

Nr. 01 / Februar 2020

AKUSTIK JOURNAL



Gestaltung von Klassen- und Fachklassenräumen für die inklusive Beschulung hörgeschädigter Kinder ■ MEMS-Lautsprecher – ein Paradigmenwechsel ■

International Year of Sound 2020 ■ Preisträgerinnen und Preisträger der DEGA 2020 ■ Jahrestagung DAGA 2020 ■ YouTube-Video „So klingt meine Welt“ ■ Tag gegen Lärm 2020 ■ DEGA-Akademie-Kurse im Herbst 2020 ■ ALD-Veranstaltung „Kauf leise – Buy quiet“ ■





Schallpegelmesser Nor145

- ✓ Immissionsschutz – GPS, WLAN, 4G-Modem integriert
- ✓ Bauakustik / Raumakustik – ISO 16283 integriert



Lärm-Monitoring über NorCloud

- ✓ Eichfähige Messkette – Nor145 mit Außenmikrofon
- ✓ Richtungserkennung – NoiseCompass Nor1297

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

Editorial

2020 – das Internationale Jahr des Sounds

Liebe Leserinnen und Leser,

Am 31. Januar hat in Paris die Auftaktveranstaltung zum „International Year of Sound“ stattgefunden. Viele akustische Gesellschaften aus aller Welt waren vertreten, um dieses Jahr, das sich um akustische Informationen und ihre Bedeutung im Alltag drehen soll, zu eröffnen.

Das „International Year of Sound“ ist eine weltweite Initiative der International Commission for Acoustics (ICA) - in Kooperation mit weiteren internationalen Dachverbänden für Akustik. Am 29. März 2019 erfolgte die Deklaration des „International Year of Sound“ durch die International Commission for Acoustics. Mit ihrem Format für das „International Year of Sound“ folgt sie dem Format der UNESCO für Events, die von einem internationalen Liaison Committee organisiert werden. Weltweit werden viele Veranstaltungen stattfinden, die sich mit Akustik im alltäglichen Leben befassen. Die Webseite <https://sound2020.org/> gibt eine Übersicht zu vielen dieser vielseitigen Veranstaltungen, bietet aber auch Glossars zu Sound, zu wissenschaftlichen Fragestellungen von Sound, und auch zu Sound und Gesellschaft an.

Geräusche und Sound, Schall und Klänge begleiten uns nicht nur in unserem Alltag, vielmehr strukturieren sie den Alltag, vermitteln Wohlbefinden und Unbehagen, bereichern unser Leben ebenso wie sie es aber auch belasten können. Im „International Year of Sound“ bieten sich viele Möglichkeiten den verschiedenen Akzentuierungen von „Sound“ in Kooperationen nachzuspüren, auch im wissenschaftlichen Alltag auf Kommunikation über Sound zu setzen, Erkenntnisse aus einträglichen Fachgebieten wie z. B. Elektrotechnik, Fahrzeug- und Maschinenbau, Medizin, Musik, Physik, Psychoakustik, Psychologie, Soundscape, Umweltschutz abzugreifen und nutzbar zu machen für eine erweiterte Öffentlichkeit. Warum nicht z. B. die Leitlinien der WHO zum Umgebungslärm noch einmal in den Fokus stellen oder die neuesten Ergebnisse aus der Lärmwirkungsforschung erneut diskutieren, die auch die Erkenntnisse der Soundscapeforschung und Psychoakustik einbeziehen? Warum nicht nach den potenziellen Auswirkungen von E-Mobilität fragen oder neue Vereinbarungen über akustischen Komfort zu erzielen? Oder auch sogar die Stadt der Zukunft, Verdichtung von Lebenslagen zum Thema machen?

Mit konzertierten Veranstaltungen und auch Publikationen beteiligt sich die Deutsche Gesellschaft für Akustik (DEGA) am „International Year of Sound“. Im Kontext der DEGA-Aktion „Tag gegen Lärm 2019“ wurde ein Bilder- und Videowettbewerb an Schulen durchgeführt, dessen Ergebnisse im „International Year of Sound“ auf www.so-klings-meine-welt.de und als



*Brigitte Schulte-Fortkamp
Vertreterin der DEGA im
Coordinating Committee zum
International Year of Sound*

Youtube-Video zu sehen sind. Bei der Jahrestagung „DAGA“ im März 2020 sollen zum 50-jährigen Tagungs-Jubiläum besondere Rückblicke und Ausblicke auf technische Innovationen im Bereich Akustik präsentiert werden. Eine Übersicht über die Aktivitäten der DEGA ist auf der Webseite www.dega-akustik.de/iys2020 zu finden und wird laufend ergänzt.

Das „International Year of Sound“ gibt uns allen die Chance, die Diskussion über Akustik, Geräusche, Schall und Klang in die Öffentlichkeit zu tragen, mehr zu lernen über Geräusche und ihre Wirkungen aus unterschiedlichsten Perspektiven. Wir sollten dem erklärten Ziel folgen, mit der DEGA auch in Zukunft einen positiven Beitrag zur Stärkung der Akustik zum Wohl der Gesellschaft zu leisten, uns beteiligen am „International Year of Sound“, und unsere Beiträge zur Akustik in diesem Jahr bewusst in diese weltweite Kooperation einbinden.

Ihre

Brigitte Schulte-Fortkamp



Inhalt

Akustik Journal Nr. 01 / Februar 2020

- **5 Aktuelles**
 - 6 IYS – International Year of Sound 2020
- **7 Fachartikel**
 - 7 **Gestaltung von Klassen- und Fachklassenräumen für die inklusive Beschulung hörgeschädigter Kinder**
Carsten Ruhe
 - 24 **MEMS-Lautsprecher – Ein Paradigmenwechsel**
Daniel Beer, Andrea Rusconi, Fabian Stoppel, Lutz Ehrig
- **40 Ehrungen der DEGA**
 - 40 **Preisträgerinnen und Preisträger 2020**
- **40 Menschen**
 - 40 **Ehrungen und Gratulationen**
- **41 Veranstaltungen**
 - 41 **Veranstaltungshinweise**
 - 41 ALD-Veranstaltung „Kauf leise - Buy quiet“
 - 41 DAGA 2020
 - 42 Forum Acusticum 2020
 - 43 DEGA-Akademie: Kurs „Bauakustik – von den Grundlagen zur Anwendung“
 - 43 Tag gegen Lärm 2020
 - 44 DEGA-Akademie: Kurs „Psychoakustik - Grundlagen und Anwendungen“
 - 44 DEGA-Akademie: Kurs „Strömungsakustik 1 – Grundlagen, Auslegungen und Anwendungen“
 - 45 DEGA-Akademie: Kurs „Strömungsakustik 2 – Theorie, numerische Verfahren und Anwendungen“
 - 45 DEGA-Akademie: Kurs „Raumakustik kompakt“
 - 46 DEGA-Akademie: Kurs „DEGA-Schallschutzausweis“
 - 47 **Veranstaltungskalender**
- **48 DEGA**
 - 48 **Nachrichten und Mitteilungen aus der Fachgesellschaft**
 - 48 Einladung DEGA-Mitgliederversammlung
 - 48 DFG-Fachkollegien neu gewählt
 - 48 Reisekostenzuschüsse „DEGA Young Scientist Grants“
 - 49 Wettbewerb „So klingt meine Welt“: Ergebnisse
 - 50 **Fachausschüsse / Fachgruppen**
 - 57 **Mitglieder / Fördermitglieder**
- **58 Normen / Richtlinien**
 - 58 **Neue Regelwerke zu den Themen Akustik und Lärminderung (Okt. 2019 – Jan. 2020)**
- **60 Publikationen**
 - 60 **Zeitschriften, Tagungsbände, Empfehlungen und Memoranden, Broschüren etc.**
- **62 Impressum**

Aktuelles

Nachrichten aus der Akustik

■ DAGA 2020 – 46. Deutsche Jahrestagung für Akustik



Die DAGA wird 50 Jahre alt

Die Jahrestagung DAGA 2020 findet vom 16. bis 19. März 2020 in Hannover statt. Neben einer bunten Jubiläumsveranstaltung wird es ein Messtechnikausstellung, eine Fotoshow, ein Future Lab, ein DAGA-Quiz, ein Ständchen des DAGA-Chors und vieles mehr geben. Alle Informationen zur Tagung (Termin, Teilnehmerregistrierung, Vortrags- und Rahmenprogramm) siehe Seiten 41f oder unter

<http://www.daga2020.de/> ■

■ DAGA-Posterpreis: Bewerbungen bis 09.03.2020

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 19.03.2020, bekannt gegeben (um 11:40 Uhr in der Niedersachsenhalle B). Für einen ausreichenden zeitlichen Vorlauf werden alle interessierten Poster-Autor(inn)en gebeten, ihr Poster in Form einer PDF-Datei bis spätestens Montag, den 09.03.2020 per E-Mail an die DEGA-Geschäftsstelle zu senden (dega@degakustik.de). Voraussetzung ist, dass das Poster während der DAGA-Tagung auch tatsächlich präsentiert wird. ■

■ YouTube-Video "So klingt meine Welt"



Im Rahmen des "International Year of Sound 2020" hat die DEGA eine Video-Collage produziert und im Januar 2020 auf YouTube veröffentlicht:

<https://www.youtube.com/watch?v=OMbAriiaNTw>

Die einzelnen Videos stammen aus den Einsendungen zu einem Wettbewerb für Schülerinnen und Schüler im Jahr 2019, den die DEGA unter dem Motto "So klingt meine Welt - Geräuschedetektive gesucht" durchgeführt hat. Weitere Erläuterungen hierzu finden Sie auf Seite 49 und auf www.so-klings-meine-welt.de.

Anhand von vielen eingesandten Video-Beiträgen zeigt die YouTube-Collage einen typischen Tagesablauf, bei dem die vielfältigen Geräusche sichtbar und hörbar gemacht werden. Der Wettbewerb wurde im Rahmen des Tag gegen Lärm 2019 durchgeführt; die Produktion des Youtube-Videos wurde gefördert durch das Bundesumweltministerium und das Umweltbundesamt. ■

■ Tag gegen Lärm - International Noise Awareness Day 2020



Am 29.04.2020 findet der 23. Tag gegen Lärm statt. Unser Motto für 2020 lautet „Ich bin ganz Ohr“.

Hierbei führt die DEGA eine zentrale Veranstaltung am 28.04.2020 in Berlin durch. Geplant ist ein Workshop zu den Themen „Stadt der Zukunft“, „E-Mobility“.

Weitere Informationen zum diesjährigen Tag gegen Lärm erhalten Sie auf Seite 43 oder unter <https://www.tag-gegen-laerm.de>. ■

■ DEGA-Akademie

■ Kurs „Bauakustik - von den Grundlagen zur Anwendung“

27.-29.04.2020 in Braunschweig

■ Kurs „Psychoakustik - Grundlagen und Anwendungen“

15.-17.09.2020 in Berlin

■ Kurs „Strömungsakustik 1

- Grundlagen, Auslegungen und Anwendungen“

29.-30.09.2020 in Erlangen

■ Kurs „Strömungsakustik 2

- Theorie, numerische Verfahren und Anwendungen“

01.-02.10.2020 in Erlangen

■ Kurs „Raumakustik kompakt“

26.10.2020 in Hannover

■ Kurs „DEGA-Schallschutzausweis“

26.11.2020 in Stuttgart

Ausführliche Informationen zu den Kursen (Programm, Gebühren, Anmeldung) finden Sie ab Seite 43 oder unter <https://www.dega-akustik.de/>. ■

■ IYS – International Year of Sound 2020 – Aktionen der DEGA



Das Jahr 2020 steht unter dem Motto „International Year of Sound“. Mehrere internationale Dachverbände für Akustik führen hierzu besondere Veranstaltungen und Aktionen durch. Eine Übersicht über Motivation, Initiativen und Termine finden Sie auf der Webseite <http://sound2020.org>.

Als erstes Highlight fand am 31.01.2020 die Eröffnungsveranstaltung in Paris statt. Im Editorial dieser Ausgabe finden Sie hierzu weitere Informationen.

Auch die DEGA beteiligt sich am International Year of Sound 2020 mit eigenen Veranstaltungen, Aktionen und Publikationen:

- Bei der Jahrestagung DAGA 2020 (16.-19.03.2020 in Hannover) werden zum 50-jährigen Tagungs-Jubiläum neben einer großen Jubiläumsfeier besondere Rückblicke und Ausblicke auf technische Innovationen im Bereich Akustik präsentiert, und es wird ein Vortrags-Wettbewerb („Research in Shorts“) angeboten, siehe www.daga2020.de.

- Vor allem wird bei der DAGA 2020 das „Future Lab“ einen offenen Raum für Begegnung, kreativen Austausch und Diskussion bieten. Es lädt insbesondere dazu ein, sich jenseits gewohnter Denkmuster zu begeben und sich vom eigenen und gemeinsamen Ideenreichtum inspirieren zu lassen (u.a. mit einer Fishbowl-Diskussion und einem World-Café):

www.daga2020.de.

- Der diesjährige Tag gegen Lärm - International Noise Awareness Day am 29.04.2020 mit dem Motto „Ich bin ganz Ohr“ ist dem International Year of Sound 2020 gewidmet.

www.tag-gegen-laerm.de.

- Die DEGA hat die Video-Collage „So klingt meine Welt“ als YouTube-Video produziert und im International Year of Sound 2020 veröffentlicht.

www.so-klings-meine-welt.de

- Die DEGA hat eine Pressemitteilung zum International Year of Sound 2020 herausgegeben:

<https://www.dega-akustik.de/dega/aktuelles/sound2020/>. ■



SONATECH® pure

Offen gestaltete Arbeitswelten führen unvermeidbar zu raumakustischen Aufgabenstellungen. SONATECH pure konzentriert sich auf das Wesentliche und bringt damit Funktion und Ästhetik in perfekten Einklang. Die hochabsorbierenden Schallschlucker vereinen Widerstandsfähigkeit und stilvolle Schönheit in einem modernen Produkt und geben damit Einblick in die Zukunft der Raumakustik.

Tel. +49 / (0)83 93 / 9 22 12-0
www.sonatech.de



Gestaltung von Klassen- und Fachklassenräumen für die inklusive Beschulung hörgeschädigter Kinder

Ein Streifzug durch mehrere Teilgebiete der Akustik und Pädagogik

Carsten Ruhe

Die Bedingungen des Hörens und die Veränderungen bei Hörgeschädigten gegenüber den Hörfähigkeiten guthörender Personen führen aus dem Blickwinkel eines Raumakustikers zu ganz anderen Maßnahmen als bei dem eines Audiologen. Mit entsprechenden Kenntnissen lassen sich die technischen Begründungen für spezielle Maßnahmen herleiten und Hinweise beschreiben, wo und wie man Maßnahmen zur Hörgerechtigkeit baulich/handwerklich umsetzen kann. In vielen Fällen müssen bestehende Schulgebäude oder Unterrichtsräume (rechtzeitig vor dem Eintreffen der Schülerin und deshalb oft auch kurzfristig mit wenig Aufwand) angepasst werden. Auch kann man vorhandene Räume hinsichtlich ihrer Eignung für den akustisch integrativen Unterricht einschätzen, ohne aufwändige Schallmessungen ausführen zu müssen.

Anmerkung

Für die bessere Lesbarkeit wurde hier wegen des erheblichen Anteils von Pädagoginnen (insbesondere im Primarstufen-Bereich) – sowohl für diese als auch für die Kinder – ausschließlich die weibliche Schreibweise gewählt. Die männliche und dritte Variante sind natürlich immer in gleicher Weise gemeint.

Einleitung

Menschen mit Behinderungen haben für die aktive Teilhabe am täglichen Leben spezielle Bedarfe. Dies gilt nicht nur für Menschen mit eingeschränkter Motorik, sondern in gleicher Weise auch für Menschen mit eingeschränkter Sensorik (insbesondere Hör- und Sehschädigungen). Wenn ein Kind mit Hörschädigung an seinem Wohnort die allgemeine Schule besuchen und somit integrativ beschult werden soll, so sind häufig zunächst die baulichen und technischen Unterrichtsbedingungen im Klassenraum darauf anzupassen. Dieser Artikel will dazu die Kenntnisse zur Verfügung stellen, welche sich im Laufe zahlreicher Beratungen angesammelt haben, um positive Erfahrungen weiterzugeben und kosten- und zeitaufwändige Fehlschläge (zum Nachteil der Schülerin und der Kommune) zu vermeiden. Hier gehen nicht nur die Kenntnisse aus einer 16jährigen

Design of class and subject classrooms for including schooling of hearing impaired children

The conditions of hearing and the transformations in hearing-impaired persons in comparison to the hearing ability of well-hearing persons connote very different methodical conclusions if looked upon by a room acoustician or, in contrast, by an audiologist. With respective knowledge, the technical reasoning for special methods can be deduced and evidence can be described of how and where methods facilitating hearing equality can be technically implemented. With respective knowledge, the technical reasoning for special methods can be deduced and evidence can be described of how and where methods facilitating hearing equality can be technically implemented. In many cases, existing school buildings or classrooms need to be adjusted (in good time before the arrival of students and therefore often at short notice and with limited expenses). Also, existing rooms can be estimated regarding their suitability for inclusive teaching without the need of elaborate noise measurement.

Tätigkeit im Fachreferat „Barrierefreiheit“ des Deutschen Schwerhörigenbundes e. V. ein, sondern darüber hinaus auch Kenntnisse aus der inzwischen mehr als 20jährigen Tätigkeit des integrativen/inkluisiven Planens und Bauens für Menschen mit Hörschädigungen. Allein über 200 Schul- und Hochschul-Neubauten bzw. -Sanierungen wurden betreut.

Zu allen Themenbereichen gibt es umfangreiche hörakustische bzw. raumakustische Spezialliteratur. Der vorliegende Artikel wendet sich nicht nur an berufsmäßige Akustikerinnen, sondern auch an die Nutzerinnen. Er beschreibt deshalb in kurzer und allgemein verständlicher Form die wesentlichen Aspekte, ohne dass sich eine Planerin vertieft in die Thematik einarbeiten muss. Damit besteht natürlich die Gefahr, ein „Kochbuch“ mit sehr einfachen Rezepten zu erstellen. Sie wird aber im Sinne einer größeren Verständlichkeit und einer einfachen,

aber guten Umsetzung bewusst in Kauf genommen. Auch stehen hier nicht die gestalterisch-optischen Architektur-Aspekte im Vordergrund, sondern die akustisch-funktionalen einer hörgerechten Raumausstattung. Nicht alle Vorschläge lassen sich bei jeder aktuell anstehenden Umbaumaßnahme konsequent umsetzen. Wichtig ist es deshalb, die „prinzipiell richtigen“ Maßnahmen zu treffen.

Die bisher beratenen Projekte zeigen, dass Klassenräume im Mittel relativ einheitlich gestaltet sind (nur sehr moderne Bauten machen eine unrühmliche Ausnahme). Deshalb kann man auch recht einheitliche Maßnahmen anbieten, die – mit einer großen Bandbreite möglicher Baustoffe – durchaus auch zu optisch befriedigenden Lösungen führen. Hier ist allerdings die Offenheit der Architektin und der Bauherrenschaft zu einer ausführlichen Erörterung und zur angemessenen Berücksichtigung der akustischen Belange gefordert. Für Kindertageseinrichtungen gelten prinzipiell dieselben akustischen Bedingungen und Maßnahmen. Die Gebäude- und Raumformen sind aber viel uneinheitlicher, sodass sie sich einer pauschalen Beschreibung entziehen.

Neben der Raumakustik sind weitere Hörassistenzsysteme, z. B. in Form von Funkübertragungsanlagen erforderlich. Sie bringen das Sprachsignal direkt zu den Ohren bzw. Hörsystemen (Hörgeräten oder Hör-Implantaten) der hörgeschädigten Schülerin. Auch die Sitzposition der Schülerin ist entscheidend, da neben guter Raumakustik und technischer Unterstützung das Absehen vom Mund der Lehrerin und der Mitschülerinnen zum Sprachverständnis äußerst hilfreich ist. Lehrerinnen und Mitschülerinnen müssen im Sprechverhalten geschult werden, deutliche Aussprache und Sprechen in Richtung des schwerhörenden Kindes sind dabei wichtig.

Bei den Diskussionen über bestehende Notwendigkeiten wird noch immer vergessen, dass nicht nur Schülerinnen schwerhörend sein können, sondern dass (nach Sohn [1]) in der Altersstufe zwischen 40 und 60 Jahren etwa 15 bis 20% der Bevölkerung (und damit auch der Lehrerinnen) schwerhörend sind. Akustisch gut gestaltete Klassenräume sind für diese Personen ein Beitrag zur Arbeitsplatz-Ergonomie und für ein besseres Verstehen der Schülerinnen-Beiträge.

Anmerkung

In vielen Veröffentlichungen werden Menschen ohne Höreinschränkungen als „normalhörend“ bezeichnet. Hier wird stattdessen „guthörend“ verwendet. In der Altersstufe über 70 Jahre ist es normal, schwerhörend zu sein (54% der Bevölkerung). Somit ist der Autor – weil jenseits der 70 – zwar schwerhörend, aber für sein Alter dennoch „normalhörend“.

Hören und Höreinschränkungen

Die hohen Töne sind wichtig

Bei der Innenohr-Schwerhörigkeit, die bei mehr als 80 % aller Menschen mit Hörschädigung vorliegt, treten Hörverluste vorwiegend im hochfrequenten Bereich auf, während sie häufig bei den tieffrequenten Tönen weitaus geringer sind. Dies bedeutet, dass entsprechend an den Hörverlust angepasste Hörgeräte vorwiegend die mittleren und hohen Frequenzen verstärken müssen. Das typische Audiogramm von Innenohr-Schwerhörigen ist in Abbildung 1 dargestellt (nach Plath [2]). Dort ist zu erkennen, dass bei den hohen Tönen eine deutliche Absenkung der Hörempfindlichkeitskurve gegenüber der Normal-Hörschwelle vorliegt.

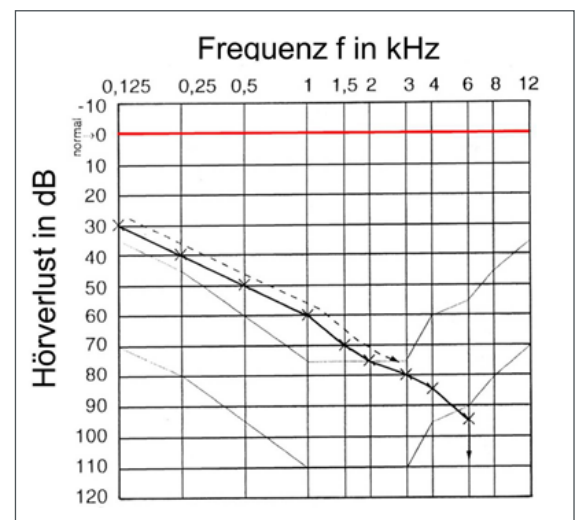


Abb. 1: Audiogramm

Die rote Null-Linie („normal“) entspricht der mittleren Hörschwelle guthörender Personen. Der Hör„verlust“ wird im Audiogramm nach unten aufgetragen. Eingezeichnet ist als dicke schwarze Linie beispielhaft eine Hörverlustkurve bei Innenohr-Schwerhörigkeit (nach Plath [2]).

Viele Störgeräusche enthalten – ebenso wie Sprache – starke hochfrequente spektrale Anteile. Beispielfhaft werden hier einerseits das Flüstern und andererseits das Knistern benannt.

Die Vokale, welche im Wesentlichen die Lautstärke der Stimme ergeben, haben starke niederfrequente Spektralanteile mit Grundton, Obertönen und – je nach Phonem – mehr oder weniger starken hochfrequenten Anteilen (Abbildung 2). Für die Sprachverständlichkeit sind aber insbesondere die Zisch- und Explosivlaute (p, t, k, f, β, z, sch) wichtig. Sie enthalten in ihrem Spektrum vorwiegend hochfrequente Signalanteile (Abbildung 3). Wie wichtig diese für die Sprachverständlichkeit sind, lässt sich durch Flüstern gut demonstrieren. Dann fehlen im Sprachsignal die Grund- und Obertöne der Stimmbänder,

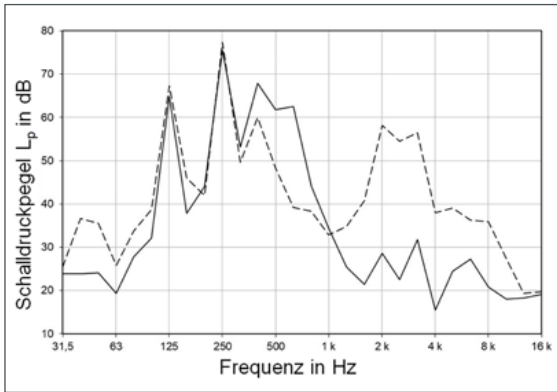


Abb. 2: Spektren der Vokale /I/ und /U/. Sie bestehen aus dem Grundton, einigen Obertönen und – je nach Vokal – unterschiedlich starken Anteilen im zweiten Formanten oberhalb von 1.500 Hz.

denn geflüsterte Worte setzen sich nur aus Hauch-, Zisch- und Explosivlauten zusammen. Trotz der fehlenden stimmhaften Vokalanteile ist geflüsterte Sprache ausgesprochen gut verständlich, sofern sie ausreichend laut im Verhältnis zum Störgeräusch ist. Deshalb müssen für eine gute Sprachverständlichkeit insbesondere die hochfrequenten Störgeräuschanteile gut gedämpft werden. Das Signal/Rausch-Verhältnis zwischen Sprache und Störgeräusch sollte

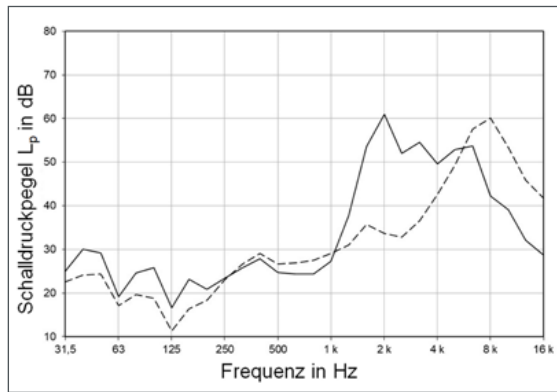


Abb. 3: Spektren der Phoneme /SCH/ und /TZ/. Sie bestehen nur aus Rauschen und enthalten ausschließlich hohe Frequenzen.

mindestens $S/N = 15$ dB betragen. Leider benennt DIN 18040-1 [3] als Mindestanforderung nur $S/N = 10$ dB.

Eine Schwerhörende nimmt mit Hörhilfen (Hörgerät / Hör-Implantat) die Schallreize anders auf als Guthörende. Dabei ist die größte Schwierigkeit das Verstehen im Störgeräusch. Das gilt übrigens auch für viele Guthörende und „Noch-ganz-gut-Hörende“; sie trauen sich nur seltener, diese Schwierigkeiten auch zu artikulieren.



WIE SCHAFFEN WIR NEUE LEBENSÄRÄUME? GEMEINSAM.

Effektive Baulandaktivierung

Der Zugriff auf Bauland wird bei zunehmender Flächenverknappung schwieriger und damit auch teurer.

Durch elastische Gebäudelagerungen können zusätzliche Fläche nahe Schieneninfrastruktur nutzbar gemacht werden. Die bauaufsichtlich zugelassenen Baulager **REGUPOL** und **REGUFOAM vibration** bieten dafür technisch sichere und wirtschaftliche Lösungen, wie beim Projekt Tassiloplatz in München.

Fragen Sie die Experten.

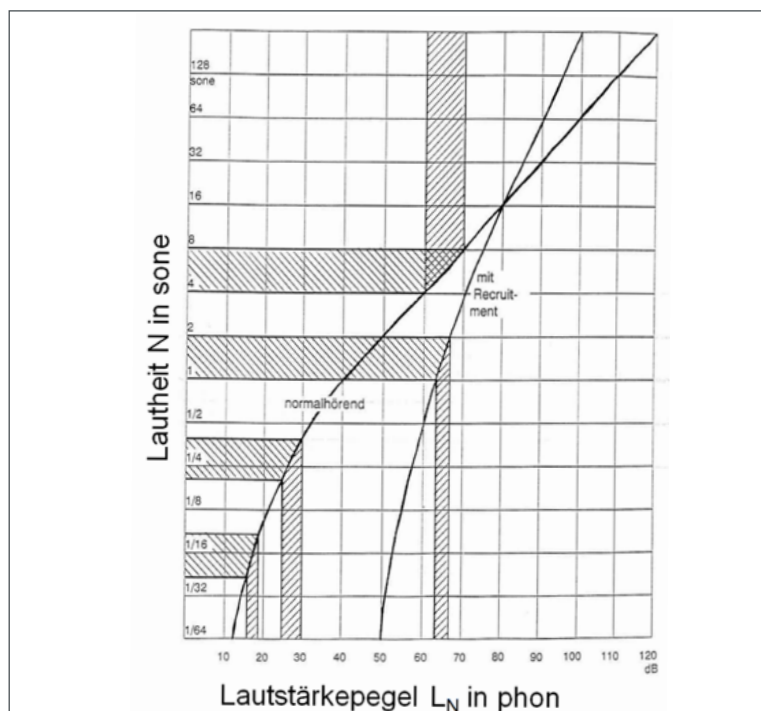
akustik@regupol.de
www.regupol.com

Deshalb muss zunächst mit baulichen und raumakustischen Maßnahmen für eine möglichst geringe Störsignalentstehung im Raum bzw. Störsignaleinstrahlung aus benachbarten Räumen gesorgt werden. Hier geht es vorrangig um Fragen des baulichen Schallschutzes. Da Hörgeräte (zum Ausgleich des individuellen Hörverlustes) oft die hohen Töne besonders verstärken müssen, um auf diese Weise die Verständlichkeit der Konsonanten zu erhöhen, kommt den Fragen des baulichen Schallschutzes und der raumakustischen Maßnahmen gerade für diese hohen Töne besondere Bedeutung zu.

Schwerhörige sind oft lärmempfindlich

Bei Hörgeschädigten erhöht sich im Allgemeinen nur die Hörschwelle, die Unbehaglichkeits- oder Schmerzschwelle erniedrigt sich dagegen oft. Weil der nutzbare Dynamikbereich des Gehörs zwischen „noch nichts hören“ und „unbehaglich laut“ deutlich eingeschränkt ist, empfinden Hörgeschädigte den Lautstärkeunterschied verschiedener Schallpegel subjektiv erheblich krasser als Guthörende (sogenanntes Recruitment). Dadurch steigt die Lautheit (die subjektiv empfundene Lautstärke) mit zunehmendem Pegel bei Schwerhörigen deutlich stärker an als bei Guthörenden. Dies bedeutet, dass die

Abb. 4: Zusammenhang zwischen Lautstärkepegel L_N [in phon] und empfundener Lautheit [in sone] für Guthörende [nach 4] und für Personen mit Hörverlust sowie Recruitment. Oberhalb von 40 phon empfinden Guthörende im Mittel eine Pegelsteigerung um etwa 10 phon als Verdoppelung der Lautstärke; Personen mit Recruitment benötigen hierfür u.U. nur eine Pegelsteigerung um 3 phon und haben bei einer Pegelerhöhung um 10 phon bereits eine achtfach höhere Lautheitsempfindung.



betroffenen Personen zwar hörgeschädigt sind, aber innerhalb des für sie hörbaren Pegelbereiches lärmempfindlich. Den betroffenen Personen müssen die Hörsignale möglichst mit gleichmäßiger Lautstärke angeboten werden, weil sonst bei leisen Signalen das Verstehen stark eingeschränkt ist, bei lauten Signalen aber bereits die Unbehaglichkeitsgrenze erreicht/überschritten wird („Du musst doch nicht gleich schreien!“). Beispielhaft ist Recruitment in Anlehnung an [4] für einen Rest-Dynamikbereich von 50 dB in Abbildung 4 dargestellt. Vereinfachend werden die damaligen phon-Angaben mit den heute gebräuchlichen dB(A) gleichgesetzt.

Interessanterweise haben auch Guthörende bei niedrigen Schallpegeln (also bei Schallpegeln wenig über ihrer Hörschwelle) Recruitment [4]. Während oberhalb von etwa 40 dB(A) jede Schallpegelanhebung um etwa 10 dB zu einer Verdoppelung der empfundenen Lautstärke führt (also von 1 auf 2 sone, von 2 auf 4 sone usw.), so reicht bei einem Schallpegel von etwa 30 dB(A) eine Pegelsteigerung um 5 dB und bei etwa 20 dB(A) sogar eine Steigerung um nur 3 dB aus, um ein Geräusch doppelt so laut zu empfinden. Deshalb lohnte es sich in der Bauakustik durchaus, bei der Festlegung von Grenzwerten für Geräuscheinwirkungen haustechnischer Anlagen, im Normenausschuss zu DIN 4109 [5] jahrelang um 3 dB zu streiten.

Diese Eigenschaft des Gehörs ist entwickungsgeschichtlich bedingt: leise Geräusche konnten Hinweise auf Beute sein (lebenswichtig) oder sie konnten Gefahren durch Feinde oder wilde Tiere ankündigen (überlebenswichtig). Unsere Vorfahren mussten also wachsam sein, konnten zwar die Augen, nicht aber die Ohren schließen. Noch heute reagieren Guthörende auf das leise Surren einer Mücke im Schlafzimmer schreckhaft. Nahte tatsächlich ein Feind, so wurde Lärm geschlagen (Klirren mit der Rüstung, Rasseln mit den Säbeln oder Läuten der Glocken), damit wurde „Alarm“ gegeben. *Al arme* ist die italienische und *ad armas* die lateinische Form für *zu den Waffen!* In *Lärm* und in *Alarm* kann man denselben Wortstamm entdecken. In gleicher Weise, wie bei Alarm das Stresshormon Adrenalin ausgeschüttet wird, geschieht dies auch unter Lärm. **Leben im Lärm** heißt also **Leben im Stress**.

Raumakustische Notwendigkeiten: viel Direktschall, wenig Diffusschall

Personen, die darauf angewiesen sind, das Sprachsignal mit dem Hörsystem aus dem Raum heraus aufzunehmen, benötigen eine möglichst „trockene“ raumakustische Situation, die fast ausschließlich Direktschall-Anteile enthält. Die Diffusschall-Anteile sollten noch geringer sein, als dies für Guthörende

günstig wäre. Jeder Diffusschall verschlechtert die Verständlichkeit, weil er bereits wieder als Störsignal wirkt. Dies gilt – nach landläufiger Akustiker-Meinung – bei Guthörenden erst für Schallsignale, die mehr als 35 ms gegenüber dem Direktschall verzögert sind. Zahlreiche Aussagen schwerhörender Personen lassen aber den Schluss zu, dass solche „Kurzzeit-Echos“ schon viel eher störend sind.

