinationswirkung mit ototoxischen Arbeitsstoffen

Hinsichtlich der Gehörgefährdung stellt auch die Kombinationswirkung von Lärm und ototoxischen Substanzen ein bislang ungelöstes Problem dar. Prinzipiell können diese Stoffe auch ohne Lärmeinwirkung das Hörvermögen beeinträchtigen. Erst kürzlich wurden neue Medikamente identifiziert, die selbst ohne zusätzliche Lärmexposition zu einem beidseitigen Hörverlust bei den Patienten führten [47]. Da von einer Kombinationswirkung ototoxischer Substanzen und Lärm ausgegangen wird, ist die Ototoxizität auch Gegenstand der EU-Richtlinie „Lärm“. Entsprechend findet sich auch in der TRLV „Lärm“ [23] die Vorgabe, dass mögliche Wechsel- oder Kombinationswirkungen mit ototoxischen Substanzen in der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen sind. Mit Verweis auf das Ausbleiben gesicherter Erkenntnisse zu Dosis-Wirkungs-Beziehungen für an Arbeitsplätzen relevante Konzentrationsbereiche existiert aber keine weitere Vorgabe, wie genau diese Kombinationswirkung zu berücksichtigen wäre oder wie in solchen Fällen die maximal zulässigen Lärmexpositionswerte anzusetzen seien. Auch das Positions-papier „Ototoxische Arbeitsstoffe“ des Arbeitskreises „Lärm“ im Ausschuss Arbeitsmedizin der Gesetzlichen Unfallversicherungsträger [48] kann aus demselben Grund lediglich zusätzliche „expositionsmindernde Maßnahmen“ empfehlen.

#### Hypertonie

Bereits seit den 40er Jahren wird der Zusammenhang zwischen Lärmeinwirkung und Bluthochdruck untersucht, inzwischen existieren mehrere tausend Veröffentlichungen zum Thema. Ein einheitliches Bild scheint sich bislang nicht zu ergeben, was unter anderem darauf zurückzuführen ist, dass die teilweise sehr unterschiedlichen Studienseettings nur schwierig bis gar nicht übertragbar sind. Es gibt eine sehr große Anzahl weiterer Risikofaktoren für die Entstehung von Bluthochdruck, die vollständig erfasst und entweder im Studiendesign ausgeschlossen oder bei der Auswertung besonders berücksichtigt werden müssten. Die Expositionsermittlung ist insbesondere in der medizinischen Fachliteratur häufig unzureichend beschrieben oder erfolgt nicht nach der auch in Deutschland angewendeten ISO 9612 [49]. Ein Versuch zur Ableitung eines Dosis-Wirkungs-Modells erfolgte jüngst in einem umfangreichen Review der TU Dresden [50]. Im Rahmen einer Meta-Analyse von über 4000 Veröffentlichungen wurden 4 Studien identifiziert, auf deren Basis ein Risikomaß für die Entstehung einer lärmbedingten arteriellen Hypertonie vorgeschlagen wurde. Allerdings liegt dem mathematischen Modell eine geringe Anzahl

an Datensätzen zugrunde und es wurde bislang nicht durch weitere Arbeitsgruppen überprüft. Fast zeitgleich zur oben genannten Publikation von Bolman-Audorff et. al. wurde ein ähnliches Review von einer Joint Working Group aus WHO und ILO publiziert [51]. Die Autoren kamen zu der Bewertung, dass die Evidenz für einen lärmbedingten Einfluss auf Hypertonie-Prävalenz, -Inzidenz und -Mortalität unzureichend ist. Auffällig ist, dass trotz der Vielzahl der in den letzten knapp 70 Jahren veröffentlichten Studien der genaue Wirkungsmechanismus nach wie vor ungeklärt ist. Zwei Publikationen postulieren folgende Wirkungskette: durch die Lärmeinwirkung kommt es zur vermehrten Produktion von Stresshormonen, die wiederum einen Anstieg des Blutdrucks verursachen [52, 53]. In diesem Szenario würde die Aufstellung einer Dosis-Wirkungsbeziehung unter anderem dadurch erschwert, dass die weiteren möglichen Ursachen für die Bildung von Stresshormonen betrachtet und entweder zuverlässig quantifiziert oder ausgeschlossen werden müssten. Derartige Studien scheinen bislang nicht zu existieren. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es in der Literatur seit vielen Jahren Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen Lärmexposition und Bluthochdruck gibt. Auf wissenschaftlicher Ebene besteht dennoch bis heute kein Konsens.

#### Grenzwerte für Schwangere

Nach §11 (3) des Mutterschutzgesetzes [54] hat der Arbeitgeber unter anderem dafür Sorge zu tragen, dass die physikalischen Einwirkungen am Arbeitsplatz keine unverantwortbare Gefährdung für die schwangere Frau oder ihr Kind darstellen. Die TRLV Lärm [23] ordnet Schwangere der Gruppe der „besonders gefährdeten Personen“ zu, für die im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung die besonderen Forderungen des Mutterschutzgesetzes zu beachten sind. In der ASR A3.7 werden schwangere Personen nicht explizit aufgeführt. Eine konkrete Vorgabe zur Umsetzung findet sich lediglich in der DGUV-Grenzwerteliste [55]: In einer Übereinkunft der staatlichen Gewerbeärzte wurde ein Beurteilungspegel von  $L_r = 80 \text{ dB}$  als Grenzwert für den Zeitraum der Schwangerschaft festgelegt. Jedoch handelt es sich hierbei noch um einen „Beurteilungspegel“ nach UVV Lärm, der seit Einführung der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung im Jahre 2007 dem unterem Auslösewert des Tages-Lärmexpositionspegels von  $L_{\text{EX,sh}} = 80 \text{ dB}$  entspricht. Eine umfangreiche Studie aus dem Jahre 2016 deutet darauf hin, dass eine Lärmexposition während der Schwangerschaft von mehr als  $L_{\text{EX,sh}} = 85 \text{ dB}$  mit einer höheren Rate angeborener Hörschäden bei den Neugeborenen verbunden sein könnte [56]. Auch dies spricht dafür, dass ein Grenzwert von  $L_{\text{EX,sh}} = 80 \text{ dB}$

eine wirksame Hörschadensprävention für Mutter und Kind darstellt.

#### **Fazit**

Lärm war und ist eine der häufigsten Gesundheitsgefahren am Arbeitsplatz, und das nicht nur aufgrund der Gehörgefährdung. Diese ist sowohl für lange Expositionen bis hin zur Beurteilung über ein vollständiges Erwerbsleben als auch für kurzzeitige Ereignisse, die eine unmittelbare Gefährdung darstellen, gut erforscht, beschrieben und reguliert. Eine zentrale Rolle nimmt dabei die ISO 1999:2013 ein. Sie ist bis heute die einzige international veröffentlichte Norm, die ein belastbares und statistisch fundiertes Dosis-Wirkungs-Modell für Lärmexpositionen enthält. Etwas Vergleichbares wäre auch in Bezug auf die zahlreichen weiteren Lärmwirkungen am Arbeitsplatz wünschenswert. Die meisten Effekte sind in der Literatur gut beschrieben, oft mangelt es aber an einer nachgewiesenen Kausalität. Vielleicht ist dieser Nachweis teilweise auch gar nicht möglich und in manchen Fällen auch nicht notwendig. Dies erschwert aber die Ableitung wirksamer Schutzmaßnahmen und Kompensationsmodelle für arbeitsbedingte, gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Lärm. Insbesondere die medizinische Forschung könnte bedeutende Wissenslücken schließen, beispielsweise hinsichtlich des möglichen Zusammenhangs zwischen Lärmeinwirkung und Hypertonierisiko. Idealerweise sollten die unterschiedlichen Disziplinen hierbei ineinander greifen, damit nicht nur die medizinische Wirkungskette, sondern auch die physikalische Einwirkung möglichst präzise erfasst und falls möglich Dosis-Wirkungs-Beziehungen modelliert werden können. Es war die Absicht dieses Artikels, einen kompakten Überblick über die historische Entwicklung und den aktuellen Kenntnisstand zu Lärmwirkungen und ihrer Beurteilung am Arbeitsplatz zu bieten. Dadurch konnten die aufgegriffenen Themen nicht in der gebotenen Tiefe betrachtet werden. Andere, ebenfalls wichtige Diskussionen und Entwicklungen, wie beispielsweise die Berücksichtigung von impulsartigem Lärm mittels Betrachtung der Kurtosis, wurden gar nicht behandelt. Neben der Aufarbeitung historischer Erkenntnisse war es aber auch die Absicht dieses Artikels, gewohnte Perspektiven zu hinterfragen und Diskussionen anzuregen. In der Hoffnung, dass weiterhin große Fortschritte in diesem Randgebiet der Akustik erzielt werden, das täglich für einen Großteil unserer Bevölkerung von Bedeutung ist. Auch wenn die älteste Literaturstelle in diesem Artikel bereits über 300 Jahre alt ist, existieren noch heute offene und wichtige Fragestellungen, während fortlaufend neue hinzukommen.

## Literatur

- [1] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V.: DGUV-Statistiken für die Praxis 2022. 2023.
- [2] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung: Empfehlung für die Begutachtung der Lärmschwerhörigkeit (BK-Nr. 2301) – Königsteiner Empfehlung. 2020.
- [3] Hoffmann, H.; von Lüpke, A.; Maua, J.: 0 Dezibel + 0 Dezibel = 3 Dezibel. 8. Auflage, Erich Schmidt Verlag, 2003.
- [4] Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen (Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung – LärmVibrationsArbSchV) vom 6. März 2007, BGBl. I, S.261.
- [5] Unfallverhütungsvorschrift (UVV) „Lärm“ vom Dezember 1974. BG-Vorschrift BGV B3, Carl Heymanns Verlag, Köln – zurückgezogen.
- [6] ISO 1999: Acoustics – Estimation of noise-induced hearing loss. Third Edition. International Organisation for Standardization, Genf; 2013.
- [7] Ramazzini, B.: „De morbis artificum diatriba“ aus dem Lateinischen übersetzt von P. Goldmann. Königshausen & Neumann, Würzburg 1998.
- [8] Eldred, F.E.; Gannon, W.J.; v. Gierke, H.: „Criteria for Short Time Exposure of Personnel to High Intensity Jet Air Craft Noise“. Air Craft Noise, Rept. WADC-TN-355. Aerospace Medical Laboratory, Wright-Patterson AFB, Ohio 1955.
- [9] Ordoñez<sup>1</sup>, R.; de Toro, M. A. A; Hammershoi<sup>1</sup>, D.: Time and Frequency Weightings and the Assessment of Sound Exposure. Internoise 2010, 13–16 June, Lisbon, Portugal. <sup>1</sup>Acoustics, Institute of Electronic Systems, Aalborg University.
- [10] v. Gierke, H. E.; Robinson, D. W.; Karmy, S. J.: Results of a Workshop on impulse noise and auditory hazard. J. Sound Vib., 83, pp. 579–584, 1982.
- [11] Hellbrück, J.: Hören. Physiologie, Psychologie und Pathologie. Göttingen: Hogrefe, 1993.
- [12] Liedtke, M.: Effektive Lärmdosis basierend auf Hörminderungsäquivalenzen nach ISO 1999. Arbeitmed. Sozialmed. Umweltmed. 45: pp. 612–623, 2010.
- [13] Liedtke, M.: Die Effektive Lärmdosis (ELD) – Grundlagen und Verwendung. Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie 63, Nr. 2, S. 66–79, 2013.
- [14] VDI-Richtlinie 2058 Blatt 2: Beurteilung von Lärm hinsichtlich Gehörgefährdung. 2020.
- [15] Feldmann, H.; Brusis, T.: Das Gutachten des Hals-Nasen-Ohren-Arztes. Georg Thieme Verlag KG Stuttgart, 2019.
- [16] Maua, J.: Die Bedeutung des Spitzenschalldruckpegels für die Beurteilung industrieller Arbeitsplätze. Sicherheitsingenieur 40, S. 52–55, 2009.
- [17] Paulsen, R.: Spitzenschalldruckpegel bei Arbeitsunfällen mit Knallereignissen. Lärmbekämpfung Bd. 6, 2012.
- [18] Maua, J.: Lärmschädigung am Arbeitsplatz: Grenzen für das Gehör. Sicherheitsingenieur S. 7–8, 2023
- [19] Michel, O.: Wann führt der Knall zum Trauma. HNO Nachrichten 48 (6), 2018.
- [20] Sukowski, H.: BAuA Fokus „Extra-aurale Wirkungen von Lärm bei der Arbeit“. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Dortmund, 2023.
- [21] Ising, H.; Sust, Ch. A.; Rebentisch, E.: Lärmbeurteilung – Extra-aurale Wirkungen. Auswirkungen von Lärm auf Gesundheit, Leistung und Kommunikation. BAuA – Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse Nr. 98, Dortmund, 1996.
- [22] Schlittmeier, S.; Marsh, J. E.: Review of research on the effects of noise on cognitive performance 2017–2021. The 13th ICBEN Congress on Noise as a Public Health Problem, Karolinska Institutet, Stockholm, Sweden, 2021.
- [23] Technische Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung – TRLV, Teil Lärm. Gemeinsames Ministerialblatt S. 590 vom 05.09.2017.
- [24] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 12. August 2004. BGBl. I S. 2179, zuletzt geändert durch Artikel 4 des Gesetzes vom 22. Dezember 2020 (BGBl. I S. 3334).
- [25] Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR A3.7 „Lärm“. Ausgabe März 2021, GMBl 2021, S. 543.
- [26] Rokosch, F.; Schwarzmüller, K.; Uslar, W.; Gehrke, A.; Wiegand, J.; Selzer, J.; Wolff, A.; Schelle, F.: DGUV-Report 4/2020 „Lärmbelastung im Einzelhandel“. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V., Berlin, 2020.
- [27] Schumann, M.; Marschall, J.; Hildebrandt, S.; Nolting, H.-D.: DAK-Gesundheitsreport 2022. Analyse der Arbeitsunfähigkeitsdaten. Risiko Psyche: Wie Depressionen, Ängste und Stress das Herz belasten. DAK Gesundheit, Hamburg, 2022.
- [28] DIN 1320:2009-12: Akustik – Begriffe. Beuth Verlag, Berlin, 2009.
- [29] Swedish Defence Material Administration (Hrsg.): Infra-sound. Stockholm, 1985.
- [30] Watanabe, T.; Moeller, H.: Low frequency hearing thresholds in pressure field and in free field. Journal of Low Frequency Noise and Vibration 9, 1990.
- [31] Gono, F.: Infraschall und seine Wirkung auf Menschen. Arbeitsmed. Sozialmed. Präventivmed. 13, 1978.
- [32] Ising, H.: Infraschallwirkungen auf den Menschen. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 29, 1982.
- [33] DIN 45680:2020-06-Entwurf: Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräuschimmissionen. Beuth Verlag, Berlin, 2020.
- [34] Kusserow, H.: IFA Report 4/2016 „Kritische Betrachtung der deutschen Beurteilungskriterien für berufliche Ultraschalleinwirkungen auf das Gehör im Rahmen eines internationalen Vergleichs und am Beispiel von Ultraschall-Schweißmaschinen“. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V., Berlin, 2016.
- [35] VDI 3766: Ultraschall – Arbeitsplatz – Messung, Bewertung, Beurteilung und Minderung. Verein Deutscher Ingenieure, September 2012.
- [36] Wolff, A.: Luftgeleiteter Ultraschall am Arbeitsplatz – ein kritischer Blick auf die aktuelle Situation. Technische Sicherheit 4, 2014.
- [37] Wolff, A.: Airborne ultrasound at german workplaces. INTER-NOISE 2016. 45th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering „Towards a Quieter Future“, Hamburg, Germany, 2016.
- [38] Ullisch-Nelken, C.; Schöneweiß, R.; Wolff, A.: Ears II: Entwicklung eines praxistauglichen Messverfahrens für luftgeleiteten Ultraschall. In: Fortschritte der Akustik – DAGA 2017. 43. Jahrestagung für Akustik, Kiel, 2017.
- [39] Kling, C.; Schöneweiß, R.; Wolff, A.; Ullisch-Nelken, C.: Investigations on airborne ultrasound at working places. 24th International Congress on Sound and Vibration, London, 2017.
- [40] Wächtler, M.; Kling, C.; Wolff, A.: Entwicklung eines Ultraschall-Pegelmesssystems für den Arbeitsschutz. Lärmbekämpfung 13, Nr. 1, S. 28–32, 2018.
- [41] Ullisch-Nelken, C.; Kusserow, H.; Wolff, A.: Analysis of the Noise Exposure and the Distribution of Machine Types at Ultrasound Related Industrial Workplaces in Germany. Acta Acustica united with acustica 104, pp. 733–736, 2018.
- [42] Wolff, A.; Ullisch-Nelken, C.: Messung von luftgeleittem Ultraschall am Arbeitsplatz. sicher ist sicher 69, Nr. 11, S. 495–499, 2018.
- [43] Cieslak, M.; Kling, C.; Wolff, A.: Ultrasound exposure in a workplace and a potential way to improve its measurement methodology. 2020 IEEE Virtual Reality Conference (VR). 3–5 June 2020, Roma, Italy – Vortrag. Tagungsbericht, S. 1–5 Hrsg.: Höllerer, T.; Interrante, V.; Lecuyer, A.; Swan, J. E. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), New York/USA. ISBN: 978-1-7281-4892-2.



