Nr. 02/ Juni 2022

AKUSTIK JOURNAL

DEGA

Dezentrale Luftfilteranlagen – zu laut für den Unterricht ■ Herausforderungen und Fortschritte bei der Beschreibung überströmter Schallabsorber ■ Ausbildung in der Akustik ■ Ehrungen der DEGA 2022 ■ Vizepräsident, Schatzmeister und Vorstand der DEGA gewählt ■ DEGA-Mitgliederversammlung ■ 15. DEGA-Symposium ■ DEGA-Akademie-Kurse im Jahr 2022 ■ Rückblick: 25. Tag gegen Lärm ■ Vorschau: DAGA 2023 in Hamburg ■

Norsonic

Schallpegelmesser
Nor145

- ✔ Allgemeine Pegelmessung
- ✔ Schallimmissionsschutz
- ✔ Lärmmonitoring
- ✔ Nachhallzeit
- ✔ Sprachverständlichkeit
- ✔ Schalldämmung
- ✔ Arbeitsschutz
- ✔ Schallleistung
- ✔ Maschinenakustik
- ✔ LowNoise
- ✔ Vibration

4G LTE NorCloud GPS 4.3"

www.norsonic.de

Editorial

Der Mensch, die Arbeit und der Lärm

Liebe Leserinnen und Leser!

Was ein Mensch können müsse, um glücklich zu werden, wurde der altersweise Sigmund Freud einst gefragt. Seine Antwort: „Lieben und arbeiten".
Die Arbeit besitzt für den Menschen einen hohen Stellenwert. Lohnarbeit dient dem Broterwerb, soll aber auch zu einem sinnerfüllten Leben beitragen. Auf keinen Fall darf die Arbeit Ursache für Krankheit sein. Obwohl es strenge Verordnungen zur Begrenzung von Schallpegeln am Arbeitsplatz gibt, nimmt die Lärmschwerhörigkeit immer noch einen Spitzenplatz unter den anerkannten Berufskrankheiten ein. Zunehmend mehr Menschen haben aber im Verlauf der letzten Jahrzehnte ihren Arbeitsplatz in Büros gefunden, sehr oft in Großraumbüros. Zwar wird durch Geräusche im Büro niemand schwerhörig, aber die ohnehin hohe psychische Beanspruchung des geistig arbeitenden Menschen wird noch verstärkt durch sog. extraaurale Lärmwirkungen, verursacht durch Hintergrundsprechen und störende Umgebungsgeräusche. Diese zählen neben Zeitdruck zu den wichtigsten Auslösern von Stress am Arbeitsplatz. Bei chronischer Belastung kann sich Stress in kardiovaskulären Krankheitsbildern (z. B. Bluthochdruck) manifestieren.
Um lärmbedingten Stressbelastungen vorzubeugen, wurden DIN- und VDI-Richtlinien und Technische Regeln für Arbeitsstätten erlassen, die das Krankheitsrisiko minimieren sollen. Diese wurden von Expertinnen und Experten in anerkennenswerter Weise erarbeitet. Als Psychoakustiker würde man sich jedoch wünschen, dass psychoakustische Empfindungsgrößen und Maße an die Stelle eines schallpegelorientierten Einzahlwertes treten würden, doch kann man auch zu Recht darauf hinweisen, dass der Beurteilungspegel wichtige wirkungsbezogene Geräuschaspekte, wie Impuls-, Ton- und Informationshaltigkeit berücksichtigt. Aus Sicht der Psychologie wäre es aber zusätzlich wünschenswert, wenn die differenzierte Bewertung des Schalls einherginge mit einer theoriegeleiteten Aufgabenanalyse, welche die beispielhafte Aufzählung von beruflichen Belastungen wissenschaftlich fundieren würde. Eine Aufgabenanalyse würde die kognitiven Funktionen benennen, die bei der Tätigkeit in Anspruch genommen werden, sowie deren Vulnerabilität gegenüber bestimmten Schalleigenschaften. Unter diesen sind unter anderem Schallpegelmodulationen von besonderer Bedeutung, und zwar nicht zuletzt bei Dauerschallpegeln, die deutlich unter dem (bei anspruchsvollen Tätigkeiten maximal zulässigen) Beurteilungspegel von 55 dB(A) liegen. Gleichbleibende breitbandige Geräusche haben im Gegensatz zu Schallpegelmodulationen häufig keinen Einfluss auf kognitive Prozesse, selbst wenn ihr Pegel die 55 dB(A) erheblich überschreitet. Sie können sogar die Arbeit unterstützen und Stress reduzieren, indem sie Hintergrundsprechen und ablenkende Geräusche maskieren. Dagegen führt das willentliche Ausblenden veränderlicher Schalle, auch wenn sie leise sind, zu einem hohen Einsatz psychischer Energie und zu vorzeitiger Ermüdung. Gleichzeitig stellen veränderliche Schalle auch eine starke Belastung für das verbale Kurzzeitgedächtnis dar.
Ob Schall mit psychischen Prozessen interferiert und Stress auslöst, hängt sowohl von der Art des Schalls als auch den involvierten kognitiven Funktionen ab. Regelwerke für extraaurale Schallwirkungen am Arbeitsplatz sollen sich an den psycho-physiologischen Bedingungen orientieren und sich psychoakustischer, kognitions- und arbeitspsychologischer Erkenntnisse bedienen. In der „Arbeitsstättenregel ASR A3.7 Lärm" beispielsweise wurden die Probleme verbalisiert, aber noch nicht in konkrete Maßnahmen umgesetzt. Das ist auch nicht einfach, sollte jedoch als Ziel nicht aus den Augen verloren werden.

Jürgen Hellbrück
Kath. Universität Eichstätt-Ingolstadt

Ihr
Jürgen Hellbrück

Inhalt

Akustik Journal Nr. 02 / Juni 2022

5 Aktuelles

7 Fachartikel

7 **Dezentrale Luftfilteranlagen – zu laut für den Unterricht**
Carsten Ruhe

22 **Herausforderungen und Fortschritte bei der Beschreibung überströmter Schallabsorber – Von Lothar Cremer bis heute**
Anita Schulz, Dirk Ronneberger

34 **Ausbildung in der Akustik**
Stefan Sentpali, Malte Kob, Johanna Bronek, Stephan Pitsch, Ennes Sarradj, Johannes Weinzierl, Sebastian Greisinger, Maximilian Miltenberg, Monika Gatt

49 Ehrungen der DEGA

49 **Preisträgerinnen und Preisträger 2022**
50 Laudatio für Prof. Jürgen Hellbrück
51 Laudatio für Dr. Christian Adams
52 Laudatio für den DEGA-Lärmschutzpreis

53 Menschen

53 **Ehrungen, Nachruf und Gratulationen**

55 Veranstaltungen

55 **Veranstaltungshinweise**
55 DEGA-Akademie: Kurs „Bauakustik – von den Grundlagen zur Anwendung“
55 DEGA-Akademie: Kurs „Raumakustik und Beschallungstechnik“
56 DEGA-Akademie: Kurs „Soundscape – Konzeption, Standardisierung und Anwendungen in der Praxis“
56 15. DEGA-Symposium „Erneuerbare Energien und Lärmschutz“
57 DEGA-Akademie: Kurs „Grundlagen der Technischen Akustik“
58 DEGA-Akademie: Kurs „Raumakustik kompakt“
58 **Vorschau**
58 DAGA 2023
60 **Veranstaltungsrückblick**
60 25. Tag gegen Lärm 2022
61 **Veranstaltungskalender**

62 DEGA

62 **Nachrichten und Mitteilungen aus der Fachgesellschaft**
62 Vizepräsident, Schatzmeister und Vorstand der DEGA gewählt
62 Protokoll der DEGA-Mitgliederversammlung
64 Reisekostenzuschüsse „DEGA Young Scientist Grants“
65 **Fachausschüsse / Fachgruppen**
69 **Mitglieder / Fördermitglieder**

70 Normen / Richtlinien

70 **Neue Regelwerke zu den Themen Akustik und Lärmminderung (Feb. 2022 – Mai 2022)**

72 Publikationen

72 **Zeitschriften, Tagungsbände, Empfehlungen und Memoranden, Broschüren etc.**

74 Impressum

Aktuelles

Nachrichten aus der Akustik

Rückblick auf den Tag gegen Lärm 2022

Am 27. April 2022 fand der 25. Tag gegen Lärm – International Noise Awareness Day unter dem Motto „Hört sich gut an“ statt.
Neue Herausforderungen im Lärmschutz und neue technische Entwicklungen im Kontext von Partizipation standen im Mittelpunkt der zentralen Veranstaltung „Ein Vierteljahrhundert Tag gegen Lärm – Stand und Perspektiven“, die die DEGA gemeinsam mit dem Umweltbundesamt und der Stadt Dessau-Roßlau durchgeführt hat.
Detaillierte Informationen zur Veranstaltung bzw. zum ganzen Aktionstag erhalten Sie im Rückblick auf Seite 60. ■

DEGA-Akademie

Kurs „Bauakustik – von den Grundlagen zur Anwendung “
26.–28.09.2022, Braunschweig

Kurs „Raumakustik und Beschallungstechnik“
04.–07.10.2022, Aachen

Kurs „Soundscape – Konzeption, Standardisierung und Anwendungen in der Praxis“
09.–11.11.2022, online

Kurs „Grundlagen der Technischen Akustik“
23.–24.11.2022, Berlin

Kurs „Raumakustik kompakt“
28.11.2022, Braunschweig

Ausführliche Informationen zu den Kursen finden Sie auf den Seiten 55ff oder unter *https://www.dega-akustik.de*. ■

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

Alle Mitglieder der DEGA sind eingeladen, Kandidatinnen und Kandidaten für den Lothar-Cremer-Preis vorzuschlagen, der während der DAGA 2023 in Hamburg verliehen wird. Bitte senden Sie Ihren Vorschlag mit Würdigung, Lebenslauf, Publikationsliste und Veröffentlichungen bis spätestens 31. August 2022 in dreifacher Ausfertigung in Papierform an die Geschäftsstelle der DEGA. Es sollten solche schriftlichen Arbeiten beigefügt werden, auf die sich der Auszeichnungsvorschlag inhaltlich begründet (z. B. Dissertation, ausgewählte Zeitschriftenaufsätze), siehe auch *https://www.dega-akustik.de/preise-grants/lothar-cremer-preis*.
Ebenso können Kandidatinnen und Kandidaten für den DEGA-Studienpreis von allen Hochschullehrenden bis zum 15. September 2022 vorgeschlagen werden, der ebenfalls während der DAGA 2023 in Hamburg verliehen wird. Bitte fügen Sie Ihrer Begründung einen tabellarischen Lebenslauf, die Abschlussarbeit (Master, Bachelor, Diplom o. ä.) und eine Würdigung durch eine weitere Fachkraft bei. Alle Dokumente sollen ausschließlich elektronisch an dega@dega-akustik.de eingereicht werden. Die Arbeit muss bereits benotet worden sein; andererseits darf die Abgabe nicht mehr als ein Jahr zurückliegen (Benotung und Abgabedatum bitte angeben). Weitere Details stehen auf *https://www.dega-akustik.de/preise-grants/dega-studienpreis*. ■

DEGA-Preis für Kommunikationsräume: Vorschläge einreichen

DEGA
PREIS FÜR
KOMMUNIKATIONS-
RÄUME

Mit dem DEGA-Preis für Kommunikationsräume werden öffentlich zugängliche Räume für die Sprachkommunikation mit hervorragender Raumakustik prämiert. Die Raumakustik soll so gestaltet sein, dass sie die sprachliche Kommunikation durch kreative Lösungen positiv unterstützt und dabei gegebenenfalls über die Vorgaben relevanter Normen hinausgeht oder diese in besondere Weise umsetzt. Explizit werden Räume mit besonderen akustischen Anforderungen für Menschen mit besonderem Bedarf an guter Hörsamkeit (Kinder, Senioren, Schwerhörige, Fremdsprachler etc.) einbezogen. Die Präferenz liegt auf klassischen raumakustischen Lösungen, die die gewünschte Wirkung auch ohne elektroakustische Maßnahmen erzielen. Ausdrücklich erwünscht sind Bewerbungen mit Räumen aus dem alltäglichen Lebensumfeld wie z. B. Schulen, Kindertageseinrichtungen, Restaurants, Foyers, Arbeitsräume, Museen, Kirchen, Tagungs- bzw. Mehrzweckräume oder Büros. Alltagstaugliche Umsetzungen im Zusammenspiel aus Architektur und Akustik und anderen Fachdisziplinen sind ebenso preiswürdig wie Sonderlösungen einzelner Räume oder ganzer Gebäude.
Vorschläge für diesen Preis können bis zum 01.10.2022 eingereicht werden. Bewerben können sich Akustikplanerinnen und -planer, Architektinnen und Architekten, Schulen und Schulämter, Bauträger, Bauämter, Museen, Restaurants usw. (ohne spezielle Beschränkung) einzeln oder in einem Zusammenschluss – kurz alle, die eine kreative Raumakustik-Lösung im Sinne des Preises vorgeschlagen oder umgesetzt haben.
Der Preis wird alle zwei Jahre durch die DEGA ausgeschrieben. Der Preis wird auf der Tagung 2023 im Hamburg in einem verlängerten Zeitfenster des Tagungsprogramms verliehen, in dem die Verleihung, die Begründung für die Auswahl durch die Jury, sowie eine Präsentation des Raumes durch eine Vertreterin / einen Vertreter des Gewinnerteams erfolgen.
Ausführliche Informationen zu den Wettbewerbs-Bedingungen finden Sie unter *https://www.dega-akustik.de/dega-preis-kommunikationsraeume.* ■

Erleichtern Sie sich Ihre Arbeit mit RION

Bevorzugt von Schall- und Schwingungsexperten in aller Welt ***seit mehr als 75 Jahren***

Spezielle Schall- und Schwingungsinstrumente, Schallwandler und Software die sich durch ***Benutzerfreundlichkeit, hervorragende Qualität und Zuverlässigkeit*** *auszeichnen.*

Kontaktieren Sie RION Europe *für weitere Informationen*

RION Europe
Stroombaan 10
1181VX Amstelveen
The Netherlands

Telefon: +31 (0)85 066 7073
E-mail: svsales@rion.co.jp

www.rion-germany.com

RION

HÖREN - FÜHLEN - LÖSEN

Dezentrale Luftfilteranlagen – zu laut für den Unterricht

Carsten Ruhe

Schon relativ früh wurde mit Aufkommen des Coronavirus durch Untersuchungen bestätigt, dass mit dezentralen Umluftanlagen die Viruslast in einem geschlossenen Raum merklich gesenkt werden kann. Das setzt allerdings eine 4- bis 6-fache Umwälzung der Raumluft in einer Stunde voraus. Das Problem der damit verbundenen Geräuschentwicklung wurde leider weniger beachtet und untersucht. Besonders bei dem Einsatz in Schulen sollte die Geräuschbelastung konsequent in Grenzen gehalten werden, ist doch die Sprachkommunikation und deshalb die Sprachverständlichkeit von essenzieller Bedeutung.
Der Beitrag geht darauf ein, wie die Vorgaben zur Reinigung der Raumluft und die akustischen Anforderungen konkurrieren. Eigene Messungen in Schulräumen dokumentieren die Notwendigkeit, diese Problematik bei der Auswahl und dem Betrieb einer Anlage zu berücksichtigen.

Decentralized air filtration systems – too loud for the classroom

With the emergence of the coronavirus, studies confirmed relatively early on that the virus load in a closed room can be noticeably reduced with decentralized recirculation systems. However, this requires a 4 to 6-fold circulation of the room air in one hour. On the other side, the problem of the associated noise generation has been less considered and investigated. Especially when used in schools, noise pollution should be consistently kept within limits, since speech communication and therefore speech intelligibility are of essential importance.
The article discusses how the specifications for cleaning the room air and the acoustic requirements compete. The own measurements in classrooms document the necessity of taking this problem into account when selecting and operating a system.

Einleitung

Im Frühjahr 2020 griff die Corona-Pandemie auch auf Deutschland über. Lange Zeit war kein Präsenz-Unterricht möglich, im Sommer 2020 begann er wieder, mit den bekannten Schutzmaßnahmen. Auf der Suche nach weiteren Schutzmaßnahmen wurden die Erwartungen geäußert und entsprechende Forderungen vorgetragen, dass mittels mobilen Umluftanlagen mit Virenfiltern und / oder UV-Behandlung die Viruslast in Klassenräumen deutlich gesenkt werden könnte. Zum Nachweis der Wirksamkeit von Umluftfilteranlagen beauftragten die Hersteller solcher Geräte Untersuchungen der entsprechenden Filterleistung. Die Ergebnisse einer Untersuchung an der Universität der Bundeswehr München wurde im August 2020 veröffentlicht [1], die einer anderen am Karlsruher Institut für Technologie im Oktober [2]. Demnach sollen solche Anlagen geeignet sein, die Virenbelastung der Innenraumluft erheblich zu reduzieren. Wesentlich für den Erfolg ist der von den Geräten erzeugte Volumenstrom. In [1] wurde mit Volumenströmen von 600 m^3/h bis 1.500 m^3/h gearbeitet, in [2] mit einem von 850 m^3/h. Daneben spielen die eingesetzten Filter und Rahmenbedingungen wie Raumgröße, Raumgeometrie, Raumausstattung, Unterstützung durch eine raumlufttechnische Anlage etc. eine gewichtige Rolle. Daraus wurde in [1] der Schluss gezogen, dass aus Vorsorge von einem 4- bis 8-fachen Umwälzen der Raumluft pro Stunde ausgegangen werden sollte.
In der Folge wurden Forderungen erhoben, die Schulen mit solchen Umluftfilteranlagen auszustatten. Das veranlasste wiederum zahlreiche Firmen, ohne lange vorangehende Entwicklungen und weitere sorgfältige Untersuchungen, solche Geräte zu produzieren und anzubieten. Insbesondere die akustischen Eigenschaften der Geräte wurden vielfach weniger kritisch in den Fokus genommen. Wenn diese Geräte in den Klassenräumen dann im Soll-Betriebszustand betrieben wurden, beklagten sich Lehrer und Schüler häufig über die zu lauten Geräusche mit der Folge, dass die geförderte Luftmenge reduziert wurde.
Der Verfasser erhielt zunächst eine Anfrage aus einer süddeutschen Kreisstadt, welche sich schon vor der Bestellung der Geräte mit dem Geräuschproblem befasste. Zum damaligen Zeitpunkt lagen nur Ergebnisse von in-situ-Kurzmessungen mit geringer Aussagekraft vor. Deshalb basierte die erste Stellungnahme [3] ausschließlich auf wenigen Schallmessungen in Prüfständen. Doch schon die rein rechnerische Verwertung dieser Prüfstandsdaten ließen eine deutliche Auswirkung dieser Geräusche auf die Verständlichkeit von Sprache im Unterricht und damit auf den Lernerfolg erwarten. Dieser Bericht führte zu Anfra-

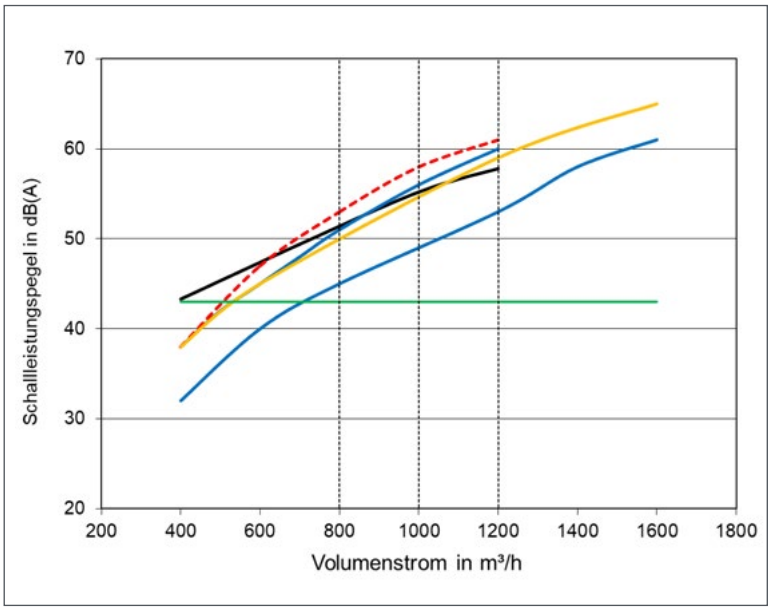
gen direkt von einigen Schulen (nicht den Schulträgern) und daraus ergaben sich dann, verstreut über das Bundesgebiet, etliche Schallmessungen an verschiedenen Anlagen, über die hier anhand einzelner Beispiele berichtet wird.