Rückwandecho vermeiden

Eine stehende Lehrerin und die vorne sitzenden Schülerinnen hören bei horizontaler Schallausbreitung über die Köpfe der Mit-Schülerinnen hinweg ein Rückwandecho mit einer Zeitverzögerung zwischen 35 und 50 ms. Dieses verschlechtert – insbesondere für Personen mit Hörschädigung – die Sprachverständlichkeit. Wenn man das Rückwandecho beseitigen kann, entstehen für diese Schallausbreitungsrichtung angenäherte Freifeldbedingungen. Damit nimmt der Sprachschallpegel gemäß Abbildung 5 von 1 m Abstand bis zu den hinteren Plätzen um etwa 10 dB ab. Dies sind etwa 2,5 dB mehr als nach der Hallfeld-Theorie zu erwarten ist, denn auf diese Weise sind entsprechend geringere Diffusschallanteile vorhanden. Der etwas geringere Nutzsignalpegel wird durch den deutlich geringeren Störgeräuschpegel mehr als wettgemacht. Zunächst erscheint es unglaublich, dass durch eine derartige Maßnahme trotz des niedrigeren Nutzsignal-Pegels das Signal/Rausch-Verhältnis sogar günstiger wird. Dies ist dadurch begründet, dass sich Schülerinnen in gedämpften Klassenräumen erheblich ruhiger verhalten als in hallenden.

Abb. 5: Schallausbreitung in baugleichen Klassenräumen, Abstand logarithmisch

oben: Klassenraum ohne schallabsorbierendes Rückwandpaneel, hier liegt im hinteren Bereich eine Hallfeldsituation vor

unten: Klassenraum mit schallabsorbierendem Rückwandpaneel, hier liegen auch im hinteren Bereich näherungsweise noch Freifeldbedingungen vor

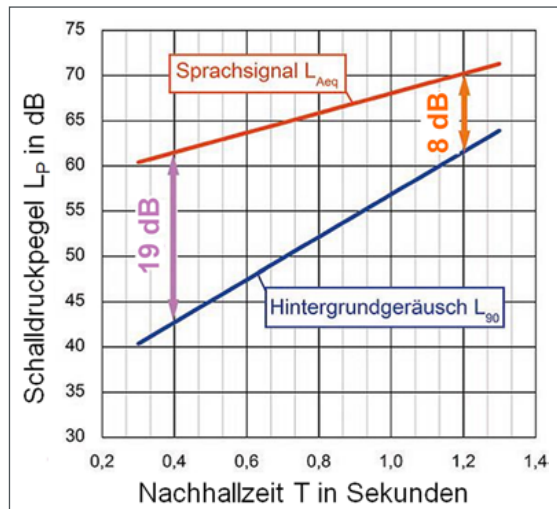
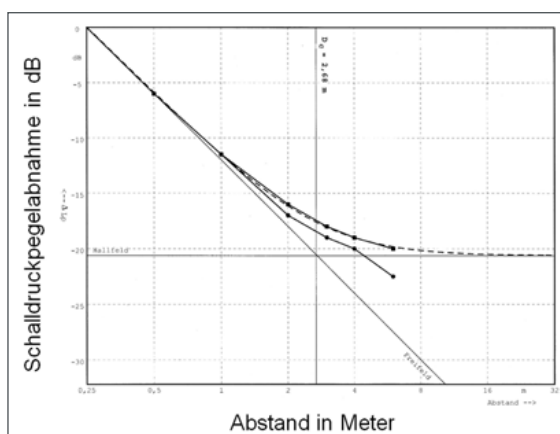


Abb. 6: Regressionsgeraden für die Schallpegel des Nutz-Sprachsignals L_{Aeq} und des Hintergrund-Schallpegels L_{A90} in Abhängigkeit von der Nachhallzeit (aus der „Essex-Studie“) [6], übernommen aus [7]

Ein besonders beeindruckendes Beispiel für die Auswirkung einer Nachhallzeit-Verkürzung auf den Nutzsignal-Schallpegel und auf den Schallpegel der Störgeräusche zeigt die Abbildung 6.

In der „Essex-Studie“ [6] wurden von vier baugleichen Klassenräumen einer im Ursprungszustand belassen und die anderen an die Anforderungen dreier unterschiedlicher in Großbritannien parallel geltender Regelwerke angepasst. Nach einigen Wochen Unterricht erfolgte jeweils über das Wochenende wechselweise die Umrüstung auf einen anderen Standard. Dann unterrichteten dieselben Lehrerinnen dieselben Schülerinnen in den gleichen Fächern (aber in raumakustisch immer wieder unterschiedlichen Räumen). In dieser Zeit wurden die Nutzsignal-Schallpegel (L_{Aeq}) und die Hintergrund-Schallpegel (L_{A90}) gemessen.

Im Ergebnis zeigen die Regressionsgeraden, dass bei einer Nachhallzeit-Verkürzung von 1,2 s auf 0,4 s der L_{Aeq} von 70 dB auf 62 dB abnahm, während sich der L_{A90} von 62 dB auf 43 dB verringerte. Der Signal-Rausch-Abstand betrug zunächst nur $S/N = L_{Aeq} - L_{A90} = 8$ dB. Er vergrößerte sich bei der sehr kurzen Nachhallzeit von 0,4 s auf $S/N = 19$ dB, einen auch für Hörgeschädigte ausgezeichneten Wert.

Die Nachhallzeit-Drittelung von 1,2 s auf 0,4 s lässt „physikalisch“ eine Pegelminderung um knapp 5 dB erwarten. Tatsächlich war der L_{eq} aber um 8 dB niedriger. Hier macht sich sehr deutlich der „Lombard-Effekt“ bemerkbar, dass in ruhiger Umgebung leiser gesprochen wird (und in lauter Umgebung auch lauter), dass also die tatsächlich eintretende Pegelminderung deutlich größer ist, als nach den phy-

sikalischen Gesetzmäßigkeiten zu errechnen. Auf diese Weise wird die Sprecher-Stimme geschont, so dass der Anteil der Stimmband- und Stimm-Erkrankungen zurückgeht.

„Absehen“: die Augen hören mit

Mit einer entsprechenden Hörtaktik versuchen Hörgeschädigte die fehlenden Schallsignale durch Nutzung optischer Informationen auszugleichen. Hierzu gehören einerseits Gebärden (Deutsche Gebärdensprache oder lautsprachbegleitendes Gebärden), andererseits schriftliche Informationen und schließlich als ganz wesentliches Hilfsmittel (das unbewusst auch jede Guthörende nutzt) das Absehen vom Mund. Für die Erkennbarkeit des Mundbildes ergeben sich einerseits Anforderungen an die Beleuchtung und andererseits für eine optimale Anordnung des Schülerinnen-Sitzplatzes (Sichtlinien).

Direktschall zum Ohr: Übertragungsanlagen

Für die Übertragung von Schallsignalen zu den Hörsystemen hörgeschädigter Schülerinnen sind gegebenenfalls technische Zusatzmaßnahmen, z. B. in Form einer Funkübertragung vorzusehen. Einige Hersteller von Hörgeräten propagieren eine Zusatzbeschallung der Klassenräume mit Lautsprecheranlagen, um auf diese Weise dem Lehrer ein „Übertönen“ der Störgeräusche zu ermöglichen. Sie verkennen dabei, dass dann der Diffusschall-Anteil des Nachhalls in gleicher Weise angehoben wird. Die zu diesem Thema laufenden Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen. Sie lassen aber bereits jetzt erkennen, dass solche Anlagen nicht nur Direktschall zu den Schülerinnen bringen (können).

Oft unterschätzt: der Anteil hörgeschädigter Schülerinnen

Nach der Hörscreening-Studie von Sohn [1] ist bei Personen bis 20 Jahre etwa 1 % der Bevölkerung hörgeschädigt. Dies bedeutet, dass sich in etwa jeder 4. Klasse eine hörgeschädigte Schülerin befindet, deren Schwerhörigkeit möglicherweise gar nicht bekannt ist. Temporäre Hörschwellenverschiebungen durch Infektionskrankheiten kommen zu bestimmten Jahreszeiten bei bis zu 30 % der Schülerinnen einer Klasse vor. Im Jahresmittel soll der Anteil bei etwa 12 % liegen. Dies bedeutet, dass ständig in jeder Klasse etwa 3 Schülerinnen eine zeitweilige Höreinschränkung haben. Auch sie werden durch akustisch gut gestaltete Räume besser in den Unterricht einbezogen. Frühkindliche Hörstörungen, die nicht rechtzeitig erkannt und versorgt werden, können nach Walger u. A. [8] zu nicht mehr kompensierbaren Spätfolgen führen. Aufgrund einer mangelhaften oder sogar fehlenden Aufnahme akustischer Reize kann es zu einer

Reifungsverzögerung der Hörbahn, dem zentralnervösen Teil im auditorischen System, kommen. Dies hat sekundäre Funktionsstörungen der Informationsverarbeitung zur Folge, die für die betroffenen Kinder lebenslange Konsequenzen haben können. Diese Kinder haben unter anderem eine verzögerte Sprachentwicklung. Fast die Hälfte der Hörstörungen der untersuchten Kinder ist nicht angeboren sondern erworben und betrifft in 75% der Fälle beide Ohren. Die Ursachen sind in den meisten Fällen eine Mittelohrentzündung oder Kinderkrankheiten wie Masern, Mumps, Röteln oder Scharlach.

Noch gar nicht untersucht: der Anteil schwerhörender Lehrerinnen

Die Sohn-Studie [1] weist für die Altersgruppe zwischen 40 und 60 Jahren aus, dass bereits zwischen 15 und 20 % der Bevölkerung von Schwerhörigkeit betroffen ist. Da nach der derzeitigen Personalstruktur in Schulen der Hauptanteil der Lehrerinnen dieser Altersstufe angehört, ist damit zu rechnen, dass in etwa jeder fünften bis sechsten Klasse eine schwerhörige Lehrerin unterrichtet (häufig ohne es zu wissen oder wahrhaben zu wollen). In diesem Sinne ist Barrierefreies Bauen für hörgeschädigte Schülerinnen auch ein Beitrag zur Arbeitsplatz-Ergonomie für die Lehrerschaft und für ein besseres Verstehen der Schülerinnen-Beiträge.

Was muss man tun?

Nach den oben beschriebenen Zusammenhängen kann man die erforderlichen Maßnahmen wie folgt zusammenfassen:

- bauliche Maßnahmen gegen Störgeräusche und Nachhall
- organisatorische Maßnahmen zur optimalen Einbindung der hörgeschädigten Schülerinnen in den Unterricht
- technische Maßnahmen mit Hörassistenzsystemen

Baulicher Schallschutz

Der Störgeräuschpegel im Raum, der von außen oder aus benachbarten Räumen hereindringt, soll so niedrig wie möglich sein. Für den Schallschutz von Wänden, Decken und Fenstern gibt es in der Schallschutznorm DIN 4109 [5] „Anforderungen“. Eine Belüftung der Räume ist bei starkem Außenlärm nicht durch geöffnete Fenster möglich, sondern erfordert eine Lüftungsanlage, welche wiederum Geräusche erzeugt. Die Störgeräuschentwicklung durch die Schülerinnen selbst ist natürlich einerseits vom Unterrichtsgeschehen abhängig, andererseits sorgen aber auch die Bewegungen im Raum, z. B. Tische- oder Stühlerücken, Fußscharren, Fallenlassen

von Gegenständen, quietschende oder knirschende Sohlen – insbesondere auf harten Fußbodenbelägen – für Geräusche, die man mit einem weichen Oberbelag vermeiden kann.

Raumakustik

Zu den für Hörgeschädigte störenden Geräuschen gehören auch die diffusen Signalanteile des Nachhalls und gegebenenfalls auch kurzfristig verzögerte Schall-Rückwürfe. Deshalb sollen Unterrichtsräume für Hörgeschädigte eine möglichst kurze Nachhallzeit aufweisen und Echos, insbesondere von der Raumrückwand, sind zu vermeiden.

In DIN 18041 [9] heißt es hierzu: *Die Anforderungen kommen nicht nur Personen mit Hörschäden zugute, sondern sie sind auch hilfreich für die Kommunikation in einer Sprache, die nicht als Muttersprache gelernt wurde [fremdsprachlicher Unterricht für deutsche Kinder aber auch Unterricht auf Deutsch (DaZ) für Kinder ausländischer Abstammung] und bei der Kommunikation mit Personen, die auf andere Weise einen Bedarf nach erhöhter Sprachverständlichkeit haben, z. B. Personen mit Sprach- oder Sprachverarbeitungsstörungen, Konzentrations- bzw. Aufmerksamkeitsstörungen, Leistungsbeeinträchtigungen. Im Zweifelsfall sollten in Räumen zur Sprach-Information und -Kommunikation eher kürzere als längere Nachhallzeiten realisiert werden.*

Anordnung der Sitzplätze im Raum

Für die Anwendung des Zwei-Sinne-Prinzips, bei dem der eingeschränkte Hör-Sinn (teilweise) durch den Seh-Sinn ausgeglichen wird, sind durch organisatorische Maßnahmen die Sichtbeziehungen zu den für die Kommunikation maßgeblichen Bereichen herzustellen bzw. zu optimieren. Zu diesen Bereichen gehören:

- die Tafel oder Projektionswand
- der Stand- oder Sitzplatz der Lehrerin
- die Sitzplätze der Mitschülerinnen.

Sichtlinien sollen nicht oder nur wenig verdeckt und durch Kopfbewegungen leicht auszugleichen sein. Durch Optimierung der natürlichen und künstlichen Beleuchtung ist dafür zu sorgen, dass (auch bei wechselnden Beleuchtungssituationen, z. B. durch Tages- oder Jahreszeit) alle wichtigen Bereiche sichtbar sind und sich nicht im Schatten oder im Gegenlicht befinden.

Technische Hilfen für Hörgeschädigte

Hörassistenzsysteme, z. B. in Form von Funkübertragungsanlagen, werden in der Regel durch die Krankenkasse finanziert und von schwerhörenden Schülerinnen mitgebracht. Sie bringen das Sprachsignal (vorwiegend das der Lehrerin) direkt zum

Ohr/Hörsystem der Schülerin mit Hörschädigung. Dies erfordert bei der Lehrerin die Bereitschaft, sich mit dieser „Technik“ zusätzlich zu befassen, was häufig als „zu belastend“ empfunden wird. Hier muss sich die Lehrerschaft dessen bewusst sein, dass zum Nachteilsausgleich der Schülerin die persönlichen Befindlichkeiten („Wie sehe ich denn damit aus“ / zu umständlich / Druckgefühl am Kopf) hinter dem angestrebten Unterrichts- und Lernerfolg zurückstehen müssen. Vielmehr sollte die Lehrerin Vorbild für innovative Technik sein und ihre Schülerinnen ermahnen, diese Geräte zu benutzen oder sich sogar zu beschaffen.

Nachteilig ist, dass häufig für den Funkempfang am Hörgerät die dort eingebauten Mikrofone ausgeschaltet werden müssen. Damit wird ein Unterrichtsgespräch sehr erschwert, weil die hörgeschädigte Schülerin jetzt nur das Schallsignal hört, welches von dem Mikrofon des Funksenders aufgenommen wurde. In diesem Fall muss also das Mikrofon von der Lehrerin im Unterricht herumgereicht werden, was den Unterrichtsablauf erheblich behindern kann. Bei einigen Geräten schalten die Hörgeräte zwischen Mikrofon und Funkempfänger hin und her. In den Umschaltzeiten können Silben(-teile) verloren gehen und die Lautstärke kann zwischen beiden Kanälen schwanken.

Die Funkübertragungsanlagen haben in der Regel einen Taschensender mit Kopfbügelmikrofon oder Ansteckmikrofon. Für den Unterrichtsablauf ist es sehr hinderlich, diese Geräte herumzureichen und für Schülerinnen-Beiträge zu nutzen. Hierfür sollte mindestens ein zusätzliches Schülerinnen-Handmikrofon eingesetzt werden. Idealerweise sind sogar mehrere Hand- oder Tischmikrofone vorhanden, die jeweils von mehreren Schülerinnen genutzt werden. Bei nur einem Handmikrofon wird der Unterrichtsablauf deutlich langsamer. Man muss allerdings bedenken, dass im Grundschulalter der Einsatz von Schülerinnen-Mikrofonen von den Mitschülerinnen erst erlernt werden muss. Erfahrungsgemäß kann man in der 2. Klasse mit einem Handmikrofon beginnen. Ein Lehrer-Echo (Wiederholung der Schülerinnen-Beiträge durch die Lehrerin) ist im Grundschulalter daher sehr wichtig. Wenn man für ein sachgerechtes Unterrichtsgespräch mehrere Mikrofone beschaffen will, entsteht oft eine lange Auseinandersetzung mit der zuständigen Krankenkasse. Bisweilen übernehmen die Schulträger die Kosten. Pädagogisch kann ein einzelner Handsender auch Vorteile haben. Er diszipliniert – ähnlich wie ein „Rede-Stein“ den Unterrichtsverlauf und macht unkontrollierte Zwischenrufe unwirksam.

Beim Arbeiten mit Lernspielen am Computer kann die Funkübertragungsanlage direkt mit dem Com-

puter verbunden werden, so dass die hörgeschädigte Schülerin störungsfrei hören kann. Wird im Unterricht mit Tonträgern (CD u.a.) gearbeitet (häufig im Sprachunterricht), ist ein Abspielgerät erforderlich, das mit der Funkübertragungsanlage verbunden werden kann, ohne dass der Ton für die Mitschülerinnen weggeblendet wird. Mit einem unterrichtsüblichen Gerät funktioniert dies meist nicht. Eine einfache und kostengünstige Lösung ist ein tragbares Abspielgerät ohne Lautsprecher, an das über einen T-Klinkenstecker parallel sowohl eine Übertragungsanlage für das Kind mit Hörschädigung als auch ein externer Lautsprecher für die Mitschülerinnen angeschlossen werden können.

Für Hörgeschädigte ungeeignete technische Hilfen

Seit einiger Zeit sind Beschallungsanlagen erhältlich, die in Regelschulen zur Erhöhung des Schallpegels der Lehrerstimme eingesetzt werden sollen (sog. SoundField-Anlagen). Von den Herstellern wird behauptet, dass der Direktschallanteil zunehme, so dass die Sprachverständlichkeit verbessert werde. An derartige Anlagen können bis zu acht Lautsprecher angeschlossen werden. Dann sind zusätzlich zu der Primärschallquelle (Lehrerinnenstimme) acht Sekundärschallquellen im Raum vorhanden. Man erreicht auf diese Weise zwar einen höheren Direktschallpegel am Platz der Schülerinnen. Dies ist aber, je nach Anzahl der Lautsprecher, verbunden mit einer Zunahme des Diffusfeldpegels um bis zu 9 dB. Das für die Sprachverständlichkeit maßgebende Verhältnis von Direktschall zu Diffusschall wird also nicht wesentlich verbessert. Untersuchungen mit einem System zur Klassenraum-Beschallung mit dynamischer (störgeräuschabhängiger) Anpassung des Sprachsignalpegels laufen derzeit.

Ein Hersteller schreibt, mit einer derartigen Anlage könne man bauliche Mängel [gemeint sind damit raumakustische Mängel], ausgleichen. Viel sinnvoller ist aber, derartige Mängel nicht auszugleichen sondern sie zu beseitigen, indem die raumakustischen Bedingungen – wie nachfolgend beschrieben – erfüllt werden. Dies kommt allen Schülerinnen zugute und ist im Allgemeinen preiswerter als die Beschaffung, der Betrieb und die Reparaturen von Beschallungsanlagen. Auch veralten derartige Anlagen viel schneller als eine sinnvolle raumakustische Baumaßnahme. Etliche Veröffentlichungen zur Klassenraum-Beschallung setzen eine „gute Raumakustik“ voraus oder fordern sie zumindest ein. Fritz Sennheiser hat dem Autor bereits während seines Studiums erklärt, warum man eine „schlechte“ Raumakustik nicht „gut“ beschallen kann.

Zu der Frage, wie sich „SoundField-Systeme“ von Funkübertragungsanlagen für Hörgeschädigte un-

terscheiden, schreibt ein Hersteller: *Ein SoundField-System für Klassenräume bietet ähnliche Vorteile für die ganze Klasse, wie ein FM-System für einen hörgeschädigten Schüler. Die zugrundeliegende Technologie beider Systeme ist ähnlich. Das FM-System überträgt die Lehrerstimme jedoch direkt an das Hörgerät eines einzelnen hörgeschädigten Schülers [ohne Umweg über den Raum], während vom SoundField-System alle [übrigen] Schüler profitieren [sollen].*

Aufwändige Längsschnittstudien, über die Meis et al. [10] berichten, wurden bisher nur an allgemeinen Schulen mit guthörenden Kindern durchgeführt. Dabei wurde verglichen, wie sich raumakustische Maßnahmen allein oder SoundField-Beschallungsanlagen allein oder raumakustische Maßnahmen mit SoundField-Anlagen gemeinsam auf zahlreiche Kenngrößen des Unterrichts auswirken. Aus diesen Untersuchungen ist recht eindeutig herauszulesen, dass die deutlichste Wirkung durch die raumakustischen Verbesserungen in den Klassenräumen erreicht wurde. Für Schülerinnen mit Hörschädigung dürfte das nach den bisherigen Erfahrungen aus der raumakustischen Beratungspraxis noch ausgeprägter gelten.

Wie sollen zuhörgerechte Klassenräume beschaffen sein?

Bauliche Maßnahmen

Klassenräume, deren akustische Bedingungen für den Unterricht von Schülerinnen mit Hörschäden gut sind, sind nicht auf eine ganz andere Art und Weise auszustatten, als dies typischerweise für akustisch gute Unterrichtsbedingungen ohnehin der Fall ist. Man muss lediglich die Vorgaben aus DIN 18041:2016-03 [9] erfüllen. Nach dieser Norm-Fassung gelten die früheren „ganz exklusiven Anforderungen“ für Personen mit Hörschädigung von 2004 jetzt bei Neu- und Umbauten einheitlich für den inklusiven Unterricht aller Kinder. Dies ist auch in dem Sinne richtig, als sich „exklusive Lösung“ und „Inklusion“ widersprechen. Mit der Normfassung von 2016 werden die Vorgaben der Behindertenrechts-Konvention der UN [11] und nationaler Gesetze (z.B. [12]) umgesetzt.

Klassenräume neuerer Bauart haben häufig eine Breite zwischen 7 und 8 m und eine Länge zwischen 8 und 9 m. Damit liegt die Grundfläche im Allgemeinen zwischen 60 und 70 m² und zusammen mit der typischen lichten Raumhöhe von etwa 3 m beträgt das Raumvolumen etwa 200 m³. Räume mit größerem Volumen haben nicht etwa eine größere Grundfläche, sondern oft eine unangemessen große Höhe. In den neuen Bundesländern ist nach den beiden Untersuchungen von Behr [13] und Schottke [14] offenbar eine wesentlich größere Spannweite gege-

ben.

Nach den Vorgaben von DIN 18041 soll die mittlere Nachhallzeit in inklusiv gestalteten Unterrichtsräumen $T_m = 0,45$ s betragen. Das erfordert eine äquivalente Absorptionsfläche $A_{\text{eff}} = 72 \text{ m}^2$, also mehr als die Deckenfläche des Raumes. Um diesen Wert zu erreichen ist es zunächst notwendig, zwischen 80 und 100 % der Deckenfläche mit hochgradig absorbierendem Material auszustatten. Der genaue Umfang ist abhängig vom Absorptionsgrad des gewählten Materials.

Zusätzlich ist die der Tafel gegenüber liegende Raumrückwand eine etwa 5 m breite Schallabsorptionsfläche von etwa 1,2 bis 1,35 m (ab 0,8 m über dem Fußboden) zu belegen. Keinesfalls darf man bei einer vollflächig hochgradig absorbierenden Decke auf das schallabsorbierende Rückwandpaneel verzichten. Sonst werden die Lehrerinnen durch das Rückwandecho gestört, weil es nicht mehr von dem Nachhall verdeckt wird [15] [16]. Seit Mai 2018 fordern die Technischen Regeln für Arbeitsstätten – Lärm [17] im Sinne des Arbeitsschutzes für die Lehrerinnen raumakustische Maßnahmen, wenn die Anforderungen aus DIN 18041 nicht eingehalten werden. Leider beziehen sich die dort angegebenen Sollwerte auf die alte Norm-Fassung von 2004.

Weiterhin ist es für die Unterrichtsräume – sowohl zur Schallabsorption als auch zur Störgeräuschvermeidung – sinnvoll, einen strapazierfähigen Teppichboden, z. B. Kugelnarn, zu verlegen. Mit diesen „Standardmaßnahmen“ wird nicht nur die anzustrebende Nachhallzeit sicher erreicht, sondern durch die Verteilung der Absorber auf mehrere Raumbegrenzungsflächen wird auch die Schallfelddiffusität verbessert. Die besonders störenden Echos mit

deutlicher Verzögerung gegenüber dem Direktschall (dies ist vorrangig die Schallreflexion der Raumrückwand) werden vermieden.

Unterrichtsräume älterer Bauart sind häufig länger und höher als oben beschrieben. In derartigen Räumen müssen die Schallabsorptionsflächen proportional zur Zunahme des Raumvolumens größer hergestellt werden. Hilfreich ist darüber hinaus, die (im Vergleich zu den akustischen Anforderungen) unnötig großen Raumvolumina z. B. durch entsprechend tief abgehängte Unterdecken zu verkleinern. Wie überall im Barrierefreien Planen und Bauen für Menschen mit sensorischen Beeinträchtigungen ist auch bei den hörgerechten Klassenräumen das Zwei-Sinne-Prinzip zu verwirklichen. Dies bedeutet, dass die Aufnahme und Verarbeitung akustischer Informationen optisch unterstützt werden muss. Hierzu gehört nicht nur (wie für jede Schülerin) der freie Blick zur Tafel, sondern auch die freie Sicht zum Mund der Lehrerin und dessen Erkennbarkeit, um auf diese Weise das Absehen der Lippenbewegungen zu unterstützen. Der Mund darf sich deshalb bei natürlicher Beleuchtung nicht im Gegenlicht befinden. Der Sitzplatz der hörgeschädigten Schülerin muss also so angeordnet sein, dass sie die Fenster im Rücken hat. Auch bei Beleuchtung mit Kunstlicht während der dunklen Jahreszeit muss der Lehrerinnenmund hell genug (aber ohne Blendung von den Deckenlampen) erkennbar sein.

Organisatorische Maßnahmen

Über die Bedingungen der Klassenraumausstattung hinausgehend müssen die Lehrenden sich daran gewöhnen, nicht zu sprechen, während sie etwas an die Tafel schreiben, sondern nur dann, wenn ihr Mund für die hörgeschädigte Schülerin sichtbar ist. Darüber hinaus müssen sie sich auch dessen bewusst sein, dass bei hörgeschädigten Schülerinnen die Informationsaufnahme und Verarbeitung in drei Phasen nicht etwa parallel, sondern nacheinander abläuft:

- Hören der Information und Absehen vom Mund
- kognitive Verarbeitung des Gehörten und Zusammensetzen mit den vorangegangenen Informationen zu einem fortlaufenden Gedankengang
- Aufschreiben der so erarbeiteten Kenntnisse

Durch diese drei aufeinander folgenden Schritte ist für Hörgeschädigte kein Mit-Schreiben (wie bei guthörenden Menschen) möglich, sondern tatsächlich ist es Satz für Satz ein Nach-Schreiben. Die Informationsaufnahme und Verarbeitung dauern also wesentlich länger als bei einer guthörenden Schülerin. Dies hat aber nichts mit einer mangelnden Intelligenz der Hörgeschädigten zu tun, sondern ausschließlich mit ihren Kommunikationsproblemen.

Tab. 1: Raumakustische Ausstattung von Standard-Unterrichtsräumen

Raumbreite	ca. 7 bis 8 m
Raumlänge	ca. 8 bis 9 m
Grundfläche	ca. 60 bis 70 m ²
Raumhöhe	ca. 3 m
Volumen	ca. 200 m ³
erforderliche Nachhallzeit	$T_m \leq 0,45 \text{ s}$
erforderliche äquivalente Absorptionsfläche	$A_{\text{eff}} \geq 72 \text{ m}^2$
Anteil hochgradig absorbierender Platten ($\alpha_w = 0,85$)	> ca. 80 % der Decke
absorbierendes Rückwandpaneel	ca. 5 m breit, ca. 1,35 m hoch
Bodenbelag	Nadelfilz oder Kugelnarn

Anmerkung

Wenn Personen mit Hörschädigung Informationen nicht vollständig hören und deshalb auch nicht verstehen, wenn sie damit also in der Informations-Aufnahme und Kommunikation eingeschränkt sind, wird ihnen von anderen häufig eine geringe Bildungsfähigkeit unterstellt. Das ist falsch, aber nicht umsonst haben in der deutschen Sprache einerseits die Worte taub, thumb, dumm, (eng.) deaf, (schwed.) döv, andererseits aber auch „stumm“ und „dumm“ denselben Wortstamm. Im niederdeutschen Sprachraum ist „de Doove“ die plattdeutsche Form von „der Taube“. Schade, dass Konrad Duden aus dem Wort „doov“ das Wort „doof“ gemacht hat.

Insbesondere bei Diktaten muss deshalb deutlich langsamer und mit den erforderlichen Pausen gesprochen werden. Die Lehrerin sollte dabei die hörgeschädigte Schülerin im Blick behalten.

Für die optimale sprachliche Kommunikation im Unterrichtsgespräch sind nicht nur die Hör- und Blickbeziehungen zwischen der Lehrerin und der hörgeschädigten Schülerin wichtig, sondern in gleicher Weise auch die Hör- und Sichtbeziehungen zu den Mitschülerinnen. Hieraus resultiert ein Vorschlag von Löwe [18] für die Anordnung der Sitzplätze, wie er in Abbildung 7, oben links dargestellt ist. Wenn man – ausgehend von einer U-förmigen Anordnung der Tische um das Lehrerpult herum – auf der Fensterseite jeden Tisch um 30...40° dreht, so kann die in Pultnähe sitzende Schülerin beim Blick nach hinten auch die Münder der auf dieser Seite sitzenden Schülerinnen erkennen. Dies wäre bei einem rechteckigen U nach Abbildung 7 unten links nicht der Fall. Hilfreich ist für diese Schülerin ein Drehstuhl.

Ganz sicher werden diese Standardvorschläge für die Möblierung nicht jeder Hörgeschädigten gerecht. Schülerinnen mit einer einseitigen Ertaubung sind in einer allgemeinen Schule möglicherweise der Lehrerin gar nicht bekannt und tragen auch kein Hörgerät, weil sie mit dem anderen Ohr kompensieren. Sie haben wegen des nur monofonen Hörens mit einer verschlechterten Ortung und Sprachdiskrimination bei Störschall häufig bevorzugte Hörrichtungen und damit auch Hörplätze, die von den optimalen Sichtplätzen abweichen können. Dies gilt natürlich nur, wenn die Lehrerin einen relativ festen Standort oder Sitzplatz einnimmt. Durch Herumgehen werden die Sichtbeziehungen ständig verändert und das Absehen vom Mund wird schwierig. Die sich meldenden Schülerinnen sollten namentlich aufgerufen werden und nicht nur durch zeigen. Dann weiß die hörgeschädigte Schülerin, bei wem

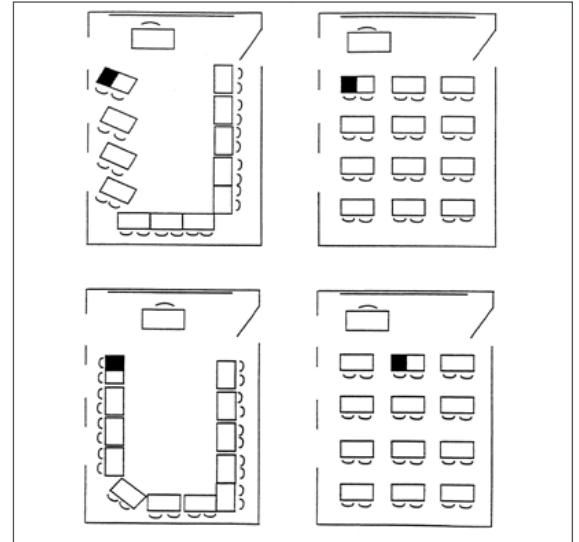


Abb. 7: Bestuhlungsvarianten für Klassenräume nach Löwe [18]:

oben links: im allgemeinen günstigster Sitzplatz

oben rechts: ggf. möglich, wenn die Lehrerin die konventionelle Sitzordnung bevorzugt oder beibehalten muss,

unten links: ungünstig, da die hörgeschädigte Schülerin bei ihren in der Fensterreihe sitzenden Mitschülerinnen nicht absehen kann,

unten rechts: schlechteste Lösung, da die hörgeschädigte Schülerin nur bei der Lehrerin aber nicht bei den Mitschülerinnen absehen kann. Teilweise schränkt Gegenlicht das Erkennen ein. Je nach Sitzplatz der sprechenden Mitschülerin ist ein Umdrehen nach links oder rechts nötig.

sie bei der Antwort vom Mund absehen kann. Früher war es üblich, dass Schülerinnen bei den Antworten aufstanden. Damit war eine wesentlich bessere Absehmöglichkeit (auch über die Köpfe der Klassenkameradinnen hinweg) gegeben.

Vielfach hat es sich bewährt, bei den Mitschülerinnen wiederholt an deren Fürsorgepflicht gegenüber der hörgeschädigten Schülerin zu appellieren. Auf die sozialen Aspekte eines derartigen Appells kann hier nicht eingegangen werden. Die Mitschülerinnen artikulierten aber nach den Beobachtungen der

Zitat

„Erziehung an sich ist weder gut noch schlecht. Deshalb ist es wichtig, dass die Lehrer mutig, aufrichtig und gerecht sind. Ob es nun die Eltern zu Hause oder die Lehrer an den Schulen oder Universitäten sind - Erzieher dürfen sich nicht damit begnügen, nur Informationen zu vermitteln. Der Erwerb von Wissen muss mit dem Entwickeln von Mitgefühl verbunden sein.“

(Dalai Lama)

Lehrerinnen deutlicher und wandten sich der hörgeschädigten Schülerin zu.

In Schulen für Hörgeschädigte ist die Anzahl der Schülerinnen je Klasse deutlich geringer. Dann ist es möglich, dass alle etwa im Halbkreis um das Lehrerinnenpult herum sitzen. Auf diese Weise können sie sich gegenseitig genauso gut sehen wie die Lehrerin. Diese Situation fördert das Unterrichtsgespräch sehr, weil alle von den Lippen absehen können. Wenn auch die Lehrerin an ihrem Pult sitzt, ist der Blick- und damit der Hörkontakt ebenfalls besser als in einer Standard-Schulklasse, bei der die Lehrerin (wegen des Sichtkontaktes zu den hinteren Plätzen) stehen muss und damit leicht über die vorne sitzende hörgeschädigte Schülerin hinwegspricht.