**Dr. rer. med.  
Florian Schelle**  
Bereichsleiter  
„Lärm“, Institut für  
Arbeitsschutz der  
Deutschen Gesetzlichen  
Unfallversicherung e. V. (IFA),  
St. Augustin



**Dr. rer. nat.  
Martin Liedtke**  
Abteilungsleiter  
„Arbeitsgestaltung,  
Physikalische Ein-  
wirkungen“, Institut  
für Arbeitsschutz der  
Deutschen Gesetzlichen  
Unfallversicherung e. V. (IFA),  
St. Augustin

- [44] Cieslak, M.; Kling, C.; Wolff, A.: Development of a Personal Ultrasound Exposimeter for Occupational Health Monitoring. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2021, 18, 13289.
- [45] Wolff, A.; Cieslak, M.; Kling, C.: Development of a high-frequency and ultrasound personal noise exposure meter for identification of sufficient sound rating quantities. Proceedings of the 13th ICBEN Congress on Noise as a Public Health Problem, Karolinska Institutet, Stockholm, Sweden, 2021.
- [46] VDI 2058-2: Beurteilung von Lärm hinsichtlich Gehörgefährdung. Verein Deutscher Ingenieure, August 2020.
- [47] Lee, S.; Cha, J.; Kim, J.-Y.; Son, G. M.; Kim, D.-K.: Detection of unknown ototoxic adverse drug reactions: an electronic healthcare record based longitudinal nationwide cohort analysis. *Nature Scientific Review*, 2021.
- [48] Ototoxische Arbeitsstoffe. Positionspapier des Arbeitskreises „Lärm“ im Ausschuss Arbeitsmedizin der DGUV. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V., Berlin, 2018.
- [49] DIN EN ISO 9612: Akustik – Bestimmung der Lärmaxposition am Arbeitsplatz – Verfahren der Genauigkeitsklasse 2. Beuth-Verlag, Berlin, 2009.
- [50] Bolm-Audorff, U.; Hegewald, J.; Pretzsch, A.; Freiberg, A.; Nienhaus, A.; Seidler, A.: Occupational Noise and Hypertension Risk: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020.
- [51] Teixeira, L. R.; Pega, F.; Dzhambayev, A. M.; Bortkiewicz, A.; Correa da Silva, D. T.; de Andrade, C. A. F.; Gadzicka, E.; Hadkhale, K.; Iavicoli, S.; Martinez-Silveira, M. S.; Pawlaczek-Luszczynska, M.; Rondinone, B. M.; Siedlecki, J.; Valentini, A.; Gagliardi, D.: The effect of occupational exposure to noise on ischaemic heart disease, stroke and hypertension: A systematic review and meta-analysis from the WHO/
- ILO Joint Estimates of the Work-Related Burden of Disease and Injury. *Environment International* 154, 2021.
- [52] Babisch, W.: Stress hormones in the research on cardiovascular effects of noise. *Noise Health*, 2003.
- [53] Maschke, C.; Rupp, T.; Hecht, K.: The influence of stressors on biochemical reactions – a review of present scientific findings with noise. *Int. J. Hyg. Environ. Health*, 2000.
- [54] Mutterschutzgesetz vom 23. Mai 2017 (BGBl. I S. 1228), das durch Artikel 57 Absatz 8 des Gesetzes vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2652) geändert worden ist.
- [55] IFA Report 01/2022: Grenzwerteliste 2022. Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V., 2022.
- [56] Selander, J.; Albin, M.; Rosenhall, U.; Rylander, L.; Lewné, M.; Gustavsson, P.: Maternal Occupational Exposure to Noise during Pregnancy and Hearing Dysfunction in Children: A Nationwide Prospective Cohort Study in Sweden. *Environmental Health Perspectives*, Volume 124 (6), 2016. ■

# Ehrungen der DEGA

## Preisträger 2024

Die DEGA verleiht zur Eröffnung der Jahrestagung DAGA 2024 die folgenden Preise:

- die **Helmholtz-Medaille** an *Prof. Dr.-Ing. Manfred Zollner* für sein Lebenswerk zur Elektroakustik und zur Musikalischen Akustik, insbesondere für seine Arbeiten zur Elektrogitarre,
  - den **Lothar-Cremer-Preis** an *Ass.Prof. Dr. techn. Stefan Schoder* für seine innovativen und wegweisenden Arbeiten auf dem Gebiet der Strömungsakustik,
  - zwei **DEGA-Studienpreise** an *M.Sc. Marius Lambacher* für seine Masterarbeit „Low-Latency MIMO Loudspeaker-Room Compensation for Real-Time Driving Sound Enhancement in Electric Vehicles“ an der Technischen Universität München,
  - und an *M.Sc. Jeremy Lawrence* für seine Masterarbeit „Sound Source Localization with the Rotating Equatorial Microphone (REM)“ an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.
- Die Preisverleihungen finden während der Eröffnung der DAGA 2024 am  
**Dienstag, den 19. März 2024**  
**um 9:00 Uhr**  
 in der **Glashalle des Hannover Congress Centrum**  
 statt.  
 Ausführliche Informationen zu den Preisträgern und ihren DAGA-Vorträgen finden Sie im Tagungsprogramm der DAGA 2024. ■

# Menschen

## Interview, Gratulationen und Personalien

### ■ Im Gespräch mit Wolfgang Ahnert

**„Ich war schon immer interessiert, etwas Neues zu machen.“**



Wolfgang Ahnert studierte in Dresden und promovierte dort bei Prof. Reichardt 1975 zum Thema „Einsatz elektroakustischer Hilfsmittel in der Raumakustik“. 1981 erschien sein Buch „Grundlagen der Beschallungstechnik“, welches ihn über die DDR-Grenzen hinaus bekannt machte. Während der 15-jährigen Tätigkeit am staatlichen Institut für Kulturbauten (IKB) war er an bedeutenden Bauvorhaben beteiligt. Nach Auflösung des Instituts gründete er 1990 das Ingenieurbüro ADA – Acoustic Design Ahnert. 1991 habilitierte er und wurde 1993 Honorarprofessor an der Hochschule für Film und Fernsehen in Potsdam-Babelsberg. Schon früh erkannte er das Potenzial der Computertechnologie und entwickelte unter anderem (gemeinsam mit Rainer und Stefan Feistel) die Raum- und elektroakustische Simulationssoftware EASE.

**Wenn Sie sich heute für ein Studium entscheiden müssten, würden Sie wieder Akustik studieren?**

Ich wollte ursprünglich an der Technischen Universität Dresden Physik studieren, hatte jedoch durch verwandtschaftliche Kontakte mein Interesse an der Architektur entdeckt und mich dann für die Bau- und Elektroakustik

entschieden. Das würde ich heute sicher auch wieder so machen.

**Nach Ihrer Promotion sind Sie ans Institut für Kulturbauten gegangen. Wie kann man sich die Arbeit dort vorstellen?**

Das IKB verfügte über eine breit angelegte interdisziplinäre Belegschaft, die nicht nur aus Architekten, sondern auch aus Bühnentechnikern, Ingenieuren und Akustikern bestand. Damit war ein breites Wissen gebündelt, das weit über die Architektur hinaus reichte und so konnten wir eben auch die technologischen Herausforderungen eines jeden Projektes mitgestalten. Eine der wichtigsten Arbeiten des Instituts war beispielsweise ihr Engagement für die Semperoper, die damals aus den Kriegsruien wieder aufgebaut wurde.

**War die Arbeit eher an den jeweiligen Projekten orientiert oder gab es auch eine Art Forschung?**

Die Projekte waren kulturelle Einrichtungen im weitesten Sinne des Wortes. Es gab auch Konzertsäle, vor allem aber viele Säle in den ländlichen Gegenden, da die DDR versuchte, überall Kulturhäuser zu eröffnen. In der Folge entstanden am IKB übergeordnete Diskussionen und Forschungsüberlegungen, wodurch Broschüren zu den verschiedensten Themen herausgegeben wurden. In diesem Rahmen habe ich dann 1980 mit Kollegen ein kleines Buch von 125 Seiten über Akustik in Kulturbauten geschrieben. Diese Veröffentlichungen beflogten den Austausch im Osten enorm, denn es gab ähnliche Institutionen für kulturelle Einrichtungen in Leningrad und Moskau, in Bulgarien, der CSSR, Vietnam und auf Kuba.

**Sie waren 15 Jahre am Institut für Kulturbauten. Wie fühlte es sich für Sie an, dass das Institut 1990 aufgelöst wurde?**

Das war von uns erwartet worden, da das IKB dem Ministerium für Kultur nachgeordnet war, welches am 3. Oktober 1990 seine Existenz verlor. Das IKB hatte sich damit auch erledigt und die Belegschaft musste neue Wege gehen. Viele meiner ehemaligen Kollegen haben dann ein Planungsbüro aufgemacht. Ich habe mit zwei Mitarbeitern mein eigenes Ingenieurbüro (ADA – Acoustic Design Ahnert) gegründet. Meine Kenntnisse über die Existenzbedingungen meiner Akustik-Kollegen im Westen habe ich dafür gut nutzen können. Wir konnten bis 1992 sogar in den gleichen Räumen bleiben und haben nur die Türschilder geändert.

**Wie kam es zu diesen internationalen Reisen in den Westen schon vor der Wende?**

Das hat eine lange Vorgeschichte: Von 1971 bis Anfang 1973 habe ich im Rahmen meiner Dissertation die großen Säle in Russland studieren können; u.a. den Kreml-Palast und das Bolschoi-Theater. Auf der Grundlage dieser Kenntnisse entstand dann 1981 mein erstes Buch „Beschallungstechnik“. Zeitgleich wurde in Ost-Berlin der Palast der Republik gebaut. Ich war dort im Planungsteam eingebunden und konnte die Erkenntnisse meiner Dissertation unmittelbar einbringen: Ich empfahl elektronische Verzögerungsgeräte, die eine völlig neue Qualität der Beschallung versprachen und für deren Herstellung die Firma AKG aus Österreich gewonnen wurde. Die erfolgreiche Umsetzung machte den Palast der Republik zu einem Unikat moderner Beschallung – und AKG suchte nach weiteren Anwendungen. So war ich ab 1983 an der Seebühne in Bregenz tätig, ab 1985 in den USA, in Chicago, in New York, in Los Angeles, und dann auch im Osten, in Sofia, in Prag, in Moskau etwa bis 1993. Später waren bereits Delays in Mischpulten vorhanden, sodass eine Beschallung durch Verzögerungsgeräte nicht mehr notwendig war.

## **Ein weiteres Thema mit dem Sie sich parallel beschäftigt haben, war immer auch Softwareentwicklung, oder?**

Einen ersten Lehrgang zur Bedienung von Großrechnern habe ich schon 1968 gemacht. Im gleichen Jahr hatte Prof. Krokstad aus Trondheim einen beeindruckenden Artikel veröffentlicht, in dem erstmals über Computersimulationen von akustischen Begebenheiten in Räumen berichtet wurde. Ich habe dann verschiedene Programme geschrieben, die für meine Promotion benutzt wurden und deren Anwendung umgehend in einem russischen akustischen Journal zur Veröffentlichung angenommen wurde. Die Arbeit mit den Großrechnern war damals jedoch nicht effizient. Ab 1982 habe ich dann zusammen mit Dr. Rainer Feistel erste Versuche an einem Homecomputer gemacht. Dies führte dann 1990 zur ersten Version der Software EASE.

## **Was denken Sie, wie die Zukunft der Software für Beschallungs-technik- und Raumakustiksimulationen aussieht?**

Da ist sicher noch viel zu erwarten, vor allem in der Art und Weise, wie man akustische Eigenschaften in Räumen erfasst, verrechnet und bewertet – wie etwa die Auralisation, mit der man etwas in einer virtuellen Umgebung anhören kann, das wirklichkeitsnah ist und auch visuell gezeigt wird. Diese hervorragende Technologie ist aber noch immer in der Entwicklung. Oder nehmen wir EASE und vergleichbare Software: Sie haben die Aufgabe, dem Nutzer nahezubringen, wie etwas klingt und erlebt werden kann und zwar auf der Basis einer authentischen, durchaus auch mit KI unterstützten Wiedergabe.