Das UBA hat im September 2021 eine Empfehlung veröffentlicht [4]. Eine offizielle Empfehlung (VDI-EE 4300-14) zum Einsatz von Lüftungsanlagen [5] wurde ebenfalls im September 2021 vom UBA in Zusammenarbeit mit dem VDI (Kommission Reinhaltung der Luft) herausgegeben. Auszüge sind in [6,7] nachzulesen. Zwar werden dort folgende Vorgaben gemacht,

- Aufstellpositionen im Raum entsprechend der Anweisungen der Hersteller
- Filterklassen wie HEPA H13
- Sicherheit und Schutz vor Vandalismus
- Luftvolumenstrom für mobile Luftreinigungsgeräte, der mindestens dem 4-fachen Luftwechsel pro Stunde entspricht
- Geräuschentwicklung bei dem geforderten Luftvolumenstrom nach ASR A3.7 (z. B. für Schulen Schalldruckpegel kleiner/gleich 35 dB(A))
- Behaglichkeitsaspekte (Vermeiden von Zugluft)
- Reinigungsleistung bei Filtergeräten (Effizienz der Filterung > 90 %, Prüfung im Labor unter realraumähnlichen Bedingungen),

aber dadurch wird ein wirksamer und kompetenter Einsatz der Geräte auch nicht gesichert. Dabei steht immer wieder die lufthygienische Wirkung mit einer nur moderaten Geräuschentwicklung in Konkurrenz. Die bisweilen leichte Verfahrbarkeit der Geräte führt oft dazu, dass sie sich deshalb nicht (mehr) am vorgegebenen Standort befinden, sondern nach einiger Zeit offenbar nach Bedarf umgestellt werden.

Abb. 1: Schallleistungspegel von verschiedenen Luftfilteranlagen relativ zum Luftvolumenstrom. Grüne horizontale Linie: maximal zulässiger Schallleistungspegel für Klassenräume. Zwischen den vertikalen Linien befindet sich der zunächst angestrebte Sollbereich für den Volumenstrom.



Geräuscherzeugung und Wirkungsmechanismen

Für eine geeignete Auswahl sowie einen informierten Einsatz und Umgang mit den Geräten wären zunächst einige technisch-physikalische sowie messtechnische Grundlagen zu beleuchten.

Klassenräume haben typischerweise ein Raumvolumen von ca. 200 m^3. Lüftungsanlagen mit Zu- und Abluft, Frisch- und Fortluft müssen für hygienische Verhältnisse die Raumluft in jeder Stunde zweimal austauschen, um die CO_2-Konzentration ausreichend niedrig zu halten. Das sind bei den typischen Klassenraumgrößen etwa 400 m^3/h. Demgegenüber wird bei dezentralen Raumluftfilteranlagen im Umluftbetrieb eine 4- bis 6-fache Umwälzung (mittlere Empfehlung in [1]) angestrebt, woraus ein erforderlicher Volumenfluss von 800 m^3/h bis 1.200 m^3/h resultiert. Die Luft muss ferner mit einem hohen Druck durch die sehr feinen HEPA-Filter gepresst werden. Beides führt gegenüber normalen Lüftungsanlagen zu einer deutlich erhöhten Geräuschentwicklung. Der Schall wird auch nicht nur aus den Ansaug- und Ausblasöffnungen abgestrahlt, sondern zum Teil auch vom Gerätegehäuse. Normale Lüftungsanlagen stehen meist in einer Technikzentrale, also weit weg von den Klassenräumen, und in die Kanäle sind zusätzliche Schalldämpfer eingebaut. Alles das fehlt bei den dezentralen Raumluftfilteranlagen. Dass der hohe Volumenstrom nicht geräuschlos umgesetzt werden kann, ist kaum zu überhören. Möglicherweise ist das einer der Gründe, warum inzwischen die notwendigen Luftwechselzahlen von 6 über 5 auf derzeit 4 reduziert worden sind.

Kenngröße für die Geräuschabgabe (Emission) von Lüftungsgeräten ist der Schallleistungspegel L_W. Er ist nur vom Betriebszustand, insbesondere vom Volumenstrom und der Pressung (= aufgebaute Druckdifferenz) abhängig. Der Schallleistungspegel wird aus Messwerten im reflexionsarmen Schallmessraum errechnet. Typischerweise werden die Schallleistungspegel in Prüfberichten für verschiedene Leistungsstufen getrennt aufgeführt. Nur dadurch kann man die Gerätedaten auch leistungsbezogen vergleichen.

Aus einigen wenigen erhältlichen Messberichten über die Messung von Schallleistungspegeln sind die Daten in der Abbildung 1 in Abhängigkeit vom Volumenstrom dargestellt. Bei der rot gestrichelten Kurve musste die Zuordnung geschätzt werden, weil die Schallleistungspegel dort nur in Relation zur Drehzahl angegeben sind, nicht jedoch zu den Luftvolumenströmen.

Die beiden blauen Linien kennzeichnen die Messwerte an Geräten von zwei verschiedenen Baugrößen desselben Herstellers. Deutlich ist zu erkennen, dass das größere Gerät bei gleichem Volumenstrom um etwa 7 dB leiser ist. Trotzdem hält es weder bei einem Volumenstrom von 800 m^3/h und erst recht nicht bei einem von 1.200 m^3/h die grüne Soll-Linie von maximal L_W = 42 dB(A) ein. Dieser Wert ergibt sich, wie nachfolgend gezeigt wird, aus dem maximal akzeptablen Schalldruckpegel von 35 dB(A). Dennoch spricht für das größere Gerät nicht nur, dass es leiser ist, sondern auch, dass es weniger als 50 % der elektrischen Leistung des kleinen benötigt. Es ist allerdings in der Anschaffung teurer.

In den untersuchten Geräten einiger Hersteller sind zusätzlich auch Grob- und Feinstaub- sowie Aktivkohle-Filter eingebaut. Die Überwindung jeder Filterstufe benötigt zusätzlichen Luftdruck, erhöht also bei gleichem Volumenstrom die Pressung. Bezogen auf eine bestimmte Filterkombination ist die Angabe des Volumenstromes zum Schallleistungspegel ausreichend.

Beim Volumenstrom besteht ein linearer Zusammenhang zum Schallleistungspegel, bei der Pressung jedoch ein quadratischer: jede Verdoppelung des Volumenstromes erhöht also den Schallleistungspegel um 3 dB, jede Verdoppelung der Pressung erhöht ihn aber um 6 dB. Weil die Pressung mit zunehmendem Volumenstrom auch größer wird, erhöht sich der Schallleistungspegel bei Volumenstromverdoppelung also zwischen 6 und 10 dB, je nach Filtern. Deshalb werden bei einigen Herstellern augenscheinlich nur HEPA-Filter eingebaut, aber weder Staub- noch Aktivkohle-Filter. Der Verzicht auf Staubfilter dürfte aber auf Dauer wegen der Luft-Ansaugung direkt über dem Fußboden ungünstig sein, weil dadurch die HEPA-Filter verschmutzen und somit die erforderliche Pressung weiter ansteigt oder der Luftvolumenstrom abnimmt.

Zusammenhang zwischen Schallleistungspegel und Schalldruckpegel

Direkt messbar ist mit einem Schallpegelmesser nicht der Schallleistungspegel, sondern der Schalldruckpegel L_p an einem bestimmten Punkt im Raum (Immissionsort). Der Schalldruckpegel ist neben der Frequenz die wesentliche Größe, die die empfundene Lautstärke bestimmt. (Anm.: Die Frequenzabhängigkeit wird durch die A-Bewertung näherungsweise berücksichtigt. Durch die Angabe des Schallleistungspegels dB(A) ist dies beim Schallleistungspegel berücksichtigt.)

Der Schalldruckpegel hängt direkt vom Schallleis-

Effektiver Schallschutz speziell für tiefe Frequenzen
Acoustic Floor Mat 35

- Minimale dynamische Steifigkeit von nur 5 MN/m³ nach EN 29052-1
- Bewertete Trittschallminderung von 35 dB nach EN 10140-3
- Geringe Einbauhöhe von lediglich 16 mm
- Schnelle Verlegung und einfaches Handling
- Hervorragende Alterungsbeständigkeit über Jahrzehnte

www.getzner.com

getzner
engineering a quiet future

tungspegel der Quelle ab, darüber hinaus aber auch vom Raum-Volumen, der Nachhallzeit und dem Abstand zwischen dem Lüftungsgerät und dem Immissionsort. Fehlen eine oder mehrere der vier Angaben, so sind die Messergebnisse von Schalldruckpegeln nicht eindeutig einzuordnen. Dagegen kann man bei bekanntem Schallleistungspegel für einen Raum mit bekanntem Volumen und bekannter Nachhallzeit den in einem bestimmten Abstand vom Gerät zu erwartenden Schalldruckpegel errechnen.
Die Differenz zwischen Schallleistungspegel und Schalldruckpegel wird für punktförmige Schallquellen wie folgt errechnet:

$$L_W - L_p = 10 \cdot \lg\left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{A}\right)^{-1} \text{ in dB} \qquad \text{Gl. 1}$$

Q: Richtungsfaktor (Quelle frei im Raum = 1, vor Wand = 2, vor Kante = 4, in Ecke = 8),
r: Abstand in m zwischen Quelle und Immissionsort,
A: äquivalente Absorptionsfläche in m²

Der totale Schalldruckpegel ergibt sich aus der Überlagerung der Schallwelle, die auf direktem Wege von der Schallquelle den Immissionsort erreicht (Direktschall), und den vielen Schallwellen, die durch Reflexionen an Raumbegrenzungen entstehen. Da Letztere gleich stark alle möglichen Richtungen einnehmen können, wird hier von diffusem Schall gesprochen, wahrgenommen als Hall. Nahe an der Quelle dominiert der Direktschall. Er wird durch den linken Term in der Klammer von Gleichung 1 berücksichtigt und fällt mit $1/r^2$ ab. Mit zunehmendem Abstand verliert er also an Einfluss und der diffuse Schall wird dominant, der durch den rechten Term im Klammerausdruck berücksichtigt wird. Die Grenze liegt vor, wenn beide Terme gleich groß sind. Der damit verbundene Abstand wird als Hallradius bezeichnet. Wird er überschritten, befindet man sich im sogenannten Diffusfeld und der Abstand zur Quelle spielt für die Lautstärke keine Rolle mehr.
Tabelle 1 zeigt das Verhalten von Gleichung 1 bei zunehmendem Abstand unter folgenden Annahmen:

- Q = 4 wegen Aufstellung des Gerätes vor zwei schallharten Flächen (auf dem Fußboden, vor einer Wand)
- A = 50 m²

Gut zu erkennen ist, dass bei 2 m Abstand beide Summanden gleich groß sind und ab 3 m Abstand der zweite Klammer-Term dominiert. Entsprechend wäre der Hallradius 2 m. Ab einem Abstand von ca. 4 m ändert sich der Pegel kaum noch (siehe rote Markierung).
Einem Blick auf Gleichung 1 ist zu entnehmen, dass der Schalldruckpegel im Diffusfeld nur von der äquivalenten Absorptionsfläche A abhängt. Das ist die Fläche, die den auftreffenden Schall zu 100 % absorbieren würde. Zusammen mit dem Volumen kann daraus über die Formel von W. C. Sabine [8] die Nachhallzeit berechnet werden. Das ist die Zeit, die nach dem plötzlichen Abschalten der Quelle vergeht, bis der Diffusfeldpegel um 60 dB abgesunken ist. Umgekehrt kann über die gemessene Nachhallzeit und Raumabmessungen die äquivalente Absorptionsfläche bestimmt werden. Das wurde im Folgenden für Klassenräume durchgeführt, in denen weitere Untersuchungen stattfanden. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 2. Auf einige wird später noch einmal zugegriffen.

Tab. 1: Rechnerisch zu erwartende Differenzen $L_W - L_p$ im Klassenraum S3 K1 in verschiedenen Abständen r

Abstand r	$Q / 4\pi r^2$	4 / A	Summe	$L_W - L_p$
1 m	1 / 3,1	1 / 12,5	0,398	4,0 dB
2 m	**1 / 12,5**	**1 / 12,5**	0,160	8,0 dB
3 m	1 / 28,3	1 / 12,5	0,115	**9,4 dB**
4 m	1 / 50,3	1 / 12,5	0,098	**10,0 dB**
5 m	1 / 78,5	1 / 12,5	0,093	**10,3 dB**
6 m	1 / 113,1	1 / 12,5	0,088	**10,4 dB**
7 m	1 / 153,9	1 / 12,5	0,086	10,6 dB
8 m	1 / 201,1	1 / 12,5	0,085	10,7 dB
9 m	1 / 254,5	1 / 12,5	0,084	10,8 dB
10 m	1 / 314,1	1 / 12,5	0,083	10,8 dB

Tab. 2: Akustisch wichtige Daten der untersuchten Räume

Raum	Volumen V in m³	Nachhallzeit T_m in s	Absorptionsfläche A_m in m²	Hallradius r_H in m
S1 K1	175	0,39	73	1,19
S1 K2	**188**	**0,38**	**84**	**1,25**
S2 K1	210	0,50	70	1,15
S2 K2	210	0,45	75	1,21
S2 P1	375	0,81	71	1,20
S2 P2	375	1,25	55	0,97
S3 K1	200	0,65	52	0,98
S4 K1	189	0,50	61	1,09
S5 K1	212	0,77	63	0,93
S5 K2	**180**	**0,72**	**47**	**0,89**
S6 K1	242	0,91	43	0,91

Anhand der farbig markierten Zeilen ist zu erkennen, dass bei den etwa 200 m³ großen Räumen auch für sehr unterschiedliche Nachhallzeiten (0,38 / 0,72 s) die Hallradien nur wenig variieren (1,25 / 0,89 m).

Einzuhaltende Schallpegel

Wie schon angesprochen ist eine Balance zwischen erforderlicher Filterleistung und einer akzeptablen Geräuschbelastung zu finden. Im Juni 2021 veröffentlichte die DGUV eine sogenannte „Gefährdungsbeurteilung" für Luftfilteranlagen in öffentlichen Gebäuden. Enthalten ist auch ein Absatz zum Thema „Lärmschutzanforderungen". *„Bereits bei der Anschaffung von Geräten muss darauf geachtet werden, dass die angegebenen Schallleistungen auch bei der angestrebten Leistungsstufe eingehalten werden"*, heißt es dort als Empfehlung. Und: *„Viele Hersteller geben die Schallleistung nicht bei der maximalen Einstellung an."* Eine Vorgabe, welcher Schallleistungspegel in der Soll-Betriebsstufe einzuhalten ist, fehlt aber. Diese Hinweise bieten den Nutzern/Käufern deshalb nur wenig Hilfestellung.

In der Richtlinie des BMWI (heute: BMWK) [9] werden allerlei Förder-Voraussetzungen aufgeführt. Zahlenwerte zu den einzuhaltenden Schallleistungs- oder Schalldruckpegeln sind aber auch dort nicht zu finden. Die Schalldruckpegel, welche in Klassenräumen während des Unterrichts auf die Schüler:innen einwirken dürfen, sind in verschiedenen Regelwerken aufgeführt. In DIN 4109-1 [10] und in DIN 18041 [11] sind die Anforderungen bzgl. maximal zulässiger Geräusche von gebäudetechnischen Anlagen in Unterrichtsräumen mit $L_{AF,max,n} \leq 35$ dB(A) bzw. $L_{NA,Bau} \leq 35$ dB(A) vorgegeben. Während nach DIN 4109 „etwa in Raummitte" gemessen werden soll, ist in DIN 18041 [11] ausdrücklich festgelegt, dass der Schalldruckpegel an dem der Schallquelle nächstbenachbarten Zuhörerplatz zu erfassen ist. VDI 2081 [12] benennt diesen Schallpegel für die Lüftungsanlagen-Geräusche, und in der ASR A3.7 [13] ist er als zulässiger „Hintergrund-Schallpegel" angegeben. Dieser Wert ist auch in der Experten-Empfehlung VDI-EE 4300-14 [5] aufgeführt.

Die Behörde für Schule und Berufsbildung, Hamburg (BSB) benennt als „idealen Schallpegel" einen Wert von 40 dB(A) und gibt als „Toleranzgrenze" sogar 45 dB(A) an [14]. Der Freistaat Bayern hat seine Förderrichtlinie novelliert [15]. Waren dort zunächst ebenfalls bis zu 40 dB(A) zulässig, heißt es jetzt: *Der Schalldruckpegel muss im Normalbetrieb mit den Anforderungen an einen geordneten Unterrichts- und Kitabetrieb vereinbar sein. Die Geräte dürfen im Dauerbetrieb einen Schalldruckpegel möglichst von 35 dB(A), jedenfalls aber von 40 dB(A) nicht überschreiten.* Ob mit „Dauerbetrieb" der Soll-Betriebszustand gemeint ist, bleibt offen.