Abb. 8: U-förmige Anordnung von Sitzplätzen bei kleiner Schülerinnen-Anzahl

Technik erleichtert den Unterrichtsablauf

Wenn eine hörgeschädigte Schülerin mit einer Funkübertragungsanlage ausgestattet ist, wird der räumliche Abstand zur Lehrerin technisch ausgeglichen. Dann kann die Schülerin bei einer U-förmigen Tischanordnung durchaus auch der Tafel gegenüber sitzen und hat damit fast alle Mitschülerinnen und auch die Lehrerin im Blick. Die Gefahr, deren Mundbild nur undeutlich von der Seite zu sehen, wird auf diese Weise auch geringer. Darüber hinaus ist bei der „echten“ U-Anordnung das Mikrofon auch einfacher und störgeräuschfreier herumzugeben. Leider ist das in allgemeinen Schulen wegen der deutlich höheren Klassenfrequenz nur selten möglich.

Welche Auswirkung hat die Nachhallzeit auf den Schallpegel im Raum?

Für einen Klassenraum von etwa $V = 200 \text{ m}^3$ mit einer immer noch recht häufig vorkommenden Nachhallzeit von etwa $T_m = 1,0 \text{ s}$ lässt sich errechnen, dass der vom Sprecher ausgehende Direktschallpegel am hintersten Platz in 6 m Abstand von der Lehrerin etwa 6 dB niedriger liegt als in einem Meter

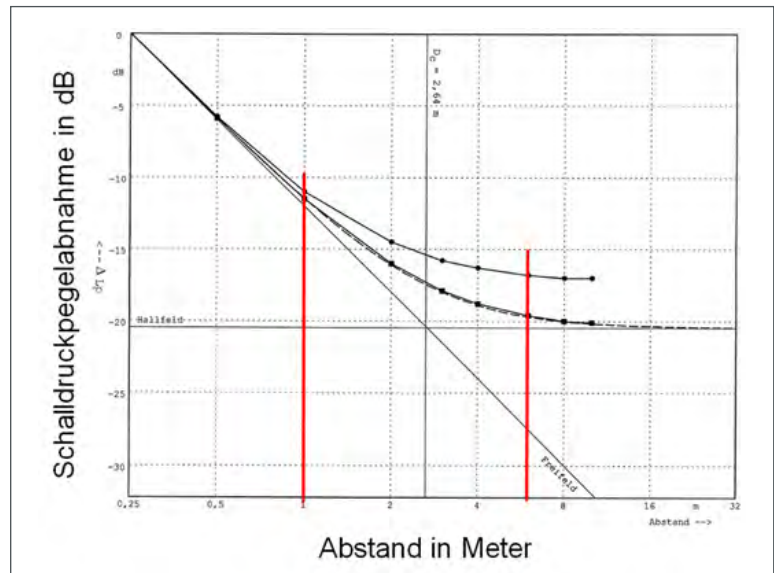


Abb. 9: rechnerisch ermittelte Schallausbreitungskurven für zwei Klassenräume, Abstand logarithmisch aufgetragen

obere Kurve: $T_m = 1,00 \text{ s}$, Pegelabfall bis 6 m um 6 dB gegenüber 1 m Abstand

untere Kurve: $T_m = 0,45 \text{ s}$, Pegelabfall bis 6 m um 9 dB gegenüber 1 m Abstand

Freifeldgerade: Pegelabfall bis 6 m um 16 dB gegenüber 1 m Abstand

Abstand vom Mund (Abnahme von -11 dB auf -17 dB in Abbildung 9, obere Kurve). Bei entspannter Sprechweise beträgt der 1-m-Pegel etwa 65 dB(A), so dass hinten noch etwa 59 dB(A) ankommt. Das Signal/Rausch-Verhältnis am Hörerplatz soll für Hörgeschädigte $S/N \geq 15 \text{ dB}$ sein. Der dort vorherrschende Störschallpegel darf damit nicht mehr als 44 dB(A) betragen. Sind die Schülerinnen lauter, so muss die Lehrerin den Sprechaufwand erhöhen, was über längere Zeit die Stimme sehr beansprucht und schädigen kann. Stimm- und Hörprobleme stellen bei Pädagoginnen die häufigsten Berufskrankheiten dar.

Verringert man durch raumakustische Maßnahmen die Nachhallzeit auf den Norm-Wert von etwa $T_m = 0,45 \text{ s}$, so liegt der Schallpegel am 6 m entfernten Platz etwa 9 dB niedriger als in einem Meter Abstand vom Mund (von -11 dB auf -20 dB in Abbildung 9 untere Kurve), er ist also mit $S = 65 \text{ dB(A)} - 9 \text{ dB} = 56 \text{ dB(A)}$ nochmals um 3 dB leiser. Wo liegt also der Gewinn?

Durch die Verkürzung der Nachhallzeit geht der die Verständlichkeit erschwere Diffusschall-Anteil des Sprachsignals (also ein Teil des Störsignals) zurück. Das ist einer der beiden wichtigen Effekte. Diese nachhallzeitbedingte Pegelabnahme entspricht der Differenz zwischen den beiden Kurven.

Der zweite (häufig noch „durchschlagendere“) Effekt ist, dass die Schülerinnen weniger Störgeräusche erzeugen. Messungen haben gezeigt, dass nicht nur bei gleichem Stimmaufwand der Störgeräusche (durch die kürzere Nachhallzeit) der von ihnen er-

zeugte Schallpegel abnimmt, sondern dass darüber hinaus wegen des geringeren Störschallpegels auch ihr Stimmaufwand zurückgeht (Lombard-Effekt). Deshalb ist die insgesamt eintretende Pegelminderung häufig mehr als doppelt so groß wie rechnerisch zu erwarten. Wenn aber durch eine Nachhallzeitverkürzung von 1,0 s auf 0,45 s eine Störgeräuschpegelminderung um (z. B.) 7 dB eintritt, dann erreicht man bei gleichem Stimmaufwand der Lehrerin eine größere Sicherheit gegen Störgeräusch-Verdeckung des Nutzsignals. Sehr eindrücklich wurde dies in der Essex-Studie [5] gemäß Abbildung 6 belegt. Durch diesen Effekt verringert sich die Stimmbelastung der Pädagoginnen (je nach Ausgangssituation bisweilen erheblich). Wie sehr sich raumakustische Maßnahmen in diesem Sinne bewähren, haben Oberdörster und Tiesler [19] schon 2006 nachgewiesen.

Wenn in einem Klassenraum für ein Kind mit Hörschädigung die raumakustische Ausstattung nachgerüstet wurde, möchten die Schulträger bisweilen auch einen „Beweis“ für die erreichte Verbesserung vorgelegt bekommen. Dann ist es durch Vorher-Nachher-Messungen im selben Klassenraum oder durch vergleichsweise Messungen in einem benachbarten möglich, außer der Nachhallzeit auch die Pegelabnahme im Raum und den Sprachübertragungsindex STI zu erfassen. Weil bei diesen Messungen

Abb. 10: Klassenräume ohne (oben) und mit Nachrüstung (unten)



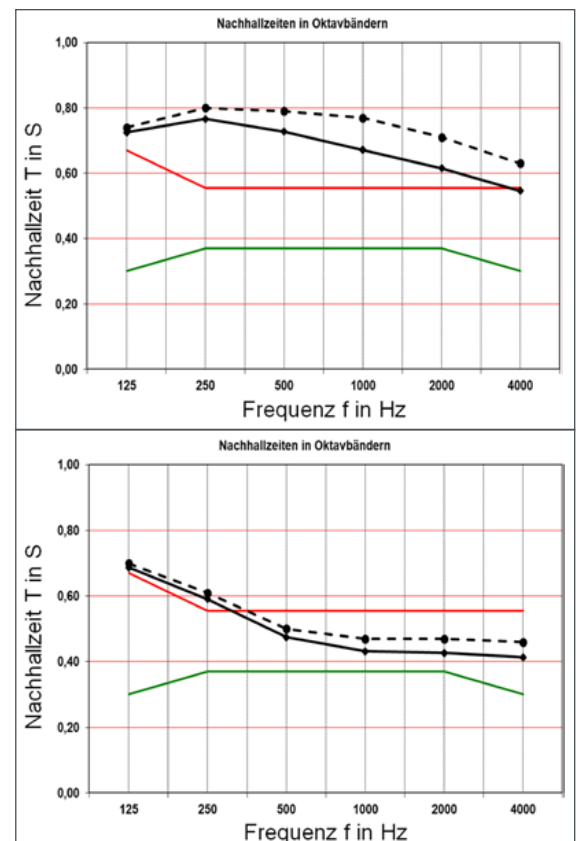
die Klassenräume unbesetzt sind, zeigt die vergleichende Schallpegelmessung die Wirkung der verringerten Nachhallzeit-Schleppe und die nach hinten hin immer größere Zunahme des STI gegenüber dem halligeren Klassenraum.

Fotos aus zwei benachbarten Klassenräumen zeigt Abbildung 10. Deutlich ist zu erkennen, dass durch die nachgerüsteten weißen Deckenplatten als positiver Nebeneffekt der Klassenraum heller wirkt. Das hat wiederum Auswirkungen auf die Erkennbarkeit von Tafel-Anschrieben und auch beim Absehen des Mundbildes bei der Lehrerin oder den Mitschülerinnen.

Für die Erfassung der Schallpegelverteilung und des Sprachübertragungsindex wird ein Messlautsprecher, dessen Richtwirkung etwa der des menschlichen Mundes entspricht, in ca. 1,5 m Höhe aufgestellt. Dies entspricht in etwa der Mundhöhe der Sprecherin. Diese Apparatur ist so kalibriert, dass das Messsignal, ein modulierte Rauschen, in 1,0 m Abstand im Freifeld einen Schalldruckpegel von L_p

Abb. 11: Nachhallzeiten der beiden Klassenräume ohne (oben) und mit Nachrüstung (unten) nach Abbildung 10 mit Toleranzbereich nach DIN 18041 für Raumgruppe A4

gestrichelt - gemessen unbesetzt
durchgezogen - berechnet für 80% Besetzung
rot - obere Toleranzbereichsgrenze
grün - untere Toleranzbereichsgrenze



= 63 dB(A) erzeugt. An den jeweiligen Empfangspunkten auf gerader Linie mit jeweils 1 m Abstand wird das Messmikrofon auf einem Stativ fest aufgestellt, um Mess-ungenauigkeiten durch leichte Bewegungen zu vermeiden. Bei jeder Messung werden gleichzeitig der STI (Verringerung der Signalmodulation auf dem Übertragungsweg von der Quelle zum Hörer) und der in dieser Messzeit einwirkende mittlere Sprachschallpegel erfasst.

In diesem Fall hat sich bei einer (leider nur teilflächigen) Belegung der Decke mit Schaumstoffplatten die mittlere Nachhallzeit im unbesetzten Zustand von $T_m = 0,75$ s verringert auf $T_m = 0,50$ s, also um ein Drittel. Die direkt angeklebten nur 40 mm dünnen Schaumstoffplatten haben zudem bei den tiefen Frequenzen nur wenig Wirkung.

Durch die kürzere Nachhallzeit verringert sich der Diffusfeld-Schallpegel gemäß Abbildung 12 um etwa 2 dB. In diesem Diagramm liegt die rote Kurve für den Ausgangs-Zustand oben. Im Unterschied zu den Abbildungen 5 und 9 mit (wegen der Hallfeld-Geraden) logarithmischem Abstand ist hier der Abstand linear aufgetragen. Deutlich ist zu erkennen, dass bei natürlicher Schallausbreitung (also ohne Unterstützung durch Lautsprecher) der Pegel von vorne nach hinten nur wenig abfällt.

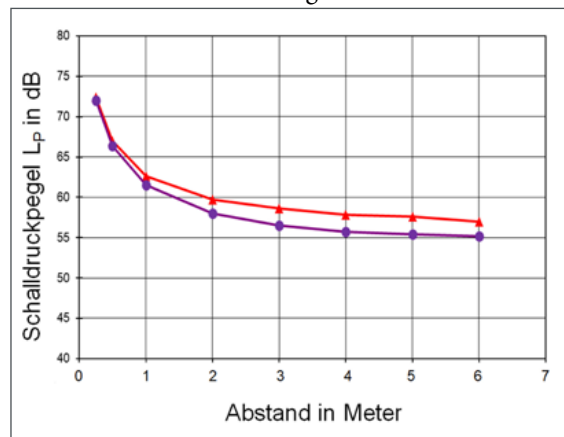


Abb. 12: Messung der Schallpegelabnahmen in den Klassenräumen, Abstände linear aufgetragen

obere Kurve: Klassenraum im Ausgangszustand

untere Kurve: Klassenraum im nachgerüsteten Zustand, Pegeldifferenz ca. 2 dB

Die Messungen des Sprachübertragungsindex STI finden im unbesetzten Raum – und damit auch ohne Störgeräusche von dritter Seite – statt. Sie kennzeichnen also nur die Qualität des Klassenraumes aber nicht die Situation im Unterricht. Der STI für beide Klassenräume ist in Abbildung 13 dargestellt. Jetzt liegt die rote Kurve für den Ursprungs-Zustand unten. Deutlich ist zu erkennen, wie sehr sich der STI – insbesondere bei den weiter entfernten Plät-

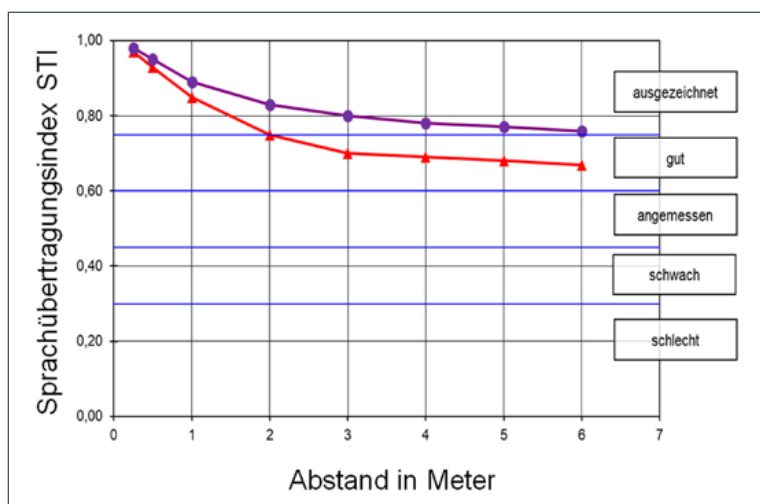


Abb. 13: Messung des Sprachübertragungsindex STI in den Klassenräumen, Abstände linear aufgetragen

untere Kurve: Klassenraum im Ausgangszustand

obere Kurve: Klassenraum im nachgerüsteten Zustand, bis zu den hinteren Sitzplätzen bleibt STI > 0,75

zen – gegenüber dem Ausgangszustand verbessert. Er fällt (ohne die von den Schülerinnen erzeugten Störgeräusche) nicht unter 0,75, entsprechend einer Einstufung als „ausgezeichnet“. Müller [20] hat bereits 2002 einen Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der PISA-Studie und den mittleren raumakustischen Situationen in den verschiedenen Ländern nachgewiesen.

Welche Anforderungen bestehen für die Auswahl der Absorber?

Der Schallabsorptionsgrad der einzubauenden Materialien ist natürlich ein ganz wesentliches Kriterium, aber bei weitem nicht das einzige. Bei den unterschiedlichsten Beratungsaufgaben der vergangenen Jahre wurden von verschiedenen Seiten folgende Anforderungen immer wieder benannt (ohne Anspruch auf Vollständigkeit):

- hochgradige und breitbandige Schallabsorption
- gute Lichtreflexion
- optisch ansprechend
- hohe mechanische Stabilität
- Brandschutz-Klassifizierung mindestens B1
- Allergie, Hygiene und Reinigung
- Umweltverträglichkeit
- geringe Konstruktionshöhe (Decke ca. 150...200 mm, Wand ca. 40...100 mm)
- gängige Rastermaße mit wenig Verschnitt aber optimaler Ausnutzung der Flächen
- schnelle Verfügbarkeit
- handwerksübliche Konstruktionen
- schneller Einbau (gegebenenfalls auch in Eigenhilfe)
- günstiger Preis

Wie kann man bestehende Räume ergänzen?

Für Räume, die für eine Integrative Beschulung hörgeschädigter Schülerinnen umgebaut und angepasst werden sollen, muss zunächst erfasst werden, welche Maßnahmen über den Bestand hinaus noch zusätzlich erforderlich sind.

Wo liegt der Klassenraum im Gebäude?

Zur Störgeräuschvermeidung ist es hilfreich, wenn ein Klassenraum für Hörgeschädigte sich nicht an der Außenlärm-Seite des Gebäudes befindet. Wegen der besonderen Empfindlichkeit gegen Störgeräusche könnte man dann nicht einmal zeitweise die Fenster öffnen, auch wenn dies wegen der aktuellen Witterungsbedingungen wünschenswert wäre.

Wie ist es mit der Himmelsrichtung?

Wenn aufgrund der Klassenraumform damit zu rechnen ist, dass sich die Lehrerin oder Mitschülerinnen im Gegenlicht befinden können, so ist für das Absehen vom Mund ein (günstigerweise außenliegender) Blendschutz notwendig. Die Lage auf der Außenseite führt zu einer geringeren Raumerwärmung bei Sonneneinstrahlung und der Sonnenschutz ist auch dem Zugriff durch die Schüler entzogen. Alternativ sind auch Vorhänge denkbar (sogar mit geringen akustischen Vorteilen). Sie lassen aber die Sonnenwärme zunächst ungehindert in den Klassenraum. Weiterhin ist die Gefahr der Beschädigung größer.

Liegt ein Standard-Klassenraum vor?

Wenn das Volumen des aktuell zu betrachtenden Klassenraumes etwa mit dem Standardvolumen übereinstimmt, können alle Flächenangaben direkt übernommen werden. In anderen Fällen sind sie proportional umzurechnen.

Ist ein Teppich vorhanden?

Wenn im Klassenraum ein Teppichboden verlegt ist, ist damit eine Maßnahme erfolgt, die sich gleichermaßen auf die Störgeräuschvermeidung (Füßscharren, Sohlenquietschen, Stühlerücken, Schnallenklappern, umfallende Ranzen und dergleichen) und auf die Schallabsorption einer der beiden größten Flächen des Raumes bezieht. Bei Räumen, die noch nicht mit Teppichboden ausgestattet sind, ist dessen Einbau oft als erste Maßnahme anzustreben. Filzgleiter unter Tisch- und Stuhlbeinen helfen zunächst vor dem größten Lärm.

Ist eine schallabsorbierende Unterdecke vorhanden?

Als nächstes ist zu prüfen, ob der Raum bereits eine schallabsorbierende Unterdecke aufweist oder nicht. Wenn diese erstmalig eingebaut werden muss, gelten

die für den Neubau beschriebenen Hinweise. Bei vorhandener Unterdecke ist zu prüfen ob und wie weit sie den obigen Anforderungen entspricht. Hart vorgepresste Deckenplatten aus Mineralfaser (oder auch alte Holz-Weichfaserplatten mit Anstrich) haben häufig einen sehr hohen längenbezogenen Strömungswiderstand. Sie reflektieren deshalb einen größeren Anteil der auftreffenden Schallenergie, so dass der Absorptionsgrad geringer ist als bei weich gepressten Mineralfaserplatten oder Schaumstoffplatten. Direkt an der Rohdecke montierte (häufig schon sehr alte) Platten haben deutlich geringere Wirkung als moderne abgehängte Decken. Auch perforierte Abdeckungen vor Schallabsorptionsmaterial (z. B. Gipskartonlochplatten) reflektieren in den Stegbereichen einen Teil der hochfrequenten Schallenergien, deren Abbau zur Störgeräuschvermeidung für Hörgeschädigte besonders wichtig ist. Somit wird mit derartigen Platten (auch abhängig vom Lochflächenanteil) vielfach nicht die optimale Situation erzielt.

Ist die schallabsorbierende Unterdecke noch wirksam?

Schließlich gibt es auch eine Situation, mit der die Wirkung „eigentlich guter“ schallabsorbierender Deckenplatten zunichte gemacht worden sein kann. Dies ist dann der Fall, wenn bei Klassenraumrenovierungen (häufig durch die Elternschaft) auch die Schallabsorptionsplatten an der Decke mit angestrichen werden. Da die Platten sehr saugfähig sind, müssen mehrere Anstriche aufgetragen werden, bis die Platten wieder fleckenlos sind. Dann heißt es oft „Der Raum hört sich ganz anders an“. Durch diesen mehrfachen Farbaufrag werden die Poren verschlossen, der Schall wird an der Oberfläche reflektiert und nicht innerhalb des Plattengefüges absorbiert. Dadurch wird der Schallabsorptionsgrad der Deckenplatten ganz erheblich verschlechtert. In diesem Fall ist eine Sanierung der Deckenplatten nur durch Austausch möglich, gegebenenfalls unter Beibehaltung der Tragschienenkonstruktion. Generell sollte man dann bei einer Deckenerneuerung Platten mit einem breitbandig möglichst hohen Schallabsorptionsgrad einbauen.

Wo muss die schallabsorbierende Unterdecke angebracht werden?

Oben wurde bereits erwähnt, dass hochgradig schallabsorbierende Deckenplatten bei Standard-Klassenräumen mit 200 m³ für den hörgerechten Unterricht mindestens etwa 80 % der Grundfläche umfassen sollten. Die verbleibenden 20 % schallharter (oder tieffrequent absorbierender) Fläche sind entsprechend Abbildung 14 vorzugsweise in Tafel-

nähe zu belassen.

Die Schallabsorptionsplatten fast aller Hersteller haben Standardformate im Raster von 62,5 cm. Wenn die Raumbreite nicht dazu passt, so kann man bei einem z. B. 7,80 m breiten Raum zwölf vollformatige Platten (= 7,50 m) verwenden aber die restlichen 30 cm unbelegt lassen und auf beidseitig 15 cm ausmitteln. Auch an der Rückwand wird man dann einen entsprechenden Abstand wählen und auf diese Weise ein „eingehängtes Deckensegel“ schaffen. Damit vermeidet man einerseits Passelemente mit Platten- und Schienenzuschnitten, ist andererseits von der Höhe der Stürze über den Fenstern unabhängig und kann schließlich auch die Vorhangschieen davor unverändert lassen. Man „verschenkt“ damit aber die besonders wirksamen Randbereiche, die man auch gut als sogenannte „Tiefenabsorber“ nutzen kann (Auflage von 100 mm Mineralwolle im Deckenhohlraum entlang der Flurwand und der hinteren Querwand). Bei Hausmeistern und beim Reinigungspersonal ist der offene Rand wegen möglicher Schmutzablagerungen und wegen des Hinaufwerfens von Gegenständen nicht beliebt. Wenn aus diesem Grunde rundum vertikale Abschottungen hergestellt werden müssten, ist es im Allgemeinen kostengünstiger, die Decke an den Rändern bis an die Wände heranzuführen und Plattenzuschnitte in Kauf zu nehmen.

Abb. 14: Beispiel für die Anordnung eines schallabsorbierenden „Deckensegels“ aus Mineralfaserplatten im Standardformat 62,5 cm und eines Rückwandpaneels in einem typischen Klassenraum

oben: Deckenspiegel, umlaufend offener Randfries, links Tafel, oben Flurseite, rechts Rückwand, unten Fensterseite
unten: Längsschnitt mit Blick zur Flurwand, links Tafel, rechts Rückwand

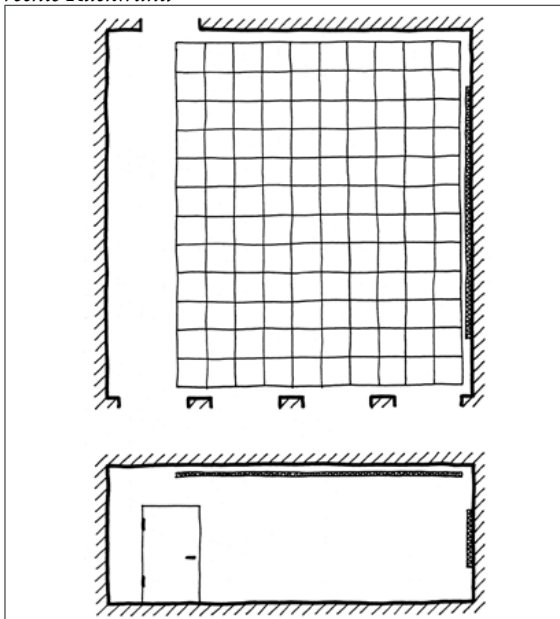


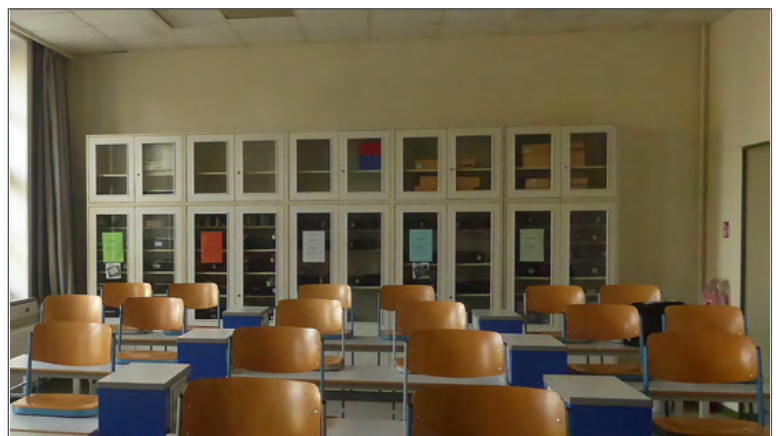
Abb. 15: Beispiel für eine Klassenraum-Rückwand mit diffus streuenden Regalen

Kann man Rückwandpaneele anbringen?

Eine zusätzliche Absorptionsfläche an der Raumrückwand macht aus einem mit den oben beschriebenen Maßnahmen schon guten Klassenraum einen, der von der Lehrerschaft üblicherweise als „sehr gut“ eingestuft wird [15]. Vorab ist aber zu prüfen, ob diese Fläche überhaupt für eine Verkleidung verfügbar ist. Sofern vor dieser Wand geschlossene Schränke stehen, ist „dahinter“ eine absorbierende Verkleidung nicht sinnvoll. Bisweilen werden aber – insbesondere in der Primarstufe – auch offene Regale mit Unterrichtsmaterial oder Bastelarbeiten aufgestellt. Dort ergibt sich aufgrund der diffusen Schallstreuung bereits eine deutlich günstigere raumakustische Situation, als bei geschlossenen Wand- oder Schrankflächen, siehe Abbildung 15. In diesen Fällen sollte man absorbierende Rückwandflächen in einem zweiten Ausbauschritt vorsehen.

In Fach-Klassenräumen für naturwissenschaftlichen (NaWi) Unterricht stehen häufig an der Rückwand Sammlungsschränke. Auch wenn damit die optimale Anbringungsfläche für schallabsorbierende Wandpaneele verdeckt ist (Abbildung 16), sollte

Abb. 16: Bsp. für eine NaWi-Raum-Rückwand mit Sammlungs-Schränken vor der Nachrüstung, oben und seitlich Platz für schallabsorbierende Wandpaneele



man dennoch keinesfalls darauf verzichten, an den senkrechten Flächen darüber und ggf. auch daneben Absorber anzubringen.

Zusammenfassung

Abschließend sind die für den Neubau oder die Ergänzung von Klassenräumen zur inklusiven Beschulung hörgeschädigter Schülerinnen erforderlichen Maßnahmen noch einmal stichwortartig zusammengestellt, vergleiche auch [16]:

- Störgeräuschpegel von außen oder aus benachbarten Räumen sollen so niedrig wie möglich gehalten werden,
- ein Teppichboden im Klassenraum verringert den Störgeräuschpegel, dadurch ergeben sich auch erste positive Auswirkungen auf die Nachhallzeit,
- Nachhallzeit für die inklusive Beschulung hörgeschädigter Schülerinnen sollte nicht „optimal nach DIN“, sondern so kurz wie möglich sein,
- dafür eine hochgradig schallabsorbierende Decke möglichst vollflächig einbauen,
- Schallreflexionen von der Rückwand vermeiden, dazu absorbierende oder (z. B. durch offene Regale) diffus reflektierende Wandfläche gegenüber der Tafel anbringen,
- das Zwei-Sinne-Prinzip unterstützen (das Auge hört mit); deshalb geeigneten Sitzplatz für die hörgeschädigte Schülerin wählen, sowohl zum Hören als auch für das Sehen zur Tafel, zur Lehrerin und zu den Mitschülerinnen,
- die Tafel und die Gesichter gut beleuchten, aber Blendungen vermeiden,
- auch in abgedunkelten Räumen (z.B. bei Präsentationen) muss der Sprecherinnen-Mund erkennbar sein.
- Hörassistenzsysteme benutzen.

Abschließend ist noch einmal darauf hinzuweisen, dass die beschriebenen raumakustischen Verbesserungen sich nicht nur für die hörgeschädigte Schülerin, sondern auch für alle guthörenden Mitschülerinnen positiv auswirken und für die Lehrerinnen einen erheblichen Beitrag zur Arbeitsplatz-Ergonomie liefern. Auch für sie verbessert sich die Sprachverständlichkeit, wobei man insbesondere bedenken muss, dass hörgeschädigte Schülerinnen häufig anders oder nicht so gut artikulieren wie guthörende Mitschülerinnen. Darüber hinaus muss nach den derzeit vorliegenden Kenntnissen davon ausgegangen werden, dass auch ein erheblicher Anteil der Lehrerinnen (zum großen Teil leider ohne es zu wissen) schwerhörend ist.

Wenn die Klassenräume an einer Schule für Aufnahme von Kindern mit Behinderung erst noch nachgerüstet werden müssen, dann darf man eigentlich

nicht von Inklusion sprechen, sondern nur von Integration. Johannes Eitner, langjähriger Leiter der Hamburger Elbschule hat es so formuliert: *Inklusion beginnt dann, wenn wir aufhören „sortiert“ zu denken.*

Ein Appell zum Schluss

Eine Hörbehinderung ist eine unsichtbare Behinderung und wird daher immer wieder vergessen. Hörbehinderte fragen auch nicht immer nach, wenn sie etwas nicht verstehen. Häufig wissen sie gar nicht, dass sie etwas überhört haben. Daher müssen die Lehrerin und die Mitschülerinnen sich der Probleme sehr bewusst sein. Wenn die Schülerin mit Hörschädigung über Hörassistenzsysteme zusätzlich zu den Hörgeräten/CIs verfügt, z. B. eine Funkübertragungsanlage, sollte die Lehrerin sie auch unbedingt einsetzen. Persönliche Befindlichkeiten, sollten hinter dem angestrebten Unterrichts- und Lernerfolg zurückstehen. Je entspannter die Schülerin dem Unterricht folgen kann und je besser der „Hörstress“ vermieden wird, desto besser wird die Schülerin das Dargebotene verarbeiten und desto größer werden auch ihre Freude und der Erfolg am Lernen sein. Das gilt (natürlich) auch für alle Mitschülerinnen.

Bei Inklusion im Bildungsbereich geht es nicht mehr um das OB und auch nicht um das WARUM, sondern nur noch um das WIE (und natürlich um das WANN ENDLICH). Für das WIE gibt der vorliegende Beitrag eine Anleitung, mit gezielten Maßnahmen ohne großes Probieren und mit vernünftigem Einsatz der begrenzten Geldmittel eine raumakustisch gute Lösung schnell zu erreichen. In manchen Fällen sind sicher auch spezielle Lösungen notwendig, aber eine Vielzahl der Räume in Bildungsstätten (und in gleicher Weise natürlich auch in Kinder-Tages-Einrichtungen) wird mit den hier beschriebenen Maßnahmen gut abgedeckt.

Keinesfalls soll hier der Eindruck erweckt werden, als ob Inklusion ausschließlich in allgemeinen Schulen erfolgen kann. Die Entscheidung, ob ein Kind die Regelschule oder ein Förderzentrum besuchen soll, treffen Eltern und Pädagogen gemeinsam. Auch haben erste Projekte zur „Inklusion anders herum“ (mit guthörenden Kindern an Förderzentren) begonnen und zeigen hervorragende Erfolge. Hier sind lediglich die (in allen Fällen erforderlichen) akustischen und technischen Notwendigkeiten und deren Lösungen beschrieben.

„In der Klassenraumakustik gibt es kein wissenschaftliches Erkenntnisproblem mehr, sondern nur (und noch immer) ein Umsetzungsproblem.“

Christian Nocke, Vorsitzender des Normenausschusses DIN 18041

Literatur

- [1] Sohn, Wolfgang: Schwerhörigkeit in Deutschland, Repräsentative Hörscreening-Studie 1999, DSB-Report 3/2000, Seiten 10 bis 14
- [2] Plath, Peter: Lexikon der Hörschäden, Edition Harmsen, Heidelberg 1993
- [3] DIN 18040-1:2010-10 „Barrierefreies Bauen, öffentlich zugängliche Räume“
- [4] Zwicker, E. und Feldtkeller, R.: Das Ohr als Nachrichtenempfänger, 2. Auflage, S. Hirzel, Stuttgart, 1967
- [5] DIN 4109-1:2018-01 „Schallschutz im Hochbau, Anforderungen“
- [6] D. Canning, A. James; Essex Study Final Report – „Optimised classroom acoustics for all“, London South Bank University, 2012, published by: The Association of Noise Consultants, The Old Pump House, 1A Stonecross, St Albans AL1 4AA, (dort Figure 11 – sound levels as a function of RT).
- [7] Nocke, C. (Hrsg.); Kirchner, T.; Moll, A.; Neubauer, R.; Ruhe C.: Kommentar zu DIN 18041, Beuth-Verlag, Berlin, 2018
- [8] Walger M, Tibussek D, Meister H, von Wedel H: Über den Einfluss peripherer Hörstörungen auf die Reifung der FAEP bei Kindern, Posterpräsentation, Jahrestagung Deutsche HNO-Gesellschaft, Aachen, 1999
- [9] DIN 18041:2016-03 „Hörsamkeit in Räumen“
- [10] Meis, Uygun, Janott, Hemmer-Schanze, Kahler, Hilge, Schick: Zur Wirkung von aktiven und passiven raumakustischen Maßnahmen auf die Geräuschwahrnehmung und Lebensqualität von Schülern: Ergebnisse aus einer prospektiven Längsschnittstudie, Aachen, DAGA 2003
- [11] UN-Konvention über die Rechte von Menschen mit Behinderungen, Convention on the Rights of Persons with Disabilities (CRPD), vom 13.12.2006. Resolution 61/106 der Generalversammlung der UNO. In Kraft getreten am 03.05.2008, ratifiziert am 26.03.2009, hier Artikel 24 (Bildung)
- [12] Gesetz zur Gleichstellung behinderter Menschen und zur Änderung anderer Gesetze (Bundes-Behinderten-Gleichstellungsgesetz, BBGG) vom 27. April 2002, Bundesgesetzblatt 2002 Teil I Nr.28 vom 30. April 2002 und entsprechende Landesgesetze
- [13] Behr, Thomas: Raumakustische Maßnahmen bei der Sanierung von Altbauten der Baualtersgruppe 1860 - 1920, IEMB 2001
- [14] Mecklenburg-Vorpommern, Sozialministerium: Leitfaden Raumakustik in Unterrichtsräumen - ein aktuelles Thema der Schulhygiene - (Auswirkungen auf die Sprachverständlichkeit und Stimmbelastung), Verf.: H. Schottke, März 2001
- [15] Ruhe, Carsten: Schallabsorbierende Wandpaneele? Ein MUSS in der Klassenraum-Akustik! DAGA-Proceedings (2019-04, S 1325 – 1328)
- [16] Ruhe, Carsten; Kiupel, Kathrin: refeRATgeber 6 „Hörgeschädigte Kinder in allgemeinen Schulen“ (4. Aufl. 2018) DSB Deutscher Schwerhörigenbund e. V., Fachreferat Barrierefreiheit
- [17] ASR A3.7 Technische Regeln für Arbeitsstätten – Lärm, Mai 2018
- [18] Löwe, Armin: Pädagogische Hilfen für hörgeschädigte Kinder in Regelschulen, Universitätsverlag C. Winter, Heidelberg 1996,
- [19] Markus Oberdörster, Gerhart Tiesler: Akustische Ergonomie der Schule, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Fb 1071 (2006)
- [20] Müller, René Jacques: Pisa-Studie und Schul-Akustik, HörPäd 4/2002, Seiten 149 bis 153 ■



Carsten Ruhe
*hörgerecht planen
und bauen,
Prisdorf*

Das Ganze sehen.