## **Würden Sie sagen, dass Sie eher auf bestimmte Ziele hingearbeitet haben oder war einiges auch Glück?**

Ich war schon immer interessiert, etwas Neues zu machen. Das fing schon damals damit an, als ein Wissenschaftsaustausch der TU Dresden mit der Lomonossow Universität in Moskau angekurbelt werden sollte. Da war ich tatsächlich einer

der Wenigen, der sich dafür gemeldet hatte. Selbst nach zehn Jahren Russisch-Unterricht in der Schule, konnten wir kaum etwas mit dieser Sprache anfangen. Das war schon eine große Barriere. Aber nach 4 Monaten konnte ich dann fließend sprechen und habe es bis heute nicht verlernt. Auch alles Spätere, was ich gemacht habe, war sicher gewollt, oft jedoch mit einem ungewissen Ausgang verbunden, wie die Gründung meines eigenen Ingenieurbüros nach der Wende. Wahrscheinlich treibt mich dann eine enorme Neugier dazu, es auszuprobieren. Und wenn dann noch Unterstützung angeboten wird oder andere glückliche Umstände dazukommen, darf man sich nicht verschließen.

## **Gab es denn keine Schwierigkeiten?**

Mir war immer bewusst, dass ich im Zuge meiner umfangreichen Reisetätigkeit in den Westen auch von der Staatssicherheit der DDR überwacht wurde. Aber erst nach dem Mauerfall habe ich durch Einsicht in meine, von der Stasi angefertigten Akte erfahren, dass es ein mir sehr nahestehender Fachkollege und Freund war, der mich bespitzelt hat. Zu meiner Überraschung hat er dazu auch noch sehr tendenziös und negativ berichtet, Vorgänge erfunden und mich als „politisch unhaltbar“ diskreditiert. Ganz unverhohlen missgönnte er mir die beruflichen Erfolge und wollte mir Hindernisse in den Weg legen. Seine Berichte an die Stasi hätten mir sehr schaden können; eine verstärkte Bespitzelung war bereits angeordnet. Der Zusammenbruch der DDR kam gerade zur rechten Zeit.

## **Rückblickend, was waren die entscheidenden Phasen oder Momente in Ihrer Karriere?**

Die Tatsache, dass ich mich bereits ziemlich früh mit Software für unser Fachgebiet beschäftigt habe, hat dazu geführt, dass wir rechtzeitig eine Software hatten, die stetig weiterentwickelt werden konnte. Das war zum Beispiel ein entscheidender Schritt. Meine Arbeiten in einem eigenen Büro fortzuführen, nachdem das IKB geschlossen wurde, das wollte ich auch. 2010 habe ich mir

mit 65 Jahren dann Partner gesucht und das Planungsbüro in eine GmbH umgewandelt. 2017 habe ich dann die Hauptanteile verkauft, und arbeite jetzt als Gründungsdirektor des Berliner Standortes des internationalen Planungsbüros WSDG noch mit, so lange man mich braucht und es mir Spaß macht.

## **Das heißt, Sie können sich jetzt aussuchen, bei welchen Projekten Sie noch involviert sein möchten?**

Unser Hauptprojekt ist gerade die große Moschee in Medina. Das ist schon eine sehr große Herausforderung eine moderne Beschallung zu planen, was meine ganze Expertise verlangt.

## **Es ist also nie langweilig geworden?**

Nein, ich mache noch keine Kreuzworträtsel.

## **Vielen Dank für das Gespräch! ■**

*Simon Kersten,*

*Lara Stürenburg*

*(Fachgruppe junge DEGA)*

## **■ Wir gratulieren**

- zum 80. Geburtstag (Dezember 2023):  
*Prof. Dr. Walter Arnold,*  
Leitung der Tagung DAGA '95
- zum 70. Geburtstag (Dezember 2023):  
*Prof. Dr. Reinhard Lerch,*  
Träger der Helmholtz-Medaille  
(2020), Leitung der Tagung DAGA 2015
- zum 80. Geburtstag (Januar 2024):  
*Michael Jäcker-Cüppers,*  
ehem. Leiter des Arbeitsrings Lärm der DEGA (ALD) ■

## **■ Personalien**

- *Prof. Dr. Kai Siedenburg*  
(Träger des Lothar-Cremer-Preises 2020) ist seit Dezember 2023 Professor für Kommunikationsakustik am Institut für Signalverarbeitung und Sprachkommunikation der Technischen Universität Graz. ■

# Veranstaltungen

## ■ Veranstaltungshinweise

18.–21.03.2024

DAGA 2024

50. Jahrestagung für Akustik



### Hannover klingt – Willkommen zur 50. DAGA

Hannover – UNESCO-City of Music, Stadt der Chöre und des Klangs – im Jahr der 50. DAGA ist Hannover im Herzen Deutschlands zum zweiten Mal Gastgeber: Seien Sie herzlich willkommen zur DAGA 2024.

### Tagungsleitung

Jürgen Peissig und Raimund Rolfs

### Anmeldung zur Tagung und Gebühren

Bis 10. März online unter

<https://www.daga2024.de/registrierung>

### DAGA-App

Die App zur DAGA ist, ebenso wie das Programmheft, ab Ende Februar verfügbar und kann mit einem PC sowie Smartphone per Browser ohne Download genutzt werden:

- Programm einschließlich der Late Poster mit aktuellen Änderungen sowie das vollständige Rahmenprogramm
  - 2D-Firmenausstellung
  - Erstellung eines persönlichen Zeitplans
  - Grafische Sitzungsübersicht
  - Tagesansichten, Autorenliste, Raum- und Umgebungspläne
  - alle Inhalte sind durchsuchbar
- <https://www.daga2024.de/programm/>



## Vorkolloquien

- Elektroakustik und Immersive Audioverfahren (Jürgen Peissig & Stephan Preihs)
- Schall von Windenergieanlagen: On- und Offshore (Raimund Rolfs)
- Audiosignalverarbeitung, Soundcodierungsstrategien und Computermodelle für Auditorische Implantate (Waldo Nogueira & Andreas Büchner)

## Plenarvorträge

- Physik der Elektrogitarre (Manfred Zollner)
- Gravitationswellenastronomie: Wir können das dunkle Universum hören! (Karsten Danzmann)
- Fünfzig Mal DAGA – Forum und Wegweiser der Akustik und ihrer Entwicklung in Deutschland (Joachim Scheuren)
- Strömungsakustik: Theorie und Benchmarking (Stefan Schoder)

## Rahmenprogramm

Am Dienstag, 19. März 2024, gibt es zwei Highlights in einer Veranstaltung: Zu hören ist der international bekannte Mädchenchor Hannover in der besonderen Raumakustik der zur Konzertkirche umgebauten Christuskirche Hannover. Dem voraus geht ein Vortrag über das besondere raumakustische Konzept, dargeboten vom Akustikplaner des Umbaus selbst – Vladimir Szynajowski.

Unser geselliger Abend am Mittwoch, 20. März 2024, wird eine stimmungsvolle Veranstaltung im Lichthof des Welfenschlosses, dem Hauptgebäude der Leibniz Universität Hannover. Auch die traditionelle Jam-Session soll wieder stattfinden. Mitspieler:innen melden sich zur Koordination bitte bei Malte Kob: [kob@hfm-detmold.de](mailto:kob@hfm-detmold.de)

Das Rahmenprogramm und die Exkursionen sind in der Tagungsgebühr enthalten.

<https://www.daga2024.de/programm/rahmenprogramm>

## Fachexkursionen

Wir planen verschiedene Exkursionen zu Hannovers akustischen Besonderheiten. Die Anmeldung zu den Exkursionen ist direkt zur Tagung am Tagungsbüro möglich.

- Werksführung Sennheiser electronic GmbH
- Tonstudio Tessmar Hannover
- Alles unter einem Dach – Das Deutsche HörZentrum der HNO-Klinik an der Medizinischen Hochschule Hannover
- Hearing Hannover: eine Entdeckertour in die City-of-Music
- Abendliche Exkursion zu Hannovers Musik-Clubs mit Lärmkonflikten

[www.daga2024.de/programm/fachexkursionen](https://www.daga2024.de/programm/fachexkursionen)

## Research in Short(s)

Wissenschaftlich-unterhaltsamer Wettbewerb mit 5-minütigen Projektvorträgen, deren Gewinner mit Sachpreisen geehrt werden.

Anmeldung und weitere Informationen unter  
<https://www.daga2024.de/programm/research-in-shorts>

## Ausstellung und Sponsoring

Die wissenschaftliche Tagung wird in langjähriger Tradition von einer Firmenausstellung begleitet, die vom 19. bis 21.03. geöffnet ist. Es gibt noch einige freie Standplätze!

Zudem ist es auch noch möglich, die DAGA durch Werbung, Sponsoring oder eine Spende zu unterstützen. Nähere Informationen finden Sie hier:

<https://www.daga2024.de/ausstellung>



## Zentrale Termine

- 15. Februar 2024: letzter Termin zur Einreichung eines Late Posters
- Ende Februar 2024: Versand des Programms an die anmeldeten Teilnehmenden mit Versandwunsch. Programmheft und App sind Ende Februar online verfügbar:  
<https://www.daga2024.de/programm/>
- 3. März 2024: letzter Tag zur Bewerbung um den Posterpreis
- 15. März 2024: letzter Termin zur Einreichung der Vortragspräsentation (oder während der Tagung in der Medienannahme)
- 18. März 2024: Vorkolloquien zur DAGA, DEGA-Mitgliederversammlung
- 18.–21. März 2024: Tagung DAGA 2024
- 19. März 2024: letzter Termin zur Einreichung eines Beitrags für Research in Short(s)
- 31. März 2024: Einreichung der Manuskripte
- Frühjahr 2024: Tagungsband wird online veröffentlicht

## Veranstaltungsort

HCC Hannover Congress Centrum  
Theodor-Heuss-Platz 1-3  
30175 Hannover  
<https://www.hcc.de>

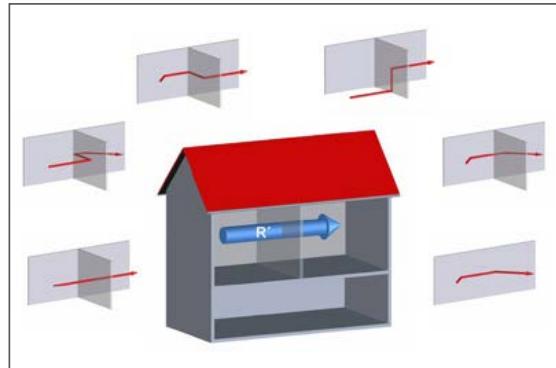


## Kontakt und Information

Teresa Lehmann und Runhild Arnold-Schwandt  
(DEGA-Geschäftsstelle)  
E-Mail: [tagungen@dega-akustik.de](mailto>tagungen@dega-akustik.de)  
Webseite: <https://www.daga2024.de>  
Tel: 030 / 340 60 38 03 oder 030 / 340 60 38 04

**15.04.–17.04.2024**  
**DEGA-Akademie**

**Kurs „Bauakustik – von den Grundlagen zur Anwendung“**



Der Kurs „Bauakustik – von den Grundlagen zur Anwendung“ findet vom 15. bis 17. April 2024 in Braunschweig statt. Er richtet sich an alle, die sich mit der Thematik „Bauakustik“ intensiver auseinandersetzen wollen (insbesondere aus Architektur, Bauingenieurwesen etc.).

**Leitung und Referenten:**

- Prof. Dr.-Ing. Alfred Schmitz (Leitung), TU Braunschweig / TAC-Technische Akustik, Grevenbroich
- Hon.-Prof. Dr.-Ing. Volker Wittstock, PTB Braunschweig

**Veranstaltungsort:**

Haus der Wissenschaft Braunschweig,  
Pockelsstraße 11,  
38106 Braunschweig  
<https://www.hausderwissenschaft.org>

**Programm, Leistungen, Gebühren und Anmeldung:**

siehe <https://www.dega-akustik.de/aktuelles> ■

**24.04.2023**  
**Tag gegen Lärm**  
[www.tag-gegen-laerm.de](http://www.tag-gegen-laerm.de)



**Am 24. April 2024 findet der 27. Tag gegen Lärm – International Noise Awareness Day statt.**

Motto: „Ruhe gewinnt, die Zukunft beginnt!“

„Stadt, Lärm und Klimawandel“ stehen im Fokus für den diesjährigen Tag gegen Lärm.

Die Planung und Gestaltung von Städten unterliegt ständigen Veränderungen und Anpassungen, um den sich wandelnden Bedürfnissen der Bevölkerung gerecht zu werden und fordert die Integration erneuerbarer Energien und umweltfreundlicher Technologien. Diese Maßnahmen müssen in Einklang mit anderen Umweltbelangen, wie dem Schutz vor Umgebungslärm, gebracht werden. Ziel ist zu lernen, welche Voraussetzungen zur Akzeptanz beitragen und zu erfahren, wann Technologien dem Stand der Technik zur Lärmminderung entsprechen. Die gleichzeitige Berücksichtigung von Lärm- und Klimaschutz ermöglicht es, potenzielle Synergieeffekte zu nutzen und die Wirksamkeit von Maßnahmen zu erhöhen.

Dies wird in der zentralen Veranstaltung zum Tag gegen Lärm 2024, die die DEGA in Kooperation mit dem Umweltbundesamt durchführt, am Dienstag, den 23. April 2024 diskutiert werden. Detaillierte Informationen zum Programm und zur Anmeldung werden zeitnah auf der Website des Tag gegen Lärm unter <https://www.tag-gegen-laerm.de> verfügbar sein.

Darüber hinaus werden weitere Aktivitäten im Rahmen der Aktion „Tag gegen Lärm“ angeboten. Schulen, Verbände oder andere öffentliche Einrichtungen haben wieder die Möglichkeit, sich den Lärmkoffer „Lärmdeektive – Dem Schall auf der Spur“ auszuleihen und diesen im Unterricht, an Projekt- oder Aktionstagen einzusetzen. Des Weiteren können auch wieder Aktionstage mit dem Lärmkoffer gebucht werden.

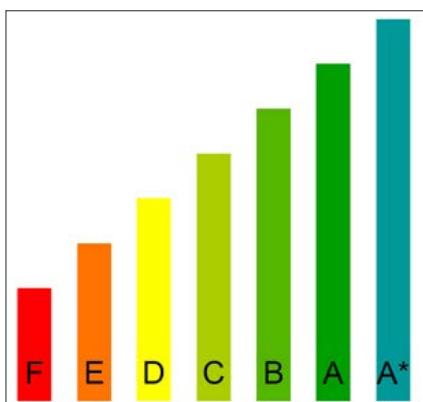
Aktuelle Informationen zum Tag gegen Lärm finden Sie auf der Website <https://www.tag-gegen-laerm.de>. Ab Ende Februar können Sie dort auch die diesjährigen Plakate bestellen bzw. herunterladen.

**Machen Sie mit am 27. Tag gegen Lärm – International Noise Awareness Day!** ■

*Brigitte Schulte-Fortkamp, André Fiebig und Evelin Baumer*

**14.05.2024**

DEGA-Akademie

**Kurs „DEGA-Schallschutzausweis“**

Der Kurs „DEGA-Schallschutzausweis“ findet wieder am 14. Mai 2024 als Online-Kurs statt.