In der BSB-Handreichung heißt es eher beschwichtigend: *Die Geräte senden ein sonores Brummen / Rauschen zwischen 35 Dezibel und 45 Dezibel und sind wie Tischventilatoren mehrstufig oder stufenlos einstellbar.* Ein Hersteller schreibt auf seiner Webseite: *Der Geräuschpegel im Dauerbetrieb bei 1.150 m³/h Nenn-*

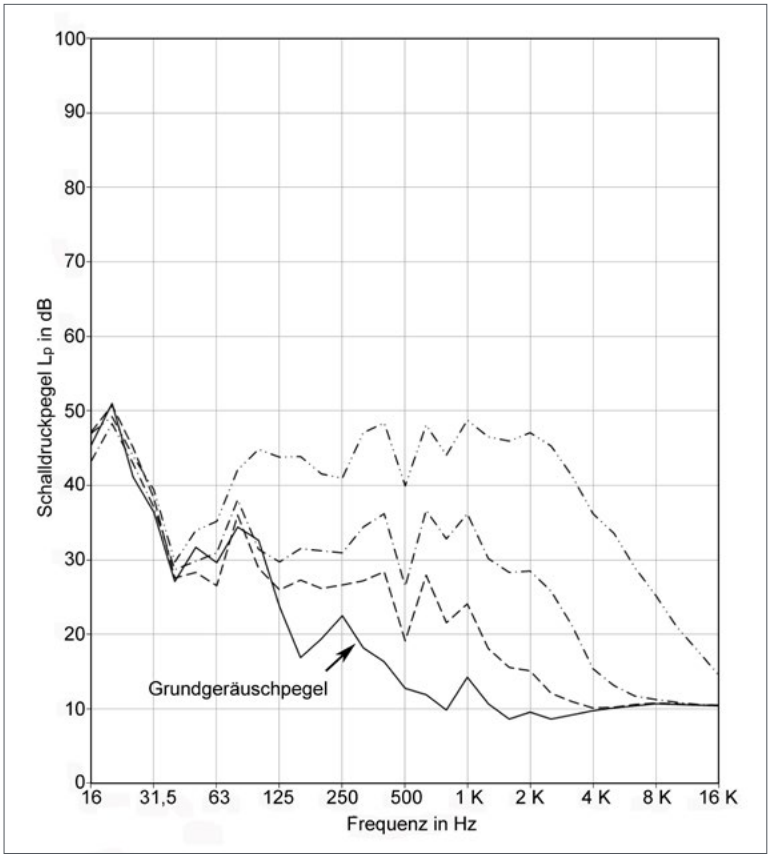


Abb. 2: Schallpegel eines Gerätes in 1 m Abstand mit drei Schaltstufen, bei hohem Volumenstrom zunehmend Zischgeräusche durch scharfe Kanten und ungünstige Luftführung.

volumenstrom liegt bei angenehmen 50 dB(A). In der zugehörigen Betriebsanleitung sind dagegen sogar 55 dB(A) aufgeführt.

Weil die Schallpegel-Sollwerte bei sachgerechtem Luftvolumenstrom nicht einzuhalten sind, wird vielfach die Luftmenge so weit reduziert, bis die Lautstärke erträglich ist. Dann fördern die Geräte aber zu wenig Luft, um die angestrebte Virenarmut sicherzustellen. Hier wiegen sich alle Nutzer in falscher Sicherheit. Die Geräte laufen ohne den erwarteten Nutzen, kosten aber Strom. Dazu schätzt BSB in der Handreichung einen Jahresstromverbrauch von 2.860 MWh allein für Hamburg. Nach mündlicher Aussage eines an der Berechnung beteiligten Mitarbeiters bezieht sich dieser Wert nicht auf den Volllast-, sondern nur den empfohlenen Teillastbetrieb. Während die Anschaffung der Geräte vielerorts bezuschusst wird, müssen die Schulen sämtliche Betriebskosten (Strom, Filtertausch, Wartung) selbst bezahlen.

Einige Hersteller haben ihre Geräte bereits werksseitig gedrosselt. So könnte das Gerät eines Herstellers eigentlich 1.600 m^3/h leisten, ist aber auf 750 m^3/h begrenzt. Einige Bundesländer sind inzwischen von der Forderung eines sechsfachen Luftwechsels abgerückt und fordern nur noch einen fünffachen, UBA und VDI wie bereits zitiert inzwischen sogar nur noch den vierfachen [6]. In der BSB-Handreichung [14] heißt es zu dem Thema: *Für leisen Unterricht (z. B. Klassenarbeit) sollten 45 Dezibel nicht überschritten werden, viele Geräte sollten daher nicht auf der höchsten Stufe, sondern im mittleren Lastbereich eingestellt werden.*

Gemessene Schallpegel in Klassenräumen

Bei den im Folgenden beschriebenen eigenen Schallpegelmessungen in den Klassenräumen handelt es sich ausschließlich um Schalldruckpegel an den Immissionsorten. Sofern Schallleistungspegel als Emissionswert der Geräte gemeint sind, wird das ausdrücklich erwähnt.

Die Messergebnisse aus den verschiedenen Schulen sind zwar relativ ähnlich, aber doch immer wieder unterschiedlich. Das ist durch folgende Umstände begründet:

- Die Besetzungsdichte mit Tischen und Stühlen reicht von 7 bis zu 28 Plätzen.
- Dadurch sind nicht überall freie Messpfade vorhanden.
- Die Möblierung variiert von „Halbkreis“ über „in-Reih-und-Glied“ bis zur „freien Aufstellung“.
- Dadurch gibt es nur in wenigen Fällen geordnete Messpunkte.
- Die Aufstellung der Raumluftfilteranlagen in den Klassenräumen ist sehr unterschiedlich nach dem Motto „wo ist denn noch Platz“?
- Sie stehen deshalb in Raumecken, mittig vor der Rückwand oder der Flurwand, in einem Fall sogar am Fenster.
- Auch die Aufstellung zwischen Schränken und Regalen ist nicht selten (mit entsprechender Beeinträchtigung der Luftströmung auf der Ansaugseite).

Die Klassenräume der Schallmessungen hatten durchgängig ein Volumen von etwa 200 m^3, zwei Pausenhallen jeweils etwa 350 m^2. In 1,0 m Abstand von der Gerätevorderseite wurden die Schallpegel in 1,2 m Höhe (entspricht der Ohrhöhe sitzender Personen) gemessen. Soweit möglich erfolgten die Messungen auch bei verschiedenen Luftvolumenströmen. Beispielhaft sind in Abbildung 2 die Messergebnisse eines Gerätes mit drei Schaltstufen und ungünstiger Luftführung aufgrund scharfer Kanten dargestellt. Der maximale Volumenstrom beträgt nach Herstellerangabe ca. 600 m^3/h. Gegenüber dem Grundgeräuschpegel im Raum von 24 dB(A) ergeben sich in den drei Schaltstufen 32 dB(A), 42 dB(A) und 56 dB(A). Das Spektrum wird immer breiter; die Zisch-Geräusche an den scharfen Kanten nehmen deutlich zu. Die damit verbundene Auswirkung auf die Sprachverständlichkeit wird weiter un-

ten beschrieben.
Deutlich günstiger ist die Situation bei dem Gerät (mit nachträglich aufgesetztem Schalldämpfer) eines anderen Herstellers mit sechs Stufen nach Abbildung 3. Durch eine günstigere Luftführung tritt das Zischen nicht auf. Dennoch werden auch hier 57 dB(A) erreicht, allerdings in der höchsten Stufe bei ca. 1.100 m^3/h. Für die beiden Geräte in Abbildung 2 und 3 sind keine Herstellerangaben zu den Volumenströmen der verschiedenen Schaltstufen erhältlich. Nur die maximalen Volumenströme sind den Datenblättern zu entnehmen.
Ein weiterer Hersteller zeigt an einem Display die Luftvolumenströme in 5 %-Schritten der maximalen Leistung von 740 m^3/h an. Zwischen 40 % und 100 % steigt der Schallpegel von 43 dB(A) auf 56 dB(A). Bei diesem Gerät treten kaum Zisch-Geräusche auf, weil direkt unter dem Ausblasgitter noch ein Vlies angebracht ist. Auffällig ist bei diesem Gerät in Abbildung 4 aber, dass bei 16.000 Hz der Schallpegel kräftig ansteigt (bis auf 26 dB). Solche Pfeif-Geräusche können für gesunde junge Ohren, bei denen der Hörbereich noch bis 20.000 Hz oder sogar darüber hinaus reicht, ausgesprochen störend wirken.
Anlässlich der Schallpegelmessungen stand kein Messgerät zur Ermittlung des tatsächlich vorhandenen Luftdurchsatzes zur Verfügung. Einige Regler arbeiten in Stufen, andere stufenlos. Deshalb war der Volumenstrom lediglich „gezielt zu schätzen" oder es musste den teilweise vollmundigen Herstellerangaben vertraut werden. Auch die Filterzustände und die ggf. durch Verschmutzung bewirkte Reduzierung der Luftmenge sind unbekannt. Nicht in jedem Fall erscheinen die Herstellerangaben (im Verhältnis zum gemessenen Schallpegel) nachvollziehbar.
Der Abschlussbericht des IGTE an der Uni-Stuttgart [16] zu einem Pilotprojekt an Stuttgarter Schulen kommt zu ähnlichen Ergebnissen. Bei insgesamt 11 untersuchten Klassenräumen waren nur in zweien die Schallpegel kleiner als 40 dB(A), in sieben Fällen wurden aber mehr als 45 dB(A) gemessen.

Schallpegelabnahme im Raum

Auch die Schallpegelabnahme innerhalb des Klassenraumes gegenüber den Werten in 1 m Abstand ist von Interesse, um die Geräuscheinwirkungen an verschiedenen Sitzplätzen errechnen zu können. Dazu wurden in gerasterten Abständen von jeweils 1,0 m – wiederum auf Ohrhöhe sitzender Personen – die dort vorhandenen Schallpegel gemessen. Für einen guten Signal-Rausch-Abstand (Abstand des zu messenden Schallpegels vom im Raum vorhandenen Fremdgeräusch) erfolgten diese Messungen grundsätzlich bei der höchsten Fördermenge, teilweise zusätzlich auch bei der vorgefundenen Einstellung. Die

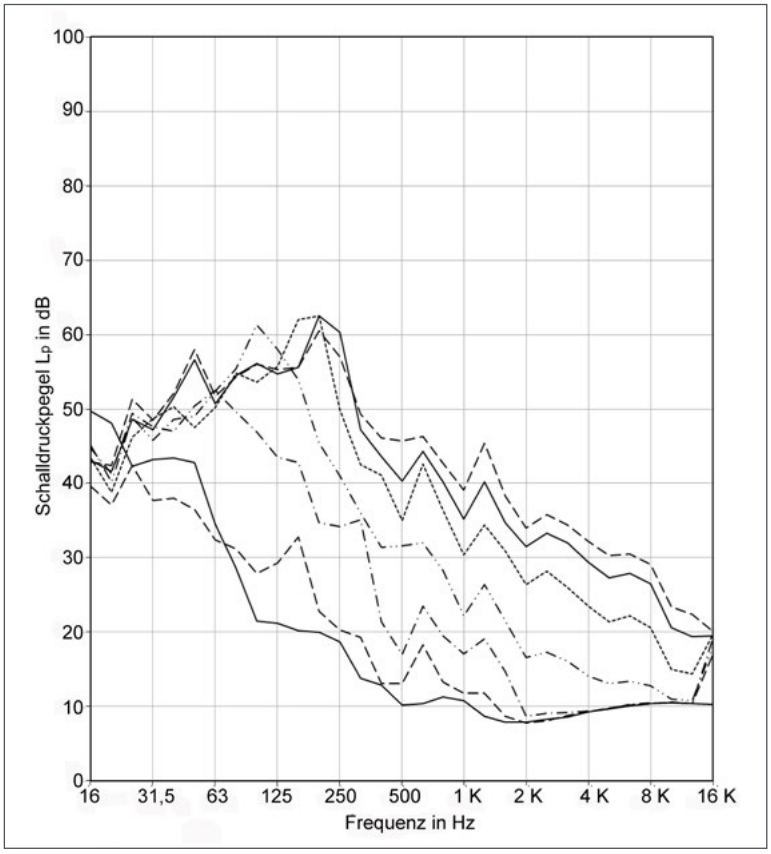
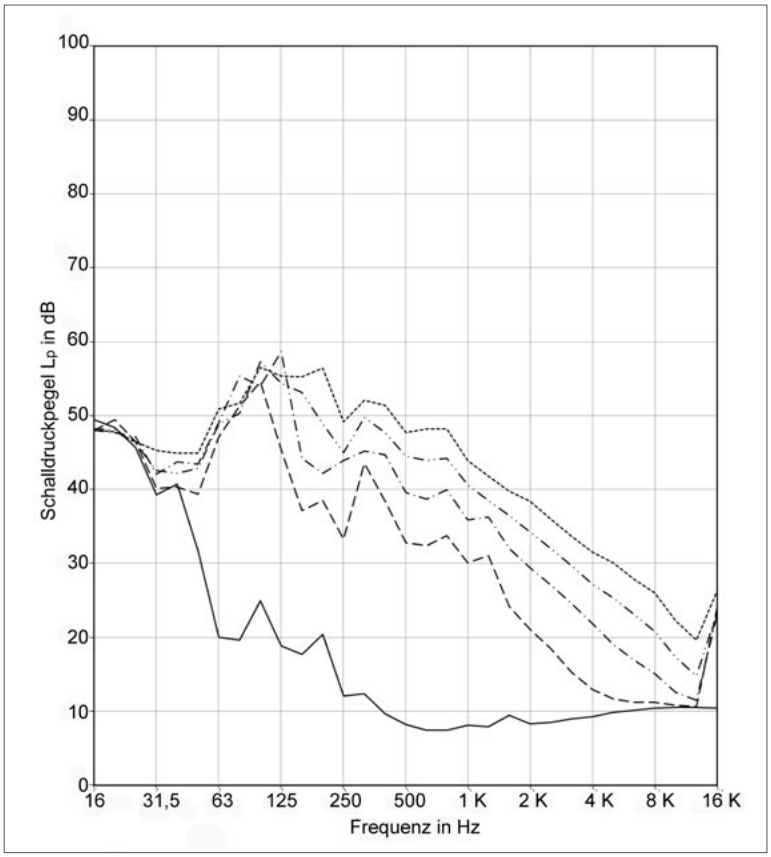


Abb. 3: Schallpegelspektren eines Gerätes mit sechs Stufen; durchgezogene Linie: Grundgeräuschpegel.

Abb. 4: Schallpegelspektren für 40, 60, 80 und 100 % Luftvolumenstrom von 740 m^3/h; durchgezogene Linie: Grundgeräuschpegel.



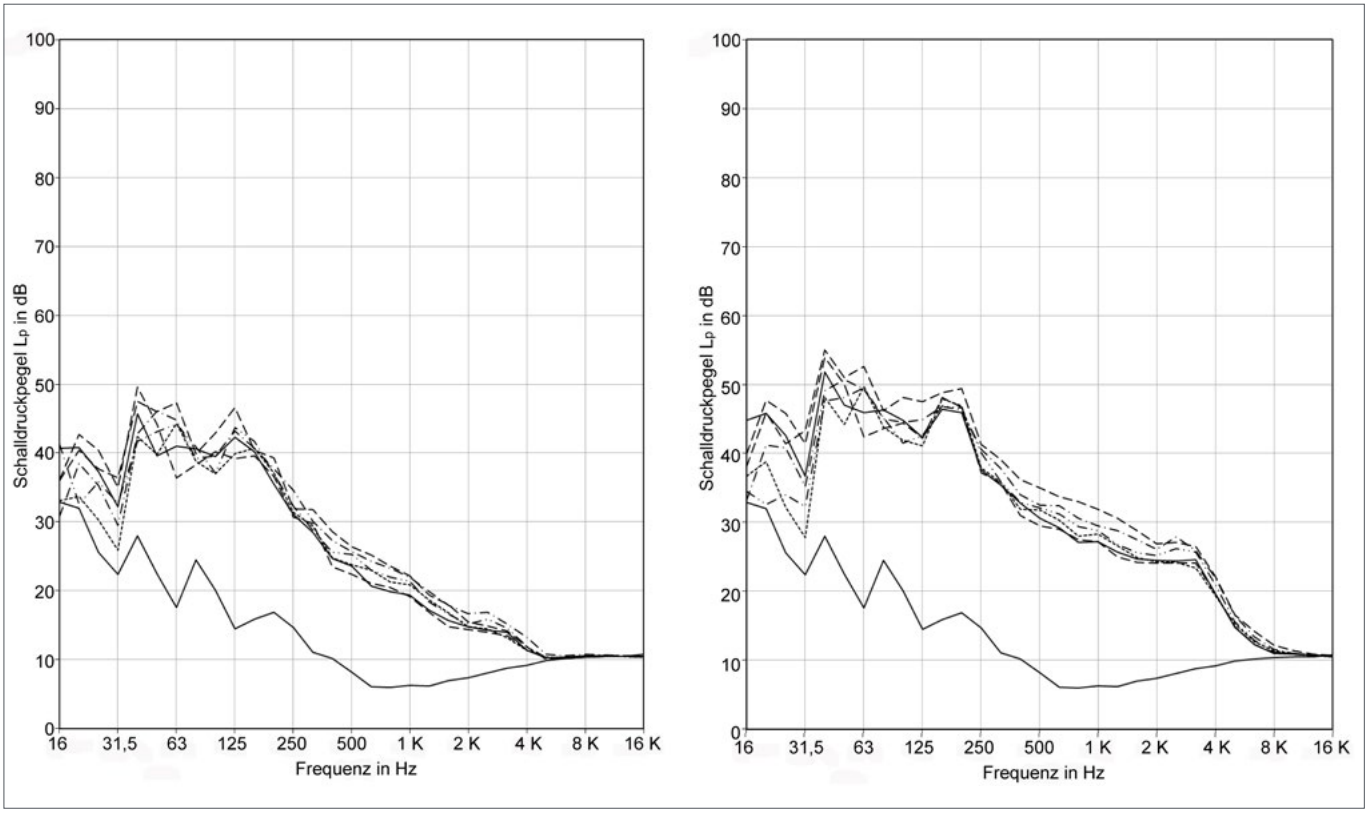
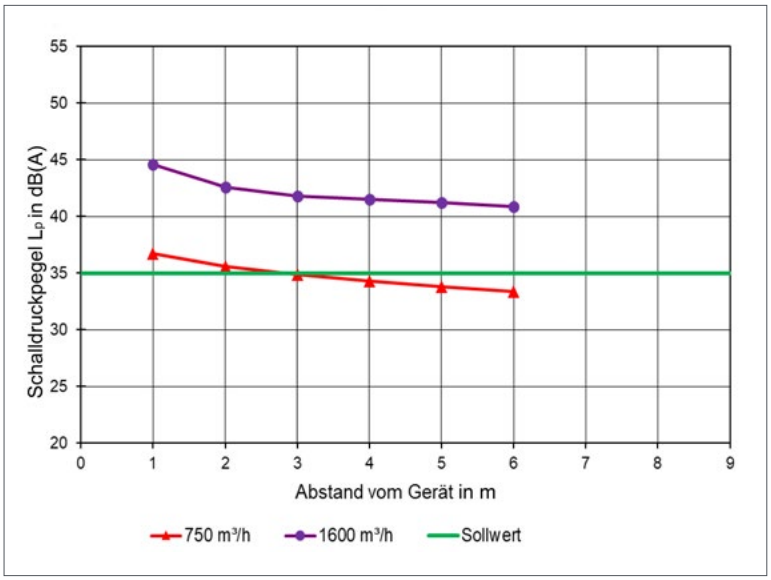


Abb. 5: Schallpegelspektren im Klassenraum von 1 m bis 6 m Abstand, links vorgefundener Zustand, rechts maximale Förderleistung.

Abbildungen 5a (links) und 5b (rechts) zeigen beispielhaft solche Messergebnisse für die vorgefundene und die maximale Einstellung.