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

Messung · Planung · Berechnung · Beratung · Gutachtenerstellung · Troubleshooting

Maschinendynamik:

- Anlagenschwingungen
- Dauerüberwachung
- Schwingungsisolierungen

Erschütterungen:

- Bauwerksdynamik
- Rammarbeiten
- Dauerüberwachung

Strömungstechnik:

- Pulsationen
- Mengemessfehler
- Strömungssimulation

Immissionsschutz:

- Lärminderungsplanung
- Verkehrslärm
- Gewerbe-/Freizeitlärm

Pulsationsstudien:

- Rohrleitungsschwingungen
- Kolben- und Turbokompressoren
- Kolbenpumpen

Windenergie:

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

Technische Akustik:

- Forschung & Entwicklung
- Technischer Schallschutz
- Konstruktionsakustik

Bauphysik:

- Bauakustik
- Raumakustik
- Bauteilprüfung

www.koetter-consulting.com

MEMS-Lautsprecher — Ein Paradigmenwechsel

Daniel Beer, Andrea Rusconi, Fabian Stoppel, Lutz Ehrig

Mit der steigenden Nachfrage für Kopfhörer-bezogene Audio-Wiedergabe sind auch die Anforderungen an die darin verwendeten Lautsprecher (Wandler) gestiegen. Kleiner, leichter und billiger sollen sie werden und bei dennoch großem Klang möglichst wenig elektrische Energie benötigen. Neben den zwei vorrangig eingesetzten Lautsprechertypen, nämlich dem elektrodynamischen und dem Balanced Armature (insbesondere Hörgeräte), werden zunehmend die sogenannten MEMS-Lautsprecher in Betracht gezogen. Wenngleich die Historie zeigt, dass bereits in den 90er-Jahren MEMS-Lautsprecherkonzepte existierten, so ist es erst in den Jahren 2018/2019 gelungen, überzeugende Demonstratoren bzw. fertige Produkte mit diesen auszustatten. Anhand von drei aktuellen MEMS-Lautsprecherkonzepten wird das große Potenzial dieser Technologie für die genannten Herausforderungen aufgezeigt.

MEMS loudspeakers — A paradigm shift

With the increasing demand for headphone-related audio reproduction, the requirements for the loudspeakers (transducers) have also increased. They should become smaller, lighter and cheaper, while requiring as little energy as possible to produce great sound. In addition to the two primarily used loudspeakers, namely the electrodynamic and balanced armature (especially hearing aids), so-called MEMS loudspeakers are being increasingly considered. Although history shows that MEMS loudspeaker concepts already existed in the 1990s, it was not until 2018/2019 that convincing demonstrators or finished products were equipped with them. Three current MEMS loudspeaker concepts are presented to demonstrate the great potential of this technology for the challenges mentioned above.

Einleitung (Daniel Beer)

Seit die ersten funktionsfähigen MEMS-Lautsprecher zur Charakterisierung am Fraunhofer-Institut für Digitale Medientechnologie IDMT eintrafen, ist dieser Technologiebereich ein wichtiges Thema in der Forschergruppe Elektroakustik in Ilmenau. Mit nunmehr vier Partnern aus Forschung und Industrie begleitet das Fraunhofer IDMT die Entwicklung dieser spannenden und zukunftsweisenden Technologie.

Da sich zunehmend Unternehmen mit der Entwicklung von MEMS-Lautsprechern befassen bzw. diese als Produkte auf den Markt bringen, beschreibt dieser Artikel drei ausgewählte aktuelle MEMS-Lautsprecherkonzepte.

Marktpotenzial Portable Audio

Ob Smartphones, Kopfhörer oder Hearables: Die weltweite Nachfrage nach portablen Audiogeräten ist in den letzten Jahren deutlich gestiegen, und es besteht weiterhin ein hohes Wachstumspotenzial. Nach einer aktuellen Studie des Marktforschungsunternehmens GfK sind Kopfhörer und Headsets nach wie vor die größten Wachstumstreiber auf dem globalen Markt für Audiogeräte [1] und verzeichneten im Jahr 2018 – gegenüber dem Vorjahr – einen um fast 40 % gestiegenen weltweiten Gesamtumsatz auf rund 14 Milliarden Euro [2].

Die Funktionsvielfalt heutiger Geräte geht weit über grundlegende Anwendungen hinaus und wird in den kommenden Jahren weiter zunehmen. Bestand bei Kopfhörern bisher bereits ein Mehrwert in der Integration von Bluetooth und Active Noise Canceling (ANC), so dreht sich die Entwicklung des zukünftigen Kopfhörers um Zusatzfunktionen wie Sprachbefehlssteuerung, selektives Hören (Smart ANC) und automatische Klangverzerrung. Zahlreiche Smartphone-Hersteller wie auch immer mehr Start-ups gehen in Ihren Entwicklungen noch einen Schritt weiter und bringen Kopfhörer mit weitaus mehr Funktionen als gewöhnliche Bluetooth-Kopfhörer auf den Markt. Diese sogenannten Hearables sind sprachgesteuert und bieten neben den klassischen Diensten, wie Telefonieren, Musikhören und ANC, auch Funktionen von heutigen Simultanübersetzern, Navigationssystemen und intelligenten persönlichen Assistenten (z. B. Alexa, Siri, Cortana). Auf dem weltweiten Markt der Wearables wird den Hearables in den kommenden Jahren ein starkes Wachstum prognostiziert. Allein im zweiten Quartal 2019 gehörten die Hearables mit einem Anteil von 46,9 % zu dem am schnellsten wachsenden Produktsegment im Wearable-Markt. In 2018 betrug dieser lediglich 24,8 % [3].

Wenngleich Hörgeräte nicht auf den ersten Blick in die Kategorie portabler Audiogeräte zählen, so stre-

ben die Hersteller auch hier eine Erweiterung der Funktionsvielfalt an. Dadurch soll zum einen dem Hörgeräteträger die Ankopplung bzw. Nutzung zusätzlicher Dienste ermöglicht und zum anderen die Attraktivität und damit die Nutzerakzeptanz – es ist eben nicht nur eine Hörhilfe als Prothese – gesteigert werden.

Die zunehmende Funktionalität und Miniaturisierung dieser Geräte stellen hinsichtlich der technischen Realisierung neue Herausforderungen an die Komponenten- und Systementwickler. Die einzelnen Komponenten müssen demnach in ihrer Größe reduziert bzw. ineinander integriert werden, ohne die Leistungsfähigkeit, wie etwa die Klangqualität und die Akkulaufzeit zu beeinträchtigen. Folglich müssen die aktiven Komponenten sehr viel effizienter arbeiten. Zudem verlangt der Markt nach Geräten, welche zum etablierten Preis der Vorgängermodelle den erweiterten Funktionsumfang bieten.



Abb. 1: Die vielversprechenden Einsatzbereiche für MEMS-Lautsprecher sind aus heutiger Sicht Kopfhörer, Hearables, Headsets und Hörgeräte, nach [4].

Elektroakustische Anforderungen an den Lautsprecher

Eine wesentliche Rolle spielen bei portablen Audiogeräten die elektroakustischen Komponenten Mikrofon, Lautsprecher und die zugehörige Signalverarbeitungseinheit. Der Lautsprecher eines In-Ohr-Kopfhörers muss im Ohr einen bestimmten Schalldruckpegel generieren. In Abb. 2 ist ein Ohrkanal skizziert, der links von einem In-Ohr-Kopfhörer und rechts vom Trommelfell abgeschlossen wird. Durch die Bewegung der Lautsprechermembran des In-Ohr-Kopfhörers wird Schall im Ohrkanal generiert. Unter der Annahme eines komplett vom In-Ohr-Kopfhörer verschlossenen Ohrkanals (1280 mm^3 Volumen) skizziert Abb. 3 die erforderliche Membranauslenkung für einen bestimmten Schalldruckpegel. Die Größe der Lautsprechermembran

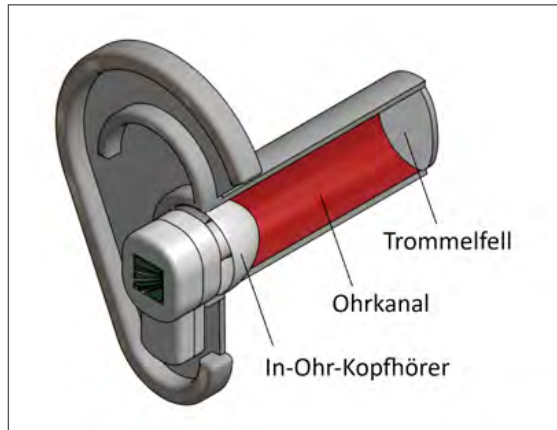
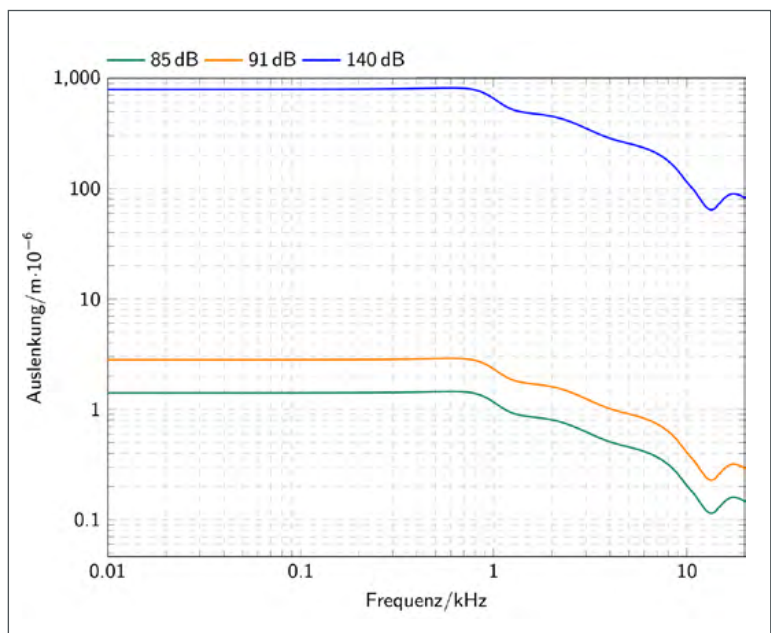


Abb. 2: Skizziertes Szenario eines Ohrkanals mit In-Ohr-Kopfhörer [5].

beträgt immer 10 mm^2 .

Für einen Schalldruckpegel von 85 dB, im Frequenzbereich 10 Hz bis ca. 800 Hz, ist eine Membranauslenkung (kolbenförmig) von etwa $1,5 \text{ }\mu\text{m}$ erforderlich. 91 dB werden mit ca. $3 \text{ }\mu\text{m}$ und 140 dB mit ungefähr $800 \text{ }\mu\text{m}$ erzielt. Gegenüber der erforderlichen Membranauslenkung eines Hifi-Lautsprechers sind diese Werte sehr klein. Der Kopfhörerlautsprecher profitiert von seiner unmittelbaren Nähe zum Trommelfell und der nahezu vollständigen Schallabstrahlung in den Ohrkanal. Bei einem Hifi-Lautsprecher ist der typische Hörabstand wesentlich größer und nur ein Bruchteil des Schalls erreicht den Ohrkanal. Neben dem Schalldruckpegel werden an einen Lautsprecher für Kopfhörer bzw. Hörgeräte

Abb. 3: Erforderliche Membranauslenkung (Kolbenmembran, 10 mm^2 Fläche) zum Erzeugung von 85 dB, 91 dB und 140 dB im geschlossenen Ohrkanal (1280 mm^3 Volumen) [5].



Tab. 1: Mindestlautsprecheranforderungen in den Applikationen Kopfhörer/Hearable und Hörgerät, nach [6-10].

Parameter	In-Ohr-Kopfhörer/ -Hearables	Hörgerät (klassisch)
Schalldruckpegel (max.)	≥ 110 dB (Ohrsimulator)	≥ 120 dB (Ohrsimulator)
Klirrfaktor (THD) @ max. SPL	< 1 %	< 5 %
Frequenzbereich (f_{Grenz} @ -20 dB)	20 Hz - 20 kHz	100 Hz - 6 kHz
Kennschalldruckpegel	105 dB/1 mW	105 dB/1 mW
Batterielebensdauer (System)	–	100 h (Zink-Luft-Batterie)
Akku-Betrieb (System mit Streaming)	4 h - 10 h	14 h
Versorgungsspannung	3,6 V (Lithium-Polymer)	3,6 V (Lithium-Polymer)
Größe	($\varnothing$, H) 7 mm - 14 mm, 3 mm - 8 mm	(LxBxH) 9 mm x 6 mm x 3 mm
Gewicht	≤ 2 g	< 1 g
Elektronisch entzerrt/ geregelt	produktabhängig	nein
Preis	< 3 USD	< 5 USD

noch weitere Anforderungen gestellt. In Tab. 1 sind beispielhaft Mindestanforderungen für den jeweiligen Einsatzbereich aufgeführt. Die akustischen Parameter beziehen sich jeweils auf die Messung in einem Ohrsimulator, z.B. DIN EN 60318-4, der dem menschlichen Ohrkanal nachempfunden ist.

Für die meisten Kopfhörerapplikationen wird bisher der Lautsprecher mit elektrodynamischem Wandlerprinzip [11-14] eingesetzt. In Abb. 4 ist ein In-Ohr-Kopfhörer mit elektrodynamischen Lautsprecher zu sehen. Infolgedessen vornehmlichen Verwendung von elektrodynamischen Lautsprechern in Kopfhörern ist deren technische Reife und industrielle Fertigung über viele Jahre optimiert worden. Dies ermöglicht ein sehr gutes Preis-Leistungsverhältnis. Lediglich in den Bereichen Hörgerät und In-Ohr-Kopfhörer für Monitorzwecke wird bisher ein anderer Lautsprecher, nämlich der Balanced Armature Lautsprecher (BA-Lautsprecher) [13; 15-17], eingesetzt (Abb. 5). Er erfüllt bisher die Kombination aus Größe und Effizienz besser und sein höherer Preis ist in diesen Märkten weniger kritisch. Durch den anhaltenden Wunsch einer weiteren Miniaturisierung wird die Verwendung des elektrodynamischen, aber auch des BA-Lautsprechers infolge der Größe zunehmend schwierig. Es fehlt zunehmend der Einbauraum. Beim BA-Lautsprecher ergibt sich der notwendige Einbauraum allein durch seine Abmessungen. Er benötigt kein zusätzliches Gehäuse, da kein akustischer Kurzschluss stattfinden kann. Beim elektrodynamischen Lautsprecher braucht es

hingegen ein zusätzliches Gehäuse, um den Kurzschluss zu verhindern. Demzufolge kommen zu den eigentlichen Lautsprecherabmessungen noch die des nötigen Gehäuses hinzu. Der damit geringere Platzbedarf des BA-Lautsprechers ist aber nur dann gegeben, wenn nur in einem schmalen Frequenzbereich Schall erzeugt werden muss. Zur Schallerzeugung über einen breiten Frequenzbereich, etwa zum Musikhören, ist die Kombination mehrerer BA-Lautsprecher nötig, da ihr Übertragungsverhalten zu schmalbandig ist. Je nach Anzahl ist so der gleiche Einbauraum wie der bei Verwendung eines elektrodynamischen Lautsprechers erforderlich. Je nach Anwendung gibt es bei der Anordnung der BA-Lautsprecher zueinander Freiheiten, die gegenüber dem elektrodynamischen Lautsprecher eine größere Designvielfalt des Einbauraumes ermöglichen.

Hinsichtlich der Kosten ist der elektrodynamische Lautsprecher i.d.R. deutlich preisgünstiger als der BA-Lautsprecher. Dies bedingt seine bevorzugte Verwendung in den aktuellen In-Ohr-Kopfhörern.



Abb. 4: Aktueller In-Ohr-Kopfhörer (Explosionszeichnung) [18] und vergrößert dargestellter elektrodynamischer Lautsprecher [5].

Abb. 5: Aktuelles Hörgerät [19] und vergrößert dargestellter BA-Lautsprecher [5].



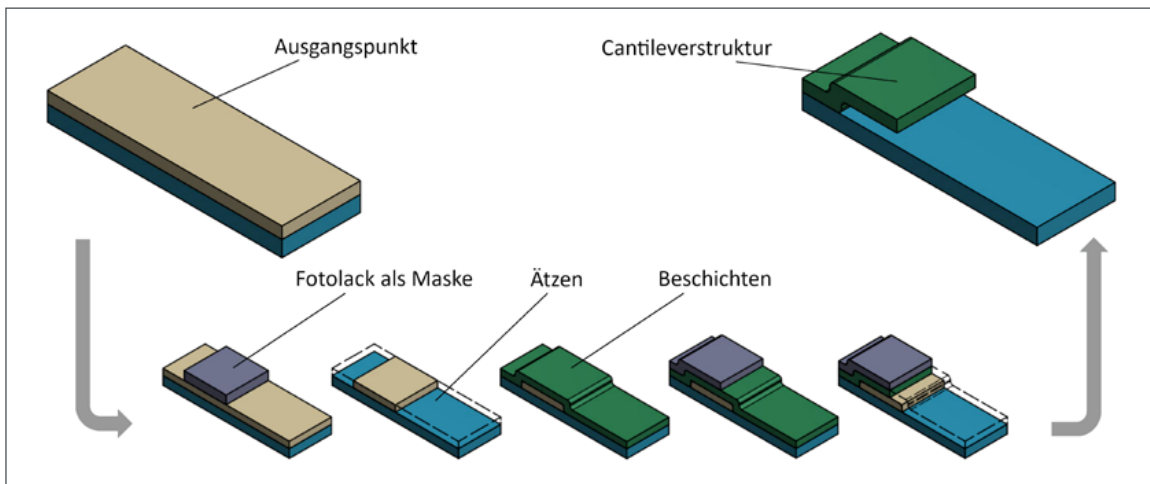


Abb. 6: Schematische Darstellung des schrittweisen Aufbaus, z.B. Belichtung Fotolackmaske, Ätzen, Bedampfen, einer Cantileverstruktur im MEMS-Fertigungsprozess [5].

Grundlagen MEMS-Technologie

Das Akronym MEMS steht für Micro-Electro-Mechanical-System und beschreibt miniaturisierte Systeme, welche sowohl elektrische als auch mechanische Funktionselemente umfassen und unter Berücksichtigung von Designaspekten und Technologien der Halbleiterindustrie gefertigt werden. Hierdurch können Strukturen im Submikrometerbereich mit hoher Wiederholgenauigkeit und mit hohem Durchsatzvolumen (Parallelverarbeitung, siehe unten) realisiert werden. Daraus ergibt sich eine sehr hohe Bauteilqualität zu einem attraktiven Preis. Abhängig vom jeweils gewählten Prozess werden die Komponenten aus einer mehrschichtigen Struktur durch lokal wirkende additive und subtraktive Verfahren (z. B. Ätzen und Bedampfen) gebildet (Abb. 6).

Die Fertigung von MEMS-Chips findet in Reinräumen statt, um eine Kontamination der Chip-Oberflächen mit Partikeln zu unterbinden. Das Ausgangs-

material für den Aufbau der MEMS sind zumeist runde Scheiben aus hochreinem Silizium, die sogenannten Wafer. Auf einem Wafer können viele Chips, z. B. je nach Applikation und erforderlicher Chipfläche mehrere Tausend, parallel hergestellt werden. Anzustreben ist, die Anzahl der Chips pro Wafer zu maximieren und die Anzahl der technologischen Prozessschritte zu reduzieren. Im Anschluss werden die Chips vereinzelt, ihre Komponenten elektrisch verbunden (gebondet) und mit einem Gehäuse versehen (Abb. 7). Die Prozessierung kompletter Wafer bietet somit nicht nur attraktive Fertigungskosten durch die Parallelverarbeitung, sondern ermöglicht in der Flexibilität der Wafer-Anzahl auch ein hohes Maß an Skalierbarkeit des Produktionsvolumens. Neben der mechanischen Komponente kann – gemäß der Bezeichnung MEMS – im Gehäuse gleichzeitig auch die Signalverarbeitungseinheit in Form eines ASIC (Application Specific Integrated Circuit) untergebracht sein (Abb. 8). Mit der Integration von

Abb. 7: Schematische Darstellung der Fertigungsschritte eines MEMS-Bausteins vom nackten Wafer bis zum MEMS-Chip [5].

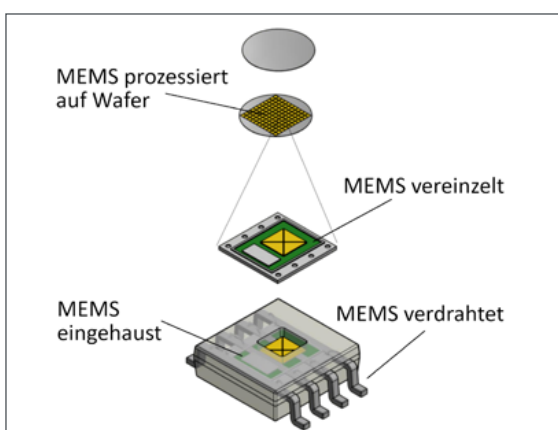
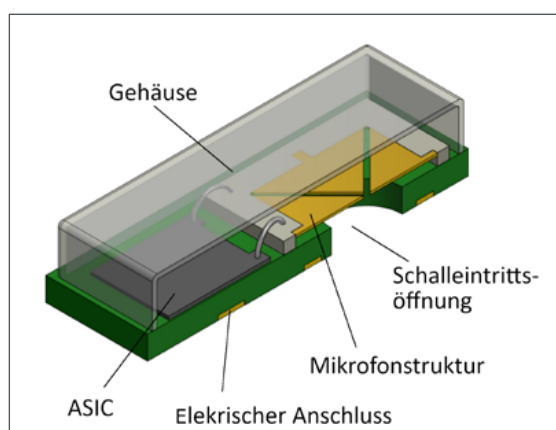


Abb. 8: Schematische Darstellung eines MEMS-Mikrofonchips mit der mechanischen Struktur des Mikrofons und dem ASIC in einem Gehäuse [5].



mehreren Funktionseinheiten in ein Bauteil bzw. Gehäuse reduzieren sich je nach Ausführungsform die energetischen Verluste als auch der erforderliche Einbauraum im späteren Endgerät.

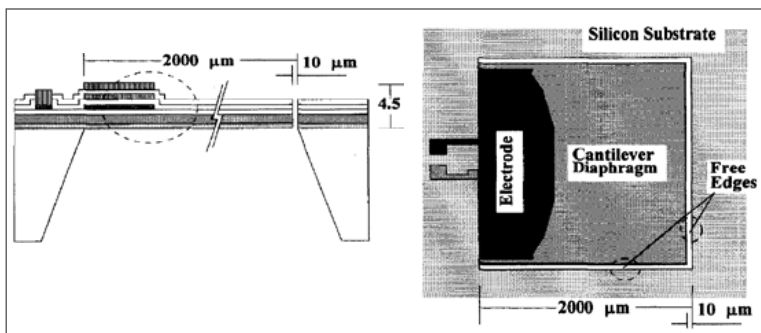
Ausgeführt als SMD-Bausteine (Surface-mounted device, deutsch: oberflächenmontiertes Bauelement) kann der MEMS-Baustein durch vollautomatischer Bestückungslinien mit Lötöfen verbaut werden. Das reduziert zum einen Montagekosten und ermöglicht zum anderen ein sehr dichte Platinenbestückung, was ggf. den erforderlichen Einbauraum im Endgerät reduziert.

In unterschiedlichen Anwendungsbereichen haben sich MEMS-Komponenten, z. B. Beschleunigungssensoren für Airbags, bereits etabliert. Hinsichtlich akustischer Komponenten dominieren MEMS-Mikrofone seit dem Jahr 2014 den Anwendungsbereich portabler Audiogeräte, der bis dahin vom Elektretmikrofon bedient wurde [20]. Erste Designs für MEMS-Mikrofone entstanden aber bereits Anfang der 1980er Jahre [21; 22]. Dank der MEMS-Technologie konnte eine deutliche Reduzierung der Mikrofongröße und des Preises bei gleichzeitig verbesserter Leistungsfähigkeit, geringere Anfälligkeit, z.B. gegen Körperschall, erzielt werden. Heute decken MEMS-Mikrofone alle Mikrofonanwendungen in den Mobilgeräten ab.

Erste MEMS-Lautsprecher-Ansätze

In Bezug auf die benötigte Lautsprecherkomponente ist die MEMS-Technologie erst in den vergangenen Jahren verstärkt in die Betrachtung gezogen worden. Allerdings wird ähnlich der Entwicklungsgeschichte des MEMS-Mikrofons bereits seit vielen Jahre an Lautsprechern auf Basis der MEMS-Technologie geforscht. Der erste MEMS-Lautsprecher wurde nach Kenntnis der Autoren im Jahr 1994 von Lee et al. vorgestellt [23; 24]. Es handelt sich dabei um einen piezoelektrischen Biegeschwinger (Abb. 9). Das piezoelektrische Aktorelement stellt gleichzeitig die 2 mm × 2 mm große Lautsprechermembran dar. Sie

Abb. 9: Schematische Darstellung des piezoelektrischen MEMS-Lautsprechers von Lee et al. aus dem Jahr 1994 in der Schnittansicht (links) und der Draufsicht (rechts) [26].

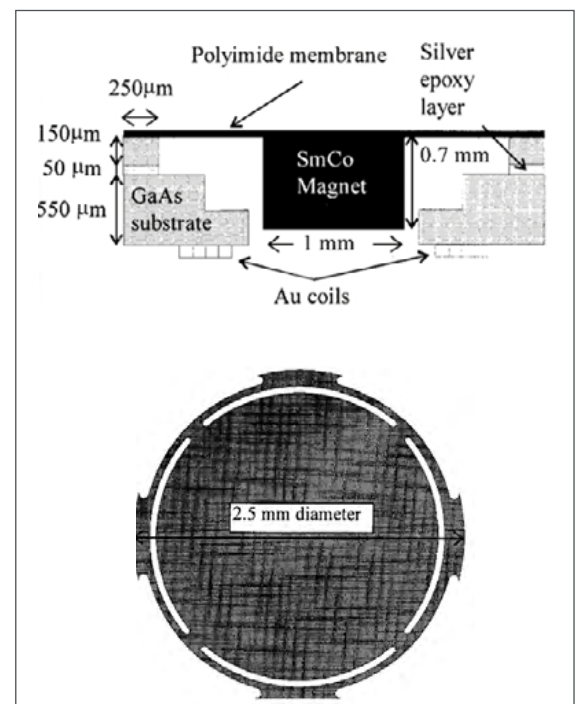


ist einseitig geklemmt. Die anderen drei Seiten sind vom restlichen Substrat durch einen 10 µm großen Spalt getrennt. Durch diese mechanische Entkopplung kann die Membran weit ausgelenkt werden, ohne auf eine Materialstreckung angewiesen zu sein [25].

Der erzielte mittlere Schalldruckpegel, gemessen im Ohrsimulator (2 cm³ Kupplervolumen), betrug etwa 75 dB bei 8 V_{pp}. Der Übertragungsbereich war sehr stark von Resonanzen (Pegelschwankungen zum Teil größer 40 dB) geprägt. Ausgehend von der in Tab. 1 gewählten Definition des Übertragungsbereiches (Grenzfrequenz bei -20 dB Pegelabfall gegenüber mittlerem Pegel) wurde deshalb kein geeignetes Übertragungsverhalten für Kopfhörer- bzw. Hörgeräteanwendungen erreicht. Über Korrekturmaßnahmen, wie sie bei aktuellen MEMS-Lautsprechern angewandt werden, z. B. elektronische Entzerrung, wird in [25] nicht berichtet.

In den Jahren 1996/1997 stellen Harradine et al. einen elektrodynamischen MEMS-Lautsprecher vor (Abb. 10) [27; 28]. An einer kreisrunden Membranscheibe, ca. 2,5 mm im Durchmesser, ist ein Permanentmagnet befestigt. Dieser interagiert mit einem Elektromagnet, gebildet durch eine stationäre Spule. Die Membran ist am Rand mit dem umliegenden Substrat verbunden. Allerdings weist diese Verbindung eine Vielzahl an Schlitzten auf. Diese dienten, wie bei Lee et al., einer möglichst weichen Aufhän-

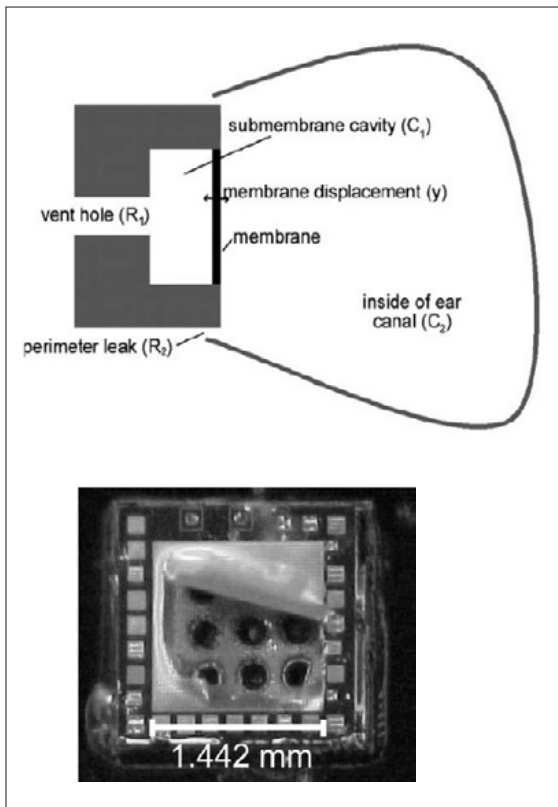
Abb. 10: Schematische Darstellung des elektrodynamischen MEMS-Lautsprechers von Harradine et al. aus dem Jahr 1997 in der Schnittansicht (oben) und in der Draufsicht (unten) [29].



gung. Der mittlere Schalldruckpegel, gemessen im Ohrsimulator (2 cm^3 Kupplervolumen), betrug ca. 45 dB. Aussagen zur Ansteuerspannung sind nicht aufgeführt. Der Schalldruckpegelverlauf war im Gegensatz zum Ansatz von Lee et al. nicht von resonanzverursachten Überhöhungen bzw. Einbrüchen dominiert. Dafür waren die erzielten 45 dB Schalldruckpegel so gering, dass diese Ausführungsform bei Weitem die Anforderungen an Lautsprecher für Kopfhörer bzw. Hörgeräte (Tab. 1) nicht erfüllt.

Im Jahre 1999 melden Loeb et al. einen elektrostatischen MEMS-Lautsprecher zum Patent an [30; 31]. Gegenüber den oben genannten MEMS-Lautsprechern wurde dieser digital angesteuert. Eine 1,4 mm große Membranelektrode bildete mit einer dahinter befindlichen Statorelektrode einen Elektrostaten (Abb. 11). Der Lautsprecher erreichte, gemessen im Ohrsimulator (2 cm^3 Kupplervolumen, DIN IEC 60711), einen mittleren Schalldruckpegel von etwa 75 dB bei 27 V_{pp} mit einer Bias-Spannung von 67 V_{DC} . Der Übertragungsbereich erstreckte sich von ca. 20 Hz bis 7 kHz. Trotz des damit geforderten Übertragungsbereiches für Hörgeräte (Tab. 1) ist die Lautsprecherausführung wegen des geringen Schalldruckpegels ungeeignet.

Abb. 11: Schematische Darstellung des elektrostatischen MEMS-Lautsprechers von Loeb et al. aus dem Jahr 1999 in der Schnittansicht (oben) und in der Draufsicht (unten) [32].



Aktuelle MEMS-Lautsprecher-Ansätze

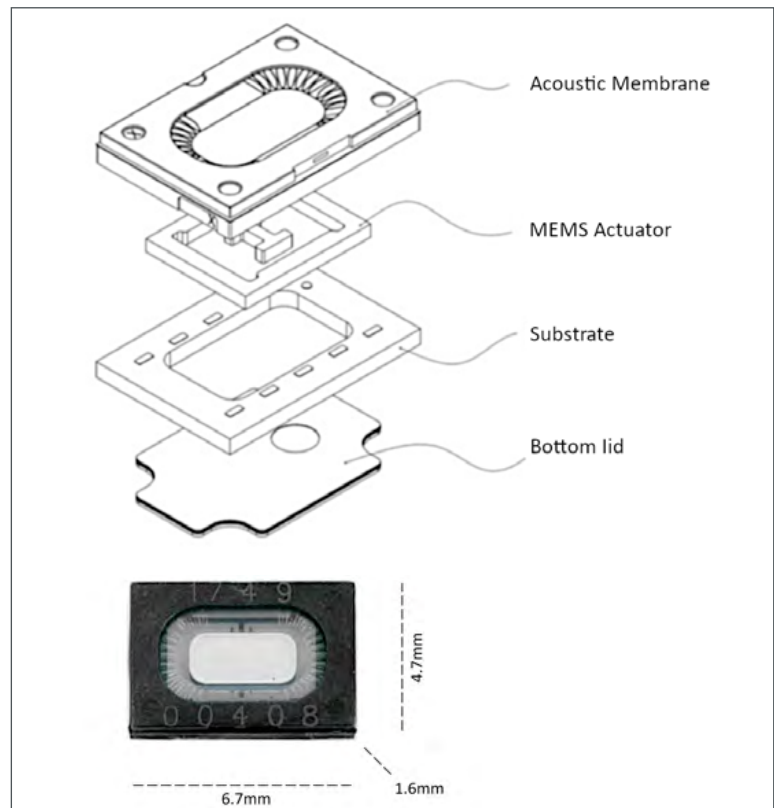
Die Recherche zu MEMS-Lautsprecheransätzen offenbart eine Vielzahl an wissenschaftlichen Veröffentlichungen und Patentschriften. Mit Blick auf den Markt wurden aber weitaus weniger Ansätze bis zur tatsächlichen Marktreife gebracht. Die drei nachfolgend dargestellten MEMS-Lautsprechertechnologien wurden ausgewählt, da ihr aktueller Entwicklungsstand durch veröffentlichte Leistungsparameter als auch öffentliche Technologiedemonstrationen nachgewiesen ist.