Er richtet sich an alle Interessierten, die ihre Fachkenntnis zur Anwendung bzw. Ausstellung von DEGA-Schallschutzausweisen (<https://www.dega-schallschutzausweis.de>) erweitern wollen und sich über Details zur überarbeiteten DEGA-Empfehlung 103 (bzw. zur DEGA-Richtlinie 103-1) informieren möchten.

#### **Leitung und Referenten:**

- Dipl.-Ing. Christian Burkhardt (Leitung), Akustik+Bauphysik Süd Burkhardt und Partner, Pöcking
- M.Sc. Kim Marcus Weidlich, Kurz und Fischer GmbH, Winnenden
- Dipl.-Ing. (FH) Michael Wolf, Akustik+Bauphysik Süd Burkhardt und Partner, Pöcking

#### **Programm, Leistungen, Gebühren und Anmeldung:**

siehe beiliegendes Faltblatt und <https://www.dega-akustik.de/aktuelles>

Auf der genannten Webseite finden Sie auch diejenigen Ingenieurkammern, die den Kurs als Fortbildungsveranstaltung anerkennen. ■

#### **■ Veranstaltungsrückblick**

**14./15.11.2023****16. DEGA-Symposium****„Akustik und Lärm in Büro und Schule“**

Das 16. DEGA-Symposium fand zum Thema „Akustik und Lärm in Büro und Schule“ in Ilmenau statt. Im Fokus der beiden Tage stand die Situation an Arbeitsplätzen, insbesondere in Büros und Schulen. Fünf Jahre nach Einführung der Technischen Regel ASR A3.7 „Lärm“ zur Konkretisierung der Arbeitsstättenverordnung war mit dem Symposium eine Rückschau notwendig und ein Ausblick zur Umsetzung und Anwendung dieses Regelwerks hilfreich. Diskretion und Kommunikation sind Zielkonflikte beim hybriden wie auch agilen Arbeiten im Büro. In Schulen werden zunehmend ähnliche Konzepte wie in Großraumbüros angewendet. Mit Beiträgen aus der Raumakustik, der Psychoakustik, der Lärmwirkungsforschung, der Architektur, der musikalischen Akustik bis zu Beiträgen zu rechtlichen Aspekten wurde ein großer Bogen aufgespannt.

Verantwortlich für das Programm war der Fachausschuss Bau- und Raumakustik der DEGA (Koordination: Christian Nocke) in Zusammenarbeit mit den Fachausschüssen Lärm, Hörakustik und Virtuelle Akustik. Insgesamt konnten 17 Referierende gewonnen werden, sodass ein breit gefächertes Programm zustande kam. Es fällt schwer, hier einen oder mehrere Beiträge im Besonderen zu erwähnen. Gerade die Mischung zwischen Forschung und Anwendung, Rückblick und Vorschau ebenso wie die Diskussion von Grundlagen in der Forschung und verschiedenen Umsetzungen in der Praxis ergänzten sich und führten zu angeregten Diskussionen in den Pausen und darüber hinaus.

Mit knapp 140 Teilnehmenden wurde die Kapazität des Tagungsraums, das Parkcafé der frisch renovierten Festhalle Ilmenau, effektiv ausgenutzt. Der gemeinsame Abend wurde bei leckeren Speisen und ausreichenden Getränken gemeinsam begangen und bot weitere Gelegenheit zum zwanglosen Austausch. Ein großer Dank nicht nur für die Unterstützung dieses Abends, sondern des gesamten Symposiums gilt den folgenden Sponsoren: Industrieverband Büro und Arbeitswelt e. V. (IBA), Barrisol, Crédit Baumann GmbH, Ecophon Deutschland, Gerriets GmbH, Troldtekt GmbH.

Erwähnenswert ist zudem, dass neben dem großzügigen finanziellen Engagement sich alle Sponsoren mit persönlichen Vertretern aktiv am Symposium beteiligten. Schlussendlich gilt der Dank der DEGA-Geschäftsstelle für die perfekte Organisation und Begleitung. Aus dem Kreis der Teilnehmenden sind bereits erste Stimmen zu hören, die nach einer Wiederholung und Fortführung des Themas in diesem Format rufen. ■

Christian Nocke

## ■ Kalender

- **18.–21.03.2024 in Hannover:**  
Jahrestagung DAGA 2024,  
siehe Seite 38f und  
<https://www.daga2024.de>
- **15.–17.04.2024 in Braunschweig:**  
DEGA-Akademie-Kurs „Bauakustik – von den Grundlagen zur Anwendung“,  
siehe Seite 40 und <https://www.dega-akustik.de/aktuelles>
- **24.04.2024 bundesweit:**  
27. Tag gegen Lärm – International Noise Awareness Day 2024,  
siehe <https://www.tag-gegen-laerm.de>
- **14.05.2024 als Online:-Kurs:**  
DEGA-Akademie-Kurs „DEGA-Schallschutzausweis“,  
siehe Seite 41 und <https://www.dega-akustik.de/aktuelles>

- **15.–17.06.2024 in Madrid (E):**  
AES Europe 2024 International Convention,  
siehe <https://aes2.org/events-calendar/aes-europe-2024>

- **(vsl.) 14.–15.11.2024 in Berlin:**  
DEGA-Akademie-Kurs „Grundlagen der Technischen Akustik“,  
siehe <https://www.dega-akustik.de/aktuelles>

Weitere Termine (international) finden Sie im Newsletter „EAA Nuntius“:  
<https://euracoustics.org/products/nuntius> ■

- **09.–11.07.2024 in Überherrn:**  
Workshop “Guided Ultrasonic Waves: Emerging Methods (GUWEM)”,  
siehe Seite 51 und <https://www.dega-akustik.de/pa>

- **25.–29.08.2024 in Nantes (F):**  
Inter-Noise 2024,  
siehe <https://internoise2024.org/>

- **17.–18.10.2024 in Bad Honnef:**  
Herbstworkshop des Fachausschusses „Physikalische Akustik“,  
siehe <https://www.dega-akustik.de/pa>



## Kalibrierservice für Akustik und Audiometrie



Wir sind dabei!

- ✓ höchstes Niveau im DAkkS-akkreditierten Kalibrierlabor
- ✓ Druck-, Freifeld- und elektrische Kalibrierung
- ✓ spezialisierte Dienstleistungen für Schallpegelmesser: Eichung und jetzt neu als Zertifizierungsstelle
- ✓ optimierter, zuverlässiger Rundum-Service

[www.spektra-dresden.com/akustik](http://www.spektra-dresden.com/akustik)



## HEAD-Genuit-Stiftung

### VERBESSERTE AKUSTISCHE UMWELT – VERBESSERTE LEBENSQUALITÄT

Die HEAD-Genuit-Stiftung fördert zeitgemäße technische Verfahren, Personen und Einrichtungen aus Wissenschaft und Forschung, die sich für die Optimierung der akustischen Umwelt einsetzen.

- Gast- und Stiftungsprofessuren
- Doktoranden
- wissenschaftliche Mitarbeiter

#### Forschungsprojekte wie:

- Acoustic Environment on People’s Emotions
- Gehörrechte Bewertung der Lärmexposition in Kindertagesstätten
- Real-time building acoustics simulator
- Sound Quality Label für E-Bikes
- Urban Soundscape of the World

# DEGA

DEGA

## Nachrichten und Mitteilungen aus der Fachgesellschaft

### ■ Einladung zur DEGA-Mitgliederversammlung

Die jährliche Mitgliederversammlung der Deutschen Gesellschaft für Akustik findet wieder im Rahmen ihrer Jahrestagung, der DAGA 2024, als Präsenz-Veranstaltung statt.

Alle Mitglieder sind herzlich eingeladen, an dieser Versammlung

am Montag, den **18. März 2024**

um **17:00 Uhr** im **Blauen Saal**

des **Hannover Congress Centrum**  
**(HCC)**,

Theodor-Heuss-Platz 1-3,

30175 Hannover

teilzunehmen.

### Vorläufige Tagesordnung:

1. Begrüßung
2. Genehmigung der Tagesordnung

3. Bericht des Vorstands und der Geschäftsstelle
4. Finanzbericht
5. Bericht der Rechnungsprüfer:innen
6. Entlastung des Vorstands
7. Wahl der Rechnungsprüfer:innen
8. Fortschreibung der DEGA-Satzung
9. Berichte aus den Fachausschüssen und Fachgruppen
10. Verschiedenes
11. Termin der nächsten Mitgliederversammlung

Wir würden uns freuen, viele DEGA-Mitglieder auf dieser Versammlung in Hannover zu treffen! ■

Sabine C. Langer  
Präsidentin der DEGA

### ■ Satzung und Wahlordnung der DEGA geändert

Wie bereits im letzten Akustik Journal berichtet, ist die Satzung der DEGA fortgeschrieben worden. Alle Mitglieder der DEGA wurden im Juni 2023 um ein schriftliches Votum gebeten, und die neue Satzung wurde mit einer Zustimmung von 89 % angenommen. Die Eintragung in das Registergericht ist am 08.11.2023 erfolgt, so dass die neue Satzung seitdem in Kraft ist. Auch die Wahlordnung der DEGA wurde durch den Vorstandsrat überarbeitet und ist ebenfalls seit dem 08.11.2023 in Kraft. Beide Dokumente sind auf <https://www.dega-akustik.de/dega/organe-und-statuten> verfügbar. ■

### ■ Wahlauszeichnung zur Wahl des DEGA-Vorstandsrates

Im Herbst 2024 findet die nächste Wahl zum Vorstandsrat der DEGA statt, und gemäß der Satzung (§ 19(2)) und der Wahlordnung der DEGA wird die Wahlauszeichnung hiermit bekannt gegeben. Der Vorstandsrat wählt den Vorstand und die Präsidentin / den Präsidenten, legt die allgemeinen Richtlinien für die Arbeit der DEGA fest und entscheidet in den wichtigsten Fragen des Vereins. Er wird u. a. gebildet aus den sechs Mitgliedern des Vorstands, zwei ehemaligen Präsidenten, den 14 Leiterinnen und Leitern der Fachausschüsse und Fachgruppen und 14 gewählten Mitgliedern. Die dreijährige Amtszeit dieser 14 gewählten Mitglieder endet in diesem Jahr, und sie werden entsprechend neu gewählt. Die neue Amtszeit beginnt direkt nach der Wahl.

Die Wahl wird vom Wahlauschuss durchgeführt und überwacht. Ihm gehören Prof. Dr. Jesko Verhey (O.v.G.-Universität Magdeburg, Wahlleiter), Dr. Tommy Luft (O.v.G.-Universität Magdeburg) und Dr. Martin Klemenz (DEGA) an. Jedes Mitglied der DEGA hat das Vorschlagsrecht, so dass alle Mitglieder aufgefordert sind, Kandidatinnen und

Kandidaten für den Vorstandsrat vorzuschlagen.

Da die Satzung und die Wahlordnung der DEGA kürzlich geändert wurden (s. o.), sind Online-Wahlen ab sofort möglich. Der Wahlauschuss hat bereits entschieden, dass diese Wahl erstmals als Online-Wahl durchgeführt wird – um Kosten, Papier und Aufwand zu sparen. Bitte geben Sie Ihre Kandidaturvorschläge bis spätestens **Freitag, den 21.06.2024** schriftlich an den Wahlauschuss. Die Adresse des Wahlauschusses ist die der Geschäftsstelle der DEGA (siehe Impressum, Seite 58).

Die vorgeschlagenen Kandidierenden haben danach bis zum 12.07.2024 Zeit, ihre Bereitschaft zur Kandidatur schriftlich zu erklären.

Gemäß der Wahlordnung sind folgende Termine und Fristen für die Wahl festgelegt worden:

- Abgabeschluss für Wahlvorschläge: Fr., 21.06.2024
- Abgabeschluss der Bereitschaftserklärung zur Kandidatur: Fr., 12.07.2024
- Bekanntgabe der gültigen Wahlvorschläge: Fr., 19.07.2024

■ Abgabeschluss des Widerrufs der Bereitschaftserklärung zur Kandidatur (ggf.): Fr., 02.08.2024

■ Versand der Online-Wahlunterlagen (Beginn des Wahlzeitraums): Fr., 16.08.2024

■ Ende des Wahlzeitraums:  
Fr., 11.10.2024

Die Auszählung erfolgt unverzüglich nach dem Ende des Wahlzeitraums. Eventuelle Beschwerden können innerhalb von 4 Wochen nach Bekanntgabe des Wahlergebnisses an den Wahlauschuss eingereicht werden. ■

Der Wahlleiter

## ■ DFG-Fachkollegien neu gewählt

Im Herbst 2023 wurden die Mitglieder der Fachkollegien der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) neu gewählt. Bei der Bewilligung von Anträgen für die Forschungsförderung spielen die DFG-Fachkollegien eine zentrale Rolle. Seit 16 Jahren ist das Fachgebiet Akustik mit einem eigenen Fach hierin vertreten. Die Wahl ist mittlerweile abgeschlossen, und das vorläufige Ergebnis steht seit November fest, siehe <https://www.dfg.de/de/dfg-profil/gremien/fachkollegien/fk-wahl2023>.

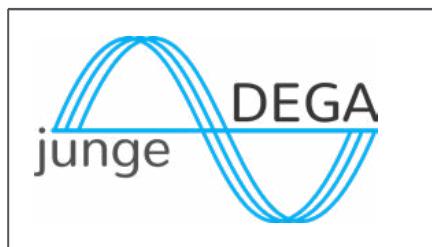
Demnach wurden als Mitglieder im Fach „Akustik“ (4.12-04) Prof. Dr. Janina Fels (Aachen) und Prof. Dr. Volker Hohmann (Oldenburg) wieder- bzw. neu gewählt. Ebenfalls wurde Prof. Dr. Lars Enghardt als Mitglied des Fachs „Strömungsmechanik“ (4.22-03) neu gewählt. Allen dreien wünschen wir für die kommenden Jahre viel Erfolg bei ihrer wichtigen Aufgabe, und wir danken Prof. Dr. Birger Kollmeier für sein Engagement als Fachkollegiat (im Fach Akustik) in den letzten acht Jahren. ■

## ■ Reisekostenzuschüsse „DEGA Young Scientist Grants“

Um jungen Akustikerinnen und Akustikern 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/ys-grants>. ■

## ■ Fachausschüsse / Fachgruppen Fachgruppe „junge DEGA“



Vorsitzender:

Simon Kersten, RWTH Aachen  
[junge-dega@dega-akustik.de](mailto:junge-dega@dega-akustik.de)

### Herbstworkshop in Aachen

Vom 17. bis 19. November 2023 fand der Herbstworkshop der jungen DEGA in Aachen statt. Der Workshop begann am Freitagnachmittag mit einem Besuch der HEAD acoustics GmbH, wo die Teilnehmenden Einblicke in die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten des Unternehmens erhielten und einige neu entwickelte Produkte selbst testen durften. Im Anschluss fand die Fachgruppensitzung statt. Darin wurden die Aktivitäten des vergangenen Jahres resümiert und zukünftige Veranstaltungen geplant, insbesondere während der DAGA 2024. Dazu wird auf den Webseiten der DAGA sowie per E-Mail rechtzeitig informiert.