Es ist festzustellen, dass die Schallpegelabnahme innerhalb des Klassenraumes vom Klassenraum von hinten in 1 m Abstand vor dem Gerät (also an den Schüler-Sitzplätzen) bis hin zu 6 m Abstand vorne vor der Tafel (beim Lehrer-Standort) relativ gering ist. Hier liegt also eine sogenannte „Diffusfeld-Situation" vor. In Abbildung 6 sind die A-bewerteten Gesamtschallpegel der obigen Spektren in Abhängigkeit vom Abstand vom Gerät dargestellt. In beiden Fällen nimmt der Schallpegel von 1 m bis 6 m Abstand nur um etwa 3,5 dB ab. Als grüne horizontale Linie ist der Sollwert für den im Klassenraum einzuhaltenden Störgeräusch-Schallpegel von maximal 35 dB(A) nach DIN 4109, DIN 18041 und VDI 2081 bzw. ASR A3.7 ebenfalls eingetragen.

Abb. 6: Abstandsabhängige Minderung der A-bewerteten Gesamtschallpegel in einem Klassenraum für die vorgefundene und maximale Luftförderleistung im Vergleich zum Sollwert von maximal 35 dB(A).



Anhand der roten Kurve im Vergleich mit der grünen 35 dB-Linie in der Grafik wird erkennbar, warum dieses Gerät herstellerseitig auf nur 750 m^3/h gedrosselt wurde. Dann kann nämlich ab etwa 3 m Abstand vom Gerät der Wert von 35 dB(A) eingehalten werden. Dabei nimmt man dann offenbar billigend in Kauf, dass die geforderte Luftumwälzung nicht erreicht wird. Zwei Geräte dieser Art würden das zwar schaffen, allerdings wären durch die Überlagerung der Geräusche überall im Klassenraum die 35 dB(A) überschritten. Zwei Geräte wären zudem verbunden mit den doppelten Anschaffungs- und auch den doppelten Betriebskosten (bei unveränderter finanzieller Förderung).

Etliche Hersteller beschreiben im Internet eine Schallpegelabnahme, welche sich an der Situation im akustischen Freifeld (siehe Abb. 7, graue Kurve) orientiert. Danach soll der Schallpegel bis 10 m Abstand um 20 dB geringer werden. In typischen Klas-

senräumen liegt die maximale Messentfernung bei etwa 6 oder 7 m, in großen Räumen auch mal 8 m (und je nach Position des Gerätes im Raum auch weniger). 10 m werden aber nie erreicht. Deshalb liegen für diesen Abstand keine eigenen Messwerte vor. Die Differenz zwischen Theorie (Freifeld) und Realität (Diffusfeld) ist dennoch sehr gut erkennbar. In realen Räumen nimmt der Schallpegel deutlich weniger ab als im Freifeld (im Freien oder im reflexionsarmen „schalltoten" Schallmessraum).

Mit der häufig im Internet zu findenden Darstellung entsprechend der unteren grauen Kurve wird den Käufern der Geräte suggeriert, auch bei voller Leistung sei ab etwa 3 m Abstand von der Raumluft-Filteranlage „die Welt wieder in Ordnung". Tatsächlich ist das hier betrachtete Gerät dort aber noch um 7 dB zu laut. Auch sitzen die Schüler teilweise weniger als 1 m vom Gerät entfernt, denn die Geräte werden im Klassenraum nicht unter akustischen Aspekten aufgestellt, sondern dort, wo noch Platz ist.

Die Tabelle 3 (siehe folgende Seite) gibt eine Übersicht über die in den verschiedenen Schulen bzw. Räumen – teilweise bei unterschiedlichen Betriebszuständen – aufgenommenen Schallpegelmesswerte. Die zugehörigen Volumenströme entstammen Herstellerangaben und/oder Anzeigen am Lüftungsgerät. Auch die Messwerte für 5 m Abstand und die Differenz zu 1 m sind für die entsprechenden Messungen aufgeführt. Alle Messwerte sind auf volle dB gerundet. Die farbigen Markierungen kennzeichnen den jeweiligen Betriebszustand, der beim Betreten des Raumes vorgefunden wurde.

Ein Vergleich berechneter und gemessener Werte soll anhand von Klassenraum S3K1 durchgeführt werden. Nach Tabelle 2 entspricht S3K1 ziemlich genau dem modellhaft vorgegebenen Raum in Tabelle 1 mit einem Volumen von 200 m^3 und einer Absorptionsfläche von 50 m^2. Während aus den Modelldaten (für $Q = 4$) ein geschätzter Hallradius von 2 m resultiert, wird er in Tabelle 2 (für $Q = 2$) zu 0,98 m ermittelt.

Ferner ist nach Gleichung 1 in Tabelle 1 die Pegelabnahme zwischen den Abständen von 1 m und 5 m mit 10,3 dB – 4,0 dB = 6,3 dB augenscheinlich doch größer als im Raum S3K1 gemessen (Tabelle 3: 4 dB). Das ist aber nicht etwa durch fehlerhafte Messungen begründet, sondern durch Abweichungen der modellhaften Annahme von den realen Gegebenheiten.

- Die Raumluft-Filteranlage ist keine punktförmige, sondern eine großflächige Schallquelle zumindest für höhere Frequenzen.
- Die maßgeblichen schallabstrahlenden Öffnungen der Raumluft-Filteranlage befinden sich nicht direkt vor dem Messmikrofon, sondern am Fußboden und (bei dem hier betrachteten Gerät) in etwa 2 m Höhe.

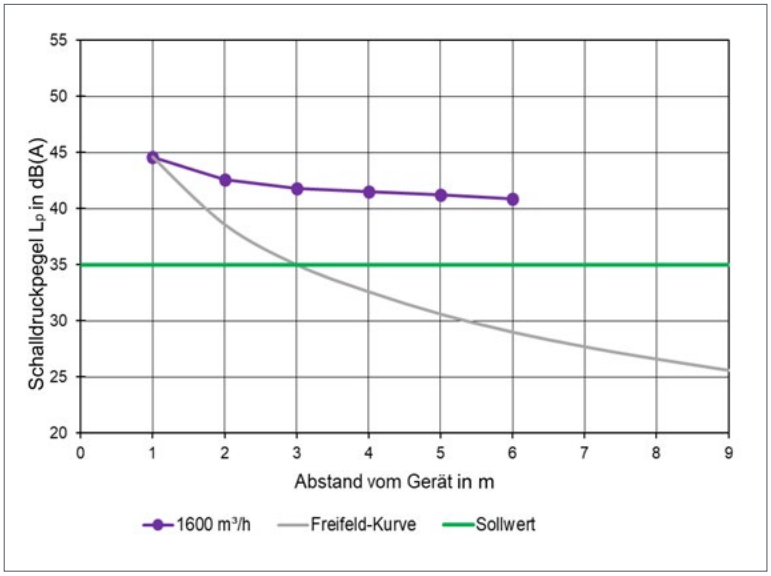


Abb. 7: Abstandsabhängige Minderung der A-bewerteten Gesamtschallpegel in einem Klassenraum für die maximale Luftförderleistung im Vergleich zur Schallausbreitung im Freifeld.

Dadurch liegen die ersten Messpunkte noch im Nahfeld des Gerätes, wo die Pegelabnahme deutlich geringer ist als bei einer Punktschallquelle. Zwischen 3 m und 6 m Abstand nimmt der Schalldruckpegel rechnerisch um 10,4 dB – 9,4 dB = 1,0 dB ab. Das stimmt wiederum mit der messtechnischen Wirklichkeit nach Abbildung 7 gut überein.

Der Bedienungsanleitung des betreffenden Gerätes ist für den Luftvolumenstrom von etwa 750 m^3/h ein Schallleistungspegel von $L_{WA} = 45$ dB(A) zu entnehmen. Mit der obigen Berechnung für den hier vorhandenen Klassenraum ergibt sich, dass der Schalldruckpegel in 3 m Abstand von der Schallquelle um etwa 9 dB und bei größeren Abständen um bis zu 11 dB geringer ist als der Schallleistungspegel. Mit $L_p = 45$ dB(A) – 9 dB = 36 dB(A) und $L_p = 45$ dB(A) – 11 dB = 34 dB(A) ist eine gute Übereinstimmung zu den Messwerten nach Abbildung 6, untere Kurve, vorhanden.

Rechnet man die Nachhallzeit nach DIN 18041 (Anhang A3) vom unbesetzten auf den zu 80 % besetzten Zustand um, so erhöht bei Kindern der Primarstufe die äquivalente Schallabsorptionsfläche für den besetzten Zustand um etwa $\Delta A = 5\ m^2$. Damit errechnet sich für das Fernfeld eine Pegelminderung $L_W - L_p = 11{,}3$ dB. Gegenüber dem in der Tabelle 1 (letzte Zeile, rechte Spalte) errechneten Wert von 10,8 dB ist das Gerät dann also bei größeren Abständen nur um 0,5 dB leiser.

Bei geringen Abständen kann genau der gegenteilige Effekt auftreten, je nach Aufstellung des Gerätes vor einer Wand oder in einer Ecke. In einem Fall konnte ein relativ leichtes (aber dennoch schallstarkes) Gerät von seinem (offenbar auch nur temporären) Auf-

Tab. 3: Übersicht der Schalldruckpegel-Messwerte der untersuchten Räume und Geräte in Abhängigkeit vom Volumenstrom.

Raum	ca. Volumenstrom in m³/h	$L_{p,1m}$ in dB(A)	$L_{p,5m}$ in dB(A)	$L_{p,1m}$ - $L_{p,5m}$ in dB
S1 K1	Stufe 1	32		
S1 K1	**Stufe 2**	**42**		
S1 K1	Turbo 600	56	49	7
S1 K2	**300**	**43**		
S1 K2	450	49		
S1 K2	590	52		
S1 K2	740	56	47	9**
S2 K1	200	24		
S2 K1	400	33		
S2 K1	**600***	**45**		
S2 K1	800	53		
S2 K1	1.000	55		
S2 K1	1.200	57	53	4
S2 K2	200	26		
S2 K2	400	37		
S2 K2	**600***	**47**		
S2 K2	800	54		
S2 K2	1.000	55		
S2 K2	1.200	57	51	6
S2 P1	**Automatik*****	**45**	**40**	**5**
S2 P2	**Automatik*****	**45**	**39**	**6**
S3 K1	**750**	**37**	**33**	**4**
S3 K1	1.200	45	41	4
S4 K1	**800**	**39**		
S4 K1	1.200	46	42	4
S5 K1	**470**	**40**		
S5 K1	1.150	57	51	6
S5 K2	1.150	60	54	6

** Die Einstellung auf „Stufe 3" ist vom Schulträger vorgegeben und wurde offenbar strikt befolgt. Anders sind die im Vergleich zu den anderen Messorten hohen Werte nicht zu erklären.*
*** Die hohe Pegeldifferenz bei dem Gerät S1 K2 von 9 dB ist durch die Aufstellung des Gerätes in einer Nische und den dadurch höheren Richtungsfaktor erklärbar. Die Freifeld-Pegelabnahme nach Abbildung 7, graue Kurve, von 13 dB in 5 m Abstand wird nirgends erreicht.*
****Viele der messtechnisch untersuchten Gerätetypen bieten auch eine „Automatik-Stufe" an. Keiner der vorgelegten Bedienungsanleitungen war aber zu entnehmen, mit welcher Regelgröße diese Automatiken gesteuert werden (sollen). CO_2-Gehalt, Luftfeuchte und Raumtemperatur lassen zwar in Grenzen auf die Belegung des Raumes schließen, werden aber alle nicht durch die Filterung beeinflusst. Empfunden wird die Einstellung als eine weitere niedrige Betriebsstufe.*

stellungsort mittig vor einer Klassenraum-Stirnwand in eine freie Raumecke verschoben werden.
In der Nähe der Raumluftfilteranlage ist die durch den hier vorliegenden Richtungsfaktor Q = 8 bedingte Pegelanhebung zu erkennen. Weil die Schallaustrittsöffnungen an der Ansaug- und Ausblasseite ungleichmäßig verteilt sind, ist die Anhebung etwas kleiner als der theoretisch zu erwartende Wert von 3 dB. Da sich mit einer veränderten Aufstellung aber der in den Raum abgestrahlte Schallleistungspegel des Gerätes nicht ändert, ist der Schalldruckpegel bei größeren Abständen (im Rahmen der Messgenauigkeit) identisch (siehe Abb. 8). Für die in der Nähe der Anlage sitzenden Kinder ist die Eck-Aufstellung also akustisch noch ungünstiger als die Position mittig vor der Wand.
Daraufhin könnte einem die Idee kommen, die Raumluftfilteranlage mittig im Klassenraum aufzustellen. Dann befindet sich nur noch eine reflektierende Ebene unter dem Gerät, der Richtungsfaktor sinkt auf Q = 2 und der Schallpegel im Nahbereich sollte um (etwa) 3 dB abnehmen. Das wäre aber mit dem Nachteil verbunden, dass die Schüler an allen vier Seiten nahe am Gerät sitzen und somit noch mehr ungünstige Plätze im Raum vorhanden sind. Hinzu käme noch die Stolpergefahr über Anschlusskabel.

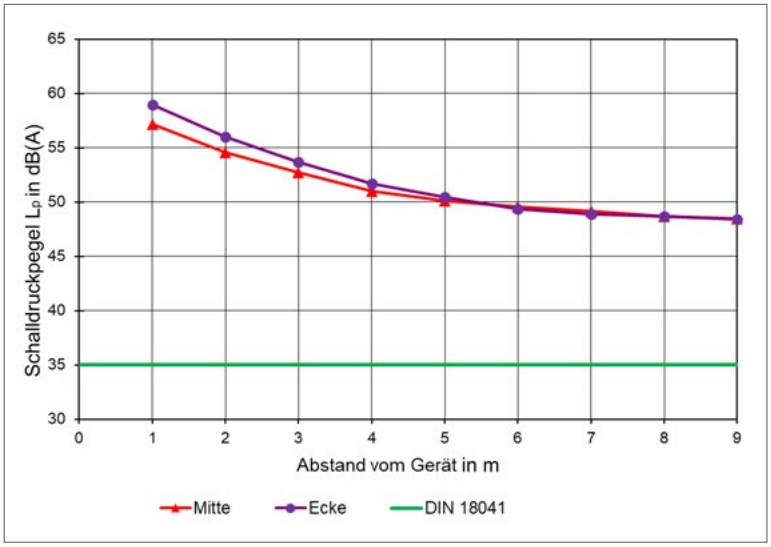


Abb. 8: Pegelanhebung im Nahbereich bei Aufstellung der Anlage in einer Raumecke im Vergleich zur Aufstellung mittig vor einer Wand.

Sprachverständlichkeit

In Bezug auf den Unterrichtserfolg ist die Veränderung der Sprachverständlichkeit unter Einwirkung der dauerhaften Störgeräusche besonders von Interesse. Deshalb wurde bei den beiden Betriebsstufen der Sprachübertragungsindex (STI = Speech Transmission Index [17]) sowohl ohne als auch mit Störgeräuschen in der Ausbreitungsrichtung vom Lehrerstandort mittig vor der Tafel nach hinten in der Nähe der Raumluft-Filteranlage gemessen. Um in verschiedenen Schulen und verschiedenen Klassenräumen dennoch vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, erfolgten die Messungen jeweils auf einer geraden Ausbreitungslinie. Sie ist in dem Foto (Abb. 9) markiert. Im gelben Kreis befindet sich der Messlautsprecher (die Lehrer-Nachbildung), der senkrechte Pfeil weist auf die Raumluft-Filteranlage hin, die grüne Linie zeigt den Messpfad. Ohne die Geräuscheinwirkungen der Raumluftfilteranlage ist der STI nach Abbildung 10 auch über große Entfernungen sehr gut und sinkt auch bei 7 m Abstand nur knapp unter STI = 0,75 ab. Geringfügig schlechter wird die Situation mit den Geräuschen der Filteranlage. Bei der (gedrosselten) Betriebsstufe mit 750 m^3/h mit einem Schalldruckpegel im Raum um etwa 35 dB(A) wirkt sich die Raumluftfilteranlage nur in den großen Abständen vom Lehrerstandort aus. Dort ist der Sprachpegel des Lehrers am geringsten und die Geräuscheinwirkung der Luftfilteranlage am höchsten. STI = 0,75 wird ab etwa 4,5 m moderat unterschritten. Daraus ergibt sich der interessante Hinweis, dass die Vorgabe von $L_{NA,Bau} \leq 35$ dB(A) in der Raumakustik-Norm DIN 18041 offenbar sachgerecht ist.

Abb. 9: Geradliniger Messpfad von vorne nach hinten im Raum S3K1.

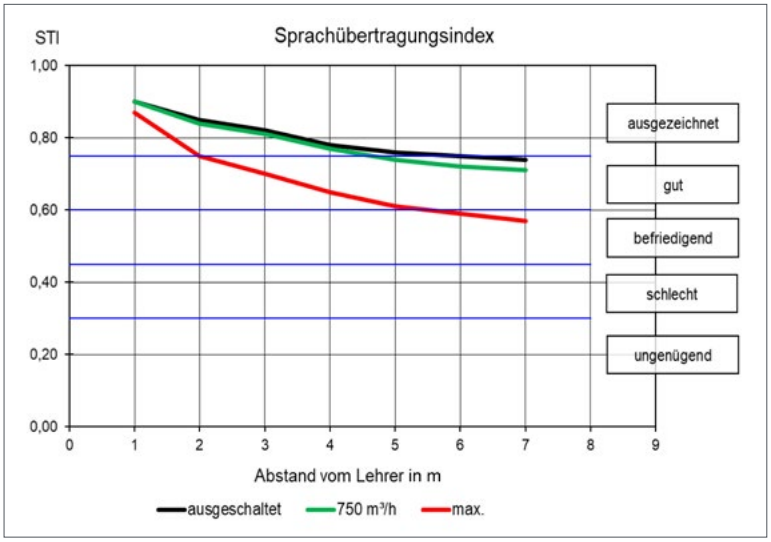


Abb. 10: Sprachübertragungsindex ohne und mit Geräuschen der Raumluftfilteranlage des Raumes S3K1 in niedriger und maximaler Stufe.

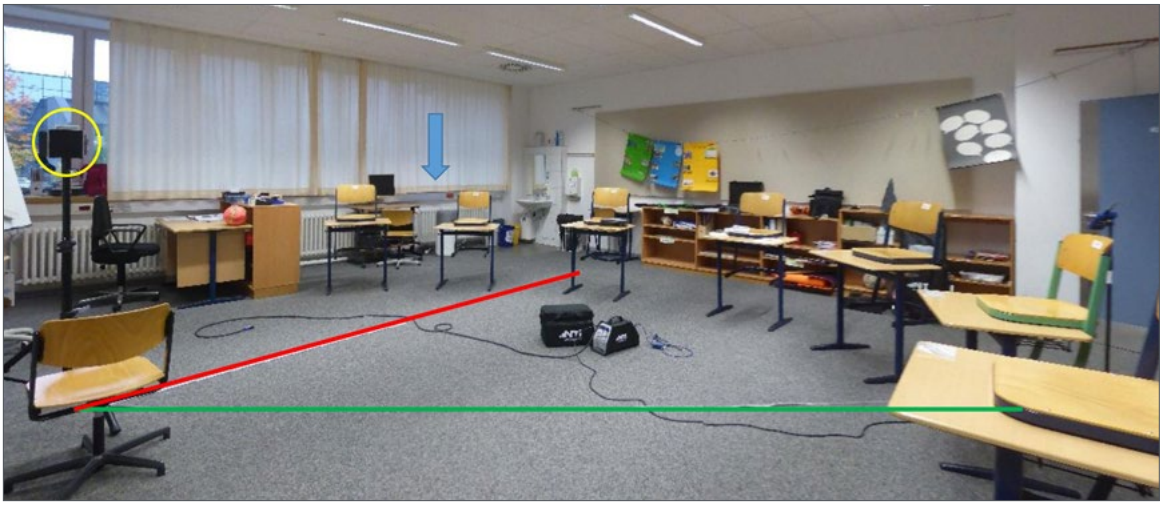
Bei Schallpegeln der Raumluftfilteranlage zwischen 41 dB(A) vorne in Lehrernähe und 44 dB(A) hinten in der Nähe des Gerätes wird die Situation deutlich schlechter. Bereits in 1 m Abstand ist die Veränderung von 0,90 auf 0,87 nachweisbar, welche mit zunehmendem Abstand vom Lehrer aber geringerem Abstand zum Lüftungsgerät deutlich anwächst. In 7 m Abstand wird statt STI = 0,74 nur noch 0,57 erreicht. Insbesondere beim Fremdsprachenunterricht, sowie für Kinder mit Deutsch als Zweitsprache oder mit Hörschädigung sind solche Störgeräusche und die damit verbundenen Verschlechterungen der Sprachverständlichkeit nicht akzeptabel und gefährden erheblich den Unterrichtserfolg. Dabei ist die hohe Betriebsstufe dieses Gerätes noch nicht einmal ausreichend, die angestrebte sechsfache Luftumwälzung sicherzustellen.