USound (Andrea Rusconi)

– Funktionsprinzip –

Die USound GmbH bietet seit dem Jahr 2019 MEMS-Lautsprecher auf dem Markt an. Das Konzept beruht auf einer piezoelektrischen MEMS-Aktorik, auf welche in einem zusätzlichen Verarbeitungsschritt eine Polymer-Lautsprechermembran, ähnlich der eines Smartphone-Lautsprechers, aufgebracht wird (Abb. 12). Aus diesem Grund handelt es sich nicht um einen reinen MEMS-Lautsprecher, sondern um einen Hybridansatz. Der Gedanke hinter dieser Kombination ist die Maximierung der Membrangröße, ohne die MEMS-Komponente (Chip) und damit die Kosten zu vergrößern. Die piezoelektrische Aktorik, aufgebaut aus mehreren Bie-

Abb. 12: Schematische Darstellung der Hauptbestandteile des USound-Lautsprechers (oben), Foto eines USound-Lautsprechers in der Draufsicht (unten) [33].



geaktoren, besteht aus dem Material PZT (Blei-Zirkonat-Titanat). In der Gruppe der piezoelektrischen Materialien weist dieses eine hohe Energiedichte auf und bietet damit das Potenzial sowohl die Kraft- als auch die Auslenkungsanforderungen für einen Lautsprecher zu erfüllen. Beim Anlegen eines Lautsprecher-signal kommt es zur kolbenförmigen Auslenkung der Lautsprecher-membran, aus der Ebene heraus. Entsprechend der verschobenen Luftmenge entsteht Schall. Der MEMS-Lautsprecher ist 4,7 mm × 6,7 mm groß und 1,6 mm dick.

In Abb. 13 (rechts) ist der Amplitudenfrequenzgang des MEMS-Lautsprechers (SPLWandler), gemessen in einem Ohrsimulator (DIN EN 60318-4), dargestellt. Die Grundresonanz des Lautsprechers liegt bei ca. 2.8 kHz und wird passiv bedämpft.

– Anwendungsszenario In-Ohr-Kopfhörer –

In Abb. 13 (links) ist ein In-Ohr-Kopfhörer, basierend auf dem MEMS-Lautsprecher, dargestellt. Mit nur einem MEMS-Lautsprecher wird der gesamte Hörfrequenzbereich abgedeckt (Abb. 13 (rechts), SPLSystem). Als Zielkurve wird eine Empfehlung von Sean Olive [34] verwendet, welche auf die Hörgewohnheiten des Durchschnittshörers angepasst ist. Mittels akustischem Design und Lautsprecheransteuerung wird diese Zielkurve gut nachgebildet. Der Klirrfaktor für einen Schalldruckpegel von 94 dB/1 kHz liegt unterhalb von 4 kHz unter 1 %.

Oberhalb von 4 kHz tretenden Klirrfaktor-Spitzen von mehr als 1 % auf. Diese werden durch Subharmonische der Lautsprecherresonanzen verursacht. Durch eine entsprechende Signalverarbeitung und ein angepasstes Schallführungsdesign sind diese reduzierbar. Der maximale Schalldruckpegel des Systems (Max. SPL_{System}) liegt für 1 kHz bei 104 dB. Die erforderliche Bias-Spannung liegt bei 15 V_{DC} und die Signalspannung bei 30 V_{PP}.

– Ausblick –

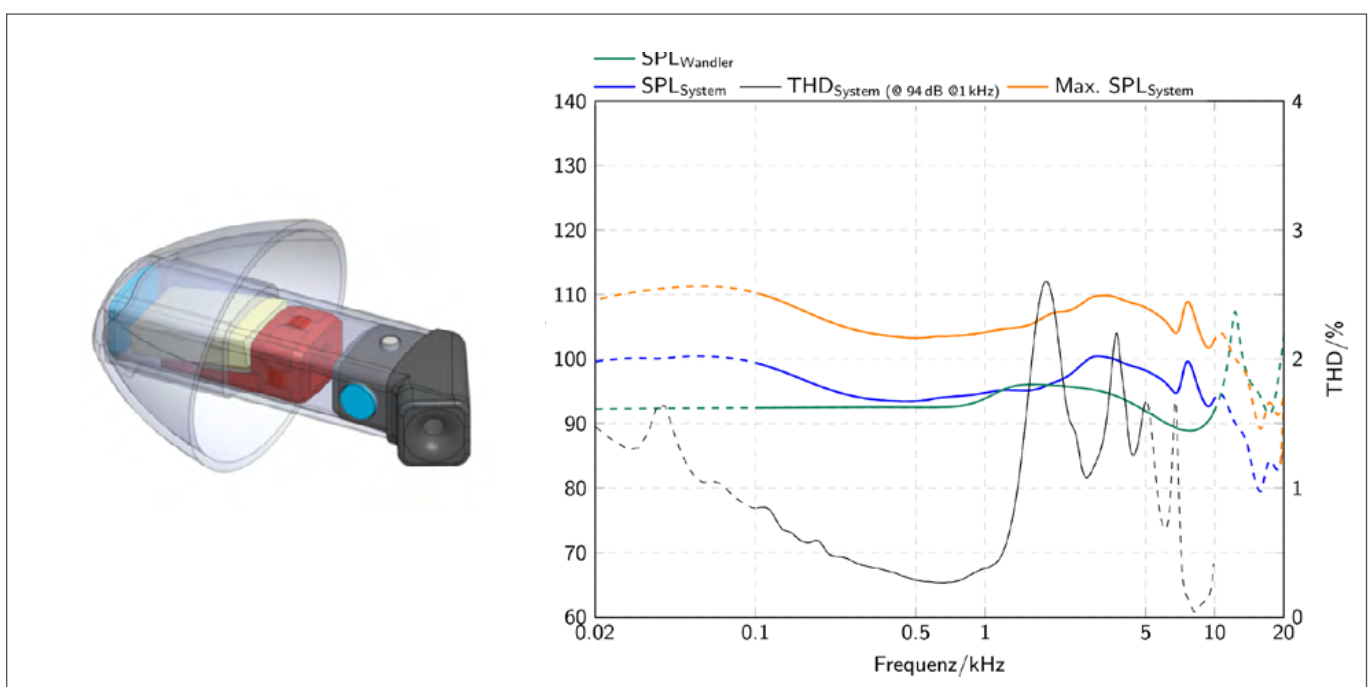
Durch den hybriden Aufbau soll die verwendete Silizium-Fläche weiter verringert werden. Hilfreich ist die Verwendung der Mehrschicht-Piezo-Technologie. Diese Maßnahmen sollen die Kosten weiter senken.

Fraunhofer ISIT (Fabian Stoppel)

– Funktionsprinzip –

Der MEMS-Lautsprecheransatz des Fraunhofer-Institutes für Siliziumtechnologie ISIT basiert auf mehreren piezoelektrischen Biegeaktoren, die an einem umlaufenden Chiprahmen aus Silizium (Si) eingespannt sind. Die einzelnen Aktoren sind durch schmale Entkopplungsschlitze mechanisch voneinander getrennt und bilden zusammen die akustisch aktive Fläche. Jeder Aktor besteht aus einer dünnen Polysilizium-Schicht (poly-Si), auf der eine piezoelektrische PZT-Dünnschicht zwischen

Abb. 13: Schematische Darstellung eines In-Ohr-Kopfhörers der Fa. USound, basierend auf einem MEMS-Lautsprecher (links), Verlauf des Schalldruckpegels und des Klirrfaktors des USound-In-Ohr-Kopfhörers (rechts), der gestrichelte Kurvenbereich liegt außerhalb des definierten Arbeitsbereiches des verwendeten Ohrsimulators. Für die Max. SPL-Kurven wurde der MEMS-Lautsprecher mit 15 V_{AC} und 15 V_{PP} betrieben [33].



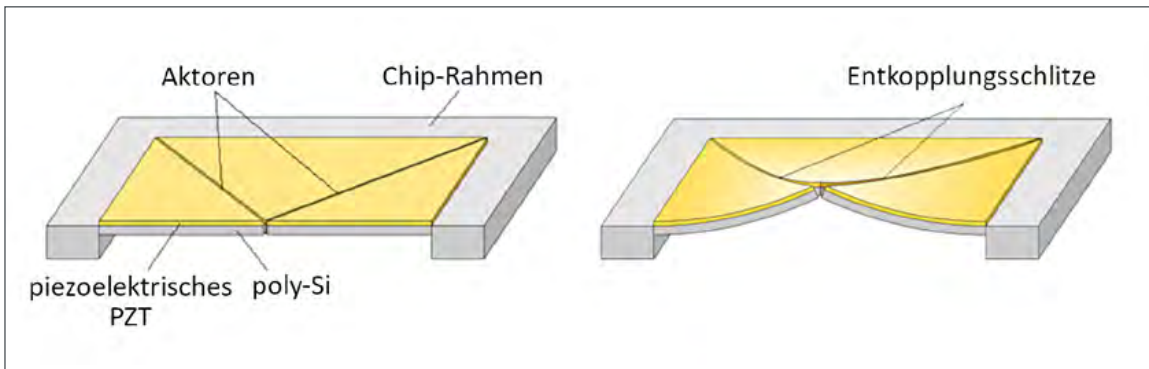


Abb. 14: Schematische Darstellung des MEMS-Lautsprecherkonzepts mit Membranelementen in ruhendem (links) bzw. ausgelenktem Zustand (rechts) in der Schnittansicht [35].

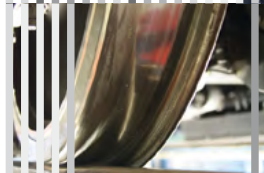
zwei Treiberelektroden eingebettet ist. Der Aktor ist vollständig mittels industriell verfügbarer Standard-MEMS-Technologie herstellbar.

Abb. 14 veranschaulicht das Konzept anhand eines Lautsprecher-Designs mit vier dreieckigen Aktoren. Durch Anlegen einer elektrischen Spannung an die Treiberelektroden kontrahiert die piezoelektrische Dünnschicht. In der Folge führen die Aktoren eine Biegebewegung aus der Ebene aus, die die angrenzende Luft in Bewegung versetzt. Aufgrund der hohen Energiedichte des piezoelektrischen Antriebs

sowie der Tatsache, dass die einzelnen Aktoren mechanisch voneinander entkoppelt sind, können hohe Auslenkungen und Kräfte realisiert werden. Da die Aktoren lediglich durch enge Schlitze voneinander getrennt sind, entstehen entlang der inneren Spaltflächen viskose Verluste. Simulationen zeigen, dass der parasitäre Luftstrom durch die Schlitze bei Spaltbreiten unterhalb von $5\text{ }\mu\text{m}$ vernachlässigbar ist. Dadurch verhalten sich die mechanisch getrennten Aktoren akustisch wie eine geschlossene Membran, während die Vorteile der mechanischen Entkopplung erhalten

MBBM
MÜLLER-BBM GROUP

Beratung | Dienstleistungen | Produkte



Besuchen Sie uns auf
der DAGA 2020 an
Stand 27

Kompetenz in Akustik und Schwingungen

Schallschutz | Sound Design | Raum- und Bauakustik | Messtechnik | Bauphysik | Forschung
Industriekustik | Lärmbekämpfung | Messungen | Schwingungsreduktion
Psychoakustik | Prüfeinrichtungen | Medientechnik | Strukturdynamik | Schallschutzsysteme

Messung | Analyse | Lösung | Innovation

www.mbbm.de

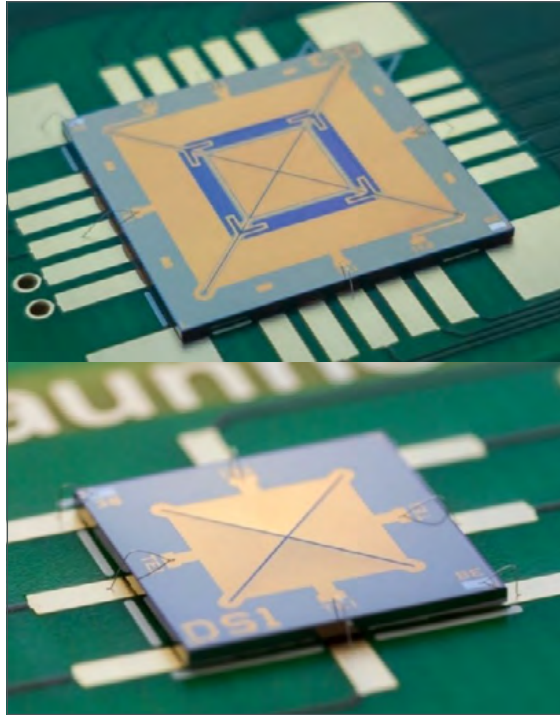


Abb. 15: Integrierte MEMS-Lautsprecher aufgebaut auf Testplatinen: Koaxialer Zwei-Wege-MEMS-Lautsprecher für Freifeld-Anwendungen (oben) [36]; MEMS-Lautsprecher für In-Ohr-Anwendungen (unten) [35].

bleiben. Dies ermöglicht eine kosteneffiziente Fertigung, da keine zusätzliche flexible Membran integriert werden muss.

Abweichend von Abb. 14 können die MEMS-Lautsprecher unterschiedliche Aktorgeometrien und

Abb. 17: Schalldruckpegelfrequenzgang des MEMS-basierten In-Ohr-Kopfhörers bei unterschiedlicher elektrischer Ansteuerung ($1 V_{DC}/2 V_{PP}$ bzw. $10 V_{DC}/20 V_{PP}$) (a), Klirrfaktorverlauf (b), gemessen jeweils in einem DIN EN 60318-4 High-Res Ohrsimulator, nach [38].

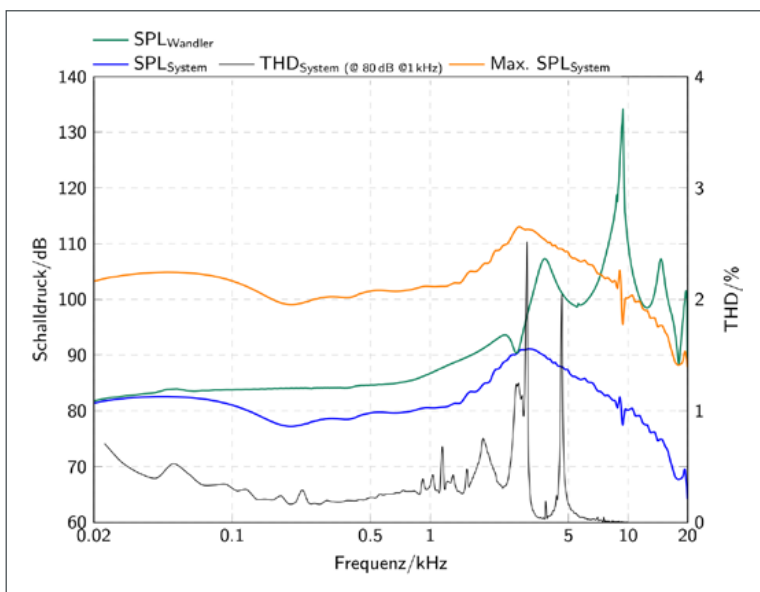


Abb. 16: 3D-gedruckter In-Ohr-Kopfhöreremonstrator mit integriertem MEMS-Lautsprecher [37].

anordnungen aufweisen. Darüber hinaus lassen sich z.B. mehrere für unterschiedliche Frequenzbereiche optimierte Schallwandler auf einem Chip anordnen oder miteinander gekoppelt kaskadieren (Abb. 15 (oben)). Durch Skalierung der aktiven Fläche können ferner verschiedene Anwendungsbereiche adressiert werden, wobei der Fokus auf den Gebieten In-Ohr und Nah-Ohr liegt.

– Anwendungsszenario-In-Ohr-Kopfhörer –

Im Folgenden wird exemplarisch ein MEMS-Lautsprecher-Typ für In-Ohr-Kopfhöreranwendungen betrachtet, der über eine aktive Fläche von $4 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ verfügt und in Abb. 15 (unten) dargestellt ist. Die Dicken der poly-Si- und der PZT-Schicht betragen $15 \text{ }\mu\text{m}$ bzw. $2 \text{ }\mu\text{m}$. Um parasitäre Eigenmoden im hörbaren Frequenzbereich zu unterbinden und eine hohe Wiedergabebandbreite zu ermöglichen, verfügen die Aktoren über eine vergleichsweise hohe Resonanzfrequenz von etwa $9,5 \text{ kHz}$ (Abb. 17, SPLWandler). Abb. 16 veranschaulicht einen für Demonstrationszwecke vom Fraunhofer IDMT und Fraunhofer ISIT konzipierten In-Ohr-Kopfhörer. In jedem Hörer arbeitet ein MEMS-Lautsprecher, der auf einer Platine aufgebaut ist.

Der Kopfhörer wird über eine vom Fraunhofer IDMT entwickelte Steuerungselektronik, bestehend aus einem FIR-Filter sowie einer auf kapazitive Lasten ausgelegten Verstärkereinheit angetrieben. Abb. 17 veranschaulicht, dass bei einer Bias-Spannung von $10 V_{DC}$ und einer Signalspannung von $10 V_{PP}$ bei 1 kHz ein Schalldruck von 102 dB erzielt wird ($\text{Max. SPL}_{\text{System}}$). Über den FIR-Filter wird der angestrebte Zielfrequenzgang eingestellt, welcher im vorliegenden Fall auf den Untersuchungen von Olive et al. [34] beruht. Der Klirrfaktor des Kopfhörers für einen Schalldruckpegel von 80 dB bei 1 kHz liegt unter $1 \text{ }\%$. Gemessen wurde mit einem Ohrsimulator nach DIN EN 60138-4 mit künstlicher Ohrmuschel

(Typ 3.3 nach ITU-REC-P.57). Der Ohrsimulator hat gegenüber der Norm einen erweiterten Frequenzbereich bis 20 kHz.

– Ausblick –

Die Weiterentwicklungen umfassen ein überarbeitetes MEMS-Design sowie einen linearen Antrieb auf Basis des neuen piezoelektrischen Materials Aluminiumscandiumnitrid (AlScN). Die Untersuchungen legen nahe, dass sich auf diese Weise bei gleicher aktiver Fläche 12 dB höhere Schalldruckpegel, eine höhere Energieeffizienz sowie reduzierte Verzerrungen realisieren lassen.

Fraunhofer IPMS/Ariosio Systems (Lutz Ehrig)

– Funktionsprinzip –

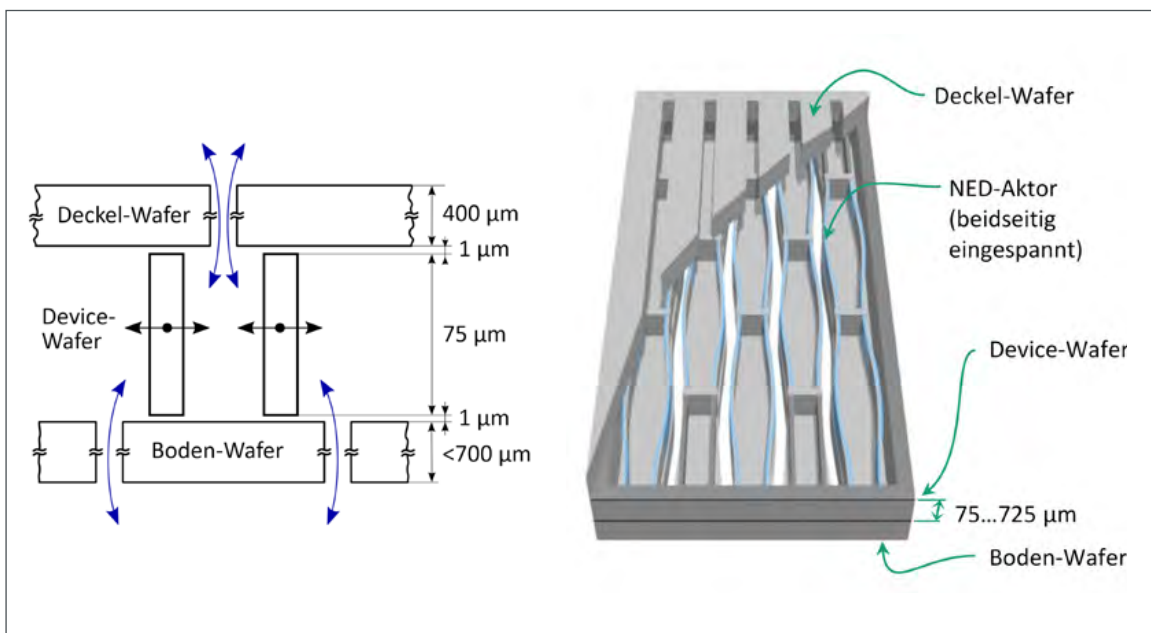
Wie bereits erwähnt, skalieren die Herstellungskosten für MEMS-Bauelemente im Wesentlichen mit der erforderlichen Chip-Fläche, so dass diese minimiert werden muss. Die am Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS in Dresden entwickelte Technologie nutzt daher das Volumen eines Silizium-Chips zur Schallerzeugung. Der MEMS-Lautsprecher besteht aus einem mehrschichtigen Aufbau mit einer zentralen Device-Schicht, die zwischen einem Boden- und einem Deckel-Wafer liegt. Der Aufbau ist in Abb. 18 (links) schematisch dargestellt. Die Device-Schicht besteht aus lateral auslenkbaren Balken. Diese Balken können bspw. paarweise angeordnet sein und werden in Abhängigkeit von einer angelegten elektrischen Spannung gegenphasig

verkrümmt. Dadurch wird das Volumen zwischen den Balken verändert und durch versetzt angeordnete Öffnungen im Deckel- bzw. Bodenwafer wird die Luft aus der Device-Schicht herausgedrückt bzw. hineingesogen [39].

Der Volumenstrom wird durch eine Vielzahl dieser Balkenpaare auf einem Chip erzeugt. In Abb. 18 (rechts) ist ein MEMS-Lautsprecher nach diesem Konzept schematisch dargestellt. Neben der Optimierung der Anordnung zur Erhöhung des genutzten Volumens kann auch die Dicke der Device-Schicht vergrößert werden, um eine größere Volumenverschiebung bei konstanter Chip-Fläche zu erhalten. Konventionelle elektrostatische Antriebe erfordern hohe elektrische Steuerspannungen aufgrund großer Elektrodenabstände. Eine Verringerung der Steuerspannung kann durch eine Verringerung der Elektrodenabstände erfolgen. Der Abstand zwischen den Elektroden kann jedoch nicht beliebig verringert werden, da der Abstand der Elektroden die Amplitude der Aktorauslenkung begrenzt und somit im Falle eines Lautsprechers dessen erreichbaren Volumenstrom und den Dynamikumfang beschränkt.

Eine Ausführung in MEMS-Bauweise ermöglicht durch die Nutzung lithographischer Prozesse sowie von Opferschichttechniken die Realisierung sehr kleiner Elektrodenabstände. Die dabei entstehenden sehr großen Kräfte bei gleichzeitig moderaten elektrischen Spannungen können durch ein entsprechendes mikromechanisches Design zur Anregung von Biegeschwingungen genutzt werden.

Abb. 18: Schematische Darstellung des Querschnitts eines Balkenpaares und den Öffnungen im Boden- und Deckel-Wafer (links); Schematische Darstellung eines MEMS-Lautsprecher-Chips mit einer Vielzahl von beidseitig eingespannten Aktoren (blau) und einem Boden- und Deckel-Wafer mit versetzt angeordneten Öffnungsschlitzten. Die Aktoren sind im ausgelenkten Zustand dargestellt (rechts) [40].



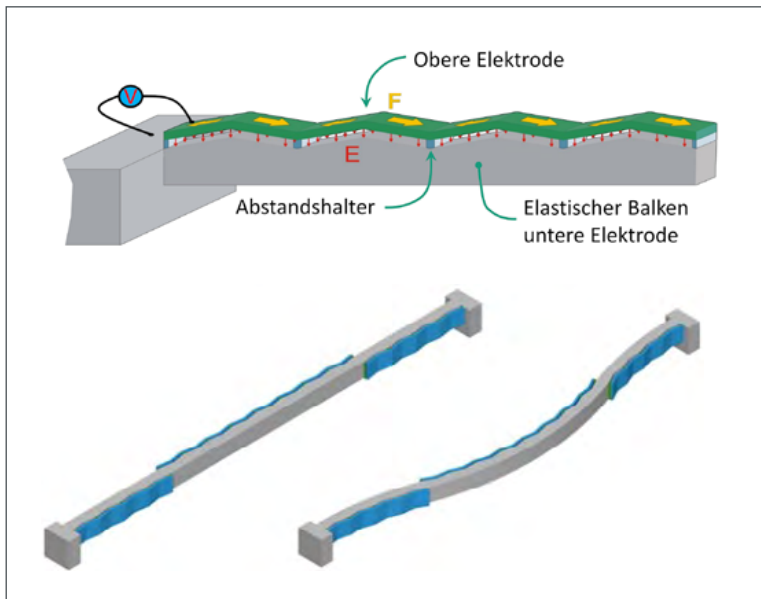


Abb. 19: Elektrostatischer Biegeaktor „Nanoscopic Electrostatic Drive“ (NED): Das Anlegen einer elektrischen Spannung V zwischen zwei Elektroden führt zu einem elektrischen Feld E und zu einer Kraft F , welche – aufgrund der Topographie der oberen Elektrode – zu einer Krümmung des Balkens führt (oben); Schematische Darstellung eines beidseitig eingespannten NED-Aktors mit einer S-förmigen Biegelinie für die Auslenkung in der Chip-Ebene in Ruhe-lage (links) sowie im ausgelenkten Zustand (rechts) (unten) [40].

Ein solcher am Fraunhofer IPMS entwickelter elektrostatischer „Nanoscopic Electrostatic Drive“- Biegeaktor (NED) ist in Abb. 20 dargestellt. Der Aktor besteht aus einem leitfähigen, elastischen Balken (untere Elektrode, graue Struktur in Abb. 19), einer

oberen Elektrode (grüne Struktur) und elektrisch isolierenden Abstandshaltern (blaue Struktur).

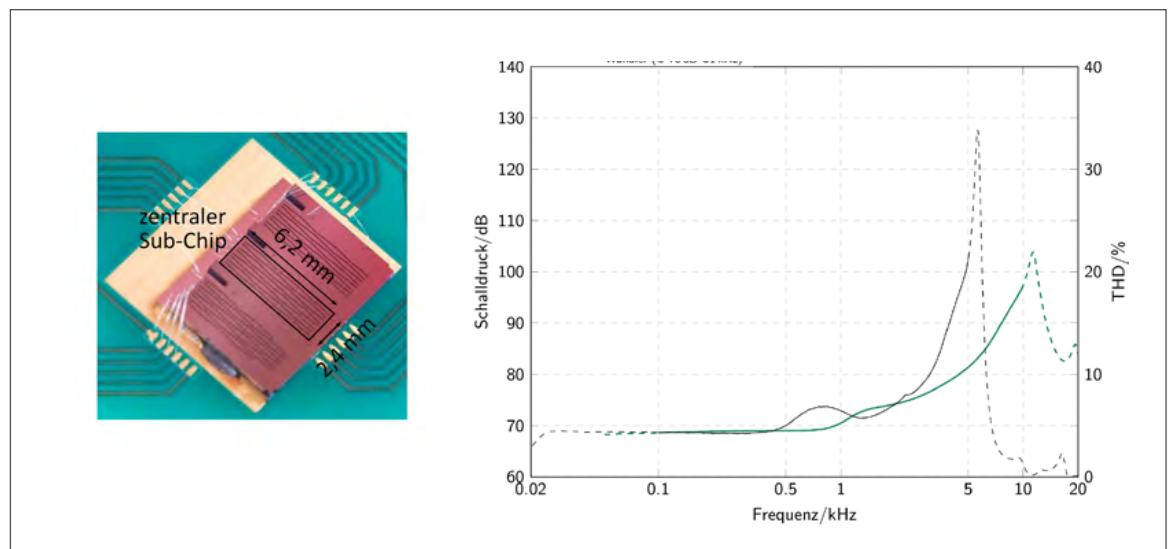
Beim Anlegen einer elektrischen Spannung V entsteht zwischen den beiden Elektroden ein elektrostatisches Feld E . Durch die elektrostatische Anziehung folgt aufgrund der Topologie der oberen Elektrode eine Kraft F , die zu einer Krümmung des Balkens führt. Mit anderen Worten versucht die flächig wirkende Kraft F die Oberfläche des Balkens zu verlängern, was in einer Auslenkung der Balkenstruktur analog des bimorphen Prinzips resultiert. Im dargestellten Beispiel (Abb. 19 (oben)) erfolgt die Krümmung nach unten (Krümmungsradiusmittelpunkt ggü. der grünen Elektrode).

Durch die beschriebene Aktor-Technologie können hohe elektrostatische Kräfte innerhalb sehr kleiner Elektrodenspalte für große Auslenkungen bei einer geringen elektrischen Spannung nutzbar gemacht werden. Es werden Auslenkungen erreicht, die ein Vielfaches des Abstandes der Elektroden betragen [41].

– Akustische Validierung eines Test-Chips –

Ein erster für die Audiowiedergabe ausgelegter MEMS-Lautsprechertest-Chip ist in Abb. 20 (links) dargestellt. Der Chip enthält drei Sub-Chips mit einer Größe von jeweils $6,2\text{ mm} \times 2,4\text{ mm}$. Die Sub-Chips bestehen aus jeweils 14 Balkenpaaren mit einer Länge von $2200\text{ }\mu\text{m}$ und sieben Paaren mit einer Länge von $1100\text{ }\mu\text{m}$. Alle Balken haben eine Höhe entsprechend der Dicke des Device-Wafers von $75\text{ }\mu\text{m}$. In der Abbildung ist der Chip-Deckel mit den

Abb. 20: Teststruktur eines MEMS-Lautsprechers, basierend auf dem NED-Aktorprinzip, mit drei Sub-Chips mit einer Fläche von jeweils $6,2\text{ mm} \times 2,4\text{ mm}$ (links); Verlauf des Schalldruckpegels und des Klirrfaktors (THD) des mittleren Sub-Chips bei 40 V_{DC} und 10 V_{pp} gemessen mit einem Ohrsimulator auf der Bezugsebene nach DIN EN 60318-4 (rechts), der gestrichelte Kurvenbereich liegt außerhalb des definierten Arbeitsbereiches des verwendeten Ohrsimulators [40].



schlitzförmigen Öffnungen zu erkennen. Die elektrische Verbindung zwischen Platine und Chip erfolgte mittels Drahtbondung.

Für akustische Messungen wurde die Rückseite des Test-Chips durch eine Öffnung in der Trägerplatine an die Referenzebene eines Ohrsimulators (DIN EN 60318-4) angekoppelt, während die Vorderseite des Chips frei blieb. Der zentrale Sub-Chip wurde mit einer Signalspannung von $10 V_{pp}$ und einer Bias-Spannung von $40 V_{DC}$ angesteuert.

Die Ergebnisse der Messung des Schalldruckpegels und des Klirrfaktors (Total Harmonic Distortion, THD) sind in Abb. 20 (rechts) dargestellt. Der Frequenzgang des Schalldruckpegels wird von den akustischen Eigenschaften des Ohrsimulators dominiert und zeigt eine oberhalb von 1 kHz ansteigende Kurve und die $\lambda/2$ -Resonanz des Ohrsimulators bei 11,3 kHz. Die Resonanzfrequenz des Test-Chips liegt bei ca. 9 kHz und ist als kleine Auswölbung in der dargestellten Kurve sichtbar. Bei 1 kHz liegt der Schalldruckpegel bei ca. 71 dB. Der Frequenzgang des THD korreliert mit der Kurve des Schalldruckpegels bei doppelter Frequenz, d.h. die zweite Harmonische dominiert. Die Ursache dafür liegt im quadratischen Zusammenhang zwischen der Signalspannung und der Auslenkung der Balken [42]. Im Bereich des Plateaus unterhalb von 1 kHz liegt der THD bei ca. 4 % [43].

– Ausblick –

Zukünftige Entwicklungen konzentrieren sich auf eine Erhöhung des Schalldruckpegels und eine Verbesserung der linearen Wiedergabeeigenschaften. Dafür werden derzeit Balken-Designs untersucht, die eine symmetrische elektrostatische Aktuierung (push-pull) und aufgrund einer optimierter Anordnung der Aktoren eine höhere Packungsdichte erlauben. Die Erkenntnisse dieser Untersuchungen werden der Gegenstand zukünftiger Veröffentlichungen sein. Die Kommerzialisierung der am Fraunhofer IPMS entwickelten NED-Lautsprechertechnologie erfolgt durch die Ausgründung Arioso Systems.

Ausblick (Daniel Beer)

Die Leistungsparameter aktueller MEMS-Lautsprecherkonzepte lassen einen deutlichen Technologiefortschritt gegenüber den ersten MEMS-Lautsprecherkonzepten erkennen. Verglichen mit den elektroakustischen Anforderungen (Tab. 1) in den Anwendungsbereich In-Ohr-Kopfhörer bzw. Hearable sowie Hörgerät und Headset weisen sie das Potenzial auf, diese zukünftig zu erfüllen.

Für Nah-Ohr-Anwendungen, z.B. den Receiver-Lautsprecher eines Smartphones (Hörabstand ≤ 10 cm), als auch Freifeldanwendungen (Hörabstand größer

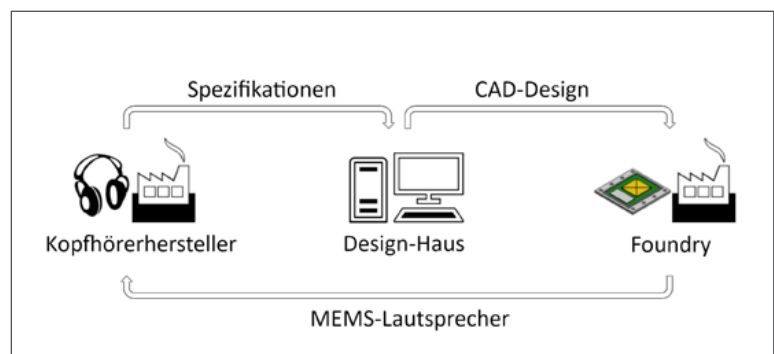
10 cm) sind weitere Entwicklungsarbeiten nötig [36; 44]. Aufgrund der größeren Hörentfernung und der weniger gezielten Schallabstrahlung in den Gehörgang muss mehr Luft verschoben werden, um am Trommelfell den gleichen Schalldruckpegel wie beim Hören mit einem Kopfhörer zu erreichen.