Am Samstag besuchten die Teilnehmer vier Labore der RWTH Aachen; darunter das Institut für Hörtechnik und Akustik (IHTA) mit Vorführungen der Raumakustiksimulationssoftware RAVEN, Experimenten zur audiovisuellen Wahrnehmungsforschung und dem SCALAR-Lautsprecherarray. Das Institut für Kraftfahrzeuge (ika) öffnete die Türen zu seiner halb-anechoischen Klimakammer und zu einer breiten Palette von Reifenprüfständen, die zur Ermittlung der dynamischen Belastungen beim Reifen-Fahrbahn-Kontakt eingesetzt werden.

Die Arbeitsgruppe Experimentelle Verhaltenspsychobiologie und die Brain Imaging Facility der Aachener Uniklinik präsentierten Forschungsarbeiten, bei denen während der Magnetresonanztomographie spezifische akustische Reize eingesetzt werden, um die auditorische Verarbeitung bei Schizophrenie besser zu verstehen. Schließlich stellte das III. Physikalische Institut B seine Forschungen

an einer mit Sonar und Radar ausgestatteten Schmelzsonde vor, die den Eisschild durchdringen und den subglazialen Ozean des Jupitermondes Europa erforschen soll. Ein anderes Projekt befasste sich mit dem Einsatz akustischer Messungen zur Kalibrierung des Neutrinoobservatoriums IceCube. Das Wochenende endete mit einem Hands-on-Workshop über binaurale Synthese und virtuelle Akustikanwendungen am IHTA.

Der Workshop wurde freundlicherweise unterstützt durch das Young Acousticians Network (YAN) der European Acoustics Association (EAA), sowie durch HEAD acoustics GmbH, FEV Europe GmbH, KLANG:technologies GmbH und Elevear GmbH. Vertreter der drei RWTH-Ausgründungen berichteten den Teilnehmenden des Workshops darüber hinaus über verschiedene Karrierewege in der Akustik.

### Mentoring 2024/2025

Das Mentoring-Programm der jungen DEGA startet in die nächste Runde! Weitere Informationen und Anmeldung als Mentee oder Mentor:in unter <https://www.dega-akustik.de/jd>.

Anmeldefrist: 3. März 2024

### DAGA-Aktivitäten

Auch auf der DAGA 2024 in Hannover gibt es wieder zahlreiche Aktivitäten der jungen DEGA (Icebreaker, Kneipenabend, Buddy-Programm, Podiumsdiskussion, Research in Short(s) und Mentoring Kick-Off, Vortrag: „Einstieg in die DFG-Förderung“). Details sind im Tagungs-Programmheft auf Seite 32 zu finden.

Neu ist in diesem Jahr das Buddy-Programm. Im Rahmen des Programms erhalten diejenigen, die zum ersten Mal an der Konferenz teilnehmen („Buddies“), einen freundlichen Ansprechpartner („Mentor“), um sich besser in die Konferenzumgebung einzufinden und von den Erfahrungen ihrer Mentoren zu profitieren. Die Anmeldung ist unter <https://www.daga2024.de/registrierung/buddy-programm> möglich.

Das Fachgruppentreffen der jungen DEGA (inkl. Wahl der Leitung) findet

im Rahmen der DAGA 2024  
am Mittwoch, den **20. März 2024**  
**von 13:00 bis 14:00 Uhr**  
**im Blauen Saal**

statt. Ein Link zur Onlineteilnahme wird allen Fachgruppenmitgliedern und -interessierten in Vorrhinein per E-Mail zugesendet. ■

*Simon Kersten,  
Jonas Heck*

### Arbeitsring Lärm der DEGA (ALD)



Vorsitzender:  
Dr. Christian Beckert, Magdeburg,  
c.beckert@ald-laerm.de

Sehr geehrte Mitglieder des ALD,  
zur Mitgliederversammlung des ALD  
**am 20. März 2024**  
**von 12:30 bis 14:00 Uhr**  
**im Raum 8/10**  
des Hannover Congress Centrum  
(HCC) während der DAGA 2024 laden  
wir Sie herzlich ein.

#### Tagesordnung:

1. Begrüßung
2. Genehmigung der Tagesordnung
3. Genehmigung des Protokolls der 15. Mitgliederversammlung
4. Bericht der ALD-Leitung  
Berichtszeitraum März 2023 bis Februar 2024
5. Änderung der ALD-Geschäftsordnung
6. Wahl der ALD-Leitung
7. Planung der Arbeiten und Projekte 2024
8. Verschiedenes
9. Zeit und Ort der nächsten Mitgliederversammlung ■

*Christian Beckert,  
Christian Popp,  
Dirk Schreckenberg*

### Fachausschuss Bau- und Raumakustik



Vorsitzender:  
Dr. Christian Nocke, Akustikbüro Oldenburg,  
info@akustikbuero-ol.de

#### Allgemeines

Die Frühjahrssitzung des Fachausschusses hat am 09.03.2023 während der DAGA 2023 stattgefunden. Hier wurde u.a. der Entwurf zur neuen DEGA-Richtlinie 103-1 vorgestellt, über den dann im Nachgang zur DAGA per E-Mail-Umfrage vom 10.03.2023 im Fachausschuss abgestimmt wurde. Passend dazu wurde im Vorstandsrat sowie im Vorstand der DEGA beschlossen, dass die DEGA zukünftig neben Memoranden, Stellungnahmen und Empfehlungen auch Richtlinien veröffentlicht. Der Entwurf der DEGA-Richtlinie 103-1 wurde mit großer Mehrheit vom Fachausschuss angenommen und im Mai 2023 der Öffentlichkeit zur Kommentierung zugänglich gemacht. Die Einspruchsfrist lief bis zum 09.10.2023. Anschließend wurden in der Arbeitsgruppe des Fachausschusses zur Bearbeitung der DEGA-Richtlinie 103-1 die eingegangenen Anmerkungen, Hinweise und Kommentare gesichtet und die Einsprechenden zu einem Termin zur Anhörung eingeladen. Dieser Termin fand online am 14.12.2023 statt. Entsprechend der Verfahrensrichtlinie der DEGA nahmen an dieser Sitzung neben den Mitgliedern der Arbeitsgruppe auch die DEGA-Präsidentin Sabine Langer sowie für die Geschäftsstelle Martin Clemenz teil. Aktuell wird die finale Fassung der DEGA-Richtlinie 103-1 fertiggestellt, um diese dann den Gremien der DEGA rechtzeitig zur Abstimmung zur Verfügung zu stellen. Hierzu ist ein Tagungsordnungspunkt auf der Fachausschusssitzung auf der DAGA 2024 in Hannover geplant (siehe Einladung weiter unten).

### Herbst-Treffen des Fachausschusses 24.11.2023, Berlin

Nur 10 Tage nach dem DEGA-Symposium in Ilmenau (Rückblick siehe Seite 41) fand das Herbsttreffen des Fachausschusses in Berlin statt. Bereits am Vorabend, am 23.11.23, traf sich eine kleine Gruppe zum Besuch einer Aufführung in der Staatsoper. Bereits um 8:30 Uhr am 24.11.23 startete dann die Besichtigung der Staatsoper. Nach einer fachkundigen Einführung in das Vorhaben durch Martijn Vercammen im Chorprobensaal erfolgte eine Führung durch die Probenräume der Staatsoper. Martijn Vercammen gilt der besondere Dank des Fachausschusses für diese Gelegenheit, einmal unter versierter Anleitung hinter die Kulissen zu hören und zu schauen.



Nach der geführten Besichtigung wurde die Sitzung des Fachausschusses mit dem „offiziellen“ Teil um 13:00 Uhr im „Hybrid Lab“ der TU Berlin natürlich hybrid durchgeführt. Hier gilt der Dank des Fachausschusses Herrn Prof. Weinzierl für die Nutzung des Raums, der Technik bis hin zur Kaffeemaschine. Das Programm zu dieser 63. Sitzung des Fachausschusses wurde im August rechtzeitig verschickt. Das Protokoll der Sitzung wird derzeit erstellt und mit der Einladung zur kommenden Sitzung verschickt. Neben den gewohnten Berichten aus VMPA und Normung wurde der aktuelle Stand zur DEGA-Richtlinie 103-1 vorgestellt und diskutiert. Weitere Themen waren ein Bericht aus der Arbeitsgruppe zur Ermittlung des maßgeblichen Außenlärmpegels sowie die Aktivitäten zur Qualitätssicherung in der Raumakustik.

### Einladung FA-Sitzung Hannover

Zur diesjährigen DAGA in Hannover ist für

**Mittwoch, den 20. März 2024**  
**von 12:30 bis 14:00 Uhr**  
**in der Glashalle**

die nächste reguläre Sitzung des Fachausschusses vorgesehen. Es wird wieder versucht, die Sitzung auch hybrid anzubieten.

Der aktuelle Planungsstand zur Tagesordnung der 64. Sitzung ist wie folgt:

1. Beschluss der Tagesordnung
2. Verabschiedung des Protokolls der 63. Sitzung
3. Berichte
  - VMPA-Kommission
  - Normung bei DIN, CEN und ISO
4. DEGA-Richtlinie 103 – Teil 1, Teil 2 – aktueller Stand
5. Weitere Aktivitäten mit und durch den Fachausschuss
  - Kurzbericht AG Ermittlung Maßgeblicher Außenlärmpegel
  - Qualitätssicherung Raumakustik – aktueller Stand
  - Überarbeitung Memoranden
6. Wahl der FA-Leitung
7. Ort und Termin der nächsten Sitzung
8. Verschiedenes

Zum TOP 4 erfolgt Anfang Februar eine weitere separate Information des Fachausschusses. Weitere Themen aus dem Fachausschuss sind jederzeit willkommen. Zu der Sitzung am 20.03.2024 wird rechtzeitig eine separate Einladung mit der finalen Tagesordnung verschickt. ■

*Christian Nocke,  
Henning Alphei,  
Tobias Kirchner*

### Fachausschuss Elektroakustik



Vorsitzender:

Dr.-Ing. Daniel Beer, Fraunhofer-Institut für Digitale Medientechnologie IDMT, Ilmenau  
beer@idmt.fraunhofer.de

Der Fachausschuss Elektroakustik lädt alle Mitglieder und Interessenten zur DAGA 2024 (18.–21. März) in Hannover ein. Im Rahmen der DAGA wird

am Mittwoch, den **20. März 2024**

**von 12:30 bis 14:00 Uhr**

die Fachausschusssitzung stattfinden.

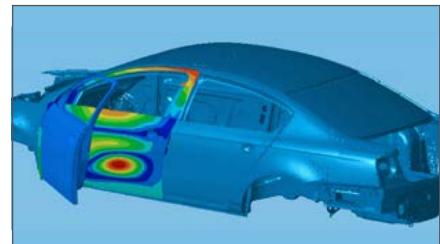
Die Sitzung ist in hybrider Form vorgesehen. Vor Ort treffen sich die Teilnehmer in **Raum 7/9**. Eine Online-Teilnahme, bspw. von daheim aus, ist zusätzlich in Planung (Details werden nachgereicht). Thematisch soll es u. a. um die Geschäftsordnung und um die Planung des diesjährigen Herbsttreffens gehen.

Der Fachausschuss freut sich besonders über die Auszeichnung des Lebenswerks seines Mitglieds Professor Manfred Zollner mit der Helmholtz-Medaille. Am 19. März 2024 wird Professor Zollner den zugehörigen Plenarvortrag um 10:45 Uhr in der Glashalle zum Thema „Physik der Elektrogitarre“ halten.

Wer seine Kenntnisse in diesem Fachbereich vertiefen möchte, der sei auf die Veranstaltung „Guitar-Weekend“ am 04./05. Mai 2024 in Regensburg hingewiesen. DEGA-Mitglieder zahlen den halben Preis. Details sind dem zugehörigen YouTube-Beitrag zu entnehmen. ■

*Daniel Beer,  
Angela Linow*

### Fachausschuss Fahrzeugakustik



Vorsitzender:

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

Die Sitzung des Fachausschusses (inkl. Wahl der Leitung) findet statt

am Dienstag, den **19. März 2024**

**von 12:20 bis 13:20 Uhr**

im Bonatz Saal. ■

## Fachausschuss Hörakustik



Vorsitzender:

Prof. Dr. Bastian Epp, Technical University of Denmark, Kgs. Lyngby  
bepp@elektro.dtu.dk

Liebe Mitglieder und Interessierte des Fachausschusses Hörakustik!

Wir hoffen, dass alle entspannt in das neue Jahr gestartet sind. Wir freuen uns, gemeinsam mit Dir/Ihnen, die Hörakustik innerhalb und außerhalb der DEGA weiterentwickeln zu können!

Wie in der letzten Mitteilung angekündigt, möchten wir gerne die Aktivitäten unseres Fachausschusses den Vorstellungen der Mitglieder:innen entsprechend weiterentwickeln. Wir erhoffen uns, das Netzwerk der Hörakustik sowohl professionell als auch gesellschaftlich zu stärken. Dazu möchten wir eventuelle Hürden erkennen und mögliche Lösungen finden, um diese zu beseitigen. Es gibt sowohl innerhalb der DEGA (Akustik Journal, DAGA, diverse Gremien, Fachausschüsse) als auch außerhalb der DEGA viel ungenutztes Potenzial, welches genutzt werden kann, um unserer fachlichen und gesellschaftlichen Verantwortung nachzukommen. Gemeinsame Projekte und Wissensvermittlung sind nur ein paar der Möglichkeiten!

Hierzu die Aufforderung:

Solltest/en Du/Sie Mitglied des Fachausschusses Hörakustik werden wollen, bitten wir um eine entsprechende Nachricht per E-Mail an uns ([bepp@dtu.dk](mailto:bepp@dtu.dk), [robert.baumgartner@oeaw.ac.at](mailto:robert.baumgartner@oeaw.ac.at)), um die Mitgliederliste zu aktualisieren.

Die DAGA 2024 in Hannover steht vor der Tür und so auch die nächste Sitzung am Donnerstag, den **21. März 2024**  
**von 13:15 bis 14:00 Uhr**  
**in Raum FMS B.**

### Tagesordnung für die Fachausschuss-Sitzung (Präsenzformat):

- Feststellung der Tagesordnung
- Genehmigung des Protokolls der letzten Sitzung
- Aktivitäten des vergangenen Jahres
- Diskussionspunkt: Sichtbarkeit und Aktivitäten des FAHA
- Beiträge zu den Aktivitäten der DEGA (Akustik Journal, strukturiertere Sitzungen DAGA 2025)
- Eingegangene Vorschläge und Sonstiges

Solltest/n Du/Sie einen Punkt für die Sitzung haben, dann bitten wir um eine Nachricht bis spätestens dem Beginn der DAGA in Hannover.