In einer anderen Schule (S1K1) stehen mehrere kleine Raumluftfilteranlagen mit maximalen Volumenströmen von jeweils 600 m^3/h im Raum verteilt. Dadurch befinden sie sich näher an den Schülerplätzen und wirken sich noch stärker auf die Sprachverständlichkeit aus. Ohne die Geräuscheinwirkungen der Luftfilteranlagen ist der STI auch hier hervorragend und sinkt bis hinten nicht unter 0,75 ab. Das ist bei der ausgesprochen günstigen Nachhallzeitsituation in dieser Förderschuleinrichtung für Kinder mit Hörschädigung ($T_m = 0{,}39$ s, $A = 73\ m^2$) auch nicht anders zu erwarten.

Deutlich schlechter wird die Situation aber sofort, wenn die Geräusche der Raumluftfilteranlagen hinzukommen. Die Messungen wurden bei der höchsten Betriebsstufe ausgeführt, weil diese für eine sachgerechte Luftumwälzung erforderlich ist (zwei Geräte je 600 m^3/h). Bei den Messungen war aber nur eine der beiden Anlagen in Betrieb, damit die Messsituation übersichtlich blieb. Im tatsächlichen Betriebsfall sind die Werte also noch ungünstiger als hier gemessen. Sie sinken bereits mit nur einem Gerät unter STI = 0,45 ab (teilweise deutlich), fallen also für Guthörende in die Kategorie „schlecht“ und sind demnach für die dortigen Kinder mit Hörschädigung völlig inakzeptabel! Der rot markierte Messpfad führt in Richtung zu den Sitzplätzen in der Nähe der Raumluftfilteranlage, der grün markierte schräg davon weg zur Tür. Der Messlautsprecher strahlte geradeaus von der Tafel nach hinten (siehe Abb. 11).

Das hier aufgestellte Gerät hat am Ausblasgitter scharfe Kanten, an denen die Zisch-Geräusche entstehen, auf die bereits im Zusammenhang mit der Abbildung 2 hingewiesen wurde. Während bei der Situation nach Abbildung 9 mit einem mehr niederfrequenten Rauschen „nur“ eine Verschlechterung auf STI = 0,57 gemessen wurde, verringert sich der Sprachübertragungsindex durch die starken Zisch-Geräusche nach Abbildung 12 bis herab auf STI = 0,34.

Abb. 11: Geradlinige Messpfade im Raum S1K1 in Richtung zur Raumluftfilteranlage (rot) und davon abgewandt zur Türe (grün); der Messlautsprecher (gelber Kreis) strahlt zur Klassenraumrückwand



In diesem Raum konnte auch mit Bezug auf die Sitzplätze gemessen werden. Weil die sieben Sitzplätze im Halbkreis aufgestellt sind, bestand eine sehr übersichtliche Situation. In Abbildung 11 ist auch gut zu erkennen, dass die Luftfilteranlage in der Nähe der Sitzplätze 1 und 2 steht. Entsprechend ist dort nach Abbildung 12 beim Einschalten dieser Anlage der STI am schlechtesten. Abbildung 13 zeigt den STI für die konkreten Sitzpositionen der Kinder.

Wie vorgehen?

Wenn der in verschiedenen Regelwerken genannte und hier auch durch die STI-Messungen belegte Grenzwert für die maximal zulässigen Störgeräusche im Unterricht mit einem Schalldruckpegel von $L_p = 35\,dB(A)$ eingehalten werden soll, so muss man den Herstellern der Raumluftfilteranlagen Vorgaben machen, welchen Schallleistungspegel L_W sie für die Soll-Betriebsstufe von etwa $800\,m^3/h$ (bzw. nach alter Lesart $1.200\,m^3/h$) nachzuweisen haben. Für die Umrechnung auf einen Schalldruckpegel L_p in etwa Raummitte sind das Volumen V und die Nachhallzeit T des jeweiligen Klassenraumes die maßgeblichen Kenngrößen. Um nicht in jedem Fall neu messen und rechnen zu müssen, wird im Folgenden eine Abschätzung versucht. Dazu wurden die Nachhallzeiten und Volumina von etwa 160 in den letzten drei Jahren gemessenen Klassenräumen statistisch ausgewertet (siehe Abb. 14).

Der große Abstand zahlreicher Messwerte von der oberen Toleranzbereichsgrenze der Norm-Vorgabe zeigt die Möglichkeiten auf, durch raumakustische Maßnahmen zur Lärmminderung in Klassenräumen beizutragen. Diese Vorgehensweise zur Lärmminderung in Schulen wird nach wie vor viel zu wenig genutzt! Würde man die ca. 1,3 Mrd. €, welche Bund und Länder für die Beschaffung der Filteranlagen bereitstellen, für – weit nachhaltigere – raumakustische Verbesserungen verwenden (und den etwa gleich hohen Anteil der Schulen ebenfalls), dann könnte man damit gut 400.000 Klassenräume akustisch sanieren. Über alle sechs Oktaven gemittelt errechnet sich eine mittlere Nachhallzeit von $T_m = 0{,}76\,s$ ($\pm 0{,}23\,s$). Das mittlere Klassenraumvolumen ergab sich zu $V_m = 205\,m^3$ ($\pm 26\,m^3$). Die mittlere äquivalente Schallabsorptionsfläche liegt demnach bei etwa $A_m = 43\,m^2$. Ähnlich wie in Tabelle 1 für $A = 50\,m^2$ errechnet, liegt also die Differenz bei etwa $L_W - L_p = 10\,dB$. Danach wäre also zunächst ein Schallleistungspegel bis $L_W = 45\,dB(A)$ zulässig. Weiterhin sind aber mehrere Dinge wie folgt zu beachten:

- Nicht alle Schüler sitzen in Raummitte oder weiter entfernt. Nach den Beobachtungen anlässlich der Messungen sind Abstände von 1 m keine Seltenheit und werden bisweilen sogar noch unterschritten. Nach den messtechnisch ermittelten Schallausbreitungskurven benötigt man mindestens ein Vorhaltemaß von 2 dB.
- Bisher wurde nur mit Mittelwerten gerechnet. Bei der Hälfte aller Klassenräume liegt aber eine (teilweise deutlich) ungünstigere Situation vor. Wenn zur Sicherheit von $(205 - 26)\,m^3$ und $(0{,}76 + 0{,}23)\,s$ ausgegangen wird, so ergibt sich daraus ein $A = 29\,m^2$ und damit nur knapp ein $L_W - L_p = 9\,dB$.
- Die Berechnung gilt für die Aufstellung auf einer Ebene. Bei Aufstellung vor einer Wand (Q = 4) ist das Gerät im Nahbereich rechnerisch um 3 dB lauter, bei Aufstellung in einer Ecke (Q = 8) sogar um 6 dB. In der Realität wurden Anhebungen bis 4 dB beobachtet. Sogar Schränke neben den Geräten wirkten sich mit Pegelanhebungen aus.

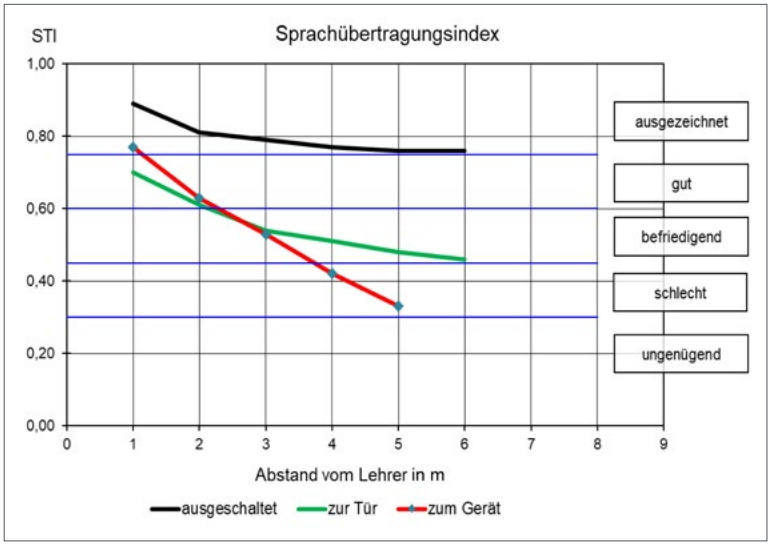
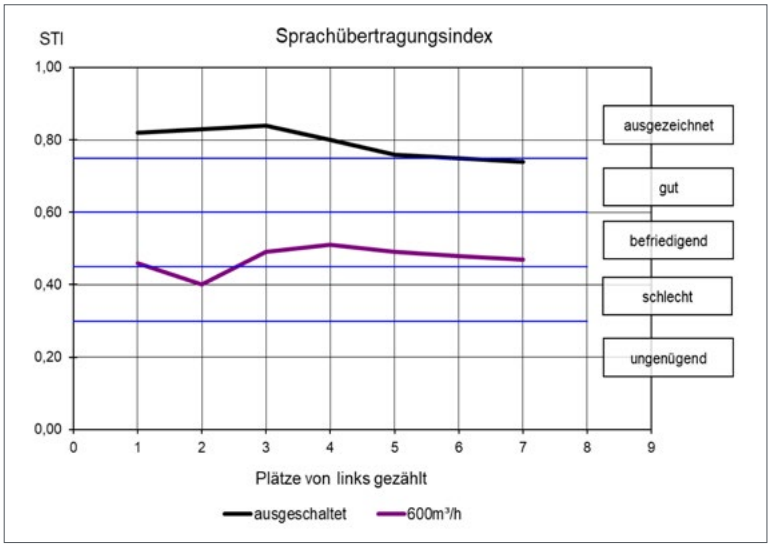


Abb. 12: Sprachübertragungsindex im Raum S1K1 ohne und mit Geräuschen der Raumluftfilteranlage in beiden linearen Messrichtungen.

Abb. 13: Sprachübertragungsindex ohne und mit Geräuschen der Raumluftfilteranlage an den einzelnen Sitzplätzen im Raum S1K1.



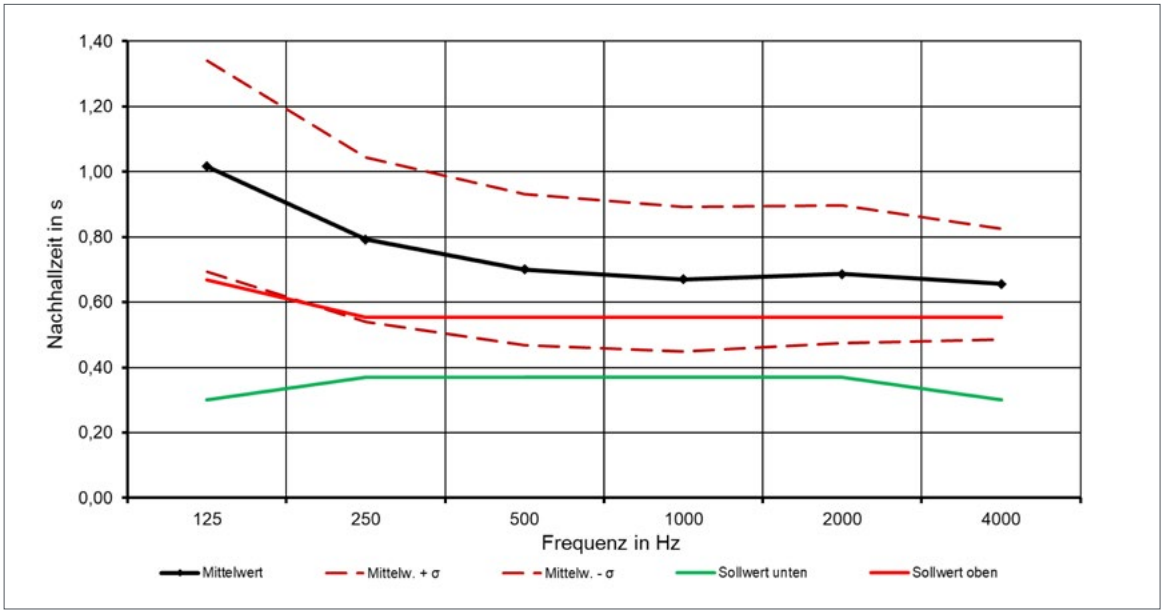


Abb. 14: Mittlere Nachhallzeiten und Standardabweichungen von etwa 160 Klassenräumen sowie Toleranzbereich nach DIN 18041 für die Raumgruppe A4.

In der Summe ist also – wenn die meisten vorkommenden Fälle berücksichtigt werden – für die Soll-Betriebsstufe (4-fach oder 6-fach) ein maximaler Schallleistungspegel der Raumluftfilteranlagen von $L_W \approx 40$ dB(A) zuzulassen, allenfalls von $L_{W,max} = 42$ dB(A).

Bisher hat die Industrie nur wenige offizielle Labor-Prüfzeugnisse vorgelegt. Die meisten Hersteller geben Schalldruckpegel in 1 m Abstand an, jedoch ohne Angabe von Messbedingungen und Messgeräten. Unter Ansatz der in der Lüftungsplanung üblichen Annahme der Raumdämpfung $L_p = L_W - 8$ dB wurden die Schallleistungspegel dieser Geräte hochgerechnet.

Eine weitere Unsicherheit besteht in den Angaben zum geförderten Volumenstrom. Hier erscheinen einige Katalogangaben in Relation zu den Schallpegeln „vielversprechend". Mangels einer Möglichkeit, die Volumenströme vor Ort zu messen, muss diesen Werten geglaubt werden. Die bisher vorliegenden Herstellerangaben und die aus den eigenen Messungen ermittelten Schallleistungspegel sind, getrennt nach „großen und kleinen" Geräten (höher oder niedriger als 1 m) in Abbildung 15 den zugehörigen Volumenstromangaben gegenübergestellt.

Möglicherweise würden die Werte bei realen Volumenstromangaben und genauer Kenntnis der jeweiligen Messbedingungen näher zusammenrücken. Bereits jetzt ist aber erkennbar, dass es schwer werden wird, ein Gerät zu finden, welches selbst bei dem zwischenzeitlich reduzierten Wert von nur 800 m³/h einen Schallleistungspegel von $L_W = 40$ dB(A) oder auch nur 42 dB(A) einhalten kann. Bei den ursprünglich für notwendig erachteten 1.200 m³/h können auch die namhaften Hersteller von Lüftungsanlagen weder die eine noch die andere Anforderung erfüllen.

Fazit

- Bei Einhaltung der bei den Schüler:innen akzeptablen Schalldruckpegel filtern die überprüften Umluftanlagen nicht 1.200 m³/h, was bei einer eher vorsichtigen Abschätzung in 200 m³ großen Klassenräumen und einem sechsfachen Luftwechsel erforderlich wäre.
- Bei der Soll-Luftmenge von 1.200 m³/h betragen die Störschalldruckpegel (teilweise deutlich) über 45 dB(A). Dann verschlechtert sich der STI in nicht mehr akzeptabler Größenordnung. Dadurch ist insbesondere beim Fremdsprachenunterricht, sowie für Kinder mit Deutsch als Zweitsprache oder mit Hörschädigung der Unterrichtserfolg erheblich gefährdet.
- Unterhalb von etwa 700 m³/h kann unter günstigen räumlichen Situationen und gerätetechnischen Bedingungen ab etwa 3 m Abstand von den Anlagen der für einen sachgerechten Unterricht maximal zulässige bauseitige Störschalldruckpegel von $L_{NA,Bau} = 35$ dB(A) gerade eingehalten werden. In diesem Zustand ist die Verschlechterung des Sprachübertragungsindex STI gering und akzeptabel.
- Die Schallbelastung kann vielfachfach nur bei reduziertem Volumenstrom der Anlagen in den zulässigen Grenzen gehalten werden. Daraus ergibt sich die Konsequenz, dass auf ein regelmäßiges Lüften nicht verzichtet werden kann.
- Die größeren Bauformen der Geräte (mit langsamer laufenden Lüfterschaufeln und Platz für

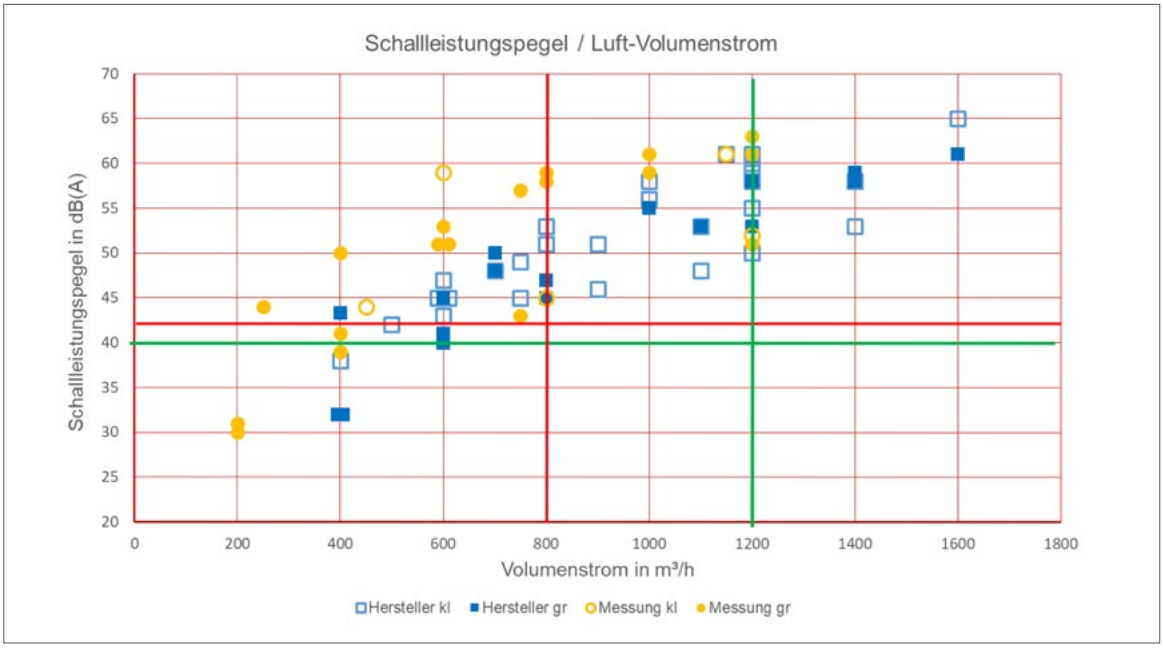


Abb. 15: Schallleistungspegel großer und kleiner Geräte in Abhängigkeit vom geförderten Volumenstrom, Herstellerangaben.