Wertschöpfungskette

Ergänzend zu den weiteren Arbeiten am jeweiligen MEMS-Lautsprecherkonzept ist die Etablierung der notwendigen Design- und Fertigungsprozesskette erforderlich. Dies bedeutet in Anlehnung an moderne Konzepte der Halbleiterfertigung eine unterteilte Wertschöpfungskette, in der spezialisierte Fertigungspartner unter Nutzung ihrer bestehenden Infrastruktur kostengünstig die Fertigung der MEMS-Lautsprecher realisieren. Hierbei werden die akustischen und elektrischen Eigenschaften sowie die Einbaumaße des MEMS-Wandlers durch den Lautsprecherentwickler bzw. Produkthersteller, z.B. Kopfhörerhersteller, spezifiziert. Typischerweise übernimmt dann ein so genanntes Design-Haus die akustische, mechanische und elektrische Konstruktion des Lautsprecherelementes. Hierfür werden neben spezieller Entwurfs- und Simulationssoftware spezielle Fähigkeiten und Erfahrungen benötigt. Das so entstandene Design wird als CAD-Datei an den eigentlichen MEMS-Fertigungspartner übergeben (Abb. 21).

Die kostengünstige und hochqualitative MEMS-Fertigung bedingt eine komplexe Infrastruktur. Diese besteht im Wesentlichen aus Reinräumen, in denen mittels moderner Fertigungsanlagen mehrere hundert Teilschritte als eine für die entsprechende MEMS-Komponente speziell entwickelte Gesamttechnologie realisiert wird. Für diese Technologien werden neben den Silizium-Wafern weitere spezielle Materialien verwendet. Die Prozessüberwachung mit hochgenauer Messtechnik ist hierbei Garant für eine reproduzierbare hohe Fertigungsqualität. Derartige Ausstattungen besitzen sogenannte Wafer-Found-

Abb. 21: Schematische Darstellung der erwarteten Wertschöpfungskette für MEMS-Lautsprecher am Beispiel „Kopfhörer“ [5].



ries, die sich auf solche MEMS-Fertigungsverfahren spezialisiert haben. Allerdings ist es typischerweise nicht möglich, derartige Fertigungslinien mit einem einzelnen MEMS-Produkt sinnvoll auszulasten, auch nicht mit den in Zukunft zu erwartenden hohen Stückzahlen von MEMS-Lautsprechern. Daher werden die Anlagen in unterschiedlichen technologischen Abläufen für die Herstellung unterschiedlicher MEMS-Komponenten eingesetzt. Somit wird eine hohe und gleichmäßige Auslastung der investitions- und betriebskostenintensiven Fertigungsstätten erreicht, was letztlich zu einer kostengünstigen Fertigung der einzelnen MEMS-Komponente führt. Vor der eigentlichen Fertigung kommt jedoch der Wafer-Foundry zunächst die Aufgabe der Entwicklung einer sicher und reproduzierbar durchzuführenden Fertigungstechnologie zu. Diese erfolgt in enger Zusammenarbeit mit dem Design-Haus, um sicherzustellen, dass der MEMS-Wandler die Spezifikation des Lautsprecherherstellers umfassend erfüllt. Für klassische MEMS-Produkte, wie z.B. Mikrofone oder Inertialsensoren, wird zur Realisierung des Aufbaus, der Verbindungs- und Integrationstechnologie noch ein weiterer Partner, das sogenannte Assembly-House, benötigt. Da jedoch für die MEMS-Lautsprecher für In-Ohr- oder Nah-Ohr-Anwendungen die geringe Baugröße ein wichtiges Anwendungskriterium ist, wird erwartet, dass zu-

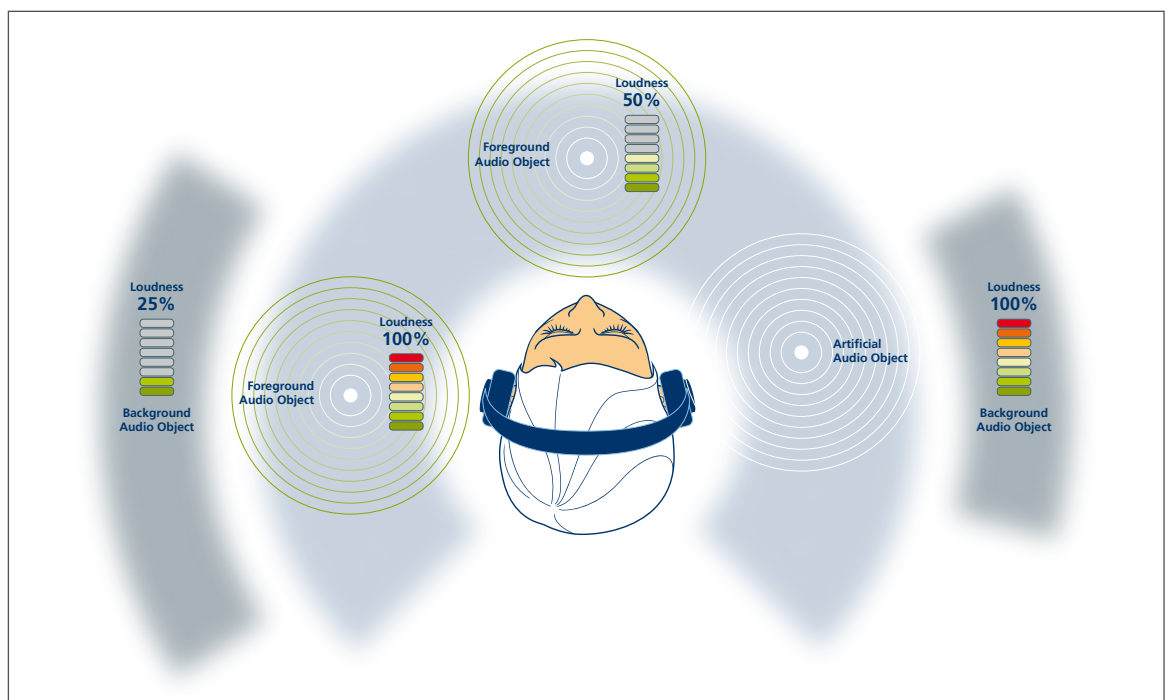
künftig bereits im Wafer-Prozess die Elektronikintegration, die Realisierung des akustischen Volumens sowie der Kontaktierungs- und Einbauschchnittstellen für das finale Produkt erfolgt (Wafer Level Assembly und Packaging). Damit wäre ein Assembly-House als Partner nicht mehr nötig, was zudem eine schnellere und kostengünstigere Fertigung ermöglicht.

Aufgrund der geteilten Wertschöpfungskette aus spezialisierten Partnern ist für die Kopfhörerhersteller zukünftig eine Partnerschaft erforderlich, in der sie weiterhin die Vorgaben, ggf. auch die grundlegenden Wandlerdesigns entwickeln, man aber dann für den CAD-Entwurf ein Design-Haus und insbesondere für die Fertigung die Foundry braucht (Abb. 21). Ein derart kooperatives Vorgehen hat sich im Bereich der Hörgeräte auch ohne den MEMS-Lautsprecher über viele Jahre bewährt. Hier werden die BA-Lautsprecher schon immer durch die Hörgerätehersteller von spezialisierten Wandlerherstellern aufgekauft.

Der Kopfhörer von übermorgen

Gegenüber dem heutigen Technologiestand kennzeichnet den Kopfhörer der Zukunft ein deutlich größerer Applikationsumfang. Im Zusammenhang mit aktuellen Hearable-Konzepten klingt dies bereits an. Der Kopfhörer dient dann als Interface oder gar als vollständiger Smartphone-Ersatz und wird wie ein Hörgerät nahezu den ganzen Tag getragen. Mit

Abb. 22: Schematische Darstellung eines Anwendungsszenarios für den Kopfhörer der Zukunft, der mittels selektivem Hören dem Nutzer das aktive Gestalten der wahrgenommenen akustischen Umgebung ermöglicht. So können beispielsweise bestimmte Schallquellen unterdrückt (Umgebungsärm) und andere (Gesprächspartner) hervorgehoben werden. Zusätzlich ist die Anreicherung der wahrgenommenen realen akustischen Umgebung mit weiteren virtuellen Schallquellen (z. B. weitere Gesprächspartner über Konferenzschaltung) möglich [45].



Hilfe integrierter Sensoren kann er beispielsweise die akustische Umgebung des Nutzers analysieren und Maßnahmen zur Optimierung des Wiedergabesignals ableiten. Denkbar hilfreich ist dies z. B. bei einem Gespräch in lärmender Umgebung. Durch die Analyse können einzelne Schallquellen gezielt entfernt (Umgebungsärm) bzw. hervorgehoben (Gesprächspartner) werden (Abb. 22). Darüber hinaus können in Zukunft mit Ansätzen der Augmented oder Mixed Reality auch virtuelle Quellen in die wahrgenommene Umgebung eingefügt werden. Diese könnten beispielsweise Interface-Funktionen für das Smartphone übernehmen und eine aktive Nutzung von Apps erlauben, ohne wichtige akustische Informationen aus der eigentlichen Umgebung zu verpassen. Im visuellen Bereich ist es heute schon üblich, dass beispielsweise fremdsprachige Schrift in Echtzeit durch die gewünschte Sprache ersetzt wird. Dies soll zukünftig auch akustisch möglich sein, so dass Gesprächspartner sich trotz unterschiedlicher Sprache verbal unterhalten können. Dem Nutzer bietet sich somit künftig die Möglichkeit, seine wahrgenommene akustische Umgebung aktiv zu gestalten und somit eine eigene Personalized Auditory Reality zu erschaffen (Abb. 22).

Sowohl die Sensoren und Lautsprecher als auch die neuen Applikationen erfordern intelligente und leistungsfähige Signalverarbeitungseinheiten. Dank der MEMS-Technologie sind diese in die mechanischen Strukturen integrierbar. Dies spart Einbauraum und ermöglicht energieeffizientere Signalführungen, so dass trotz des größeren Funktionsumfangs zukünftige Kopfhörer nicht unhandlich groß und energiehungrig sind.

Danksagung

Daniel Beer dankt:

- den Herren Andrea Rusconi, Fabian Stoppel, Lutz Ehrig für die Zuarbeit zu den vorgestellten MEMS-Lautsprecherkonzepten
- den IDMT-Kollegen Katrin Pursche, Claudia Heinze, Tobias Fritsch, Jan Kueller, Georg Fischer für Zuarbeit, Korrekturlesen, Grafikerstellung in allen Bereichen
- der Sonova Holding AG und der Audifon GmbH & Co. KG für die Unterstützung bei der Ausarbeitung der Lautsprechermindestanforderungen für Hörgeräte
- der Beyerdynamic GmbH & Co. KG und der Sennheiser GmbH & Co. KG für die Unterstützung bei der Ausarbeitung der Lautsprechermindestanforderungen für Kopfhörer
- Herrn Tilman Koch für die Unterstützung bei der Ausarbeitung der Lautsprechermindestanforderungen für Kopfhörer

- Herrn Prof. Steffen Strehle/TU-Ilmenau für die Unterstützung bei der Darlegung der MEMS-Technologiegrundlagen
- Herrn Prof. Roy Knechtel/Hochschule Schmalkalden für die Unterstützung bei der Darlegung der Wertschöpfungskette für MEMS-Lautsprecher in der Anwendung Kopfhörer
- Frau Annika Neidhardt/TU-Ilmenau für die Unterstützung bei der Darlegung erweiterten Funktionsvielfalt des Kopfhörers von Übermorgen
- Frau Evelin Baumer und Herrn Prof. Detlef Krahé/Redaktion des Akustik-Journals der DEGA für die tolle Zusammenarbeit

Das Fraunhofer ISIT und das Fraunhofer IDMT danken:

Der vorgestellte MEMS-Lautsprecher des Fraunhofer ISIT wurde mit dem Fraunhofer IDMT im Projekt „SmartSpeaker - Smarte MEMS-Lautsprecher für mobile Anwendungen“ entwickelt und durch die Fraunhofer-Gesellschaft in der Fördermaßnahme „WISA-Wirtschaftsorientierte Strategische Allianzen“ gefördert.

Das Fraunhofer IPMS dankt:

Die hier gezeigten Arbeiten wurden im Projekt „MEMSound“ durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in der Fördermaßnahme „Validierung des technologischen und gesellschaftlichen Innovationspotenzials wissenschaftlicher Forschung - VIP+“ unter dem Förderkennzeichen 03VP01800 gefördert.

Das Fraunhofer IPMS, die Arioso-Systems GmbH und das Fraunhofer IDMT danken:

Den Reifegrad der Technologie zu erhöhen und NED-basierte MEMS-Lautsprecher marktfähig zu machen ist Ziel des Projektes „Hipersound“. Das Projekt wird von der Fraunhofer-Stiftung gefördert.

Literatur

- [1] <https://www.gfk.com/de/insights/press-release/globaler-audiomarkt-setzt-wachstumskurs-fort/> (letzter Aufruf: 04.12.2019)
- [2] <https://www.gfk.com/de/insights/press-release/globaler-markt-fuer-unterhaltungselektronik-weiterhin-im-aufwaertstrend/> (letzter Aufruf: 04.12.2019)
- [3] <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS45488019> (letzter Aufruf: 04.12.2019)
- [4] © istockphoto.com/diverse Künstler
- [5] © Fraunhofer IDMT (Abb. 2-8, Abb. 21), Abb. 7: LIU, CHANG, FOUNDATIONS OF MEMS, 2nd Ed., ©2012. Reprinted by permission of Pearson Education, Inc., New York, New

- York.
- [6] Hartmut Richter, persönliche Korrespondenz, Audifon GmbH & Co. KG, Kölleda, 26.11.2019, Korrespondenz mit Daniel Beer, Fraunhofer IDMT, Ilmenau
 - [7] Erwin Kuipers, persönliche Korrespondenz, Sonova Holding AG, Stäfa/Schweiz, 26.11.2019, Korrespondenz mit Daniel Beer, Fraunhofer IDMT, Ilmenau
 - [8] Roland Jacques, persönliche Korrespondenz, Sennheiser electronic GmbH & Co. KG, Wedemark-Wennebostel, 27.11.2019, Korrespondenz mit Daniel Beer, Fraunhofer IDMT, Ilmenau
 - [9] Oliver Schaal, Sebastian Haberzettl, persönliche Korrespondenz, beyerdynamic GmbH & Co. KG, Heilbron, 06.12.2019, Korrespondenz mit Daniel Beer, Fraunhofer IDMT, Ilmenau
 - [10] Tilman Koch, persönliche Korrespondenz, Hamburg, 27.11.2019, Korrespondenz mit Daniel Beer, Fraunhofer IDMT, Ilmenau
 - [11] Siemens, E. W.: Magneto-Electric Apparatus., Patentschrift US 149797, Anmeldedatum: 20.01.1874
 - [12] Cuttriss, C.; Redding, J.: Telephone., Patentschrift US 242816, Anmeldedatum: 28.11.1877
 - [13] Siemens, E. W.; Halske, J. G.: Telephone und Rufapparate mit magnetischer Gleichgewichtslage der schwingenden Theile., Patentschrift DE2355A, Erteilungsdatum: 14.12.1877
 - [14] Rice, C. W.; Kellogg, E. W.: Notes on the Development of a New Type of Hornless Loudspeaker., Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, Volume 44, pages 461 - 480, Jan. 1925, DOI: 10.1109/TAIEE.1925.5061127
 - [15] Watson, T. A.: Magneto-Telephone., Patentschrift US 266567, Anmeldedatum: 17.04.1880
 - [16] Capps, F.: Telephone., Patentschrift US 441396, Anmeldedatum: 07.04.1890
 - [17] Baldwin, N.: Telephone-Receiver., Patentschrift US 905781, Anmeldedatum: 29.01.1908
 - [18] © beyerdynamic GmbH & Co. KG, Heilbronn, Freigabe: 06.12.2019, Sebastian Haberzettl
 - [19] © Audifon GmbH & Co. KG, Kölleda, Freigabe: 06.12.2019, <https://www.kind.com/globalassets/downloads-bilder/hdo-ex-hoerer-300-dpi.tif>
 - [20] Acoustic MEMS and Audio Solutions – From Technologies to Markets 2017 Report, Yolé Développement, May 2017
 - [21] Royer, M.; Holmen, J. O.; Wurm, M. A.; Aadland, O. S.; Glenn, M.: ZnO On Si Integrated Acoustic Sensor, Sensors and Actuators, Volume 4, 1983
 - [22] Royer, M.: Piezoelectric Pressure Sensor., Patentschrift: US 4,445,384, Anmeldedatum: 30.03.1982
 - [23] Lee, S. S.; Ried, R. P., and White, R. M.: Piezoelectric Cantilever Microphone and Microspeaker, Solid-State Sensor and Actuator Workshop Hilton Head, South Carolina, June 13-16, 1994
 - [24] Lee, S. S.; White, R. M.; Pisano, A. P.: Cantilever Pressure Transducer, Patent: US5,633,552, Filed: 10.06.1994, Priority: 04.06.1993 (US7229493A)
 - [25] Lee, S. S.; Ried, R. P. Ried; White, R. M.: Piezoelectric Cantilever Microphone and Microspeaker, Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 5, No. 4, December 1996
 - [26] © [1996] IEEE. Reprinted, with permission, from [Lee, S. S.; Ried, R. P. Ried; White, R. M.: Piezoelectric Cantilever Microphone and Microspeaker, Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 5, No. 4, December 1996]
 - [27] Harradine, M. A.; Birch, T. S.; Stevens, J. C.; Shearwood, C.: A Micro-Machined Loudspeaker for the Hearing Impaired, 1997 International Conference on solid-State Sensors and Actuators, Chicago, June 16-19, 1997
 - [28] Shearwood, C.; Harradine M. A.; Birch, T. S.; Stevens, J. C.: Applications of Polyimide Membranes to MEMS Technology, Microelectronic Engineering, Volume 30, Issues 1-4, January 1996, Pages 547-550
 - [29] © [1997] IEEE. Reprinted, with permission, from [Harradine, M. A.; Birch, T. S.; Stevens, J. C.; Shearwood, C.: A Micro-Machined Loudspeaker for the Hearing Impaired, 1997 International Conference on solid-State Sensors and Actuators, Chicago, June 16-19, 1997.]
 - [30] Loeb, W. A.; Neumann, J. J.; Gabriel, K. J.: MEMS Digital-to-Acoustic Transducer With Error Cancellation, Patent: US20050013455 A1, Filed: 13.09.1999, Priority: 13.09.1999
 - [31] Neumann, J. J.; Gabriel, K. J.: CMOS-MEMS Membrane for Audio-Frequency Acoustic Actuation, Sensors and Actuators, Volume 95, Issues 2-3, January 2002, Pages 175-182
 - [32] © [2002] Elsevier. Reprinted, with permission, from [Neumann, J. J.; Gabriel, K. J.: CMOS-MEMS Membrane for Audio-Frequency Acoustic Actuation, Sensors and Actuators, Volume 95, Issues 2-3, January 2002, Pages 175-182]
 - [33] © USound GmbH
 - [34] Olive, S.; Welti, T.: "Factors That Influence Listeners' Preferred Bass and Treble Levels in Headphones," in Audio Engineering Society Convention 139, 2015
 - [35] F. Stoppel, A. Männchen, F. Niekiel, D. Beer, T. Giese, and B. Wagner, 'New integrated full-range MEMS speaker for in-ear applications', in

- 2018 IEEE Micro Electro Mechanical Systems (MEMS), 2018, pp. 1068–1071.
- [36] Stoppel, F.; Niekil, F.; Giese, T.; Gu-Stoppel, S.; Männchen, A.; Nowak, J.; Beer, D.; Wagner, B.: Novel Type of MEMS Loudspeaker Featuring Membrane-Less Two-Way Sound Generation, presented at the Audio Engineering Society Convention 143, 2017.
- [37] © Fraunhofer ISIT
- [38] Männchen, A.; Stoppel, F.; Brocks, T.; Niekil, F.; Beer, D.; Wagner, B.: Design and electro-acoustic analysis of a piezoelectric MEMS in-ear headphone, 2019 AES International Conference on Headphone Technology, August 2019
- [39] Kaiser, B.; Langa, S.; Ehrig, L.; Stolz, M.; Schenk, H.; Conrad, H.; Schenk, H.; Schimmanz, K.; Schuffenhauer, D.: Concept and proof for an all-silicon MEMS micro speaker utilizing air chambers. *Microsyst Nanoeng* 5, 43 (2019) doi:10.1038/s41378-019-0095-9
- [40] © Fraunhofer IPMS
- [41] Conrad, H.; Schenk, H.; Kaiser, B.; Langa, S.; Gaudet, K.; Schimmanz, K.; Stolz, M.: A small-gap electrostatic micro-actuator for large deflections. *Nat Commun* 6, 10078 (2015) doi:10.1038/ncomms10078
- [42] Ehrig, L.; Wall, F.; Schenk, H.A.G.; Langa, S.; Melnikov, A.; Stolz, M.; Kaiser, B.; Conrad, H.; Schenk, H.: Electrostatic all silicon MEMS speakers for in-ear audio applications – acoustic measurements and modelling approach. *Proceedings of the 23rd International Congress on Acoustics* (2019)
- [43] Ehrig, L.; Kaiser, B.; Schenk, H.; Stolz, M.; Langa, S.; Conrad, H.; Männchen, A.; Brocks, T.: Acoustic Validation of Electrostatic All-Silicon MEMS-Speakers. 2019 AES International Conference on Headphone Technology, August 2019
- [44] Männchen, A.; Stoppel, F.; Beer, D.; Niekil, F.; Nowak, J.; Wagner, B.: Zwei-Wege-Lautsprecher basierend auf MEMS-Technologie. In: *Fortschritte der Akustik – DAGA 2018*, 44. Jahrestagung für Akustik, München, S. 901-904
- [45] © Technische Universität Ilmenau/Institut für Medientechnik ■

Daniel Beer

*Fraunhofer-Institut
für Digitale Me-
dientechnologie
IDMT, Ilmenau*

Andrea Rusconi

USound GmbH

Fabian Stoppel

*Fraunhofer-Institut
für Siliziumtechno-
logie ISIT, Itzehoe*

Lutz Ehrig

*Fraunhofer-Institut
für Photonische Mi-
krosysteme IPMS,
Arioso Systems
GmbH, Dresden*

Schallschutz- und Akustiklösungen weltweit



für Medizin und Gesundheit, Testeinrichtungen für
die Industrie, Gebäudeakustik, Studios

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

Ehrungen der DEGA

Preisträgerinnen und Preisträger 2020

Die DEGA verleiht im Rahmen der Jahrestagung DAGA 2020 die folgenden Preise:

- die **Helmholtz-Medaille** an
Prof. Dr.-Ing. Reinhard Lerch
für seine herausragenden Beiträge zu
Forschung und Lehre auf vielfältigen
Gebieten der Technischen Akustik,
- den **Lothar-Cremer-Preis** an
Dr. Kai Siedenburg
für seine wegweisenden Arbeiten auf
den Gebieten der Psychoakustik und
Musikwahrnehmung,
- zwei **DEGA-Studienpreise** an
M.Sc. Anne Heimes
für ihre Masterarbeit „Filter Design
for Sound Insulation Auralization“
an der RWTH Aachen; und an
B.Sc. Liv Moretto Sørensen
für ihre Bachelor-Arbeit „Clustering
in an array of nonlinear and active
oscillators as a model of spontaneous
otoacoustic emissions“ an der
University of Copenhagen.

Die Preisverleihungen finden im
Anschluss an die Eröffnung der DAGA
2020 am

Dienstag, den **17. März 2020**

um 9:00 Uhr

im **großen Kuppelsaal**

des Hannover Congress Centrum
statt. Ausführliche Informationen zu
den Preisträgerinnen und Preisträgern
und ihren DAGA-Vorträgen finden Sie
im Tagungsprogramm der DAGA 2020
auf den Seiten 46–48.

Menschen

Ehrungen und Gratulationen

■ Wir gratulieren

zum 85. Geburtstag (Dez. 2019):

Prof. Dr. Ernst Terhardt,

Träger der Helmholtz-Medaille (2006),

Leitung der DAGA-Tagung 1980 ■

■ Personalien

■ Prof. Dr.-Ing. Joachim Bös ist seit
Oktober 2019 Professor für das neue
Fachgebiet „Industrielle Anwendun-
gen von Medientechnologien“ an der
Technischen Universität Ilmenau
und gleichzeitig Institutsleiter des
Fraunhofer IDMT in Ilmenau.

■ Prof. Dr.-Ing. Jochen Steffens hat im
Dezember 2019 eine Professur für
Musikalische Akustik am Fach-
bereich Medien der Hochschule
Düsseldorf übernommen. ■

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:

- Urban Soundscapes of the World
- Influence of Sound Environment on People's Emotional Feelings
- Auralization of Building Acoustics for Psychoacoustic Experiments
- Gehörliche Bewertung der Lärmexposition in Kindertagesstätten

Veranstaltungen

■ Veranstaltungshinweise

27.02.2020

ALD-Veranstaltung

„Kauf leise – Buy quiet“



Am 27. Februar 2020 führt der ALD gemeinsam mit dem Sächsischen Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL) eine Veranstaltung zum Thema „Kauf leise - Buy quiet“ in Dresden durch.

Die Daten des Umweltbundesamtes zu den Beeinträchtigungen durch Lärm zeigen ein hohes Maß an Betroffenheit: Nur 20 % der Bevölkerung fühlen sich durch den Lärm nicht gestört. Lärm belästigt aber nicht nur, er bringt auch gesundheitliche Risiken mit sich. Mehr Lärmschutz tut also not.

Ein wichtiges Element der Lärmbekämpfung ist der Gebrauch leiserer Geräte, Maschinen und Produkte. Der Verkehrslärm kann z. B. durch den Einsatz leiserer Kfz-Reifen oder die Beschaffung lärmarmer Fahrzeuge gemindert werden. Für fast alle Produkte und Geräte sind leiserer Varianten verfügbar. Bürgerinnen und Bürger können durch lärmbewussten Kauf und staatliche Einrichtungen wie Kommunen und Verkehrsbetriebe durch ihre Beschaffung einen relevanten Beitrag zur Lärminderung leisten.

Auf der gemeinsamen Veranstaltung des SMEKUL und des ALD werden deshalb ausgewählte lärmarmer Produkte vorgestellt. Es wird beschrieben, wie diese Produkte auf dem Markt zu erkennen sind – z. B. durch Kennzeichnungen und Labels wie den Blauen Engel – und wie die Rahmenbedingungen für den Einsatz dieser Produkte verbessert werden können, beispielsweise durch Benutzervorteile, finanzielle Anreize oder haushaltsrechtkonforme Beschaffungsregeln.

Veranstaltungsort

Sächsische Aufbaubank
Pirnaische Str. 9
01069 Dresden

Programm und Anmeldung:

<http://www.ald-laerm.de/ald/projekte-des-ald/2020/kauf-leise/> ■

16.–19.03.2020

DAGA 2020

46. Jahrestagung für Akustik – 50 Jahre DAGA



Einladung

Hannover – UNESCO-City of Music, Stadt der Chöre und des Klangs – im Jubiläumsjahr ist Hannover im Herzen Deutschlands erstmals Gastgeber der DAGA: Seien Sie herzlich eingeladen zur DAGA2020 und zum Jubiläum „50 Jahre DAGA“.

Anmeldung und Teilnahmegebühren

Bis 10. März online unter:

<https://www.daga2020.de/de/anmeldung/>

DAGA-Online-App

Die App zur DAGA ist, ebenso wie das Programmheft, ab sofort verfügbar und kann mit PC sowie Smartphone genutzt werden:

- wissenschaftliches Programm und Rahmenprogramm vollständig enthalten und durchsuchbar
- Programm mit aktuellen Änderungen sowie Late Postern
- Erstellung eines persönlichen Zeitplans
- grafische Sitzungsübersicht
- Tagesansichten, Autorenliste, Raum- und Umgebungspläne

<https://www.daga2020.de/programm/>

Jubiläumsaktivitäten

- Festakt mit Erstaufführung der DAGA-Hymne und Fotoshow aus 50 Jahren DAGA
Wir freuen uns auf Ihre vorab-Einsendungen von DAGA-Fotos, insbesondere aus den Jahren vor 2008, an tagungen@dega-akustik.de.
Vielen Dank!
- Future Lab: ein offener Raum für Begegnung, kreativen Austausch und Diskussion
- Ausstellung zu Messtechnik der 70er Jahre
- Interaktive Displays, u.a. mit DAGA-Quiz, Fotoshow und DAGA-Landkarte

vollständiges Rahmen- und Jubiläumsprogramm unter

<https://www.daga2020.de/programm/>

Geselliger Jubiläums-Abend

Die traditionelle Abendveranstaltung zur DAGA, dieses Jahr mit:

- Geburtstagsständchen vom DAGA-Chor (Interessierte melden sich bitte mit Angabe ihrer Stimmgruppe unter tagungen@dega-akustik.de und erhalten Noten und weitere Informationen vorab.)
- Jam-Session der DAGA-Allstars (MitspielerInnen melden sich zur Koordination bitte bei Malte Kob: kob@hfm-detmold.de)
- Geburtstagstorte und Jazzquartett der HMTMH

**Research in Short(s)**

Wissenschaftlich-unterhaltsamer Wettbewerb mit 5-minütigen Projektvorträgen, deren Gewinner mit Sachpreisen von Sennheiser geehrt werden. Anmeldung bis 15. Februar und weitere Informationen unter

<https://www.daga2020.de/programm/research-in-shorts/>

Fachexkursionen

- Tonstudio Tessmar Hannover
 - Alles unter einem Dach – Das Deutsche HörZentrum der HNOKlinik an der Medizinischen Hochschule Hannover
 - Sennheiser electronic GmbH
 - Klangort Hannover: Eine Entdeckertour für die Ohren
- Weitere Informationen in der DAGA-App und unter <https://www.daga2020.de/de/programm/fachexkursionen/>

Tagungsbegleitende Ausstellung

- Die wissenschaftliche Tagung wird von einer Firmenausstellung begleitet, welche die Kontaktvernetzung zwischen Theorie und Praxis pflegt und Unternehmen die Möglichkeit bietet, ihre Produkte und Dienstleistungen vorzustellen. Sie ist vom 17. bis 19.03. geöffnet.
- <https://www.daga2020.de/ausstellung/>

Zentrale Termine zur DAGA 2020

- Ende Februar 2020: Versand des Programms an die angemeldeten Teilnehmer mit Versandwunsch. Programmheft und App sind bereits online verfügbar: <https://www.daga2020.de/de/programm/>
- 15. Februar 2020: Letzter Termin zur Einreichung eines Late Posters sowie eines Beitrags für Research in Short(s)
- 09. März 2020: letzter Tag zur Bewerbung um den Posterpreis
- 16. März 2020: Vorkolloquien und DEGA-Mitgliederversammlung
- Frühjahr 2020: Alle Teilnehmer erhalten per E-Mail den Online-Zugang zum Tagungsband

Tagungsleitung

Jürgen Peissig und Sabine C. Langer ■

20.–24.04.2020

Forum Acusticum 2020

in Lyon



Das Forum Acusticum findet alle drei Jahre als große europäische Tagung für Akustik statt, organisiert von einer nationalen Fachgesellschaft für Akustik im Namen der European Acoustics Association (EAA). Im Jahr 2020 wird die Tagung von der Société Française d'Acoustique in Lyon (Frankreich) durchgeführt.

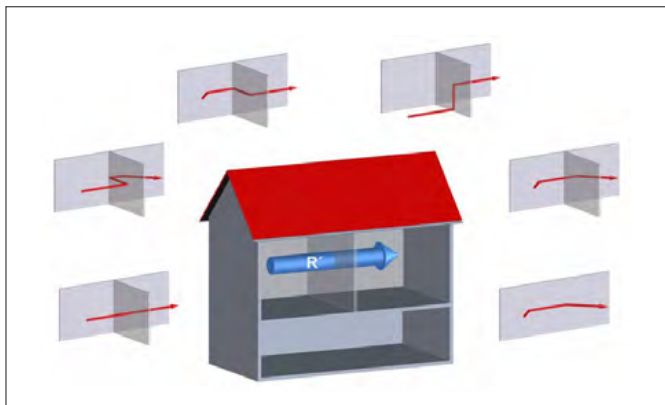
Sie sind herzlich eingeladen, am Forum Acusticum 2020 vom 20. bis 24. April 2020 teilzunehmen; siehe Webseite:

<https://fa2020.universite-lyon.fr/> ■

27.–29.04.2020

DEGA-Akademie

Kurs „Bauakustik – von den Grundlagen zur Anwendung“



Dieser Kurs findet das nächste Mal vom 27. bis 29. April 2020 in Braunschweig statt. Er richtet sich an alle, die sich mit der Thematik intensiver auseinander setzen wollen (insbesondere aus Architektur, Bauingenieurwesen etc.).

Leitung und Referenten:

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

Veranstaltungsort:

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

Programm, Leistungen, Gebühren und Anmeldung:

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

Hinweis: Zum Redaktionsschluss war der Kurs bereits ausgebucht; Anmeldungen sind leider nicht mehr möglich. ■

29.04.2020

Tag gegen Lärm 2020

www.tag-gegen-laerm.de

Unter dem Motto „Ich bin ganz Ohr“ findet am 29. April 2020 der 23. Tag gegen Lärm – International Noise Awareness Day statt.

Hinhören und Geräusche bewusst wahrnehmen und nach Veränderungen suchen, die die Lebensqualität aus akustischer Perspektive verbessern können – darauf zielt die Aktion der Deutschen Gesellschaft für Akustik -DEGA- an diesem Tag gegen Lärm ab und bindet sich damit auch mit ihren Aktionen in das „International Year of Sound“ (<https://sound2020.org>) ein.

In einer zentralen und gemeinsamen Veranstaltung der DEGA, des ALD, des FA Lärm und der BG BAU am 28. April 2020 in Berlin wird es um die Stadt der Zukunft, Verdichtung von Innenstädten, E-Mobilität und Baustellen als Beiträge zur Veränderung von städtischen Strukturen gehen. Geplant ist zudem, in diesem Jahr wieder eine Pressekonferenz durchzuführen.

Darüber hinaus soll es an diesem Tag auch weitere Schnittstellen mit Aktionen geben, die im Kontext des International Year of Sound stattfinden, siehe auch <https://www.dega-akustik.de/dega/aktuelles/video-iys-2020>.