Wir freuen uns Euch/Sie alle auf der DAGA zu sehen und stehen, wie immer, jederzeit für ein Gespräch zur Verfügung!

Mit den besten Grüßen und Wünschen für das kommende Jahr. ■

Bastian Epp,  
Robert Baumgartner

DEGA

### Das erwartet Sie

- Inspirierende Vorträge rund um die Raumakustik u. a. mit Keynote Speaker Prof. Dr.-Ing. Alfred Schmitz, Geschäftsführung TAC-Technische Akustik
- Gespräche und Netzwerken mit Fachplanern der Akustik
- Unser neuer Showroom und der Schulungsbereich
- Unsere neuen Design-Akustiklösungen und Services
- Besichtigung unseres Werkes für Unterkonstruktionen
- Stadtführung durch Antwerpen mit anschließendem „Get-together“ und Abendessen

Anmeldung unter: [www.rockfon.de/akustikertage-2024](http://www.rockfon.de/akustikertage-2024)

Sounds Beautiful

## Fachausschuss Lärm: Wirkungen und Schutz



Vorsitzender:

Dr. Florian Schelle, Institut für Arbeitsschutz der DGUV, St. Augustin,  
fa-laerm@dega-akustik.de

Am 14. und 15. November 2023 fand das 16. DEGA Symposium „Akustik und Lärm in Büro und Schule“ in Ilmenau statt. Das Programm wurde gemeinsam von den Fachausschüssen Bau- und Raumakustik, Lärm: Wirkungen und Schutz, Hörakustik sowie Virtuelle Akustik gestaltet. Mit ca. 140 Teilnehmenden erfreute sich die Veranstaltung einer großen Beliebtheit. Ein ausführlicherer Bericht findet sich im Veranstaltungsrückblick auf S. 41.

Die 50. Jahrestagung für Akustik DAGA 2024 findet vom 18.–21. März in Hannover statt. Der Fachausschuss Lärm ist hier mit den drei strukturierten Sitzungen „Lärm am Arbeitsplatz“, „Raumakustik in Arbeitsstätten“ sowie „Soundscape: Konzeption und Partizipation“ beteiligt, zu denen wir herzlich einladen.

Im Rahmen der DAGA 2024 findet ebenfalls die turnusmäßige Sitzung des Fachausschusses

am Dienstag, den **19. März 2024**  
**von 12:30 bis 13:20 Uhr**  
**in Raum FMS B.**

statt. Alle Mitglieder und Interessierten sind herzlich eingeladen.

### Vorläufige Tagesordnung:

1. Feststellung der Tagesordnung
2. Genehmigung der Niederschrift der letzten Sitzung
3. Bericht über Aktivitäten des vergangenen Jahres und Bericht aus der Geschäftsstelle
4. Termine und Planungen von Veranstaltungen des FA Lärm

5. Normung in der DEGA – Entwicklungen
6. Verschiedenes

Weitere Themen aus dem Fachausschuss sind jederzeit willkommen. Zu der Sitzung wird rechtzeitig per E-Mail eine separate Einladung mit der finalen Tagessordnung verschickt. Über eine rege Beteiligung von Mitgliedern und Interessierten würden wir uns freuen. Auch Gäste und Studierende, die mal „reinschnuppern“ möchten, sind sehr willkommen. ■

*Florian Schelle*

## Fachausschuss Lehre der Akustik



Vorsitzender:

Prof. Dr. Stefan Sentpali, Hochschule für angewandte Wissenschaften München,  
stefan.sentpali@hm.edu

Die Sitzung des Fachausschusses Lehre findet statt im Rahmen der DAGA 2024 in Hannover

am Donnerstag, den **21. März 2024**  
**von 13:15 bis 14:00 Uhr**  
**im Runden Saal.**

### Agenda:

- Austausch zur aktuellen Situation der Lehre
- Bericht vom Jahrestreffen Oktober 2023 am Zentrum für Bauphysik in Stuttgart-Vaihingen
- Mögliche Beiträge zum Akustik Journal (Festlegung bis Mai 2024, für die Ausgabe Oktober 2024)
- Diskussion zum Thema für das Jahrestreffen 2024: „Wie könnte ein freiwilliges Jahr in der Akustik an Hochschulen/Uni/Industrie für Schulabgänger aussehen, als Alternative zum freiwilligen sozialen oder künstlerischen Jahr“.
- Festlegung Ort des Jahrestreffen 2024 am 07./08.11.2024

Wir freuen uns auf eine rege Teilnahme und Diskussionsbeiträge. ■

*Stefan Sentpali,  
André Gerlach*

## Fachausschuss Musikalische Akustik



Vorsitzender:

Prof. Dr. Christoph Reuter, Universität Wien,  
christoph.reuter@univie.ac.at

Wie jedes Jahr findet auch auf der DAGA 2024 die Sitzung des DEGA-Fachausschusses „Musikalische Akustik“ (FAMA) statt, zu der Mitglieder und Interessierte des FAMA ganz herzlich

am Dienstag, den **19. März 2024**  
von **12:30 bis 13:20 Uhr**

im **Neuen Saal**

eingeladen sind (die Veranstaltung findet nur in Präsenz statt).

### Tagesordnung:

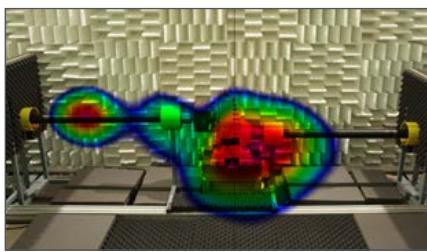
1. Begrüßung und Beschlussfähigkeit
2. Genehmigung und Ergänzung der Tagesordnung
3. Genehmigung des Protokolls der letzten Sitzung am 7.3.2023
4. Bericht des Vorsitzenden
5. Fachgebiete und Interessenslage im FAMA
6. Wahl des/der FAMA-Vorsitzenden für die neue Amtsperiode 2024–2027
7. FAMA-Geschäftsordnung
8. Workshops/Symposien in 2024
9. Allfälliges

Unter <https://muwserver.synology.me/LimeSurvey/index.php?r=survey/index&sid=142484&lang=de> wurde ein kurzer (< 5 min.) Online-Fragebogen zu den Interessen, Wünschen und Erwartungen der FAMA-Mitglieder und -Interessierten angelegt, der möglichst zeitnah ausgefüllt werden sollte.

Nominierungsvorschläge für die Leitung des FAMA für die nächste Amtsperiode sind sehr willkommen (bitte an *christoph.reuter@univie.ac.at* schicken). ■

*Christoph Reuter*

## Fachausschuss Physikalische Akustik



Vorsitzender:

Dr. Jens Prager, Bundesanstalt für Materialforschung, Berlin  
jens.prager@bam.de

### GUWEM-Workshop

In Europa gibt es eine sehr aktive Community, die sich mit theoretischen Fragestellungen zur Ausbreitung elastischer Wellen in Wellenleitern und deren praktischer Anwendung für die Materialcha-

rakterisierung, die Sensorik, die zerstörungsfreie Prüfung und die Strukturüberwachung beschäftigt. Um diese Community enger zu vernetzen, findet vom 08. bis 11. Juli 2024 der Workshop „Guided Ultrasonic Waves: Emerging Methods (GUWEM)“ im Hotel Linslerhof im Saarland statt. Der Fachausschuss Physikalische Akustik ist Mitveranstalter des Workshops, der gemeinsam vom Institut Langevin, Paris und der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin unter Beteiligung der DEGA und der SFA (Société Française d'Acoustique) organisiert wird. Anmeldungen und Betragseinreichungen sind ab sofort unter <https://sfa.asso.fr/manifestations-sfa/workshop-guided-ultrasonic-waves-emerging-methods-guwem> möglich. Das Vortragsprogramm wird demnächst auf der Webseite der Fachausschusses

FILMUNIVERSITÄT  
BABELSBERG  
KONRAD WOLF



An der Filmuniversität Babelsberg KONRAD WOLF ist im BA- und MA-Studiengang „Tonmeister\*in eine künstlerisch-wissenschaftliche Professur zu besetzen  
**ab 01.10.2024:**

### W2-Professur “Acoustics and Audio Technology for Audiovisual Media”

Die Professur wird entsprechend §43 Brandenburgisches Hochschulgesetz (BbgHG) unbefristet besetzt. Im Falle einer **Erstberufung** erfolgt die Besetzung befristet für **fünf Jahre** und wird nach positiver Evaluation entfristet.

Nähtere Informationen zum Anforderungsprofil, zu den Einstellungsvoraussetzungen und den Bewerbungsmodalitäten finden Sie im Volltext auf unserer Homepage: <https://www.filmuniversitaet.de/filmuni/aktuelles/stellenausschreibungen/>

Ihre aussagefähigen **Bewerbungsunterlagen** (Darstellung des künstlerischen und pädagogischen Werdegangs, Lebenslauf, Zeugnisse (in englischer oder deutscher Übersetzung), Lehrkonzept, Darstellung zu Gleichstellung und Diversität in Lehre und Forschung, Darstellung zu Nachhaltigkeit in Bezug auf Lehre und Forschung der ausgeschriebenen Professur, Tätigkeitsnachweise, Arbeitsbeispiele – durch einen entsprechenden Link auf einer Streamingplattform, Publikationsverzeichnis) richten Sie bitte **bis zum 11.03.2024 ausschließlich an unser Online-Bewerbungsportal**.

Die Informationen im Internet unter der o.a. Webadresse sind Bestandteil dieser Stellenausschreibungen.

<https://www.dega-akustik.de/pa> veröffentlicht. Die Teilnehmerzahl ist begrenzt; um frühzeitige Anmeldung wird gebeten.

#### Fachausschuss-Sitzung

Die nächste Sitzung des Fachausschusses findet im Rahmen der DAGA 2024 in Hannover

am Donnerstag, den **21. März 2024**

**von 12:30 bis 13:15 Uhr**

vsl. in **Raum 8/10**

statt. Eine Online-Teilnahme wird ermöglicht. ■

*Jens Prager*

#### Fachausschuss Strömungsakustik



Vorsitzender:

Prof. Dr. Lars Enghardt, DLR, Institut für Elektrifizierte Luftfahrtantriebe, Cottbus

lars.enghardt@dlr.de

driven methods in flow- and vibro-acoustics“ bei der DAGA 2024 ein.

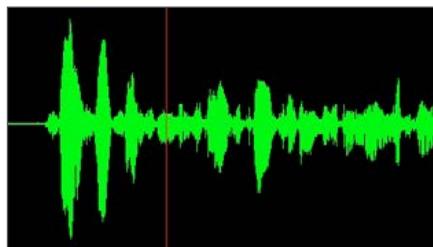
- F. Czwielong und T. F. Geyer laden herzlich zur strukturierten Sitzung zum Thema „Poröse Materialien in der Strömungsakustik“ bei der DAGA 2024 ein.

Wir freuen uns auf zahlreiche Anmeldungen, Teilnahmen und Einreichungen.

Der Fachausschuss bedankt sich für die rege Teilnahme von Vortragenden, Zuhörer:innen bei den zahlreichen Aktivitäten des Jahres 2023 und wünscht ein „Frohes Neues Jahr 2024“. ■

*Lars Enghardt,  
Stefan Schoder*

#### Fachausschuss Sprachakustik



Vorsitzender:

Dr. Janto Skowronek, Hochschule für Technik Stuttgart,  
janto.skowronek@hft-stuttgart.de

Alle Mitglieder und Interessierte des Fachausschuss Sprachakustik sind herzlich zur nächsten Fachausschusssitzung auf der DAGA 2024 eingeladen.

Der genaue Termin:

Donnerstag, den **21. März 2024**

**von 12:30 bis 13:15 Uhr**

in **Raum 11/13**

In der Sitzung steht dieses Mal neben den üblichen Punkten „Berichte“ und „Planung von Aktivitäten“ insbesondere die Neuwahl der Fachausschussleitung an.

Wir freuen uns auf einen regen Austausch. ■

*Janto Skowronek,  
Alexander Raake*

Die Sitzung des Fachausschusses findet im Rahmen der DAGA 2024 in Hannover

am Dienstag, den **19. März 2024**

**von 12:20 bis 13:20 Uhr**

im **Runden Saal**

statt.

Aktuell haben Mitglieder des Fachausschusses Strömungsakustik folgende Aktivitäten geplant:

- Geplanter ERCOFTAC-Kurs „Computational Aeroacoustics IV“ von 26. bis 27. März 2024 in Wien, organisiert durch C. Bogey und S. Schoder (<https://www.ercoftac.org/events/computational-aeroacoustics-iv/>). Es sind noch Restplätze verfügbar!
- Geplantes Special Issue der Acta Acustica mit den Gasteditoren S. Schoder und A. Santoni zum Thema „Numerical, computational and theoretical acoustics“. Bei Interesse wenden Sie sich bitte an [stefan.schoder@tugraz.at](mailto:stefan.schoder@tugraz.at) ([https://www.fa2023.org/authors/#special\\_issues](https://www.fa2023.org/authors/#special_issues)).
- Die „EAA-TC Computational Acoustics Benchmark Database“ wurde von S. Schoder und M. Mäder nach Zenodo portiert und wird aktuell stark erweitert (<https://zenodo.org/communities/eaa-computationalacoustics>). Wenn Sie über interessante Referenzdaten teilen möchten, wenden Sie sich bitte an [stefan.schoder@tugraz.at](mailto:stefan.schoder@tugraz.at).
- C. Adams und S. Schoder laden herzlich zur strukturierten Sitzung zum Thema „Application of data

## Fachausschuss Ultraschall



Vorsitzender:

Prof. Dr. Claus-Dieter Ohl, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg,  
claus-dieter.ohl@ovgu.de

### Rückblick 9. Kavitationsworkshop



Anfang November 2023 fand der 9. Kavitationsworkshop im Tagungszentrum Kloster Drübeck im wunderschönen Harz statt. Diese Serie an Workshops wurde als Forum für den gegenseitigen Austausch zwischen Forschenden im Bereich akustischer und hydrodynamischer Kavitation sowie industriellen Anwendern ins Leben gerufen und erfreut sich stetiger Beliebtheit. An zwei Tagen werden Grundlagen und Anwendungen gleichberechtigt in kurzen Vorträgen vorgestellt und diskutiert, mit dem vorrangigen Ziel, Kontakte zwischen den Teilnehmenden zu knüpfen. Nun schon zum dritten Mal in Folge wurde der Workshop gemeinsam von Claus-Dieter Ohl (Uni Magdeburg) und Robert Mettin (Uni Göttingen) organisiert. Durch den hohen Zuspruch mussten wir diesmal die Teilnehmer auf 50 Personen begrenzen, von denen 30 einen 15-minütigen Vortrag hielten. Das Programm war in die Bereiche Anwendungen, hydrodynamische Kavitation, Nanoblasen, Erosion sowie Blasendynamik eingeteilt, woran man die Vielfalt der Themen erkennen kann. Als Beispiele seien das Reinigen von Betonsteinen, Simulationen von komplexen 3D-Strömungsvorgängen im Ultraschallbad bis hin zu neuen Erkenntnissen zu den Mechanismen der Kavitationserosion genannt. Aus den Gesprächen kam erneut heraus, dass für die Teilnehmer die

Mischung von Industrie, Forschungsinstituten und Universitäten besonders reizvoll ist. Natürlich gab es auch eine Harzwanderung mit festem Schuhwerk und bei etwas Wind, aber ohne Regen. Später am Abend wurden in gemütlicher Runde in der Weinstube des Klosters Kontakte geknüpft und mögliche Kollaborationen besprochen.