Schalldämpfer) sind akustisch günstiger als kleine derselben Baureihe. Auch die Gestaltung der Luftauslassgitter wirkt sich aus.

Literatur

[1] Kähler, C.J.; Fuchs, T.; Hain, R.: Können mobile Raumluftreiniger eine indirekte SARS-CoV-2 Infektionsgefahr durch Aerosole wirksam reduzieren? Universität Bundeswehr München, Institut für Strömungsmechanik und Aerodynamik, 2020-08. *https://www.unibw.de/lrt7/raumluftreiniger.pdf*

[2] Szabadi, J.; Meyer, J.; Dittler, A.: Untersuchung der Minderung der Partikelkonzentration in geschlossenen Innenräumen durch einen hoch wirksamen Innenraumfilter. Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik; 2020-10. *https://www.researchgate.net/publication/344607373_Untersuchung_der_Minderung_der_Partikelkonzentration_in_geschlossenen_Innenraumen_durch_einen_hoch_wirksamen_Innenraumfilter/link/5f840bc0a6fdccfd7b5aa351/download*

[3] Ruhe, C.: Zu laute Luftfilteranlagen. Spektrum Hören 2021-6, S.5–7.

[4] Umweltbundesamt (UBA): Lüftungen, Lüftungsanlagen und mobile Luftreiniger an Schulen. 2021-09. *https://www.umweltbundesamt.de/themen/lueftung-lueftungsanlagen-mobile-luftreiniger-an*

[5] VDI-EE 4300-14:2021-09: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Anforderungen an mobile Luftreiniger zur Reduktion der aerosolgebundenen Übertragung von Infektionskrankheiten.

[6] VDI: Anforderungen an mobile Luftreiniger. 2022-01. *https://www.vdi.de/news/detail/anforderungen-an-mobile-luftreiniger*

[7] VDI: Informationen zum Einsatz von mobilen Luftreinigern. Auszüge aus der Expertenempfehlung VDI-EE 4300 Blatt 14, 2021-10. *https://www.vdi.de/fileadmin/pages/mein_vdi/redakteure/publikationen/Informationen_zum_Einsatz_von_mobilen_Luftreinigern.pdf*

[8] Setzer, M.J,: Online-Buch Schall, Menüpunkt Raumakustik. *https://www.uni-due.de/ibpm/BauPhy/Schall/indexschall.htm*

[9] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWI): Bekanntmachung der Richtlinie für die Bundesförderung Corona-gerechte Um- und Aufrüstung von raumlufttechnischen Anlagen in öffentlichen Gebäuden und Versammlungsstätten. 2020-10. *https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/P-R/richtlinie-bundesfoerderung-corona-gerechte-um-und-aufruestung-von-raumlufttechnischen-anlagen.pdf?__blob=publicationFile&v=8*

[10] DIN 4109 – 1: Schallschutz im Hochbau. 2018-01.

[11] DIN 18041: Hörsamkeit in Räumen. 2016-03

[12] VDI 2081-1:2019-03 Raumlufttechnik – Geräuscherzeugung und Lärmminderung. 2019-03.

[13] Bundesanstalt für Arbeitsschutz: Technische Regeln für Arbeitsstätten – ASR A3.7 „Lärm". 2018-05.

[14] Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Schule und Berufsbildung (BSB): Handreichung „Mobile Luftreinigungsgeräte für die Unterrichtsräume". 2021-08.

[15] BayMBl. 2021 Nr. 712: Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen zur Verbesserung des Infektionsschutzes für die Betreuung von Kindern unter 12 Jahren in Schulen sowie in der Kindertagesbetreuung und in den Heilpädagogischen Tagesstätten der Jugend- und Behindertenhilfe. 2021. *https://www.verkuendung-bayern.de/baymbl/2021-712/*

[16] Stergiaropoulos, K. et al.: Pilotprojekt: Experimentelle Untersuchung zum Infektionsrisiko in Klassenräumen in Stuttgarter Schulen. Universität Stuttgart, Institut für Gebäudetechnik, Thermotechnik und Energiespeicherung. 2021-07. *https://www.stuttgart.de/service/aktuelle-meldungen/juli-2021/studie-mobile-luftreiniger-sind-keine-universalloesung-im-unterricht-stadt-plant-anschaffung-nur-fuer-schlecht-beluefbare-unterrichtsraeume.php.media/229720/2021-07-06 Abschlussbericht_Pilotprojekt_Luftreiniger_Klassenraum_Stuttgart_Finale-Version_06.07.2021.pdf*

[17] Niedersachsen.Klar: Arbeitsschutz und Gesundheitsmanagement in Schulen und Studienseminare. Sprachverständlichkeit. 2018-06. *http://www.aug-nds.de/?id=262* ■

Dipl.-Ing. Carsten Ruhe
hörgerecht planen und bauen, Prisdorf

Herausforderungen und Fortschritte bei der Beschreibung überströmter Schallabsorber

Von Lothar Cremer bis heute

Anita Schulz, Dirk Ronneberger

Bei einer Vielzahl technischer Anwendungen von durchströmten Kanälen, wie z. B. Flugzeugtriebwerken, Lüftungsanlagen oder Abgasleitungen, werden akustische Wandauskleidungen, sogenannte Liner, als wirkungsvolles Mittel zur Lärmbekämpfung eingesetzt. Bei der Entwicklung solcher Liner ist es üblich, die Wand durch eine akustische Randbedingung, üblicherweise die Wandimpedanz, zu beschreiben. Die Schallabsorption eines beliebigen Liners kann dann leicht durch die reibungsfreien Schallfeldgleichungen samt Randbedingung vorhergesagt werden. Dieser Zusammenhang verkompliziert sich allerdings erheblich, wenn die Wand wie in den o. g. technischen Anwendungen überströmt wird. Die im ruhenden Medium sehr kleinen Reibungseffekte, die sich in einer dünnen Wandgrenzschicht abspielen und von L. Cremer erstmals als Zusatz zur akustischen Randbedingung beschrieben worden sind, können drastisch anwachsen, da nun Zähigkeitskräfte entstehen, die das schallbedingt in die Wandöffnungen eindringende Medium abbremsen. Dieser Effekt wurde in den bisherigen Arbeiten zum großen Teil völlig vernachlässigt. Hier soll ein Einblick in die Etappen, Fortschritte und Schwierigkeiten bei der Modellierung dieses Problems gegeben werden.

Challenges and Progress in the Characterization of acoustic liners with grazing mean flow – from Lothar Cremer to Today

For a great variety of flow duct applications, such as aircraft engines, ventilation systems or exhaust pipes, acoustic liners are used as an effective means of noise damping. Within the liner design process it is common to describe the wall by an acoustic boundary condition, usually the normal incidence wall impedance. The sound absorption of any given liner can then be easily predicted by the inviscous wave equation. However, this relationship becomes considerably more complicated when a mean flow is present. The viscous effects in the acoustic boundary layer, which in the no-flow case are small and were first described by L. Cremer as an addition to the acoustic boundary condition, can increase drastically. This is because large friction forces are required to decelerate the fluid penetrating through the wall due to the acoustic pressure. For the most part, this effect has been completely neglected in previous work. Here, an insight into the research stages, the progress and the difficulties in modeling this problem will be given.

Einleitung

Schallabsorbierende, akustische Wandauskleidungen, sogenannte Liner (engl. "acoustic liners") spielen seit vielen Jahrzehnten bis heute eine fundamentale Rolle bei der Bekämpfung von Lärm in Strömungskanälen. Wichtige Einsatzbereiche sind Lüftungsanlagen, Gasturbinen und deren Abgasleitungen, bei denen Liner die Schallausbreitung signifikant verringern können – insbesondere, wenn sie dicht an der Schallquelle positioniert sind. Das prominenteste Anwendungs- wie Forschungsfeld ist nach wie vor die Lärmminderung von Flugzeugtriebwerken, siehe Abbildung 1. Hier hat der Einsatz von Linern, die an den Innenwänden von Triebwerken angebracht werden, seit der Entwicklung moderner Turbofangetriebe zur Reduktion von mehr als der Hälfte des wahrgenommenen Lärmpegels (EPNdB) beitragen können [1]. Der in Abbildung 1 links gezeigte homogene bzw. nathlos verbaute Liner im Einlauf des Triebwerks zeigt ein modernes und bereits fliegendes Einsatzbeispiel, das laut Herstellerangabe bei idealisierter, homogener Anströmung bis zu 40 dB des tonalen Kreissägenlärms des Rotors dämpfen kann.

Der prinzipielle Aufbau eines Liners wird in Abbildung 1 rechts gezeigt: In den meisten Fällen besteht die Auskleidung der Wand aus einer starren, mittels Öffnungen akustisch durchlässig gemachten Deckplatte, die in einigem Abstand vor einer schallharten Wand sitzt. Durch die Unterteilung des Zwischenraums in einzelne, gegenseitig isolierte Kammern (in diesem Beispiel mittels einer Wabenstruktur) kann z. B. das Helmholtz-Resonator-Prinzip ausgenutzt werden: Die einzelnen Kammern samt Öffnungen bilden viele kleine, parallel geschaltete Helmholtz-Resonatoren, deren Resonanzfrequenz und Güte

mittels Anpassung der Kammer- und Öffnungsabmessungen auf das zu dämpfende Lärmspektrum eingestellt werden können. Werden die Resonatoren bei ihrer Resonanzfrequenz angeregt, so wird die akustische Schnelle der Luftpfropfen in den Öffnungen maximal, sodass auch die akustischen Reibungsverluste an den Öffnungshälsen maximal zum Tragen kommen. Die akustische Dissipation (Umwandlung von Schallenergie in Wärme) des Schallabsorbers erreicht bei dieser Frequenz ihren Maximalwert.

Dieser Zusammenhang ist im Fall ruhender Luft gut bekannt und wird zur Auslegung von Linern seit über 100 Jahren extensiv ausgenutzt. In der Auslegung ist es üblich, von einzelnen, an den Öffnungen wirkenden Mechanismen zu abstrahieren und die ausgekleidete Wand durch eine homogene akustische Randbedingung zu beschreiben. Diese ist im einfachsten Fall die bekannte Wandimpedanz $Z = -\tilde{p}/\tilde{v}$, also die (komplexwertige) Übertragungsfunktion zwischen dem Schalldruck $\tilde{p}$ und der wandnormalen Schnellekomponente $\tilde{v}$, beide Größen "gemessen" an der Wand. Für ein Kanalstück, das mit einem beliebigen Liner ausgekleidet ist (siehe Abb. 3 unten), kann die Schalldämpfung dann leicht durch die reibungsfreien Schallfeldgleichungen im Kanal bei bekannter Wandimpedanz als Randbedingung vorhergesagt werden. Dies ist als Beispiel in Abbildung 2 demonstriert: Bei einem Liner mit zylindrischen Hohlräumen und runden Öffnungen wird zuerst aus den Geometrieparametern mittels eines Modells die Wandimpedanz berechnet. Diese gilt als Eingangsgröße für die Berechnung der Längs- und Querwellenzahlen k_x, k_y der Schallmoden in einem mit dem Liner ausgekleideten Kanalstück und der zugehörigen Reflexions- und Transmissionsfaktoren (alles als Funktion der Frequenz f). Eine einfache Leistungsbilanz ergibt schließlich das gesuchte Spektrum der Schalldämpfung für das ausgekleidete Kanalstück (siehe Abb. 2 ganz rechts).

Dieser Zusammenhang verkompliziert sich erheblich, wenn der Liner (nach o. g. Voraussetzung) in einem Strömungskanal installiert ist, die perforierte Wand also einer stationären Überströmung ausge-

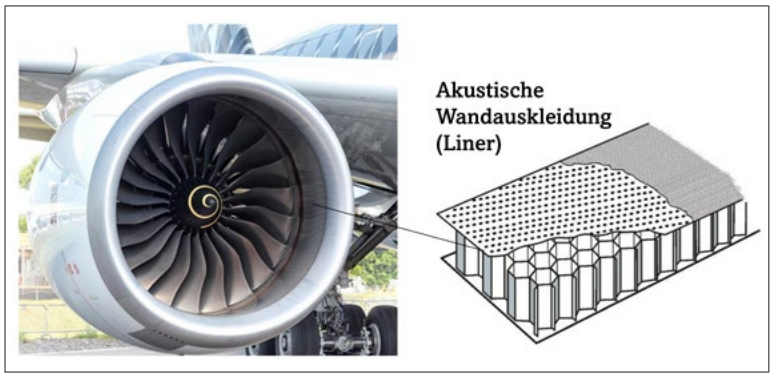
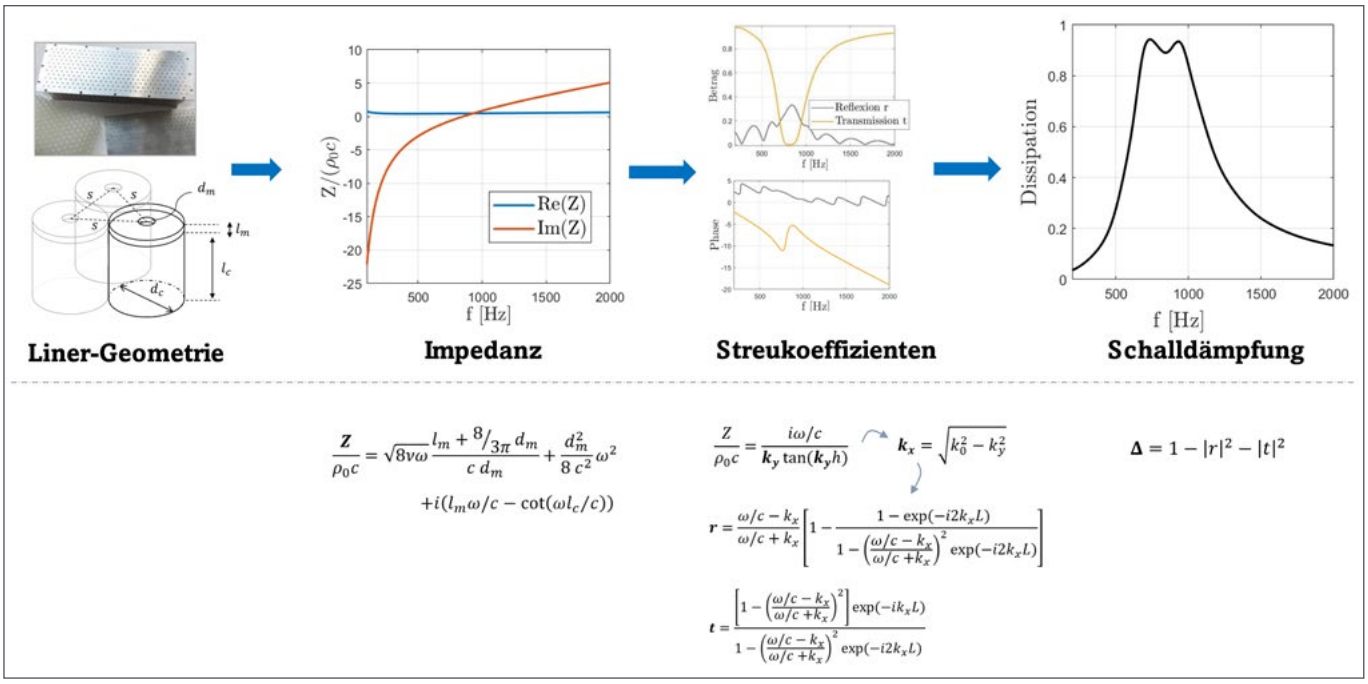


Abb. 1: Liner im Einlauf eines modernen Trent XWB-Triebwerks (an Airbus A350). Bild links: "Creative Commons" von Julian Herzog. Lizenz: CC BY 4.0 (2016).

Abb. 2: Beispiel für die Berechnungsschritte zur Auslegung eines Liners mit einheitlichen, zylindrischen Kavitäten und runden, äquidistant verteilten Öffnungen und ruhendem Medium (Kreisfrequenz ω, Schallgeschwindigkeit c, Ruhedichte ρ_0). Schritt 1: Berechnung der Impedanz Z des Liners durch ein Helmholtz-Resonator-Modell basierend auf den Geometrieparametern; Schritt 2: Berechnung der axialen Wellenzahl k_x und der Streukoeffizienten (Reflexion, Transmission) in einem, mit dem Liner der Länge L ausgekleideten, Rechteckkanal (wie in Abb. 3 unten); Schritt 3: Berechnung des Frequenzspektrums der Schalldämpfung aus der reflektierten und transmittierten Schallleistung.



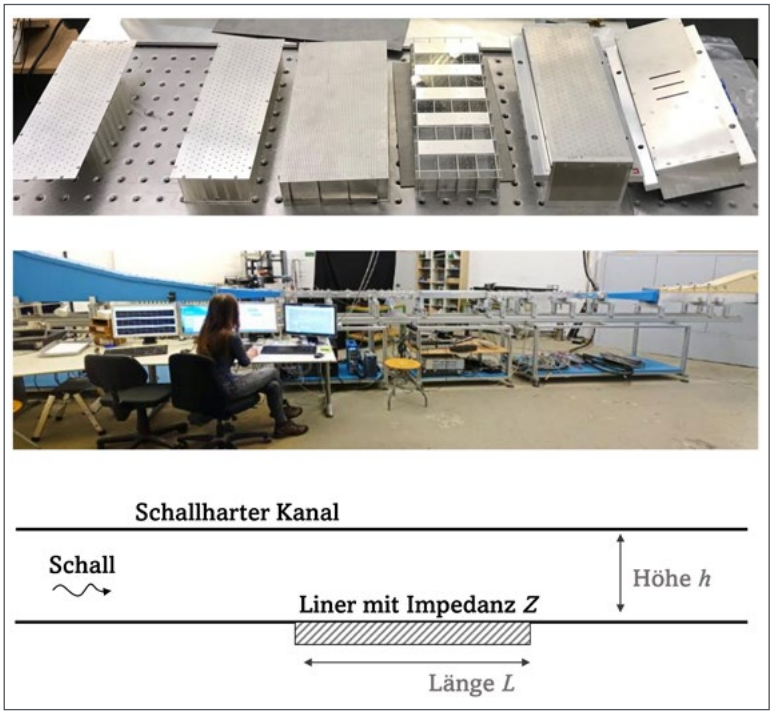


Abb. 3: Oben: Test-Liner unterschiedlicher Bauart und Wirkungsweise. Mitte: Liner-Testlabor der TU Berlin (FG Turbomaschinenakustik) und DLR Berlin (Abteilung Triebwerksakustik) mit Strömungskanal. Unten: Prinzip des Liner-Einbaus im Strömungskanal.

setzt ist. In einem Flugzeugtriebwerk können dies Machzahlen bis zu 0,7 sein. Dann verändert sich nicht nur die Wandimpedanz als Funktion der Geometrieparameter – die entsprechende Abhängigkeit ist bis heute nicht abschließend erforscht – sondern die Wandimpedanz reicht als alleiniger Parameter auch nicht mehr aus, um den Zusammenhang zwischen der Linerwand und dem "äußeren", reibungsfreien Schallfeld zu vermitteln. Die akustische Randbedingung muss ausgehend von der Wandimpedanz Z erweitert werden, um den Effekt der Strömung mit zu berücksichtigen. Die Frage, welche "effektive" akustische Randbedingung dann anzuwenden ist, d. h. welche Randbedingung die wesentlichen Effekte der wandnahen Strömung zusammen mit dem Effekt der akustischen Nachgiebigkeit der Wandauskleidung selber korrekt beschreibt und als Randbedingung für das äußere reibungsfreie Schallfeld anzuwenden ist, beschäftigt die Liner-Forschung seit den 1950er Jahren bis heute.