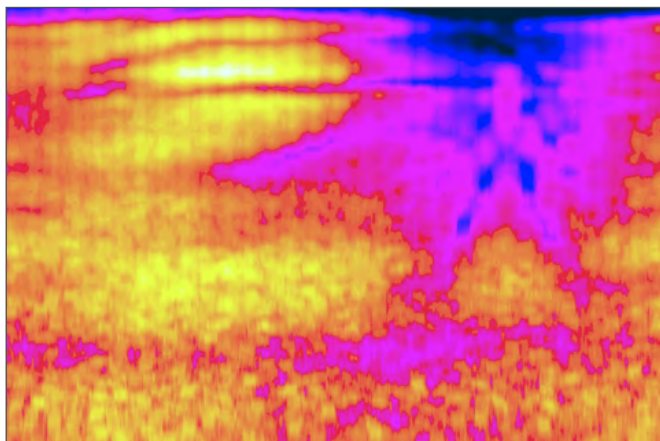
Zudem haben auch in diesem Jahr Schulen, Verbände und andere öffentliche Einrichtungen die Möglichkeit,

- sich den Lärmkoffer „Lärmdetektive – Dem Schall auf der Spur“ auszuleihen und diesen im Unterricht, an Projekt- oder Aktionstagen einzusetzen
- und/oder einen Aktionstag mit dem Lärmkoffer zu buchen.

Weitere und aktuelle Informationen rund um den Tag gegen Lärm finden Sie auf unserer Webseite www.tag-gegen-laerm.de. Ab Ende Februar können Sie dort auch Ihre Aktionen anmelden und die diesjährigen Plakate bestellen bzw. herunterladen.

Machen Sie mit beim 23. Tag gegen Lärm – International Noise Awareness Day!

Brigitte Schulte-Fortkamp, André Fiebig und Evelin Baumer ■

15.–17.09.2020**DEGA-Akademie****Kurs „Psychoakustik - Grundlagen und Anwendungen“**

Dieser Kurs findet zum dritten Mal vom 15. bis 17. September 2020 in Berlin statt.

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

Leitung und Referenten:

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

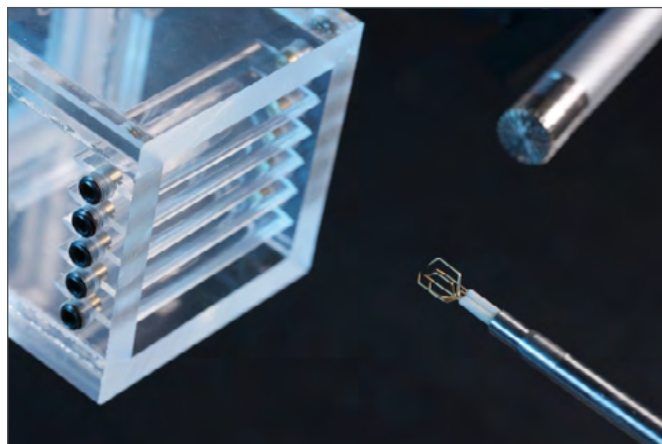
Veranstaltungsort:

DIN – Deutsches Institut für Normung e. V.
Budapester Straße 31
10787 Berlin

<http://www.din.de>

Programm, Leistungen, Gebühren und Anmeldung:

siehe <http://www.dega-akustik.de> ■

29.–30.09.2020**DEGA-Akademie****Kurs „Strömungsakustik 1 – Grundlagen, Auslegungen und Anwendungen“**

Nach mehreren erfolgreichen Akademie-Kursen bietet die diesjährige DEGA-Akademie zur Strömungsakustik ein neues überarbeitetes Konzept, das aus 2 Kursen besteht:

- Strömungsakustik 1 – Grundlagen, Auslegungen und industrielle Anwendungen
- Strömungsakustik 2 – Theorie, numerische Berechnungsverfahren und Anwendungen

Der Kurs 1 findet am 29. und 30. September 2020 in Erlangen statt. Er lehrt die Strömungsakustik von den Grundlagen zu den Anwendungen in kompakter und praxisnaher Form. Er richtet sich insbesondere an Entwicklungsingenieure, Ingenieure in Forschungs- und Hochschulinstituten, aber auch an Mitarbeiter in Beratungsfirmen und behördlichen Einrichtungen, die sich mit diesem Themenkomplex intensiv auseinandersetzen bzw. beschäftigen wollen.

Leitung und Referenten:

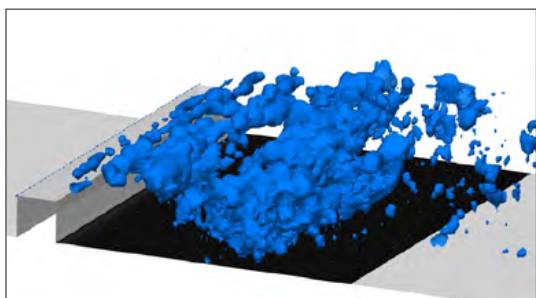
- Prof. Dr.-Ing. Stefan Becker (Universität Erlangen, Leitung)
- Prof. Dr.-techn. Manfred Kaltenbacher (TU Graz/TU Wien, Leitung)
- Prof. Dr.-Ing. Ennes Sarradj (TU Berlin)
- Dr.-Ing. Alexander Lodermeier (Universität Erlangen)
- Dipl.-Ing. Sebastian Floss (TU Wien)

Veranstaltungsort:

Universität Erlangen-Nürnberg
Cauerstr. 4, Kurssaal II
91058 Erlangen

Programm, Leistungen, Gebühren und Anmeldung:

siehe <http://www.dega-akustik.de> ■

01.–02.10.2020**DEGA-Akademie****Kurs „Strömungsakustik 2 – Theorie, numerische Verfahren und Anwendungen“**

Wie oben beschrieben, bietet die diesjährige DEGA-Akademie zur Strömungsakustik ein neues überarbeitetes Konzept, das aus 2 Kursen besteht:

- Strömungsakustik 1 – Grundlagen, Auslegungen und industrielle Anwendungen
- Strömungsakustik 2 – Theorie, numerische Berechnungsverfahren und Anwendungen

Der Kurs 2 findet am 01. und 02. Oktober 2020 in Erlangen statt. Er ergänzt den Kursteil 1 und ist eine Erweiterung und Vertiefung der bisherigen Akademie-Kurse zur Strömungsakustik. Er lehrt die Theorie der Strömungsakustik und gibt einen intensiven Einblick in die CAA-Berechnungsverfahren. Es wird der momentane Entwicklungsstand in der Behandlung strömungsakustischer Fragestellungen aufgezeigt.

Der Kurs richtet sich speziell an Entwicklungsingenieure in der Industrie und Ingenieure in Forschungs- und Hochschulinstituten, die schon auf dem Gebiet der Strömungsakustik arbeiten, Erfahrungen auf diesem Gebiet haben und sich mit diesem Themenkomplex auseinandersetzen.

Leitung und Referenten:

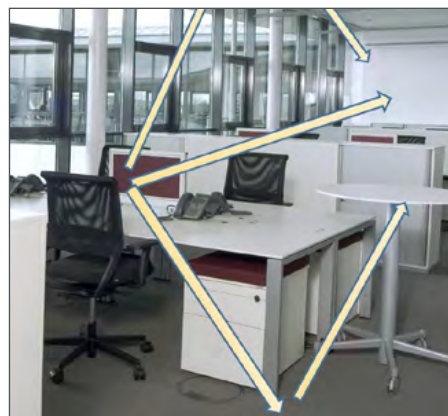
- Prof. Dr.-Ing. Stefan Becker (Universität Erlangen, Leitung)
- Prof. Dr.-Ing. Jan Delfs (DLR, Braunschweig)
- Prof. Dr.-Ing. Lars Enghardt (DLR, Berlin)
- Prof. Dr.-techn. Manfred Kaltenbacher (TU Graz/TU Wien, Leitung)
- Prof. Dr. rer. nat. Claus-Dieter Munz (Universität Stuttgart)
- Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schröder (RWTH Aachen)
- Dr.-Ing. Roland Ewert (DLR, Braunschweig)
- Dr.-tech. Stefan Schoder (TU Wien)
- M. Sc. Andreas Renz (Universität Erlangen)

Veranstaltungsort:

Universität Erlangen-Nürnberg
Cauerstr. 4, Kurssaal II
91058 Erlangen

Programm, Leistungen, Gebühren und Anmeldung:

siehe <http://www.dega-akustik.de> ■

26.10.2020**DEGA-Akademie****Kurs „Raumakustik kompakt“**

Dieser neue Kurs findet erstmals am 26. Oktober 2020 in Hannover statt.

Im Fokus steht die Raumakustik von den Grundlagen zu den Anwendungen in kompakter und zugleich sehr praxisnaher Form. Er richtet sich an Beratungsbüros, Behörden und Baufirmen (insbesondere aus Architektur, Bauingenieurwesen etc.) und an alle weiteren Interessierten, die sich mit dem Themenkomplex der Raumakustik intensiver beschäftigen wollen. Im Kurs werden die theoretischen Grundlagen in dem Umfang aufbereitet, wie es für das Verständnis von anwendungsbezogenen Aspekten notwendig ist. Zudem wird die Wirkung der verschiedenen Absorbentypen ausführlicher erläutert. Der Bezug zu den praktischen Aufgaben und Problemstellungen der Raumakustik steht dabei besonders im Mittelpunkt und wird u. a. durch typische Beispiele aus der Praxis hergestellt. Zum Abschluss des Tages soll jeder Teilnehmer die typischen „Fallen und Stricke“ der Raumakustik kennen und in der Lage sein, für die verschiedenen Raumtypen mit ihren unterschiedlichen Anforderungen grundlegende raumakustische Auslegungen eigenständig durchzuführen.

Leitung und Referent:

- Prof. Dr.-Ing. Alfred Schmitz, TU Braunschweig / TAC-Technische Akustik, Grevenbroich

Veranstaltungsort:

Akademie des Sports Hannover
Ferdinand-Wilhelm-Fricke-Weg 10
30169 Hannover,

<https://www.akademie.lsb-niedersachsen.de/hannover>

Programm, Leistungen, Gebühren und Anmeldung:

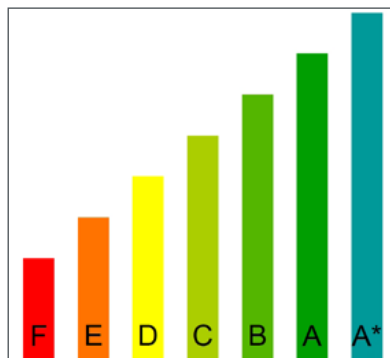
siehe <http://www.dega-akustik.de>

Auf dieser Webseite finden Sie ab Frühjahr 2020 auch diejenigen Ingenieurkammern, die den Kurs als Fortbildungsveranstaltung anerkennen. ■

26.11.2020

DEGA-Akademie

Kurs „DEGA-Schallschutzausweis“



Dieser Kurs findet das nächste Mal am 26. November 2020 in Stuttgart statt.

Er richtet sich an alle Interessierten, die ihre Fachkenntnis zur Anwendung bzw. Ausstellung von DEGA-Schallschutzausweisen (www.dega-schallschutzausweis.de) erweitern wollen und sich über Details zur betreffenden DEGA-Empfehlung informieren möchten.

Leitung und Referent:

- Dipl.-Ing. Christian Burkhardt, Akustikbüro Schwartzberger und Burkhardt, Pöcking

Veranstaltungsort:

Haus der Wirtschaft Baden-Württemberg
Willi-Bleicher-Straße 19
70174 Stuttgart,
<http://www.hausderwirtschaft.de>

Programm, Leistungen, Gebühren und Anmeldung:

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

Auf dieser Webseite finden Sie ab Frühjahr 2020 auch diejenigen Ingenieurkammern, die den Kurs als Fortbildungsveranstaltung anerkennen. ■

■ Kalender

- **27.02.2020 in Dresden:**
ALD-Veranstaltung „Kauf leise – Buy quiet“, siehe Seite 5 und 41
<http://www.ald-laerm.de>
- **16.–19.03.2020 in Hannover:**
Jahrestagung DAGA 2020 – 50 Jahre DAGA, siehe Seite 41 und
<http://www.daga2020.de>
- **20.–24.04.2020 in Lyon (F):**
Forum Acusticum 2020, siehe Seite 42 und
<https://fa2020.universite-lyon.fr/>
- **27.–29.04.2020 in Braunschweig:**
DEGA-Akademie-Kurs „Bauakustik – von den Grundlagen zur Anwendung“, siehe Seite 43 und
<http://www.dega-akustik.de/aktuelles>
- **28.04.2020 in Berlin:**
Zentrale Veranstaltung zum 23. Tag gegen Lärm und zum International Year of Sound 2020, siehe Seite 43
- **29.04.2020 bundesweit:**
23. Tag gegen Lärm, siehe
<http://www.tag-gegen-laerm.de>
- **23.–26.08.2020 Seoul (KR):**
Inter-Noise 2020, siehe
<http://www.internoise2020.org>
- **06.–10.09.2020 in Jena:**
17th Meeting of the European Society of Sonochemistry, siehe
<https://www.ess2020.de/>

- **15.–17.09.2020 in Berlin:**
DEGA-Akademie-Kurs „Psychoakustik - Grundlagen und Anwendungen“, siehe Seite 44 und
<http://www.dega-akustik.de/aktuelles>
- **29.–30.09.2020 in Erlangen:**
DEGA-Akademie-Kurs „Strömungsakustik 1 – Grundlagen, Auslegungen und Anwendungen“, siehe Seite 44 und
<http://www.dega-akustik.de/aktuelles>
- **01.–02.10.2020 in Erlangen:**
DEGA-Akademie-Kurs „Strömungsakustik 2 – Theorie, numerische Verfahren und Anwendungen“, siehe Seite 45 und
<http://www.dega-akustik.de/aktuelles>

- **15.–16.10.2020 in Bad Honnef:**
26. Workshop „Physikalische Akustik“, siehe Seite 54
- **26.10.2020 in Hannover:**
DEGA-Akademie-Kurs „Raumakustik kompakt“, siehe Seite 45 und
<http://www.dega-akustik.de/aktuelles>
- **26.11.2020 in Stuttgart:**
DEGA-Akademie-Kurs „DEGA-Schallschutzausweis“, siehe Seite 46 und
<http://www.dega-akustik.de/aktuelles>

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

UMFOTEC

ACOUSTIC SOLUTIONS

• Weltmarktführer von *Resonatoren* für Turbolader

- Edelstahl, Aluminium, technische Kunststoffe
- Maximale Dämmung, minimaler Druckverlust
- Robust auch mit kontaminierten Medien

• *Resabtoren* für Luftführungen

- Patentierte Lösungen von Umfotec 
- Kombination aus Resonator und Absorber
- Überragende Schallabsorption mit *Utec-Sonic* Materialien

• Explizite Entwicklung von Kunden-Lösungen



DEGA

Nachrichten und Mitteilungen aus der Fachgesellschaft

■ Einladung DEGA-Mitgliederversammlung

Wie in den zurückliegenden Jahren findet auch in diesem Jahr die jährliche Mitgliederversammlung der Deutschen Gesellschaft für Akustik im Rahmen ihrer Jahrestagung, der DAGA 2020, statt.

Alle Mitglieder sind herzlich eingeladen, an dieser Versammlung

am Montag, den **16. März 2020**
um **17:00 Uhr**
im **Blauen Saal**
des Hannover Congress Centrum
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
- 6. Entlastung des Vorstands
- 7. Wahl der Rechnungsprüfer
- 8. Berichte aus den Fachausschüssen und Fachgruppen
- 9. Verschiedenes

- 10. Termin der nächsten Mitgliederversammlung

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

Jesko Verhey,
Präsident der DEGA ■

■ DFG-Fachkollegien neu gewählt

Im Herbst 2019 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 12 Jahren ist das Fachgebiet Akustik mit einem eigenen Fach (402-04) hierin vertreten. Die Wahl ist mittlerweile abgeschlossen, und das vorläufige Ergebnis steht seit Ende November fest, siehe https://www.dfg.de/dfg_profil/gremien/fachkollegien/fk_wahl2019/index.jsp. Demnach wurden als Mitglieder im Fach „Akustik“ Prof. Dr. Birger Kollmeier (Oldenburg) und Prof. Dr. Janina Fels (Aachen) wieder- bzw. neu gewählt. Beiden wünschen wir für die kommenden Jahre viel Erfolg bei ihrer wichtigen Aufgabe, und wir danken Prof. Dr. Ennes Sarraj für sein Engagement als Fachkollegiat in den letzten vier Jahren. ■

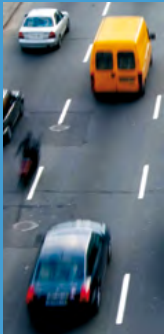
■ Reisekostenzuschüsse „DEGA Young Scientist Grants“

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 auf der Seite

<https://www.dega-akustik.de/preise-grants/ys-grants/> ■



Akustikbüro
Schwartzberger und Burkhart





Beratung und Planung
Messen von Schall und Erschütterungen
Gutachten

Bauakustik, Raumakustik
Beschallungstechnik
Schall-Immissionsschutz
Erschütterungsschutz
Thermische Bauphysik

Öffentlich bestellte und vereidigte Sachverständige
VMPA - Schallschutzprüfstelle
Messstelle § 29 BImSchG für Geräusche und Erschütterungen
Beratende Ingenieure
Verantwortliche Sachverständige nach § 2 Absatz 1 der ZVENEV
Akkreditiertes Prüflaboratorium gemäß DIN EN ISO/IEC 17025: 2005
Wir arbeiten mit dem Qualitätsmanagement nach ISO 9001: 2008

Schallschutz
Wärmeschutz
Bauphysik

Hindenburgstraße 34 a
82343 Pöcking am Starnberger See
Tel 08157 / 93 35 -0, Fax -99
anfrage@akustikbuero.com
www.akustikbuero.com

■ Wettbewerb „So klingt meine Welt“: Ergebnisse

Im Rahmen des Tag gegen Lärm 2019 wurde ein Wettbewerb durchgeführt, gefördert durch das Bundesumweltministerium und das Umweltbundesamt.

Schülerinnen und Schüler der Klassen 1 bis 6 haben im Sommer 2019 Bilder oder Videos angefertigt und eingesandt. Das Motto hierzu war: „So klingt meine Welt“ bzw. „Geräuschdetektive gesucht – Findet heraus, welche Klänge für euch wichtig sind“; weitere Erläuterungen hierzu finden Sie auf www.so-klingt-meine-welt.de. Nachdem eine Jury die Einsendungen bewertet hat, haben die folgenden Bilder und Videos jeweils die 1., 2. und 3. Preise gewonnen:

Bilder, Klassen 1–3

- 1. Platz: Emelie, KGS Nieheim,** Klasse 2b (siehe oberes Bild)
- 2. Platz: Klasse 3c,** Hans-Christian-Andersen-Schule, Neu-Isenburg
- 3. Platz: Celina, Südwest** Grundschule Sangerhausen, Klasse 3

Bilder, Klassen 4–6

- 1. Platz: Klasse 4a,** Grund- und Oberschule „Mina Witkojc“, Burg (siehe unteres Bild)
- 2. Platz: L.,** Franz-von-Agliardis Mittelschule, Teisendorf, Klasse 6
- 3. Platz: Ronja und Lorelei,** Lütte Nordlichter, Dersekow, Klasse 4b

Videos

- 1. Platz: Klasse 5,** Musikgymnasium Käthe Kollwitz, Rostock
- 2. Platz: Klasse 6d,** Realschule Sodingen, Herne
- 3. Platz: Klasse 5c,** Grimmelshausenschule Renchen

Die prämierten Bilder und Videos stehen auf

www.so-klingt-meine-welt.de

zur Ansicht bzw. zum Download bereit.



■ Fachausschüsse / Fachgruppen

Fachgruppe „junge DEGA“



Vorsitzende:

Dorothea Lincke, Berlin
dorothea.lincke@posteo.de

Die DAGA 2020 in Hannover steht bevor, doch bevor wir zu den Neuerungen kommen, die diese Jahr für die junge DEGA anstehen, möchten wir noch einen kurzen Blick zurück werfen auf unseren Herbstworkshop 2019.



Wir hatten mit den rund 30 Teilnehmer*innen drei großartige Tage in Berlin mit exzellenten Gast-Vorträgen, spannenden Exkursionen unter anderem in die Staatsoper Berlin und einen anregenden Austausch unter jungen Akustiker*innen. Wer Lust und Laune hatte, konnte außerdem selbst aktiv werden beim Hands-on Lautsprecher-Workshop, durch einen eigenen Vortrag oder in der nächtlichen Jam-Session. Ein großes Dankeschön an alle, die bei Organisation und Umsetzung mitgeholfen haben. Auch in diesem Jahr wird es wieder einen Herbstworkshop geben, aber zunächst steht die DAGA auf dem Plan. Neben den alten Bekannten Icebreaker und Kneipenabend wird es auf der DAGA auch wieder die Infomesse geben. Die auch im letzten Jahr schon eine schöne Gelegenheit geboten hat für junge Akustiker*innen mit Firmen

und Forschung in Austausch zu treten. Außerdem stehen zwei Neuerungen auf dem Plan: Für das junge-DEGA-Mentoring-Programm fällt in Hannover der Startschuss und die ersten Tandems lernen sich kennen. Doch damit nicht genug; in diesem Jahr veranstalten wir erstmals Research in Short(s), das kleine Geschwisterkind der Fachvorträge. Wer schon immer mal seine Forschung in extremer Kürze und leicht verständlich präsentieren wollte, der ist herzlich eingeladen, die Bühne zu erklimmen. Sowohl für das Mentoring-Programm als auch für Research in Short(s) werden noch Anmeldungen entgegen genommen. Weitere Infos finden sich auf der Website der jungen DEGA.

Nochmal zusammengefasst – die Aktivitäten der jungen DEGA auf der DAGA 2020 (alle Fachgruppenmitglieder und -interessenten sowie Studierende, Promovierende und Berufseinsteiger sind herzlich eingeladen):

- **junge DEGA – Icebreaker:**
Montag, den 16. März 2020,
15:00 - 16:30 Uhr,
HCC-Restaurant;
beim „Icebreaker“ bietet sich schon vor Beginn der eigentlichen Tagung die Möglichkeit eines gegenseitigen Kennenlernens.
- **Kneipenabend:**
Montag, den 16. März 2020,
ab 19:00 Uhr,
Brauhaus, Schmiedestraße 13,
www.brauhaus.net;
der inzwischen traditionelle Kneipenabend der jungen DEGA heißt bereits am Vorabend der DAGA Eröffnung alle jungen, jüngeren und jung gebliebenen Akustiker*innen herzlich willkommen.
- **Meeting der jungen DEGA:**
Dienstag, den **17. März 2020**
von **12:00 bis 13:20 Uhr**
im **Raum 27**

- **Research in short(s):**
Dienstag, den 17. März 2020,
ab 13:20 Uhr,
Roter Saal;
Science Slam zu unterhaltsamen wissenschaftlichen Projekten für alle Tagungsteilnehmenden. Beitragsanmeldungen bitte bis 15. Februar 2020 an 5minuten@daga2020.de; den drei Gewinnern winken Sachpreise von Sennheiser.
- **Vortrag: DFG-Förderung der frühen wissenschaftlichen Karriere:**
Dienstag, 17. März 2020,
13:20 Uhr,
Raum 8;
Überblicksvortrag zu Förderformaten und Beratungsmöglichkeiten von Dr. Wieland Biedermann (DFG)
- **Mentoring Kick-Off:**
Mittwoch, 18. März 2020,
11:00 Uhr,
Future Meeting Space A;
offizielle Auftaktveranstaltung des Mentoring Programms der jungen DEGA, bei dem sich die Mentor*innen und Mentees, die sich zum Programm angemeldet haben, austauschen und kennen lernen können. Auch alle, die an dem Programm Interesse haben sind herzlich eingeladen.
- **Infomesse in der Firmenausstellung:**
Mittwoch, den 18. März 2020,
ab 12:30 Uhr,
Niedersachsenhalle A (beim Catering);
eine Infomesse für Studierende, Promovierende und Neugierige mit Partnern aus Forschung, Industrie sowie Lehre. ■

Dorothea Lincke

Arbeitsring Lärm der DEGA (ALD)



Vorsitzender:

Dipl.-Ing. Michael Jäcker-Cüppers,
Berlin

m.jaecker-cueppers@ald-laerm.de

Einladung zur 13. Mitgliederversammlung des ALD

Die jährliche Mitgliederversammlung des ALD wird im Rahmen der DAGA 2020 in Hannover

am Donnerstag, den **19. März 2020**
von **12:30 bis 14:00 Uhr**
im **Blauen Saal**

stattfinden. Alle Mitglieder und Gäste sind herzlich eingeladen. Wir möchten die ALD-Mitglieder darauf hinweisen, dass zur Teilnahme an der Mitgliederversammlung keine Registrierung für die DAGA-Tagung erforderlich ist.

Es wird die folgende Tagesordnung vorgeschlagen:

1. Begrüßung
2. Prüfung der Beschlussfähigkeit
3. Genehmigung der Tagesordnung
4. Genehmigung des Protokolls der 12. Mitgliederversammlung
5. Bericht der ALD-Leitung
6. Planung der Arbeiten und Projekte 2020
7. Verschiedenes
8. Zeit und Ort der nächsten Mitgliederversammlung ■

*Christian Beckert,
Michael Jäcker-Cüppers,
Dirk Schreckenberger*

Fachausschuss Bau- und Raumakustik



Vorsitzender:

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

Der Fachausschuss Bau- und Raumakustik traf sich am 08. Oktober 2019 in Baden-Baden-Steinbach zu seiner 55. Sitzung. Die Tagung fand bei der Firma Schöck Bauteile GmbH statt. In der Fragestunde zum fachlichen Austausch wurde die Anwendung raumakustischer Anforderungen gemäß DIN 18041, VDI 2569 und der Arbeitsstätten-Regeln ASR A3.7 diskutiert. Weiterhin wurde der Umgang mit bauteil- bzw. nachhallzeitbezogenen bauakustischen Anforderungsgrößen z. B. bezüglich der DIN 8989 angesprochen. Entsprechende Dokumente für eine Beschlussfassung im Fachausschuss sollen hierzu erarbeitet werden.

Im zweiten Teil der Sitzung wurde über die tieffrequente Trittschallübertragung bei Massivdecken mit schwimmendem Estrich diskutiert. Vorträge hierzu kamen von M. Schneider, U. Schanda und A. Schmitz sowie von Frau Locher-Weiß, die die juristischen Aspekte des Themas beleuchtete. In der anschließenden Diskussion zu einem Memorandum zu diesem Thema wurde der bestehende Arbeitskreis aufgefordert Werte zu benennen, mit welchem ein „störendes Dröhnen“ von schwimmenden Estrichen gekennzeichnet werden kann. Hierzu ist ein Memorandum des FA geplant, das auf der nächsten Sitzung während der DAGA in Hannover beschlossen werden soll. Im Anschluss an die Sitzung konnten die ca. 60 Teilnehmer an einer Werksbesichtigung der

Firma Schöck teilnehmen und die Produktion von Elementen zur thermischen Trennung von Balkonen (Isokorb) besichtigen.

Die 56. Sitzung des Fachausschuss Bau- und Raumakustik findet im Rahmen der DAGA 2020

am Donnerstag, den **19. März 2020**
von **12:30 bis 14:00 Uhr**
in der **Niedersachsenhalle B**
statt.

Die vorläufige Tagesordnung hat folgende Punkte:

1. Vorstellung und Beschluss der Tagesordnung
2. Bericht über die Aktivitäten des vergangenen Jahres
3. Diskussion / Verabschiedung von Memoranden zu den Themen
 - bauteil-, nachhallzeitbezogene Kenngrößen
 - Messung von Geräuschen aus haustechnischen Anlagen
 - Beurteilung tieffrequenter Trittschallübertragung
4. Überarbeitung der Geschäftsordnung für den FA Bau- und Raumakustik
5. Ort, Termin und Themen für die Herbstsitzung des FA Bau- und Raumakustik
6. Wahl zur Leitung des FA Bau- und Raumakustik
7. Verschiedenes ■

*Martin Schneider
Henning Alphei
Klaus Focke*

Fachausschuss Elektroakustik



Vorsitzender:

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

Auf zwei besondere Ereignisse möchte der Fachausschuss Elektroakustik auf der diesjährigen DAGA hinweisen. Zum einen wird es eine strukturierte Sitzung zum Thema „MEMS-Lautsprecher – ein Paradigmenwechsel“ geben. Diese fin-

det am 17.03.2020 von 12:30 Uhr bis 15:45 Uhr im „Neuen Saal“ statt.

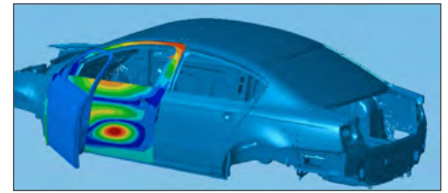
Begleitend ist im (aktuellen) Akustik-Journal auch ein gleichnamiger Artikel zum Themenbereich MEMS-Lautsprecher veröffentlicht (siehe Seite 24). Der Sitzungsinhalt geht über den des Artikels hinaus, so dass allen Interessenten die Teilnahme ergänzend empfohlen wird.

Direkt vor der strukturierten Sitzung findet im gleichen Raum auch das Treffen des Elektroakustikfachausschusses statt, zum dem alle Mitglieder, aber auch Interessenten herzlich eingeladen sind:

am Dienstag, den **17. März 2020**
von **12:00 bis 13:20 Uhr**
im **Neuen Saal**. ■

Daniel Beer

Fachausschuss Fahrzeugakustik



Vorsitzender:

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

Der Herbstworkshop des Fachausschusses Fahrzeugakustik fand erfolgreich am 22.–23.10.2019 in Magdeburg statt. An dem Workshop nahmen insgesamt 36 Mitglieder teil. In insgesamt 10 spannenden Vorträgen wurden verschiedene Aspekte der Fahrzeugakustik diskutiert. Die Schwerpunkte waren tonale Geräusche bei E-Fahrzeugen (allgemein Elektromobilität), Transferpfad-Analyse, Vorbeifahrtmessungen und Tonwahrnehmung. Zusätzlich gab es Labor demonstrationen.

Nächste Sitzung des FA Fahrzeugakustik auf der DAGA 2020 in Hannover:

am Mittwoch, den **18. März 2020**
von **12:40 bis 13:40 Uhr**
im **Roten Saal**

Mitglieder und Interessenten sind herzlich eingeladen. ■

Ercan Altinsoy



DAkKS Kalibrierung und Eichung von Schallpegelmessern



Kostengünstiges Gesamtpaket:

- ✓ Akustische sowie elektrische Kalibrierung inklusive Eichkennzeichnung

Akustische Freifeld & Druckkammerkalibrierung:

- ✓ Kalibrierung im akustischen Freifeld im Bereich 125 Hz ... 20 kHz
- ✓ Kalibrierung von Mess- und Oberflächenmikrofonen im Bereich 31,5 Hz ... 16 kHz mit SPEKTRA Kuppler SQ-4.2
- ✓ Tiefstfrequenzkalibrierung ab 0,1 Hz für Messmikrofone und Schallpegelmessern



DAGA 2020 - Besuchen Sie uns!

17. - 19. März 2020 in Hannover / Stand-Nr.: 30

Tel.: +49 351 400 24 0 · www.spektra-dresden.com

Fachausschuss Hörakustik



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

Ankündigung der Sitzung des FA Hörakustik auf der DAGA 2020 in Hannover

Mitglieder und Interessierte sind herzlich zur Sitzung des Fachausschusses Hörakustik während der DAGA 2020 eingeladen. Die turnusmäßige Sitzung des Fachausschusses Hörakustik auf der DAGA 2020 findet am

am Mittwoch, den **18. März 2020**
von **12:00 bis 13:00 Uhr**
im **Raum 27** statt.

Die Tagesordnung umfasst folgende Punkte:

- TOP 1 Feststellung der Tagesordnung
- TOP 2 Genehmigung des Protokolls der letzten Mitgliederversammlung
- TOP 3 Bericht über die Aktivitäten des vergangenen Jahres
- TOP 4 Turnusgemäße Wahl von Leiter*in und Stellvertreter*in
- TOP 5 Aktivitäten des Fachausschusses Hörakustik im International Year of Sound
- TOP 6 Diskussion zu DEGA-Projekten des FA Hörakustik
- TOP 7 Vorschläge für Strukturierte Sitzungen auf der DAGA 2021 in Wien
- TOP 8 Weitere Termine und Aktivitäten ■

*Janina Fels
Bastian Epp*

Fachausschuss Lärm: Wirkungen und Schutz



Vorsitzender:
Prof. Dr. André Fiebig,
Technische Universität Berlin
andre.fiebig@tu-berlin.de

Wir laden alle Mitglieder und Interessierte des FA Lärm herzlich zur Fachausschusssitzung im Rahmen der DAGA 2020 in Hannover ein. Die Sitzung wird wieder direkt zu Beginn der DAGA, am Dienstag, den **17. März 2020** von **12:00 bis 13:00 Uhr** im **Blauen Saal** stattfinden.

Die Tagesordnung ist wie folgt geplant:

1. Feststellung der Tagesordnung
2. Bericht über die Aktivitäten des vergangenen Jahres (u. a. Herbstworkshop)
3. Verabschiedung der Geschäftsordnung des FA Lärm
4. Tag gegen Lärm 2020
5. Termine und Planung von Veranstaltungen des FA Lärm
6. Verschiedenes

Wir freuen uns sehr auf Ihre Teilnahme. ■

*André Fiebig
Frederik Gast*

Fachausschuss Lehre der Akustik



Vorsitzender:
Prof. Dr. Jörn Hübelt, Hochschule Mittweida,
huebelt@hs-mittweida.de

Nächste Sitzung des Fachausschusses auf der DAGA 2020 in Hannover:
am Dienstag, den **17. März 2020**
von **12:40 bis 13:20 Uhr**
im **Raum 8** ■

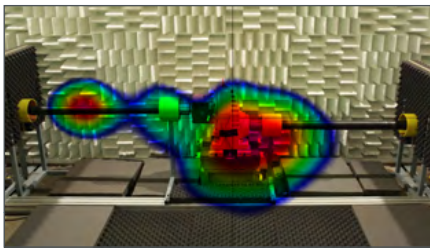
Fachausschuss Musikalische Akustik



Vorsitzender:
Prof. Dr. Malte Kob,
Hochschule für Musik Detmold,
kob@hfm-detmold.de

Nächste Sitzung des Fachausschusses auf der DAGA 2020 in Hannover:
am Donnerstag, den **19. März 2020**
von **13:15 bis 14:00 Uhr**
im **Raum 8** ■

Fachausschuss Physikalische Akustik



Vorsitzender:

Dr. Joachim Bös,
Fraunhofer-Institut für Digitale
Medientechnologie IDMT,
joachim.boes@idmt.fraunhofer.de

25. DEGA-Workshop Physikalische Akustik am 17./18.10.2019 in Bad Honnef

Am 17. und 18.10.2019 fand im Physikzentrum Bad Honnef unter Mitwirkung des DPG-Fachverbands Akustik der 25. DEGA-Workshop Physikalische Akustik statt. Das Thema des englischsprachigen Jubiläums-Workshops lautete „Underwater Acoustics“. 23 interessierte Teilnehmende aus Großbritannien, den Niederlanden, Polen und Deutschland lauschten 13 spannenden Vorträgen zu Themen wie numerische Simulationsverfahren zur Berechnung der Schallausbreitung im Wasser, Messverfahren für Unterwasserschall und aktive Beeinflussung der akustischen Signatur von Schiffen. Das detaillierte Workshop-Programm und ein Großteil der Vortragsfolien können als PDF-Dateien von der Seite <https://www.dega-akustik.de/fachausschuesse/pa/dokumente/25-workshop-honnef> heruntergeladen werden.