Wir bedanken uns für die tolle Unterstützung der Planung durch Frau Krookotsch (Uni Magdeburg) und halten als Fazit fest, dass Kavitation nach wie vor ein hochaktuelles Forschungs- und Anwendungsbereich darstellt. Entsprechend haben wir bereits den 5.11.–7.11.2025 für den 10. Kavitationsworkshop fest gebucht.

### Einladung zur Sitzung

Wir laden alle Mitglieder und Interessierte zu der FA Sitzung Ultraschall während der DAGA 2024 in Hannover ein. Die Sitzung findet statt

am Mittwoch, den **20. März 2024**  
**von 12:30 bis 13:30 Uhr**  
in **Raum FMS A**.

Unter anderem wird eine neue Leitung und stellvertretende Leitung gewählt. Wir freuen uns auf zahlreiches Erscheinen. ■

*Claus-Dieter Ohl,  
Robert Mettin*

## Fachausschuss Virtuelle Akustik



Vorsitzende:

Dr.-Ing. Annika Neidhardt, University of Surrey, Guildford (UK),  
a.neidhardt@surrey.ac.uk

Die Sitzung des Fachausschusses findet statt

am Dienstag, den **19. März 2024**  
**von 12:30 bis 13:20 Uhr**  
im **Blauen Saal**. ■

## ■ Mitglieder / Fördermitglieder

Derzeit hat die Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V.

- 1960 persönliche Mitglieder
- und 75 Fördermitglieder  
(Stand Januar 2024).

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

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

- ACOEM GmbH, Hallbergmoos
- Akustik+Bauphysik Süd PartGmbB, Pöcking
- 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
- BeSB GmbH, Berlin
- Bode Planungsgesellschaft für Energieeffizienz mbH, Münster
- Brose Fahrzeugteile GmbH, Oldenburg
- CADFEM GmbH, Grafing
- CAE Software und Systems GmbH, Gütersloh
- Carcoustics TechConsult GmbH, Leverkusen
- Cervus Consult GmbH, Willich
- Cirrus Research GmbH, Frankfurt/M.
- Comsol Multiphysics GmbH, Göttingen
- DataKustik GmbH, Gilching
- Ecophon Deutschland, Lübeck
- EDAG Engineering GmbH, München
- EM Plan, Augsburg
- Getzner Werkstoffe GmbH, Bürs (A)
- GN Bauphysik Ingenieurgesellschaft mbH, Stuttgart
- G.R.A.S., Holte (DK)

- HEAD acoustics GmbH, Herzogenrath
- HEAD-Genuit-Stiftung, Herzogenrath
- Hottinger Brüel & Kjaer GmbH, Darmstadt
- IAC Industrial Acoustics Company GmbH, Niederkrüchten
- IFB Ingenieure GmbH, Bad Teinach-Zavelstein
- Klippel GmbH, Dresden
- Kötter Consulting Engineers GmbH & Co. KG, Rheine
- Kraiburg Relastec GmbH & Co. KG, Salzwedel
- Kurz und Fischer GmbH Beratende Ingenieure, Winnenden
- Lärmkontor GmbH, Hamburg
- Lairm Consult GmbH, Bargteheide
- Lehrstuhl Strömungsmaschinen, Universität Rostock
- Lignotrend Produktions GmbH, Weilheim-Bannholz
- Metecno Bausysteme GmbH, Blaikenhain
- Microflown Technologies BV, Arnhem (NL)
- Microtech Gefell GmbH, Gefell
- Möhler + Partner Ingenieure GmbH, 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
- Phonotech SPRL, Thimister-Clermont (B)
- Regupol BSW GmbH, Bad Berleburg
- Renz Systeme GmbH, Aidlingen
- Rockwool Rockfon GmbH, Gladbeck
- Saint-Gobain Isover G+H AG, Ladenburg
- Schaeffler Gruppe, Herzogenaurach
- Schöck Bauteile GmbH, Baden-Baden
- Sennheiser electronic GmbH & Co. KG, Wedemark
- Siemens Industry Software GmbH, München
- Sika Automotive Frankfurt-Worms GmbH
- Sinus Messtechnik GmbH, Leipzig
- solaris Ingenieur-Consult GmbH, Chemnitz
- Sonatech GmbH & Co. KG, Ungerhausen
- 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
- Svantek Deutschland GmbH, Möhnesee
- Texaa, Gradignan (F)
- Troldtekt GmbH, Hamburg
- TÜV Süd Industrie Service GmbH, Lingen (Ems)
- Umfotec GmbH, Northeim
- Valeo Telematik und Akustik GmbH, Friedrichsdorf
- Wölfel Gruppe, Höchberg
- WRD GmbH, Aurich
- ZF Friedrichshafen AG, Friedrichshafen

# Anzeigenmöglichkeiten im Akustik Journal

Informationen zu Einreichung und Formatierung:  
<https://www.dega-akustik.de/publikationen/akustik-journal>

Kontakt: [akustikjournal@dega-akustik.de](mailto:akustikjournal@dega-akustik.de)



## Viertelseite



## Halbe Seite



## Ganze Seite



## U2 / U3 – Innenumschlag



## U4 – Außenumschlag



Das Akustik Journal der Deutschen Gesellschaft für Akustik (DEGA e.V.) erscheint dreimal jährlich: Mitte Februar, Mitte Juni und Mitte Oktober. Die Online-Version steht auf der DEGA-Webseite frei zur Verfügung. Neue Ausgaben werden allen DEGA-Mitgliedern mit einer Rundmail angekündigt. Die Druckversion erhalten rund 1900 DEGA-Mitglieder und -Fördermitglieder per Post.

Die Anzeigenpreise gelten zzgl. Umsetzsteuer. Fördermitglieder der DEGA e.V. erhalten jährlich eine kostenfreie Anzeige im Format einer Viertelseite. Dieser Rabatt ist auch auf größere Formate übertragbar. Informationen zu den Vorteilen einer DEGA-Fördermitgliedschaft: <https://www.dega-akustik.de/beitritt-foerdermitglied>

# Normen/Richtlinien

**Neue Regelwerke zu den Themen Akustik und Lärmreduzierung (Oktober 2023 – Januar 2024)**

Bezeichnung	Titel	Preis*
<b>Fachgebiet Audiologie / Medizintechnik</b>		
DIN EN IEC 60318-8	Akustik – Simulatoren des menschlichen Kopfes und Ohres – Teil 8: Akustischer Kuppler zur Messung mittels Ohrreinsätzen an das Ohr angekoppelten Hörgeräten und Ohrhörern im erweiterten Hochtonbereich (IEC 60318-8:2022); Deutsche Fassung EN IEC 60318-8:2022	110,93 €
DIN EN ISO 7029/A1	Akustik – Statische Verteilung von Hörschwellen in Bezug auf das Alter und das Geschlecht (ISO 7029:2017/DAM 1:2023); Deutsche Fassung EN ISO 7029:2017/prA1:2023	22,06 €
<b>Fachgebiet Elektroakustik / Messtechnik</b>		
DIN 15589-2	Tonwiedergabe im digitalen Kino – Teil 2: Elektroakustische Ausstattung eines Kinosaals	95,51 €
DIN EN IEC 60268-24	Elektroakustische Geräte – Teil 24: Kopfhörer und Ohrhörer – Aktive akustische Geräuschunterdrückung (IEC 100/3880/CDV:2023); Deutsche und Englische Fassung prEN IEC 60268-24:2023 (Einspruchfrist: 15.02.2024)	104,95 €
DIN EN ISO 10534-2	Akustik – Bestimmung der akustischen Eigenschaften in Impedanzrohren – Teil 2: 2-Mikrofontechnik für Schallabsorptionsgrad und Oberflächenimpedanz bei senkrechtem Einfall (ISO 10534-2:2023); Deutsche Fassung EN ISO 10534-2:2023	110,00 €
<b>Fachgebiet Lärmschutz</b>		
DIN 45689-2	Akustik – Ermittlung von Fluggeräuschemissionen an Flugplätzen – Teil 2: Auswertung und Generierung von ergänzenden Eingangsdaten für die Berechnung – Flugverlaufsdaten und Datenerfassungssystem; Text Deutsch und Englisch	261,59 €
DIN EN 14389	Lärmschutzworrichtungen an Straßen – Verfahren zur Bewertung der Dauerhaftigkeit der Leistung; Deutsche Fassung EN 14389:2023	63,36 €
<b>Fachgebiet Maschinen- und Fahrzeugakustik</b>		
DIN EN 12102-1	Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze, Wärmepumpen, Prozesskühler und Entfeuchter mit elektrisch angetriebenen Verdichtern – Bestimmung des Schallleistungspegels – Teil 1: Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze, Wärmepumpen zur Raumbeheizung und -kühlung, Entfeuchter und Prozesskühler; Deutsche Fassung EN 12102-1:2022	110,93 €
DIN EN 17682	Bahnwendungen – Infrastruktur – Elastisches Element für Masse-Feder-Systeme; Deutsche Fassung EN 17682:2022	110,93 €
DIN EN IEC 60704-2-9*VDE 0705-704-2-9	Elektrische Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke – Prüfvorschrift für die Bestimmung der Luftschallemission – Teil 2-9: Besondere Anforderungen an Haarpflegegeräte (IEC 59L/239/CDV:2023); Deutsche und Englische Fassung prEN IEC 60704-2-9:2023	15,00 €
DIN EN IEC 63364-1	Halbleiterbauelemente – Halbleiterbauelemente für IOT-Systeme – Teil 1: Prüfverfahren für die Erkennung von Schallschwankungen (IEC 47/2742/CDV:2021); Deutsche und Englische Fassung prEN IEC 63364-1:2021	76,64 €

Bezeichnung	Titel	Preis*
DIN EN ISO 20270	Akustik – Charakterisierung von Körperschall- und Schwingungsquellen – Indirekte Messung von blockierten Kräften (ISO 20270:2019); Deutsche Fassung EN ISO 20270:2022	121,40 €
DIN EN ISO 8528-10	Stromerzeugungsaggregate mit Hubkolben-Verbrennungsmotor – Teil 10: Messung von Luftschall mit der Hüllflächenmethode (ISO 8528-10:2022); Deutsche Fassung EN ISO 8528-10:2022	136,54 €
DIN ISO 8297	Akustik – Bestimmung der Schallleistungspegel von Mehr-Quellen-Industrieanlagen für die Ermittlung von Schalldruckpegeln in der Umgebung – Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 (ISO 8297:1994 + Amd.1:2021)	76,64 €

### Fachgebiet Ultraschall / Hydroakustik

DIN EN IEC 61689*VDE 0754-3	Ultraschall – Physiotherapiesysteme – Feldspezifikation und Messverfahren im Frequenzbereich von 0,5 MHz bis 5 MHz (IEC 61689:2022); Deutsche Fassung EN IEC 61689:2022	108,05 €
DIN EN IEC 61846	Ultraschall – Therapeutisch fokussierte Kurzdruckimpulsquellen – Feldeigenschaften (IEC 87/836/CDV:2023); Deutsche und Englische Fassung prEN IEC 61846:2023	126,92 €
DIN EN IEC 62127-3	Ultraschall – Hydrophone – Teil 3: Eigenschaften von Hydrophonen zur Verwendung in Ultraschallfeldern (IEC 62127-3:2022); Deutsche Fassung EN IEC 62127-3:2023	110,93 €

\*) Download

Bezug aller o. g. Regelwerke über den Beuth Verlag (<https://www.beuth.de>); Quelle: DIN e. V. (Perinorm); ohne Anspruch auf Vollständigkeit; Preise ohne Gewähr

# Publikationen

## Übersicht

- Alle Online-Publikationen sind auf <https://www.dega-akustik.de/publikationen> frei verfügbar.
- Gedruckte Publikationen (außer<sup>4)</sup>) können bei der DEGA-Geschäftsstelle bestellt werden (Preise inkl. MwSt; zzgl. Versand; Zahlungsbedingungen siehe <https://www.dega-akustik.de/zahlung>)

	Name	gedruckt	online
<b>Zeitschrift</b>	Akustik Journal (drei Ausgaben pro Jahr)	0 € <sup>1)</sup>	X
	Acta Acustica <sup>®</sup>		X
<b>Tagungsbände</b>	DAGA-Tagungsbände „Fortschritte der Akustik“ (1970–2023)		X
	Proceedings ICA / INTER-NOISE		X <sup>2)</sup>
<b>Empfehlungen und Memoranden</b>	DEGA-Empfehlung 101: Akustische Wellen und Felder		X
	DEGA-Empfehlung 102: Mindeskanon Akustik in der Bachelor-Ausbildung		X
	DEGA-Empfehlung 103: Schallschutz im Wohnungsbau – Schall-schutzausweis <sup>3)</sup>		X
	Memorandum „Die allgemein anerkannten Regeln der Technik in der Bauakustik“ (DEGA BR 0101)		X
	Memorandum „Schallschutz im eigenen Wohnbereich“ (DEGA BR 0104)		X
	Memorandum zur Durchführung und Dokumentation von Audio-Produktionen für wissenschaftliche Anwendungen in der Akustik (DEGA VA 1201)		X
	Memorandum „Beurteilung der Geräusche gebäudetechnischer Anlagen“ (DEGA BR 0105)		X
	Memorandum „Tieffrequente Schallübertragung von schwimmenden Estrichen“ (DEGA BR 0106)		X
	Memorandum zur ASR A3.7 „Lärm“ und den anerkannten Regeln der Technik in der Raumakustik (DEGA BR 0107)		X
<b>Schriftenreihe „Geschichte der Akustik“</b>	Heft 1: Von der Antike bis in das 20. Jahrhundert	10,00 €	
	Heft 2: Akustisches Wissen auf den Transferwegen	10,00 €	
	Heft 3: Preisträger europäischer Wissenschaftsakademien	10,00 €	
	Heft 4: Sondhauß-Röhre, Seebeck-Sirene	15,00 €	
	Heft 5: Von den Äolstönen bis zur Strouhal-Zahl	32,95 € <sup>4)</sup>	
	Heft 6: Von der Luftsirene bis zur russischen Aeroakustik	29,95 € <sup>4)</sup>	
	Heft 7: Lord Rayleigh, Sir Horace Lamb, Sir James Lighthill	22,95 € <sup>4)</sup>	
	Heft 8: Große Wissenschaftler mit Beiträgen zur Akustik	32,95 € <sup>4)</sup>	
	Heft 9: Kundt, Waetzmann, Schuster	26,95 € <sup>4)</sup>	