Die einfachste und erste Erweiterung der Randbedingung bestand in der Berücksichtigung der Dopplerverschiebung, die die bewegten Fluidelemente im äußeren Schallfeld erfahren, wobei die Zähigkeit und daher die Grenzschichten sowohl im akustischen Feld als auch im Strömungsfeld vernachlässigt wurden. Der historische Streit, ob in der (dann als unendlich dünn angenommenen) Grenzschicht die Kontinuität der wandnormalen Schnelle oder die der akustischen Auslenkung anzunehmen ist, wurde zurecht für letztere entschieden: Die Schnelle an der Wand $\tilde{v} = i\omega\tilde{\xi}$ muss aufgrund der Dopplerverschiebung am Rand des äußeren Schallfelds auf $\tilde{v}' = i\omega'\tilde{\xi} = i\omega(1 - k_x U)\tilde{\xi}$ springen (mit der Kreisfrequenz ω, der axialen Strömungsgeschwindigkeit U, der axialen Wellenzahl k_x und der wandnormalen akustischen Auslenkung $\tilde{\xi}$). Die sich daraus ergebende und nach zwei ihrer Begründer benannte "Ingard-Myers-Randbedingung" [2][3] ist besonders einfach und dient seit ihrer Einführung sowohl in der Ingenieursanwendung als auch bis in die aktuelle Forschung hinein als die am meisten benutzte Randbedingung für Liner. Dies ist bemerkenswert, da die meisten der damit beschriebenen, praktisch verwendeten Liner nicht wie gemäß der Voraussetzung von Ingard [2] undurchlässig und nachgiebig sind (wie eine federnde Membranwand), sondern gemäß dem Exemplar in Abbildung 1 eine starre, akustisch durchlässige Oberfläche aufweisen. Es lässt sich aber zeigen, dass die Zähigkeitseffekte nur in dem von Ingard vorausgesetzten Wandtyp klein sind und vernachlässigt werden können.

Die Anwendung der Ingard-Myers-Randbedingung hat in der Liner-Forschung zu vielfach dokumentierten Unstimmigkeiten zwischen theoretischen Erwartungen und experimentellen Ergebnissen geführt. Ein prominentes Beispiel stellt ein seit 20 Jahren intensiv diskutiertes Problem [4]–[10] im Bereich der indirekten Impedanzbestimmung von Linern dar. Dieses Verfahren ist in Abbildung 4 dargestellt. Es dient dazu, die Wandimpedanz von beliebigen Linern mit unbekannter oder komplizierter Geometrie oder auch unter den schwer verstandenen Strömungsbedingungen zu ermitteln. Der Liner wird hierfür in eine Wand eines Kanals eingebaut (siehe z. B. Abbildung 3). Der Kanal wird akustisch (z. B. mit Lautsprechern) angeregt, und das Schallfeld, welches sich im Zusammenspiel mit dem Liner einstellt, wird mittels wandbündiger Mikrofone abgetastet. Die daraus abgeleiteten Messgrößen (diese können unterschiedlicher Art sein) dienen als Vergleichsgröße für ein theoretisches Schallfeldmodell, welches die akustische Messgröße in Abhängigkeit einer vorgegebenen Schätz-Impedanz vorhersagt. Die Minimerung der Abweichung zwischen Messung und Vorhersage über ein iteratives Verfahren ergibt schließlich die gesuchte Wandimpedanz. Bei der Anwendung dieser Methode ist vielfach von widersprüchlichen Ergebnissen berichtet worden, wenn der Kanal durchströmt war. Der Fehler war dabei um so drastischer, je höher die Strömungsgeschwindigkeit war. Abbildung 5 zeigt hierfür ein Beispiel: Bei der Messung an einem Liner (wie in Abbildung 1 rechts gezeigt) mit Überströmungsgeschwindigkeit von Mach 0,2

werden Impedanzen ermittelt, die von der Richtung der einfallenden Schallwelle relativ zur Strömungsrichtung abhängen. Das bedeutet, dass die Wandimpedanz von der räumlichen Struktur des Schallfelds, also der Wellenzahl abzuhängen scheint. Dies steht jedoch im Widerspruch dazu, dass in diesem Experiment ein sogenannter "lokal reagierender" Liner untersucht wurde, d.h. die Wandimpedanz müsste aufgrund der Geometrie des Liners – die Abmessungen von Kammern und Öffnungen sind sehr klein gegenüber der Wellenlänge – unabhängig von der räumlichen Struktur des Schallfeldes sein.

Das Problem konnte nicht mit Messunsicherheiten erklärt werden [5][9]. Im Fokus stand daher bald die Unzulässigkeit der verwendeten Ingard-Myers-Randbedingung. Viele Anstrengungen wurden seither unternommen, um eine Verfeinerung der Theorie für die Randbedingung zu erreichen, welche das Schallfeld mit der Wandimpedanz verknüpft. Eine Verbesserung bestand darin, das reale Scherströmungsprofil der Kanalströmung (inkl. Haftung des Fluids an der Wand) mit in die Berechnung einzubeziehen [11]–[16]; [7]; [10]. Hierdurch konnte das Problem bei der Impedanzbestimmung jedoch nicht gelöst werden [9][10]. Davon ausgehend vermuteten verschiedene Autoren, dass unter Strömungsbedingung die Zähigkeitseffekte, die infolge der Reibung der Luftteilchen an der Liner-Oberfläche zur Ausbildung einer dünnen akustischen Grenzschicht führen, nicht vernachlässigt werden dürfen. Die wenigen in diese Richtung gehenden Näherungsmodelle [17]–[23] wurden jedoch aufgrund der zum Teil erheblichen Verkomplizierung der Theorie kaum in der Impedanzbestimmung eingesetzt. Eine Arbeit von Weng et al. [24] ist noch einen Schritt weitergegangen: Unter Verzicht auf Näherungslösungen wurden alle physikalisch denkbaren Effekte im Schallfeldmodell – Strömungsprofil, akustische Wärmleitungs- und Zähigkeitsgrenzschicht und ein akustisches Turbulenzmodell – mittels numerischer Lösung der linearisierten Navier-Stokes-Gleichungen in der Routine der Impedanzbestimmung mit berücksichtigt. Interessanterweise konnte dies die Abhängigkeit der ermittelten Impedanz von der Schalleinfallsrichtung zwar reduzieren, aber auch nicht beheben.

Dies legt den Schluss nahe, dass man mit der Berücksichtigung der akustischen Grenzschicht in der Randbedingung überströmter Liner zwar auf der richtigen Spur liegt, dass bei der Untersuchung der maßgebenden physikalischen Mechanismen und der entsprechenden Modellierung jedoch noch fundamentale Schwachstellen bestehen. Diese betreffen hauptsächlich die akustisch modulierte Reibungskraft, die bei Strömungsüberlagerung auf die Wand ausgeübt wird, also die akustische Wandschubspannung und andere mögliche Mechanismen, die den Impuls der an der Wand abgebremsten Gleichströmung auf die perforierte Wand übertragen. Bei der Suche nach Antworten auf die Frage, welche physikalische Größe diesen Impulstransfer entscheidend beschreibt, sind wir der Wahrheit stets in Stücken näher gekommen, zugleich ist diese immer wieder ein wenig komplexer geworden, weil sich der Gegenstand der Erkenntnis aufgefächert und verkompliziert hat. Wir wollen im Folgenden eine Übersicht über die Tritt- und Stolpersteine (und offenen Enden) dieses Weges geben.

Den Anfang macht dabei Lothar Cremer.

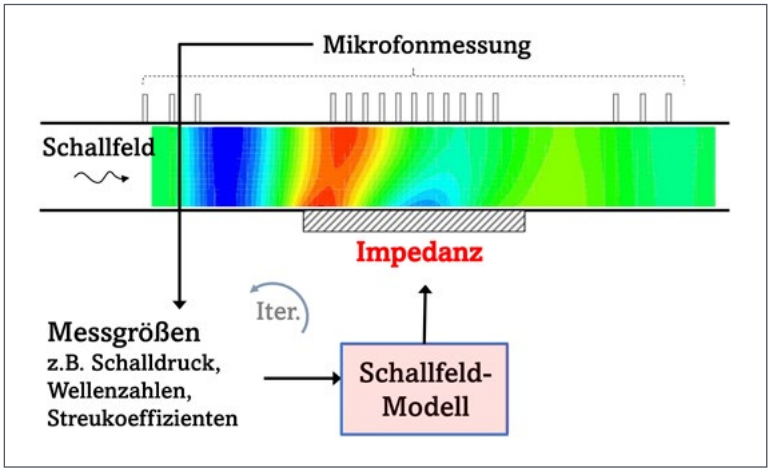
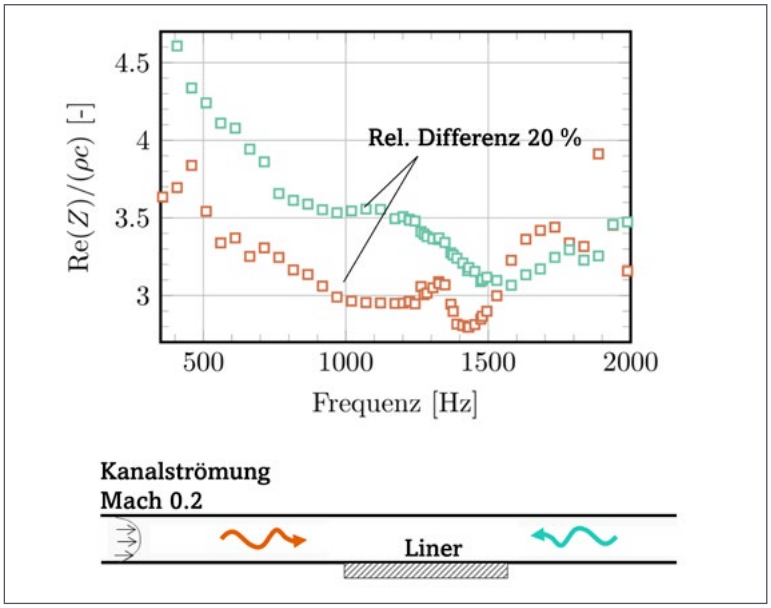


Abb. 4: Prinzip der Methode der indirekten Impedanzbestimmung (engl. impedance eduction) für einen in einem schallharten Testkanal verbauten Liner.

Abb. 5: Beispiel für das Problem bei der experimentellen Impedanzbestimmung von überströmten Linern: Mit den "klassischen" Randbedingungen im Schallfeldmodell werden verschiedene Impedanzen (hier nur der Realteil) gemessen, je nachdem ob die Schallwelle in oder entgegen Strömungsrichtung läuft. Dies ist für den hier untersuchten lokal reagierenden Liner nicht zu erklären. Messergebnisse bei Machzahl $M = U/c = 0{,}2$.



Über die akustische Grenzschicht vor starren Wänden

Von LOTHAR CREMER, München.

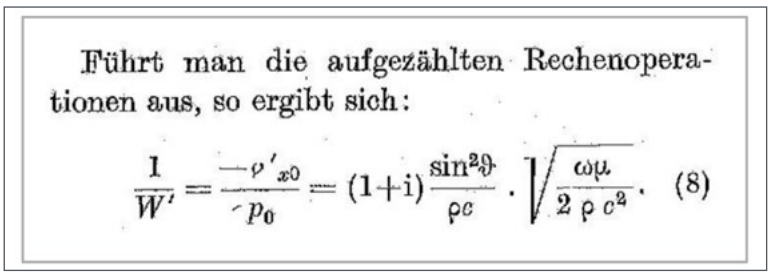
(A. E. Ü. 2 [1948], 136—139; eingegangen am 16. Januar 1948)

Abb. 6: Auszug aus dem Titelblatt des Artikels von L. Cremer "Über die akustische Grenzschicht vor starren Wänden" (Archiv der elektrischen Übertragung, 1948, 2) [25].

Cremers Admittanz der Zähigkeitsgrenzschicht

Cremer war der erste, der die Zähigkeitseffekte eines wandgebundenen Schallfeldes in ihrer einfachsten Fassung – dem Fall ruhenden Mediums an einer harten, undurchlässigen Wand – als Zusatz zur akustischen Randbedingung beschrieben hat. In seinem Artikel von 1948 „Über die akustische Grenzschicht vor starren Wänden" (siehe Abbildung 6) [25] knüpft er an Untersuchungen von Kirchhoff [26] an. Aufgrund der Haftbedingung muss die wandparallele Schnellekomponente an einer harten Wand zu Null gehen. Der dadurch bedingte Gradient der wandparallelen Schnelle bildet eine sogenannte akustische Grenzschicht, die im Vergleich zu den meisten praktischen Wellenlängen sehr dünn ist (z. B. 70 µm bei 1.000 Hz). Diese viskose akustische Grenzschicht führt zu einer effektiven Nachgiebigkeit der Wand und damit z. B. in einem Kanal mit harten undurchlässigen Wänden zu einer endlichen Schalldämpfung. Gemäß Cremer *„[...] kann man heute den Kirchhoffschen Weg vielfach abkürzen und ihn durch eine Darstellung ersetzen, die sich der Sprache unserer modernen Raumakustik anpaßt, worin die Randbedingungen gerne durch einen Wandwiderstand [...] ausgedrückt werden."* [25]. Die Cremer'sche Herleitung dieses "Wandwiderstands" W' der Zähigkeitsgrenzschicht ist in Abbildung 7 (Gl. 8) angegeben. Tauschen wir nun die harte Kanalwand von Cremer gegen einen Liner, also eine schallabsorbierende Impedanzwand aus, so kann die Cremer'sche Grenzschichtadmittanz $1/W'$ praktischerweise einfach zur Admittanz des Liners $1/Z$ hinzuaddiert werden: $1/Z_{\text{eff}} = 1/Z + 1/W'$. Die Impedanz Z_{eff} drückt dann die zusammengefasste "effektive Impedanz" der Wand aus, die sowohl den Effekt der akustischen Nachgiebigkeit des Liners als auch die der Zähigkeitsgrenzschicht berücksichtigt. Sie ist – wenn man zusätzlich den etwas kleineren Effekt der thermischen Grenzschicht berücksichtigt – als korrekte Randbedingung für die Gleichungen des äußeren, reibungsfreien Schallfeldes anzuwenden.

Abb. 7: Effektive akustische Admittanz $1/W'$ einer harten undurchlässigen Wand unter schrägem Schalleinfall bei ruhendem Medium nach L. Cremer (Ausschnitt aus [25]). ϑ ist der Einfallswinkel der Schallwelle, μ ist die dynamische Viskosität, ρ ist die Ruhedichte und c ist die Schallgeschwindigkeit.


Führt man die aufgezählten Rechenoperationen aus, so ergibt sich:

$$\frac{1}{W'} = \frac{-p'_{x0}}{p_0} = (1+i)\frac{\sin^2\vartheta}{\rho c} \cdot \sqrt{\frac{\omega\mu}{2\rho c^2}}. \quad (8)$$

Ohne Strömung und in fast allen praktischen Fällen ist die Grenzschichtadmittanz $1/W'$ sehr klein gegenüber technisch interessanten Wandadmittanzen $1/Z$ und kann vernachlässigt werden. Allerdings zeigt Abbildung 7 (Gl. 8) bereits zwei wichtige Eigenschaften der Zähigkeitsgrenzschicht:

- Der Term $\sin^2(\vartheta)$ mit dem Einfallswinkel ϑ der Schallwelle drückt nichts anderes als eine Abhängigkeit der Zähigkeitsgrenzschicht von der wandparallelen Komponente $k_x = \omega/c \sin(\vartheta)$ der Schallwellenzahl aus. Es wird damit plausibel, dass diese Abhängigkeit bei der Impedanzbestimmung (Abb. 4) fälschlicherweise der Wandimpedanz zugeschrieben wird, wenn die Zähigkeitseffekte im Schallfeldmodell vernachlässigt werden. Dies könnte das widersprüchliche Ergebnis von Abbildung 4 zumindest qualitativ erklären.
- Cremers Admittanz Gl. 8 lässt sich leicht umschreiben in
$$\frac{1}{W'} = -\frac{k_x \tilde{\tau}_w}{\omega \rho_0 \tilde{p}}$$
wobei neben den bekannten Größen (Kreisfrequenz ω, Ruhedichte ρ_0, Wellenzahl k_x und Schalldruck $\tilde{p}$) die akustische Wandschubspannung $\tilde{\tau}_w$ als maßgeblicher Parameter auftaucht. Diese wird wegen der bereits erwähnten Haftbedingung an der harten Wand "erzeugt" und geht im einfachen Fall der vernachlässigten Strömung direkt in die Grenzschichtadmittanz ein. Der dazwischen liegende Mechanismus ist in Abbildung 8 b) skizziert: Die an der Wand erzeugte akustische Schubspannung breitet sich als Verteilung $\tilde{\tau}(y)$ von der Wand weg in das Strömungsfeld aus. Die akustische Kontinuitätsgleichung (hier nicht gezeigt) "erzeugt" aus der Schubspannung dann eine wandnormale Auslenkung $\tilde{\xi}_{add}$. Ist die Wand nicht hart, sondern ein Liner, addiert sich die grenzschichtbedingte Auslenkung $\tilde{\xi}_{add}$ zur Auslenkung der Wand $\tilde{\xi}_w$; beides zusammen geht ein in die effektive Wandimpedanz.

Cremer hat damit, ohne es zu beabsichtigen, einen wichtigen Baustein geliefert für die Erklärung des Mechanismus zwischen der akustischen Schubspannung und der effektiven Zähigkeits-Randbedingung.