Fachausschusssitzung am 17.10.2019 in Bad Honnef

Im Rahmen des oben genannten 25. DEGA-Workshops Physikalische Akustik im Physikzentrum Bad Honnef fand am 17.10.2019 auch eine Fachausschusssitzung statt, an der vier Mitglieder des Fachausschusses, zwei Interessierte und drei Gäste teilnahmen. Besprochen wurden u. a. mögliche Themen für künftige Workshops, die Überarbeitung der Geschäftsordnung des Fachausschusses

und die Wahl der Fachausschussleitung im März 2020. Das Protokoll zur Sitzung ging allen Mitgliedern und Interessierten des Fachausschusses am 16.12.2019 per E-Mail zu.

Überarbeitung der Geschäftsordnung des Fachausschusses

Die Geschäftsordnung unseres Fachausschusses wird an die Mustergeschäftsordnung für DEGA-Fachausschüsse angepasst. Die überarbeitete Geschäftsordnung soll auf der nächsten Fachausschusssitzung im Rahmen der DAGA 2020 (siehe unten) beschlossen werden. Laut bis dahin noch gültiger Geschäftsordnung müssen dann zum Erreichen der Beschlussfähigkeit mindestens 25 % der Fachausschussmitglieder anwesend sein – bitte erscheinen Sie daher möglichst zahlreich! Zur Vorbereitung wird der Entwurf rechtzeitig vorher noch einmal allen Fachausschussmitgliedern per E-Mail zugesandt werden.

Wahl einer neuen Fachausschussleitung im Rahmen der DAGA 2020 in Hannover

Nach drei Jahren im Amt muss in der Fachausschusssitzung im Rahmen der DAGA 2020 in Hannover (siehe unten) eine neue Fachausschussleitung gewählt werden. Steffen Marburg (steffen.marburg@tum.de) und Martin Ochmann (ochmann@beuth-hochschule.de) haben sich dankenswerterweise bereit erklärt, als Wahlausschuss zu fungieren. Die bisherige Fachausschussleitung (Joachim Bös) und die Stellvertretung (Jens Prager) stellen sich beide zur Wiederwahl. Vorschläge für weitere Kandidierende sind sehr willkommen – bitte teilen Sie Vorschläge oder Selbstnominierungen bis spätestens zum 01.03.2020 per E-Mail dem oben genannten Wahlausschuss mit, der dann auch die geheime Wahl durchführen und auswerten wird. Bitte erscheinen Sie möglichst zahlreich zu dieser Wahl, damit die Fachausschussleitung und -stellvertretung eine breite demokrati-

sche Legitimation erhalten.

Die nächste Fachausschusssitzung wird im Rahmen der DAGA 2020 in Hannover am Donnerstag, den **19. März 2020** von **12:30 bis 14:00 Uhr** im **Bonatz Saal**

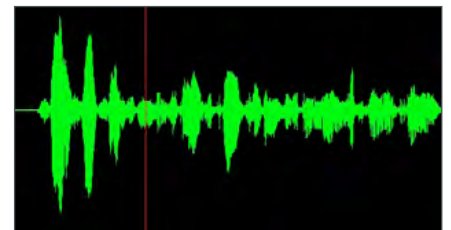
des Hannover Congress Centrum stattfinden. Mitglieder und Interessierte des Fachausschusses, aber auch Gäste sind herzlich zur Sitzung und zur engagierten Mitarbeit eingeladen.

26. DEGA-Workshop Physikalische Akustik am 15./16.10.2020 in Bad Honnef

Der nächste DEGA-Workshop Physikalische Akustik wird am 15./16.10.2020 im Physikzentrum Bad Honnef stattfinden. Bitte merken Sie sich den Termin schon einmal vor. Das Thema des Workshops wird in der Fachausschusssitzung im Rahmen der DAGA 2020 (siehe oben) festgelegt werden. Im Rahmen des 26. DEGA-Workshops wird am 15.10.2020 auch eine weitere Fachausschusssitzung stattfinden. ■

Joachim Bös

Fachausschuss Sprachakustik



Vorsitzender:

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

Einladung zur Sitzung des FA Sprachakustik

Wir möchten alle Mitglieder und Interessierte zur nächsten Sitzung während der DAGA 2020 in Hannover einladen. Diese findet

am Donnerstag, den **19. März 2020** von **12:30 bis 13:15 Uhr** im **Raum 11**

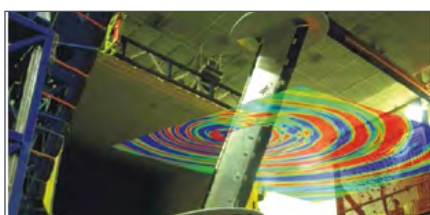
statt. Wir werden dort insbesondere unsere Aufstellung nach außen – Stichwor-

te: Mission Statement, Vernetzung und Webseite – als auch nach innen – Stichworte: neue Formate der FA-Treffen und neue FA-Geschäftsordnung – besprechen.

Wir freuen uns auf ein Wiedersehen oder gar Kennenlernen neuer Kolleginnen und Kollegen ■

*Alexander Raake
Janto Skowronek*

Fachausschuss Strömungsakustik



Vorsitzender:

Prof. Dr. Manfred Kaltenbacher,
Technische Universität Wien,
manfred.kaltenbacher@tuwien.ac.at

Der FA Strömungsakustik veranstaltete gemeinsam mit der DGLR den Workshop „Strömungsschall in Luftfahrt, Fahrzeug- und Anlagentechnik“ vom 05.–06. Dezember 2019 in Nürnberg (Hauptorganisator Prof. Stefan Becker). Durch die zahlreichen Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus Universitäten, Forschungseinrichtungen und Industrie (insgesamt 65), den 23 qualitativ sehr hochwertigen Vorträgen und den sehr intensiven Diskussionen in entspannter Atmosphäre kann von einem sehr erfolgreichen Workshop gesprochen werden. Es wurde beschlossen, dass der nächste Workshop in 2 Jahren am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt in Braunschweig (Hauptorganisator Prof. Jan Delfs) stattfinden wird.

Bei der DAGA 2020 in Hannover ist der Fachausschuss mit zwei strukturierten Sitzungen vertreten: (1) Physik der Strömungsakustik (organisiert von Jan Delfs und Manfred Kaltenbacher); (2) Überströmte Schallabsorber (organisiert von Lars Enghardt und Stefan Becker). Zusätzlich gibt es 20 Vorträge aus

dem Bereich Strömungsakustik in regulären Sitzungen.

Nach mehreren erfolgreichen DEGA-Akademie-Kursen „Strömungsakustik“ hat die diesjährige DEGA-Akademie „Strömungsakustik“ ein neues überarbeitetes Konzept bestehend aus zwei Kursen:

- Strömungsakustik 1 – Grundlagen, Auslegungen und industrielle Anwendungen
- Strömungsakustik 2 – Theorie und Numerische Berechnungsverfahren samt Anwendungen

Der Kurs 1 lehrt die Strömungsakustik von den Grundlagen zu den Anwendungen in kompakter und praxisnaher Form. Er richtet sich insbesondere an Entwicklungsingenieure, Ingenieure in Forschungs- und Hochschulinstituten, aber auch an Mitarbeiter in Beratungsfirmen und behördlichen Einrichtungen, die sich mit diesem Themenkomplex intensiv auseinandersetzen bzw. beschäftigen wollen. Der Kurs 2 ergänzt den Kursteil 1 und lehrt die Theorie der Strömungsakustik und gibt einen intensiven Einblick in die CAA-Berechnungsverfahren. Es wird der momentane Entwicklungsstand in der Behandlung strömungsakustischer Fragestellungen aufgezeigt. Der Kurs richtet sich speziell an Entwicklungsingenieure in der Industrie und Ingenieure in Forschungs- und Hochschulinstituten, die schon auf dem Gebiet der Strömungsakustik arbeiten, Erfahrungen auf diesem Gebiet haben und sich mit diesem Themenkomplex auseinandersetzen.

Die Sitzung des Fachausschusses auf der DAGA 2020 in Hannover, zu der wir alle Mitglieder des FA Strömungsakustik sowie Interessenten herzlich einladen möchten, findet statt
am Mittwoch, den **18. März 2020**
von **12:40 bis 13:20 Uhr**
im **Bonatz Saal**.

Hierzu schlagen wir folgende Tagesordnung vor:

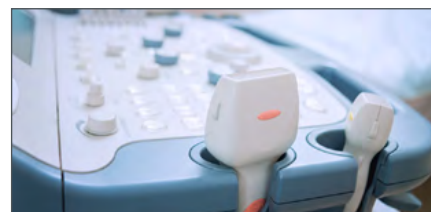
1. Begrüßung, Feststellung der Beschlussfähigkeit, Vorstellung und Beschluss der Tagesordnung

2. Bericht des Vorsitzenden
3. Diskussion zum Bericht
4. Rückblick zu den Aktivitäten des Fachausschusses im Jahr 2019
5. Planung der nächsten Aktivitäten des Fachausschusses
6. Sonstiges

Wir freuen uns über eine rege Teilnahme sowohl an der FA-Sitzung als auch an den Vorträgen zur Strömungsakustik und wünschen allen eine angenehme Anreise zur DAGA 2020 in Hannover. ■

*Manfred Kaltenbacher
Marc Schneider
Lars Enghardt*

Fachausschuss Ultraschall



Vorsitzender:

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

Im Herbst fand nach längerer Pause wieder der „Workshop Kavitation“ im Kloster Drübeck am Harz statt. Vom 12.–14.11.2019 trafen sich 47 Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus Forschung und Anwendung zum Thema „Komplexe Aspekte der Kavitation: Grenzflächen, Chemie und Erosion“. Um möglichst viele Interessenten an Kavitationsphänomenen aus der „Community“ im deutschsprachigen Raum zusammenzubringen, umfasste die Zielgruppe traditionell wieder sämtliche Bereiche, in denen die Blasenbildung und Blasendynamik in Flüssigkeiten eine Rolle spielt.

Entsprechend gab es neben Beiträgen zur akustischen Kavitation auch zahlreiche Vorträge zur Strömungskavitation, Sonochemie und insbesondere zu numerischen Methoden. Berichtet wurde z. B. über Messungen zum Flüssigkeitsfilm zwischen Blasen und Substraten (F.

Reuter), die Bildung schneller Jets beim Kollaps anhaftender Blasen (C. Lechner und M. Koch), die Stoffumsetzung in Strahlkavitation (F. Rüdiger) und in Laser-Ablations-Blasen (S. Barcikowski) sowie Messung von Kavitationswolken in Hydrauliksystemen (S. Osterland) und die erosive Wirkung von Blasenwolken in Flüssigkeitsstrahlen bei Bohranwendungen (S. Jasper). Eine Vielzahl von Beiträgen befasste sich mit Aspekten der numerischen Modellierung, die durch kontinuierliche Fortschritte das komplexe Phänomen Kavitation immer



besser beschreiben kann.

Eine Vortragsliste und viele Beitragsfolien findet man unter

<http://www.soft-matter.ovgu.de/Aktuelles/Kavitationsworkshop/alleSkripte.html>.

Neben den fachlichen Vorträgen war in der freundlichen und abgeschiedenen Atmosphäre des Klosters auch wieder Gelegenheit für Diskussionen und Austausch in kleinerem Kreise. In einer Wanderung führte uns der langjährige Organisator Christian Koch bei herrlichem Novemberwetter auf die nahegelegenen Harzhöhen, wobei im persönlichen Kontakt viele Themen vertieft werden konnten. Da viele Teilnehmer den Workshop in dieser Form sehr positiv und nützlich fanden, streben wir die Organisation des nächsten Treffens in Drübeck für 2021 an.

Die nächste Sitzung des Fachausschusses auf der DAGA 2020 findet statt:

am Dienstag, den **17. März 2020**
von **12:00 bis 13:00 Uhr**
im **Runden Saal** ■

Robert Mettin
Claus-Dieter Ohl

Fachausschuss Virtuelle Akustik



Vorsitzender:

Dr. Franz Zotter,
Kunstuniversität Graz,
zotter@iem.at

Mitglieder und Interessierte sind herzlich eingeladen, an der Sitzung des Fachausschusses Virtuelle Akustik auf der DAGA in Hannover teilzunehmen:

am Dienstag, den **17. März 2020**
von **12:40 bis 13:20 Uhr**
im **Future Space B** ■

Franz Zotter

■ Mitglieder / Fördermitglieder

Derzeit hat die Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V.

- 1.950 persönliche Mitglieder
- und 77 Fördermitglieder
(Stand Januar 2020).

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

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

- ACOEM GmbH, Hallbergmoos
- Akustikbüro Schwartzberger und Burkhart, Pöcking / Weimar
- ALN Akustik Labor Nord GmbH, Kiel
- AMC Schwingungstechnik, Asteasu (E) / Nürnberg
- Amorim Deutschland GmbH, Delmenhorst
- BASF SE, Ludwigshafen
- Baswa AG, Baldegg (CH)
- Bayer Bauphysik Ingenieurgesellschaft mbH, Fellbach
- Bertrandt Technikum GmbH, Ehningen
- BeSB GmbH, Berlin
- Brose Fahrzeugteile GmbH, Oldenburg
- Brüel & Kjaer GmbH, Bremen
- CADFEM GmbH, Grafing
- CAE Software und Systems GmbH, Gütersloh
- Carcoustics TechConsult GmbH, Leverkusen
- Cervus Consult GmbH, Willich
- Cirrus Research plc Deutschland, Frankfurt/M.
- Comsol Multiphysics GmbH, Göttingen
- DataKustik GmbH, Gilching
- Ecophon Deutschland, Lübeck
- EM Plan, Neusäß
- ESI Engineering System International GmbH, Neu-Isenburg
- Gardner Denver Deutschland GmbH, Bad Neustadt/Saale
- Gesellschaft für Sonder-EDV-Anlagen mbH, Hofheim
- Getzner Werkstoffe GmbH, Bürs (A)
- GN Bauphysik Ingenieurgesellschaft mbH, Stuttgart
- G.R.A.S., Holte (DK)
- HEAD acoustics GmbH, Herzogenrath
- HEAD-Genuit-Stiftung, Herzogenrath
- IAC Industrial Acoustics Company GmbH, Niederkrüchten
- IFB Ingenieure GmbH, Bad Teinach-Zavelstein
- 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, Blankenhain
- Microflow Technologies BV, Arnhem (NL)
- Microtech Gefell GmbH, Gefell
- Möhler + Partner Ingenieure AG, München
- Molex CVS Bochum GmbH, Bochum
- Müller-BBM Gruppe, Planegg bei München
- Norsonic Tippkemper GmbH, Oelde-Stromberg
- Novicos GmbH, Hamburg
- NTi Audio GmbH, Essen
- Odeon A/S, Lyngby (DK)
- PCB Synotech GmbH, Hückelhoven
- Peiker acoustic GmbH, Friedrichsdorf
- P+Z Engineering GmbH, München
- Regupol BSW GmbH, Bad Berleburg
- Renz Systeme GmbH, Aidlingen
- Rockwool Rockfon GmbH, Gladbeck
- Röchling Automotive SE & Co. KG, Worms
- 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
- Texaa, Gradignan (F)
- Umfotec GmbH, Northeim
- Verlagsgesellschaft R. Müller GmbH & Co. KG, Köln
- Wölfel Gruppe, Höchberg
- WRD GmbH, Aurich
- Xarion Laser Acoustics GmbH, Wien (A)
- ZF Friedrichshafen AG, Friedrichshafen

Normen/Richtlinien

Neue Regelwerke zu den Themen Akustik und Lärminderung (Okt. 2019 – Jan. 2020)

Bezeichnung	Titel	Preis*
Fachgebiet Audiologie / Medizintechnik		
E DIN EN ISO 389-7	Akustik – Standard-Bezugspegel für die Kalibrierung von audiometrischen Geräten – Teil 7: Bezugshörschwellen unter Freifeld- und Diffusbedingungen (ISO/FDIS 389-7:2019); Deutsche und Englische Fassung FprEN ISO 389-7:2019	96,00 €
Fachgebiet Bau- und Raumakustik		
DIN 4109-34/A1	Schallschutz im Hochbau – Teil 34: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Vorsatzkonstruktionen vor massiven Bauteilen; Änderung A1	47,60 €
DIN 4109-35/A1	Schallschutz im Hochbau – Teil 35: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Elemente, Fenster, Türen, Vorhangfassaden; Änderung A1	89,00 €
DIN EN 12758	Glas im Bauwesen – Glas und Luftschalldämmung – Produktbeschreibungen, Bestimmung der Eigenschaften und Erweiterungsregeln; Deutsche Fassung EN 12758:2019	75,40 €
E DIN EN ISO 10848-5	Akustik – Messung der Flankenübertragung von Luftschall und Trittschall zwischen benachbarten Räumen im Prüfstand – Teil 5: Strahlungswirksamkeit von Bauelementen (ISO/DIS 10848-5:2019); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 10848-5:2019	74,50 €
E DIN EN ISO 16283-2	Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen am Bau – Teil 2: Trittschalldämmung (ISO/DIS 16283-2:2019); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 16283-2:2019	136,80 €
E DIN EN ISO 717-1	Akustik - Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 1: Luftschalldämmung (ISO/DIS 717-1:2019); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 717-1:2019	103,00 €
E DIN EN ISO 717-2	Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 2: Trittschalldämmung (ISO/DIS 717-2:2019); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 717-2:2019	96,00 €
Fachgebiet Elektroakustik / Messgeräte		
DIN EN IEC 60268-21	Elektroakustische Geräte – Teil 21: Akustische (ausgabebasierte) Messungen (IEC 60268-21:2018); Deutsche Fassung EN IEC 60268-21:2018	191,40 €
E DIN EN IEC 60268-22	Elektroakustische Geräte – Elektrische und mechanische Messungen an Wandlern (IEC 100/3233/CD:2019); Text Deutsch und Englisch	169,80 €
E DIN EN ISO 6926/A1	Akustik – Anforderungen an die Eigenschaften und die Kalibrierung von Vergleichsschallquellen für die Bestimmung von Schallleistungspegeln – Änderung 1 (ISO 6926:2016/DAM 1:2019); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 6926:2016/prA1:2019	40,80 €
Fachgebiet Lärmschutz		
E DIN ISO 532-1	Akustik – Verfahren zur Berechnung der Lautheit – Teil 1: Verfahren nach E. Zwicker (ISO 532-1:2017, korrigierte Fassung 2017-11); Text Deutsch und Englisch (Einspruchsfrist: 13.02.2020)	158,30 €

Bezeichnung	Titel	Preis*
E DIN ISO/TS 12913-2	Akustik – Soundscape – Teil 2: Anforderungen an die Datenerhebung und die Dokumentation (ISO/TS 12913-2:2018); Text Deutsch und Englisch	114,10 €
Fachgebiet Maschinen- und Fahrzeugakustik		
DIN EN 13487	Wärmeübertrager - Ventilatorbelüftete Kältemittelverflüssiger und Trockenkühltürme – Schallmessung; Deutsche Fassung EN 13487:2019	96,00 €
DIN EN 50131-4, VDE 0830-2-4	Alarmanlagen – Einbruch- und Überfallmeldeanlagen – Teil 4: Signalgeber; Deutsche Fassung EN 50131-4:2019	79,55 €
DIN EN 50588-1	Mittelleistungstransformatoren 50 Hz, mit einer höchsten Spannung für Betriebsmittel nicht über 36 kV – Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung EN 50588-1:2017	125,30 €
DIN EN 54-3	Brandmeldeanlagen – Teil 3: Feueralarmeinrichtungen – Akustische Signalgeber; Deutsche Fassung EN 54-3:2014+A1:2019	158,30 €
DIN EN ISO 14509-1	Kleine Wasserfahrzeuge – Von motorgetriebenen Sportbooten abgestrahlter Luftschall – Teil 1: Vorbeifahrtmessungen (ISO 14509-1:2008); Deutsche Fassung EN ISO 14509-1:2018	96,00 €
DIN EN ISO 14509-3	Kleine Wasserfahrzeuge – Von motorgetriebenen Sportbooten abgestrahlter Luftschall – Teil 3: Beurteilung der Schallemission mittels Rechen- und Messverfahren (ISO 14509-3:2009); Deutsche Fassung EN ISO 14509-3:2018	82,60 €
E DIN EN 60704-2-3/A11	Elektrische Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke – Prüfvorschrift für die Bestimmung der Luftschallemission – Teil 2-3: Besondere Anforderungen für Geschirrspülmaschinen; Deutsche Fassung EN 60704-2-3:2019/A11:2019	40,80 €
E DIN ISO/TS 11819-3, DIN SPEC 38453	Akustik – Messung des Einflusses von Deckschichten auf Verkehrsgeräusche – Teil 3: Referenzreifen (ISO/TS 11819-3:2017); Text Deutsch und Englisch	76,80 €
E DIN ISO/TS 13471-1, DIN SPEC 38454	Akustik – Temperatureinfluss auf die Messung des Reifen/Fahrbahn-Geräusches – Teil 1: Temperaturkorrektur bei der Prüfung mit dem CPX-Verfahren (ISO/TS 13471-1:2017); Text Deutsch und Englisch	66,10 €

*) Download

Bezug aller o. g. Regelwerke über den Beuth Verlag (<http://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 ⁶⁾) können bei der DEGA-Geschäftsstelle bestellt werden (Preise inkl. MwSt; zzgl. Versand; Zahlungsbedingungen siehe <https://www.dega-akustik.de/publikationen/tagungsbaende/zahlung>)

	Name	gedruckt	online
Zeitschrift	Akustik Journal (drei Ausgaben pro Jahr)	0 € ¹⁾	X
	Acta Acustica®		X
Tagungsbände	DAGA-Tagungsbände „Fortschritte der Akustik“ (1970–2019)		X ²⁾
	Proceedings ICA / INTER-NOISE		X ³⁾
Empfehlungen und Memoranden	DEGA-Empfehlung 101: Akustische Wellen und Felder		X
	DEGA-Empfehlung 102: Mindestkanon Akustik in der Bachelor-Ausbildung		X
	DEGA-Empfehlung 103: Schallschutz im Wohnungsbau - Schallschutzausweis		X
	Memorandum „Die allgemein anerkannten Regeln der Technik in der Bauakustik“		X
	Memorandum „Schallschutz im eigenen Wohnbereich“		X
	Memorandum zur Durchführung und Dokumentation von Audio-Produktionen für wissenschaftliche Anwendungen in der Akustik		X
Schriftenreihe „Geschichte der Akustik“	Heft 1: Von der Antike bis in das 20. Jahrhundert	10,- €	
	Heft 2: Akustisches Wissen auf den Transferwegen	10,- €	
	Heft 3: Preisträger europäischer Wissenschaftsakademien	10,- €	
	Heft 4: Sondhauß-Röhre, Seebeck-Sirene	15,- €	
	Heft 5: Von den Äolstönen bis zur Strouhal-Zahl	12,- € ⁴⁾	
	Heft 6: Von der Luftsirene bis zur russischen Aeroakustik	12,- € ⁴⁾	
	Heft 7: Lord Rayleigh, Sir Horace Lamb, Sir James Lighthill	10,- € ⁴⁾	
	Heft 8: Große Wissenschaftler mit Beiträgen zur Akustik	14,- € ⁴⁾	
	Heft 9: Kundt, Waetzmann, Schuster	12,- € ⁴⁾	
	Heft 10: Eberhard Zwicker, Lothar Cremer und Manfred Heckl	12,- € ⁴⁾	
	Heft 11: Erwin Meyer, Heinrich Barkhausen und Walter Reichardt	14,- € ⁴⁾	

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

¹⁾ für Mitglieder

²⁾ die zugehörigen CD-/DVD-/Buchprodukte (sofern vorhanden) können weiterhin käuflich erworben werden

³⁾ Anleitung für den Zugang unter <https://www.dega-akustik.de/dega/aktuelles/ica-und-inter-noise/>

⁴⁾ Bestellungen ausschließlich online über <http://www.book-on-demand.de>

Impressum

Akustik Journal Nr. 01 / Februar 2020

Herausgeber

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

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

Geschäftsstelle:

Alte Jakobstraße 88
10179 Berlin

E-Mail: dega@dega-akustik.de

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

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

Web: www.dega-akustik.de

ISSN

2569–1597 (Print)

2569–1600 (Online)

Chefredaktion

Prof. Dr.-Ing. Detlef Krahé

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

Redaktionsbeirat

Prof. Dr.-Ing. habil. Ercan Altinsoy

Dr. rer. nat. Judit Angster

Prof. Dr.-Ing. habil. Stefan Becker

Prof. Dr. phil. André Fiebig

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

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

Prof. Dr.-Ing. Schew-Ram Mehra

Redaktionsassistentz

Dipl.-Ing. Evelin Baumer

Dr.-Ing. Martin Klemenz

Anzeigen

Dr.-Ing. Martin Klemenz

E-Mail: dega@dega-akustik.de

Layout und Satz

Teresa Lehmann, M.A.

Tonja Heilmeyer

Gestaltungskonzept

Heilmeyer und Sernau Gestaltung

Web: www.heilmeyerundserнау.com/

Druck

Laserline GmbH

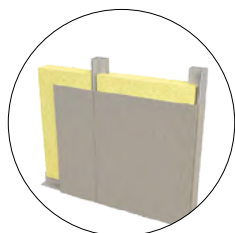
Web: www.laser-line.de

Bildnachweise

S. 1 – Titelseite: © Fraunhofer ISIT/Fraunhofer IDMT; S. 5 – Aktuelles: DAGA 2020, Logo © Ina Platte, inani-design.de; S. 5 – Aktuelles: So klingt meine Welt © Julia Echtermhoff, julustrationen.de; S. 41 – Veranstaltungen: DAGA 2020, Logo © inani-design.de; S. 42 – Veranstaltungen: DAGA 2020, Welfenschloss © Leibniz Universität Hannover; S. 51 – Fachausschuss Bau- und Raumakustik © Silvia Crisman / fotolia.com; S. 52 – Fachausschuss Elektroakustik © U.P.images / fotolia.com; S. 52 – Fachausschuss Fahrzeugakustik © Novicos GmbH; S. 53 – Fachausschuss Hörakustik © psdesign1 / fotolia.com; S. 53 – Fachausschuss Lärm: Wirkungen und Schutz © A.F.X. Süß, Berlin; S. 53 – Fachausschuss Lehre der Akustik © kasto / fotolia.com; S. 53 – Musikalische Akustik © Artem Furman / fotolia.com; S. 54 – Fachausschuss Physikalische Akustik © SAM, TU Darmstadt; S. 54 – Fachausschuss Sprachakustik © SpeechRecorder, IPS, LMU München; S. 55 – Fachausschuss Strömungsakustik © Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, Braunschweig; S. 55 – Fachausschuss Ultraschall © romaset / fotolia.com; S. 56 – Fachausschuss Virtuelle Akustik © Bernhard Seeber, TU München, Professur für Audio-Signalverarbeitung



Architekturbüro A-Traits-Bordeaux / Photo © Vincent Monthiers



Vibrasto, akustisch wirksame Textilbespannung für Wände und Decken

Europäische Brandschutzklasse: B-S1,d0

Absorptionskoeffizient: α_w 0,95 (Vibrasto 55)

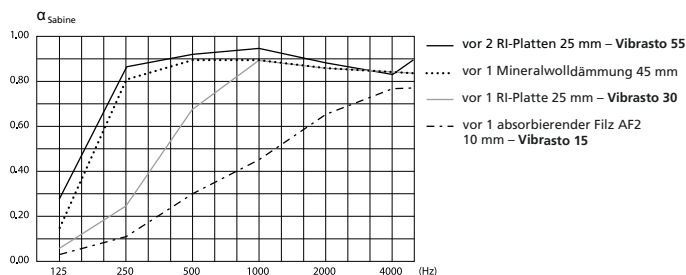
Wasser- und ölabweisend

Antistatische Eigenschaften: 7 1010 Ω (EN1149-1)

Garantie: 10 Jahre

Erhältlich in 3 Stärken: 15 mm, 30 mm, 55 mm

Akustische Wirksamkeit Vibrasto 15, 30, 55
(gemessen vor einer Betonfläche)



Detaillierte akustische Werte für **Vibrasto 55**:

	α_w	Klasse	NRC	FREQ (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Vibrasto + 2 RI-Platten 25 mm	0,95 (H)	A	0,90	α_{sabine}	0,27	0,86	0,92	0,94	0,88	0,83
Vibrasto + Mineralwolle 45 mm	0,90 (H)	A	0,90	α_{sabine}	0,15	0,81	0,89	0,89	0,86	0,84

Testprotokolle sind auf Anfrage erhältlich – Norm NF EN 20354 / ISO 354.

Texaa® entwirft, entwickelt und produziert in seinen eigenen Werkstätten in Bordeaux seit 40 Jahren innovative akustische Lösungen.

Seit dem Anfang sind Architekten und Akustiker unsere sachkundigen Berater und Partner beim Produktdesign.

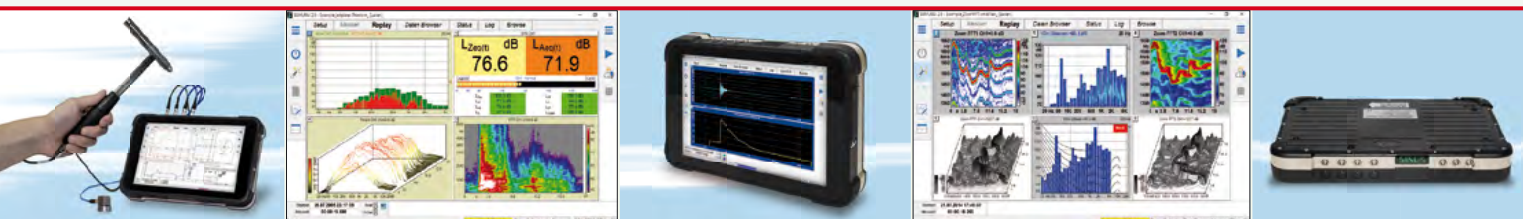
Gemeinsam entwickeln wir Lösungen, die auch die anspruchsvollsten architektonischen Anforderungen entsprechen.

Kontakt

Caroline Franquet
+49 (0)172 / 3 13 78 84
cfranquet@texaa.de

**Jetzt bestellen zum attraktiven
Einführungspreis mit SAMURAI 3.0**

SINUS
Messtechnik GmbH



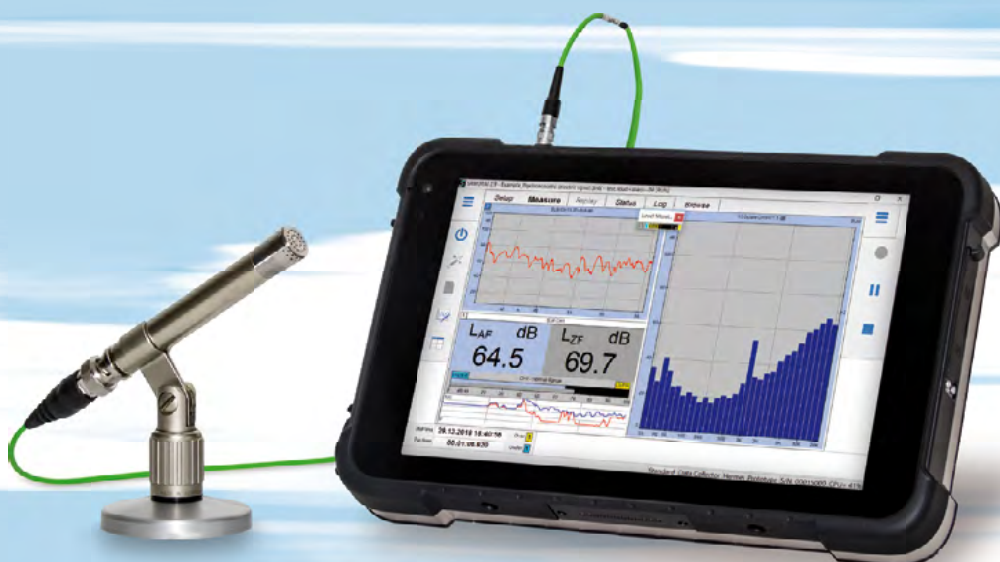
NEU: NoisePAD™

NoisePAD ist ein eingetragenes Warenzeichen der SINUS Messtechnik GmbH

NoisePAD ist unser innovativer 4-Kanal Schallpegelmesser / Echtzeit-Analysator für Akustik und Vibration. Die Kombination aus robustem 8" Tablet-PC (IP67) und Analysator erfüllt die MIL 810. Die neue Tablet-Version der Software **SAMURAI™ 3.0 Acoustic Bundle** bietet je Kanal:

- Signalrecorder: Audioaufnahme DC ... 20 kHz
- Schallpegelmesser: Klasse 1 nach IEC 61672 und Messung der Nachhallzeiten
- Frequenzanalysator: 1/1 und 1/3 Oktaven nach IEC 61260 und FFT-Analysator

Für die Schwingungsmessung bieten wir alternativ das neue SAMURAI 3.0 Vibro Bundle.



SAMURAI Optionen:

- Building Acoustics
- Building Vibration
- Data Collector
- Easy Listening
- Envelope Analysis
- Fractional Octaves
- Human Vibration
- Multi Generator
- NoiseCam Video
- Order Tracking
- Post Processing
- Room Acoustics
- Sound Intensity
- TCP/IP Interface
- Tonality
- Transfer FRF
- Vibration Meter
- Virtual Tacho
- Weather Station
- Zoom FFT ...

Technische Spezifikation

Eingänge	4 Kanäle 24 bit @ 51.2 kHz, ICP / direct, 2 Trigger-/Tacho-Kanäle
Ausgang	1 Ausgangskanal
Tablet PC	8" Industrie - Tablet, Intel ATOM Cherrytrail, 4 GB RAM, 128 GB SSD, Windows 10
Display	Touchscreen - Display
Mechanik	IP 67, MIL810, Temperatur -20°C ... +50°C
Dimensionen	226 x 156 x 28 mm, 900 g mit Akku
Autonomie	>10 Stunden
Interfaces	USB, HDMI, SD, WiFi, 4G, GPS, Bluetooth, Kamera

Kontakt

SINUS Messtechnik GmbH

Föplstrasse 13
04347 Leipzig

• Tel.: +49 341 24429-0
• Fax.: +49 341 24429-99

• www.soundbook.de
• info@soundbook.de