	Name	gedruckt	online
	Heft 10: Eberhard Zwicker, Lothar Cremer und Manfred Heckl	32,95 € <sup>4)</sup>	
	Heft 11: Erwin Meyer, Heinrich Barkhausen und Walter Reichardt	44,00 € <sup>4)</sup>	
<b>Fachgebiet Lärm</b>	YouTube-Video „So klingt meine Welt“		X
	YouTube-Videos „Noisella lehrt Akustik“		X
	Video zum Thema „Partizipation“ (Tag gegen Lärm)		X
	Hörbeispiele und Geräuschesituationen		X
	Mitschnitt (Video) des ALD-Panels „Fluglärm“ vom 03.12.2021		X
	Mitschnitt (Video) des ALD-Panels „Gesamtlärm“ vom 01.04.2022		X
	Mitschnitt (Video) des ALD-Panels „Windradlärm“ vom 02.12.2022		X
	Broschüre „Lärm im Alltag“		X
	ALD-Broschüre „Energiewende und Lärmschutz“ (2023)		X
	ALD-Broschüre „Schienenverkehrslärm – Ursachen, Wirkungen, Schutz“ (2018)	2,00 €	X
	ALD-Broschüre „Straßenverkehrslärm“ (2021)		X
	ALD-Broschüre „TEchnologies of NOise Reduction (TENOR)“		X
<b>Fachgebiet Musikalische Akustik</b>	Tagungsband (2015) „Musikalische Akustik zwischen Empirie und Theorie“		X
	Tagungsband (2013) „Nuancen in der musikalischen Akustik“		X
	Tagungsband „International Symposium on Music Acoustics“ (ISMA 2019)		X
	Literaturdatensammlung Musikalische Akustik		X
<b>Fachgebiet Lehre der Akustik</b>	Dissertationsregister Akustik		X
	Studienführer „EAA Schola“		X
	YouTube-Video „Faszination Akustik – Eine Reise durch die Welt des Schalls“		X
<b>Fachgebiet Hörakustik</b>	Kompendium zur Durchführung von Hörversuchen in Wissenschaft und industrieller Praxis (Entwurf)		X

<sup>1)</sup> für Mitglieder<sup>2)</sup> Anleitung für den Zugang unter <https://www.dega-akustik.de/dega/aktuelles/ica-und-inter-noise/><sup>3)</sup> hierzu neue Richtlinie als Entwurf veröffentlicht, siehe <https://www.dega-akustik.de/richtlinie-103-1-einspruchsverfahren><sup>4)</sup> Preise ohne Gewähr; Bestellungen ausschließlich über <https://westarp-bs.de>

# Impressum

Akustik Journal Nr. 01 / Februar 2024

## 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](http://www.dega-akustik.de)

## ISSN

2569-1597 (Print)  
2569-1600 (Online)

## Chefredaktion

Prof. Dr.-Ing. Detlef Krahé  
E-Mail: chefredaktion-aj@dega-  
akustik.de

## Stv. Chefredaktion

Dr. rer. nat. Christian Koch

## Redaktionsbeirat

Prof. Dr.-Ing. habil. Ercan Altinsoy  
Prof. Dr. rer. nat. Bastian Epp  
Prof. Dr. phil. André Fiebig  
Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Kletsch-  
kowski  
Prof. Dr.-Ing. Malte Kob  
Prof. Dr.-Ing. Ennes Sarradj  
Prof. Dr.-Ing. Schew-Ram Mehra

## Redaktionsassistenz

Dipl.-Ing. Evelin Baumer  
Dr.-Ing. Martin Klemenz

## Anzeigen

Runhild Arnold-Schwandt (M.A.)  
E-Mail ras@dega-akustik.de

## Layout und Satz

Dipl.-Ing. Evelin Baumer  
E-Mail: ebaumer@dega-akustik.de

## Gestaltungskonzept

Heilmeyer und Sernau Gestaltung  
Web: [www.heilmeyerundsernau.com/](http://www.heilmeyerundsernau.com/)

## Druck

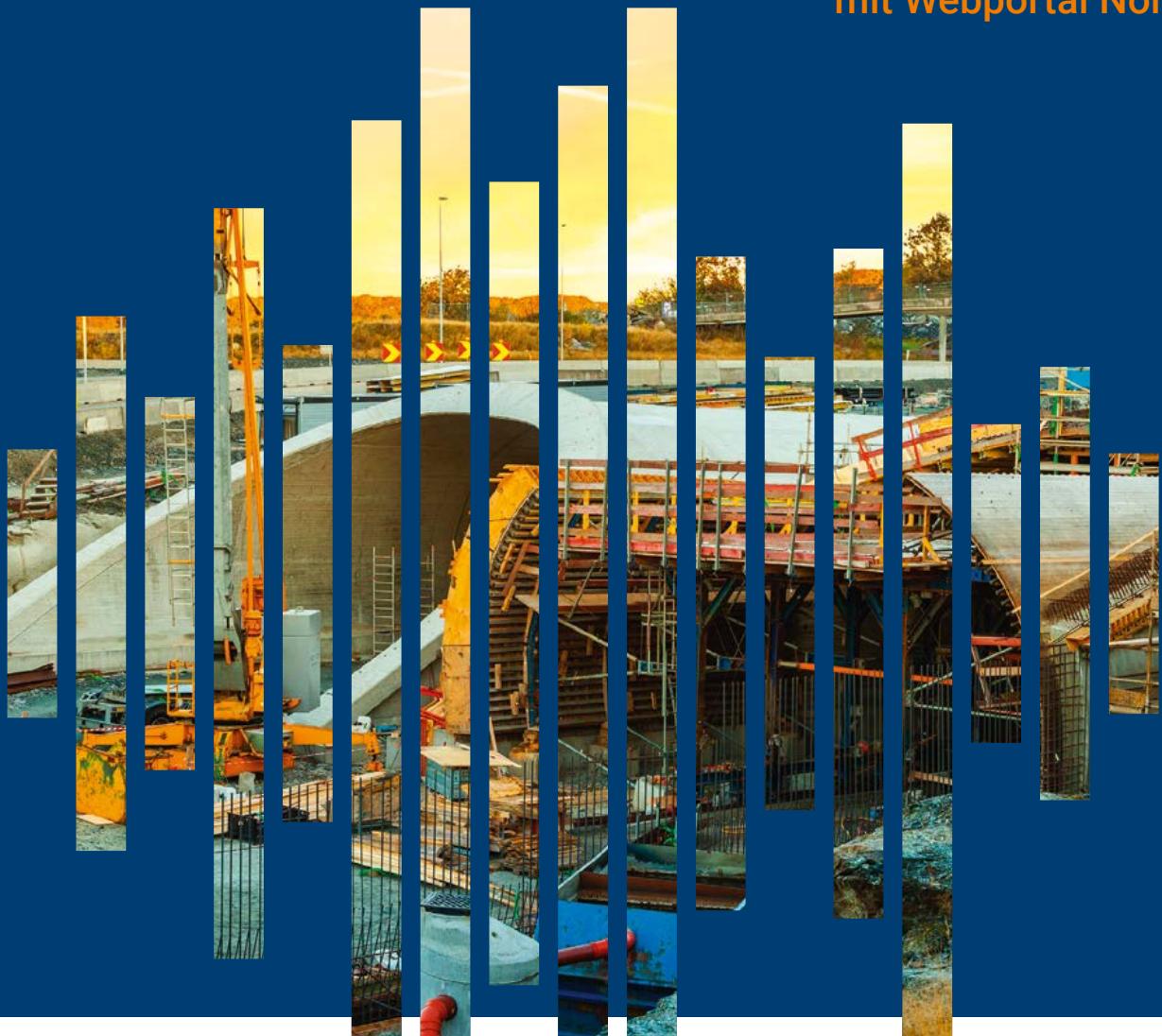
Königsdruck Printmedien und digitale  
Dienste GmbH  
Web: [www.koenigsdruck.de](http://www.koenigsdruck.de)

## Bildnachweise

S. 1 – Titelseite © Franz Zotter, Universität für Musik und darstellende Kunst, Graz; S. 5 – Aktuelles: DAGA 2024, Logo  
© Ina Platte, inani-design.de; S. 15 – Fachartikel: Eberhard Zwicker – Zum 100. Geburtstag, Porträtfoto H. Fastl © Ulrich  
Benz, TU München; S. 36 – Menschen: Im Gespräch mit Wolfgang Ahnert, Porträtfoto © Michael Campos Viola, Campos  
Viola Photography, Copyright DEGA e. V.; S. 38 – Veranstaltungen: DAGA 2024, Logo © Ina Platte, inani-design.de;  
S. 38 – Veranstaltungen: DAGA 2024, Herrenhäuser Gärten im Frühling © Christian Wyrwa, HMTG; S. 39 – Veranstaltun-  
gen: DAGA 2024, Leibniz-Universität Hannover © Lars Gerhardt, HMTG; S. 39 – Veranstaltungen: DAGA 2024, HCC  
© Lars Gerhardt, HMTG; S. 41 – Ver-anstaltungen: Rückblick 16. DEGA-Symposium, Gruppenfoto © Jens Victoria, Schall  
& Raum Consulting; S. 45 – DEGA: Fachausschuss Bau- und Raumakustik © mit freundlicher Genehmigung der Müller-BBM  
Gruppe, Planegg; S. 45 – DEGA: Fachausschuss Bau- und Raumakustik © Christian Nocke, Akustikbüro Oldenburg; S. 46 –  
DEGA: Fachausschuss Elektroakustik © U.P.images / fotolia.com; S. 46 – DEGA: Fachausschuss Fahrzeugakustik © Novicos  
GmbH, Hamburg; S. 47 – DEGA: Fachausschuss Hörakustik © psdesign1 / fotolia.com; S. 48 – DEGA: Fachausschuss Lärm:  
Wirkungen und Schutz © A.F.X. Süß, Berlin, Copyright DEGA e.V.; S. 48 – Fachausschuss Lehre der Akustik © kasto / fotolia.  
com; S. 49 – Musikalische Akustik © Artem Furman / fotolia.com; S. 49 – DEGA: Fachausschuss Physikalische Akustik © SAM,  
TU Darmstadt; S. 50 – Fachausschuss Sprachakustik © SpeechRecorder, IPS, LMU München; S. 50 – DEGA: Fachausschuss Strömungsakustik © Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, Braun-  
schweig; S. 51 – Fachausschuss Ultraschall © romaset / fotolia.com; S. 51 – DEGA: Fachausschuss Virtuelle Akustik © Franz  
Zotter, Universität für Musik und darstellende Kunst, Graz

# Lärm Monitoring System Nor1545

mit Webportal NorCloud



Nor1545

Nor1545 mit Solarpanel

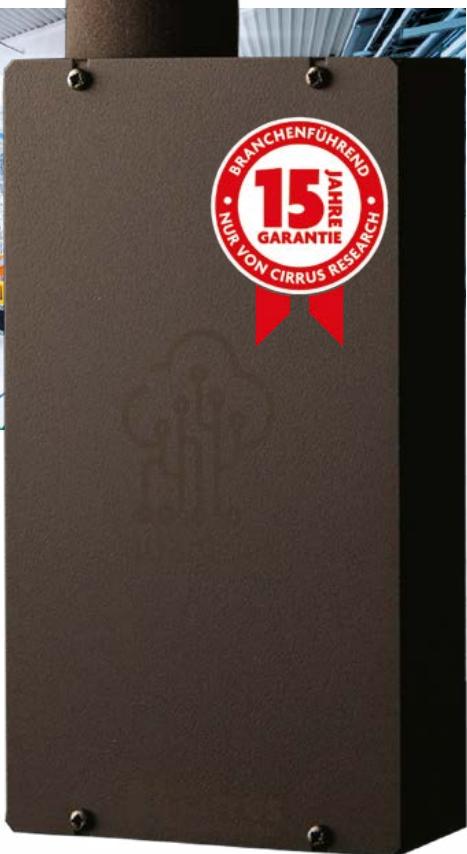
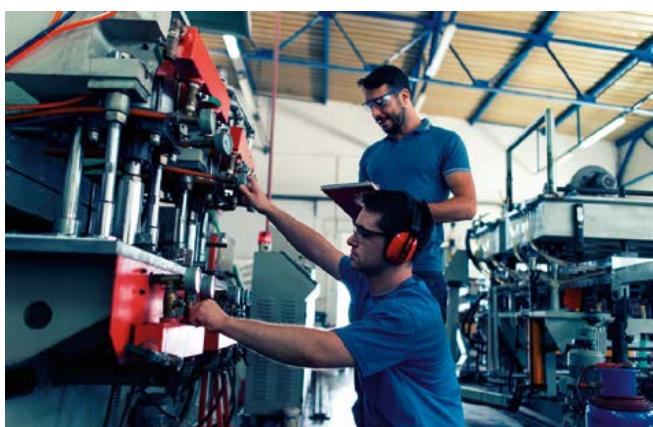
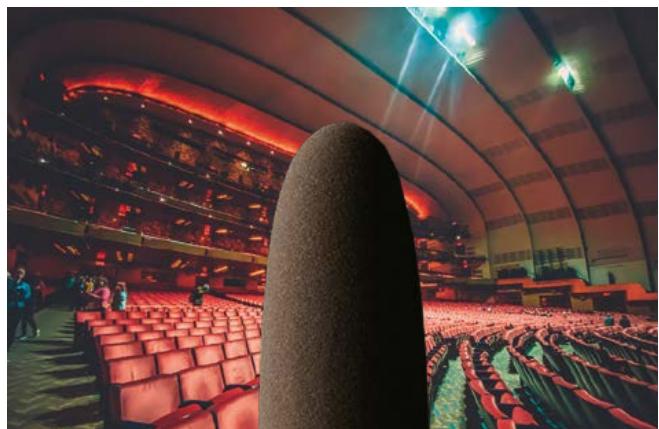
Nor1545 mit NoiseCompass

Nor1545 mit NoiseCompass  
und Wetterstation

# Lärmschutz ganz nebenbei – unauffällig und verlässlich

## Quantum Indoor

Schallpegelmessgerät nach IEC 61672 mit integrierter Cloud-Konnektivität für langfristiges Lärmmonitoring in Innenräumen



**Mehr erfahren:**

[qrco.de/Quantumindoor](http://qrco.de/Quantumindoor)  
vertrieb@cirrusresearch.com  
Tel. 069 95932047