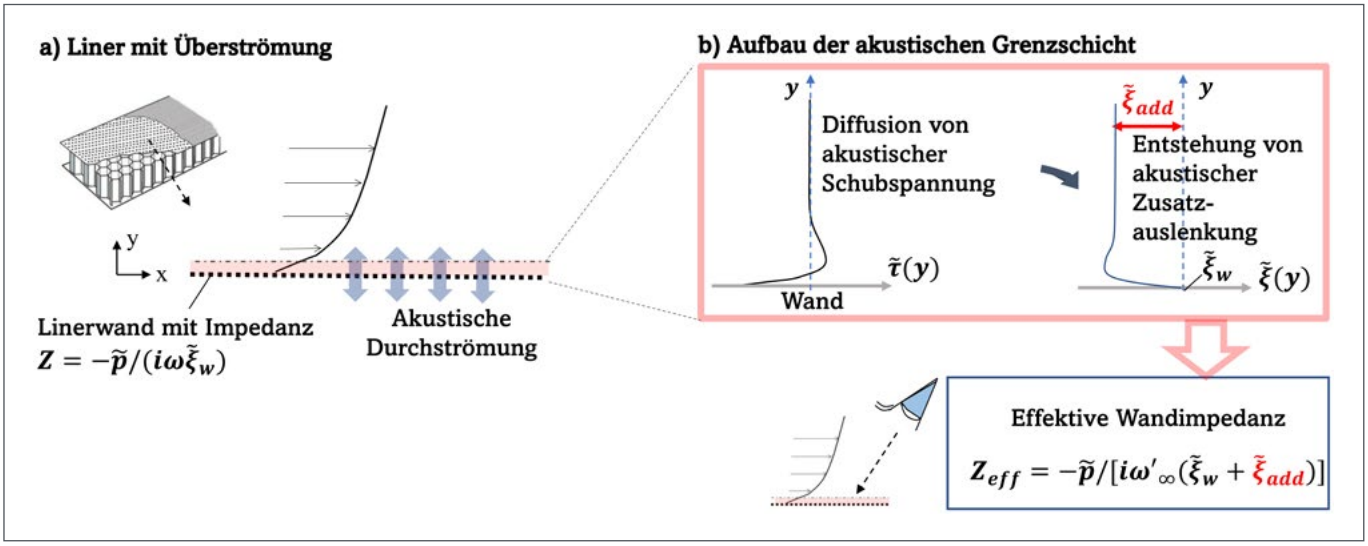


Abb. 8: a) Überströmte Linerwand mit Impedanz Z und akustischer Durchströmung durch die Schnelle in den Öffnungen. b) Aufbau der akustischen Zähigkeitsgrenzschicht: An der Wand wird akustische Schubspannung $\tilde{\tau}_w$ angeregt, die von der Wand als Verteilung $\tilde{\tau}(y)$ in das Strömungsfeld hinein diffundiert. Dies führt (wegen der Kontinuitätsgleichung) zu einer zusätzlichen wandnormalen akustischen Auslenkung $\tilde{\xi}_{add}$, die sich zur Wandauslenkung $\tilde{\xi}_w$ hinzuaddiert. Beides zusammen bildet die effektive Wandimpedanz, die ein Betrachter aus dem äußeren reibungsfreien Schallfeld "sehen" würde.

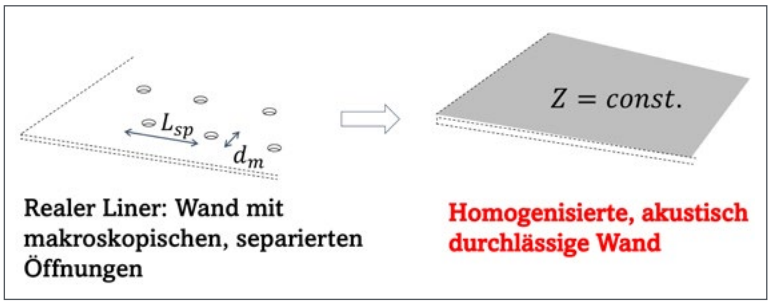
Überströmte Liner: Differenzierung der Wandtypen

Abbildung 8a zeigt einen überströmten Liner im Querschnitt, wobei die Strömung durch das Gleichströmungsprofil angedeutet ist. Gegenüber dem von Cremer betrachteten Fall wächst die akustische Wandschubspannung und die damit verknüpfte Grenzschichtadmittanz im Strömungsfall drastisch, d. h. um mehrere Größenordnungen, an. Dieser Anstieg ist auf eine qualitative Änderung der beteiligten physikalischen Mechanismen zurückzuführen. Der allgemeine Grund besteht darin, dass wie in jeder wandgebundenen Strömungsgrenzschicht die strömende Luft nahe der Wand abgebremst werden muss, da sie an oder beim Liner, teilweise auch erst in der Wand zur Ruhe kommen muss. Aufgrund der schallsynchronen Durchströmung der Öffnungen wird die für das Abbremsen verantwortliche Reibungskraft zwischen Wand und Strömung akustisch moduliert. Für die Erklärung der spezielleren beteiligten physikalischen Mechanismen, vor allem der Entstehung und der Modellierung der akustischen Wandschubspannung, muss jedoch zwischen den homogenen und inhomogenen Wandoberflächen idealisierter und realer Liner unterschieden werden.

Die Deckplatte eines realen Liners (vgl. Abb. 9 links) hat makroskopische Öffnungen mit Durchmessern im Bereich von 0,1 mm bis zu mehreren mm. Die Öffnungen sind klar voneinander separiert, sodass bei der Modellierung z. B. der Wandschubspannung zwischen den Effekten an den harten, undurchlässigen Wandflächen und denen im Bereich der Öffnungen lokal unterschieden werden muss, um darauf aufbauend den Gesamteffekt an der Wand zu ermitteln. Eine nützliche Vereinfachung bietet demgegenüber die Annahme einer homogenisierten, zugleich akustisch durchlässigen Linerwand (vgl. Abb. 9 rechts), bei der die akustischen Wandparameter wie Impedanz, Schnelle und Wandschubspannung als gleichartig an jedem Ort auf der Wand angesehen werden können. Die wichtigste Eigenschaft, die dann zur Vereinfachung genutzt werden kann, ist die Annahme der Haftbedingung, also der verschwindenden wandparallelen Schnelle an der Wand. Dadurch wird die an der Wand erzeugte akustische Wandschubspannung genau definiert.

Der homogenisiert-durchlässige Liner stellt eine Idealisierung dar, der in der Praxis kaum realisiert werden kann: Die Öffnungsdurchmesser und -abstände müssten dafür kleiner sein als die typischen viskosen Längenskalen, also im Bereich von einigen µm liegen. Trotzdem wurde dieser Wandtyp aus den o. g. Gründen bisher fast ausschließlich bei der Modellierung der Zähigkeitseffekte am Liner zugrunde

Abb. 9: Links: Perforierte Deckschicht eines realen Liners (Öffnungsdurchmesser d_m und -abstand L_{sp}). Rechts: idealisierte, homogene Impedanzwand mit konstanter Impedanz, Schnelle und Wandschubspannung.



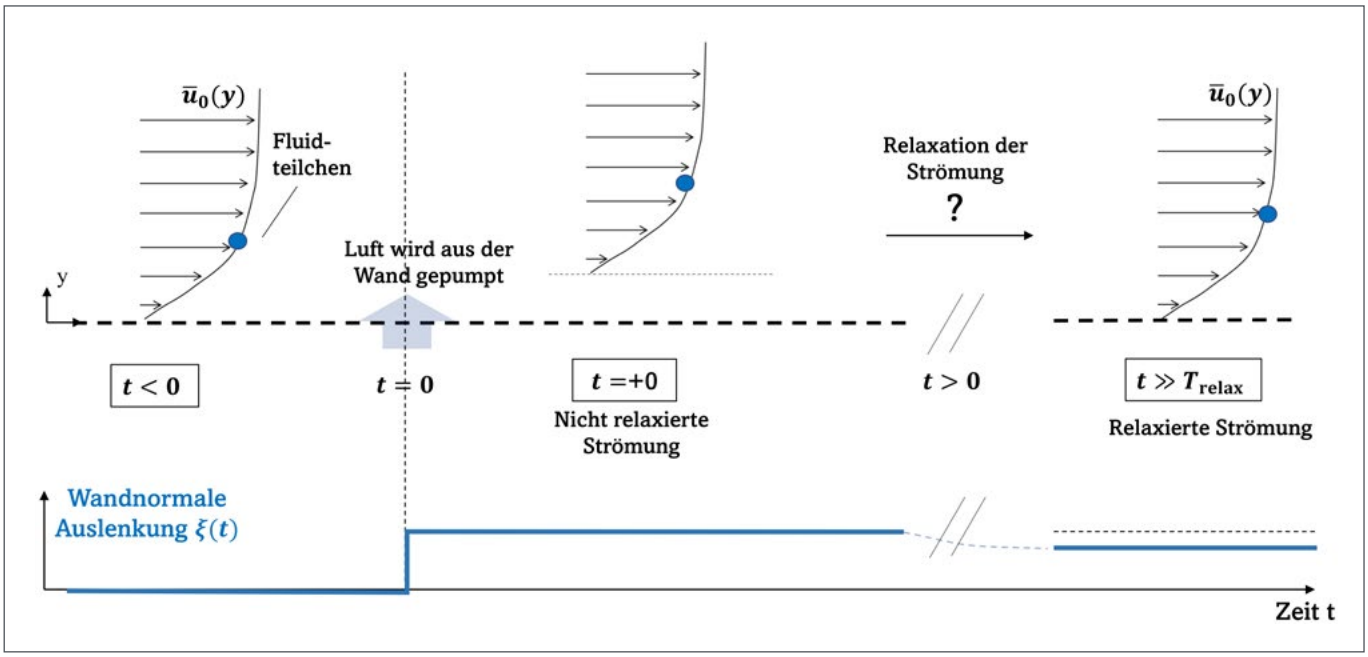


Abb. 10: Reaktion der turbulenten Strömungsgrenzschicht auf eine sprunghafte wandnormale Auslenkung $\tilde{\xi}$ der Teilchen an der Wand zum Zeitpunkt t = 0. Unmittelbar nach dem Sprung (t = +0) ist das gesamte Strömungsfeld einschließlich aller turbulenten Wirbel von der Wand weg verschoben. Nach Abschluss der Relaxationsprozesse hat sich das Strömungsprofil einschließlich aller Korrelationen zwischen den turbulenten Schwankungen wieder (wie zu t < 0) hergestellt. Das verfolgte Fluidteilchen (blauer Kreis) kehrt nicht wieder zurück, sondern ist weiter von der Wand entfernt als vorher.

gelegt [17]–[23].

Obwohl wir inzwischen starke Hinweise darauf haben, dass die homogene Wand nur ein schwaches Abbild realer Liner ist, haben auch wir diesen Wandtyp zunächst eingehend untersucht, in der Hoffnung, hieraus theoretische Erkenntnis-Bausteine für das Verständnis der Prozesse an realen, inhomogenen Linerwänden zu gewinnen. Im folgenden Kapitel wird der in letzter Zeit gewonnene Stand der Modellierung der Zähigkeitsgrenzschicht am homogenen Liner zusammengefasst. Demgegenüber können wir die Prozesse am realen Liner mit makroskopischen Öffnungen bisher nur qualitativ skizzieren. Einen entsprechenden Ausblick geben wir im letzten Kapitel.

Effektive Grenzschichtimpedanz beim homogenen Liner

Ergebnisse und Erkenntnisse ...

Die Hauptursache des Impulstransfers bei der homogenen Wand ist wie schon zuvor bemerkt die Erzeugung von akustischer Schubspannung durch die Haftbedingung. Letztere erzwingt einen wandnormalen Schubspannungsgradienten an der Wand. Gegenüber dem strömungslosen Fall (s. Cremer) ist die erzeugte akustische Wandschubspannung nun aber viel größer, da im Strömungsfall die erheblich größere „konvektive Schnelle", die sich aus dem Produkt der zeitgemittelten Scherrate dU/dy und der wandnormalen Auslenkung der Fluidelemente $\tilde{\xi}$ ergibt, an der Wand abgebremst werden muss. Die Schubspannung diffundiert von der Wand weg in das strömende Medium und klingt dabei ab (siehe Abb. 8 rechts). Die wandnahe Schicht, in der dies passiert, nennen wir akustische Grenzschicht und erweitern damit den ursprünglich für ruhendes Medium geprägten Begriff. Die insgesamt in dieser Schicht erzeugte akustische Schubspannung führt (wie auch im strömungslosen Fall) über die Kontinuitätsgleichung zu einer zusätzlichen wandnormalen Auslenkung $\tilde{\xi}_{add}$, die direkt in die effektive Randbedingung des Liners eingeht (siehe Abb. 8 rechts unten).

Die Berechnung der akustischen Schubspannung und der Zusatzauslenkung in der akustischen Grenzschicht ist im Strömungsfall leider deutlich komplizierter als im ruhenden Fall. Wir haben hierfür ein mathematisches Modell hergeleitet, das wir sowohl numerisch als auch mittels Näherungen gelöst haben, siehe auch [27][28]. Damit waren Tests und Parameterstudien möglich, die zu den folgenden Ergebnissen geführt bzw. frühere Theorien bestätigt haben:

- Die maßgeblichen Parameter des Grenzschichteffekts sind die Geschwindigkeit U und das Profil $U(y)$ der Gleichströmung, die Frequenz ω und die Längswellenzahl k_x der Schallwelle. Hohe Strömungsgeschwindigkeiten und Wellenzahlen sowie kleine Frequenzen führen zu großen Effekten. Z. B. halbiert sich bei 100 Hz, Mach 0,4 und $k_x = \omega/c$ die effektive Impedanz bereits gegenüber der tatsächlichen Impedanz des Liners.
- In der Praxis sind die Liner meist turbulent überströmt. Das wandnahe, mit kinematischer Visko-

sität ν und Schubspannungsgeschwindigkeit u_τ dimensionslos gemachte turbulente Strömungsprofil gilt als universell. Daher ist der akustische Grenzschichteffekt in der turbulenten Strömung vollständig beschrieben, wenn er in Abhängigkeit von den mit ν, u_τ dimensionslos gemachten Größen ω^+ und k_x^+ dargestellt wird.

- Die Dicke der akustischen Grenzschicht liegt bei Strömungsüberlagerung in derselben Größenordnung wie im Fall ohne Strömung (also bei ca. $\sqrt{2\,\nu/\omega}$), sofern man turbulente Schubspannungen vernachlässigen kann.

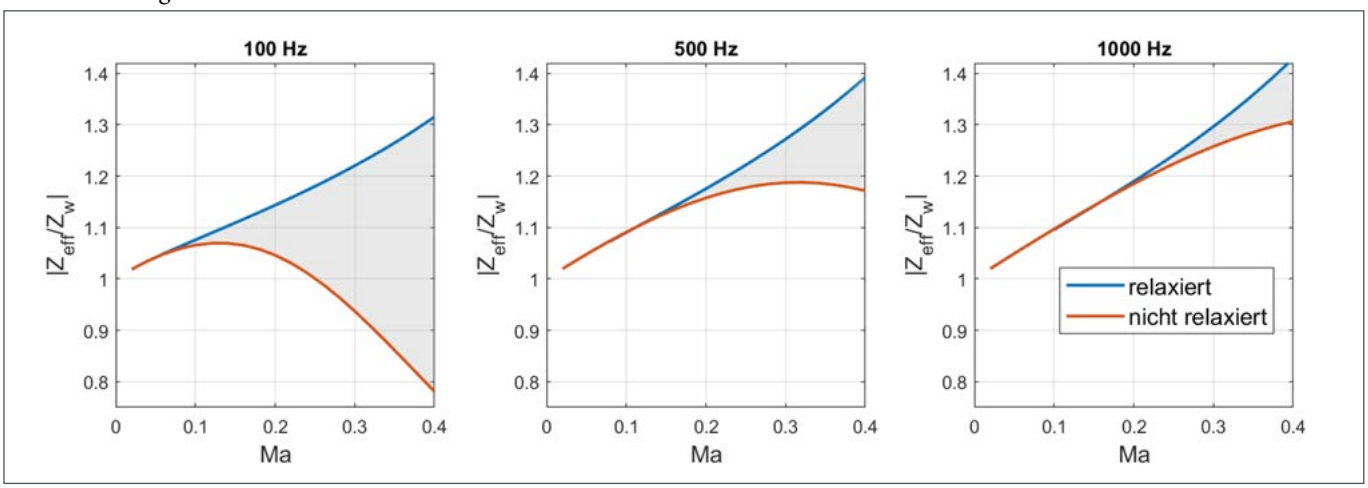
.... und ein neues Forschungsfeld: Die Relaxation der turbulenten Strömung

In den meisten bisherigen theoretischen Untersuchungen wurde der Einfluss der Turbulenz auf die Diffusion der akustischen Schubspannung völlig vernachlässigt; in [24] wurde lediglich ein stark vereinfachtes Turbulenzmodell verwendet. Außerdem wurde in allen Modellen der Schubspannungsdiffusion angenommen, dass die Eigenschaften der Turblenz an den Wandabstand gebunden sind. Durch die quasi-homogene akustische Durchströmung der Wand wird aber das gesamte Strömungsfeld einschließlich aller turbulenten Wirbel, d. h. einschließlich aller Korrelationen zwischen den turbulenten Schwankungen, zunächst in wandnormaler Richtung verschoben. Damit ergibt sich die Frage, ob man den Einfluss der Turbulenz auf die Schubspannungsdiffusion nicht besser im fluidfesten Bezugssystem beschreiben sollte, das gegenüber dem ortsfesten Bezugssystem um die akustische Auslenkung $\tilde{\xi}(y,t)$ verschoben ist. Abbildung 10 verdeutlicht qualitativ, wie die Strömungsgrenzschicht auf einen nach außen gerichteten Impuls der wandnormalen Schnelle reagieren würde: Das gesamte Strömungsfeld (hier nur durch das zeitlich gemittelte Strömungsprofil angedeutet) wird zunächst von der Wand weg verschoben und kehrt erst nach einer gewissen Relaxationszeit T_{relax} in den ursprünglichen Gleichgewichtszustand zurück. Da die akustische Auslenkung sehr klein ist, erscheint die Unterscheidung zwischen dem nicht relaxierten und dem relaxierten Zustand zunächst nur von akademischem Interesse zu sein. Allerdings hat sich nun heraus gestellt, dass erhebliche Unterschiede für die Zusatzauslenkung $\tilde{\xi}_{add}$ entstehen, wenn die Relaxationszeit klein bzw. groß im Vergleich zur Schallperiode ist. Leider ist über die Reaktion turbulenter Grenzschichten auf zeitliche Änderungen der Randbedingungen so wenig bekannt, dass sich die Frage nach der Relaxationszeit, die sicherlich noch vom Wandabstand abhängt, nicht beantworten lässt. Wir müssen also zunächst davon ausgehen, dass die tatsächliche Zusatzauslenkung irgendwo zwischen den beiden in Abbildung 10 gezeigten Grenzfällen – nicht relaxierter $(t=+0)$ bzw. vollständig relaxierter $(t \gg T_{relax})$ Strömung – liegt. Dies wirft ein völlig neues Licht auf die bisherigen Ergebnisse, bei denen implizit immer vom Grenzfall der vollständig relaxierten Strömung ausgegangen worden ist [19]–[24];[27];[28]. Der Unterschied der beiden Grenzfälle ist für den Betrag der effektiven Wandimpedanz in Abbildung 11 beispielhaft dargestellt. Die Lösungen weichen um so mehr voneinander ab, je kleiner die Frequenz und je größer die Strömungsgeschwindigkeit ist; entsprechend wächst der Bereich, für den die Lösungen unbekannt sind (graue Fläche).

Ausblick: Grenzschichteffekte beim realen Liner

Ein praktischer Liner weist im Unterschied zu dem bisher betrachteten Wandtyp eine inhomogene Wandstruktur auf, die sich aus harten, undurchlässi-

Abb. 11: Betrag der effektiven Wandimpedanz bezogen auf die Wandimpedanz als Funktion der Strömungs-Machzahl Ma = U/c für drei verschiedene Frequenzen. Rote Kurve: Ergebnis für die nicht relaxierte Turbulenz; blaue Kurve: vollständige Relaxation; Zwischenbereich in grau.



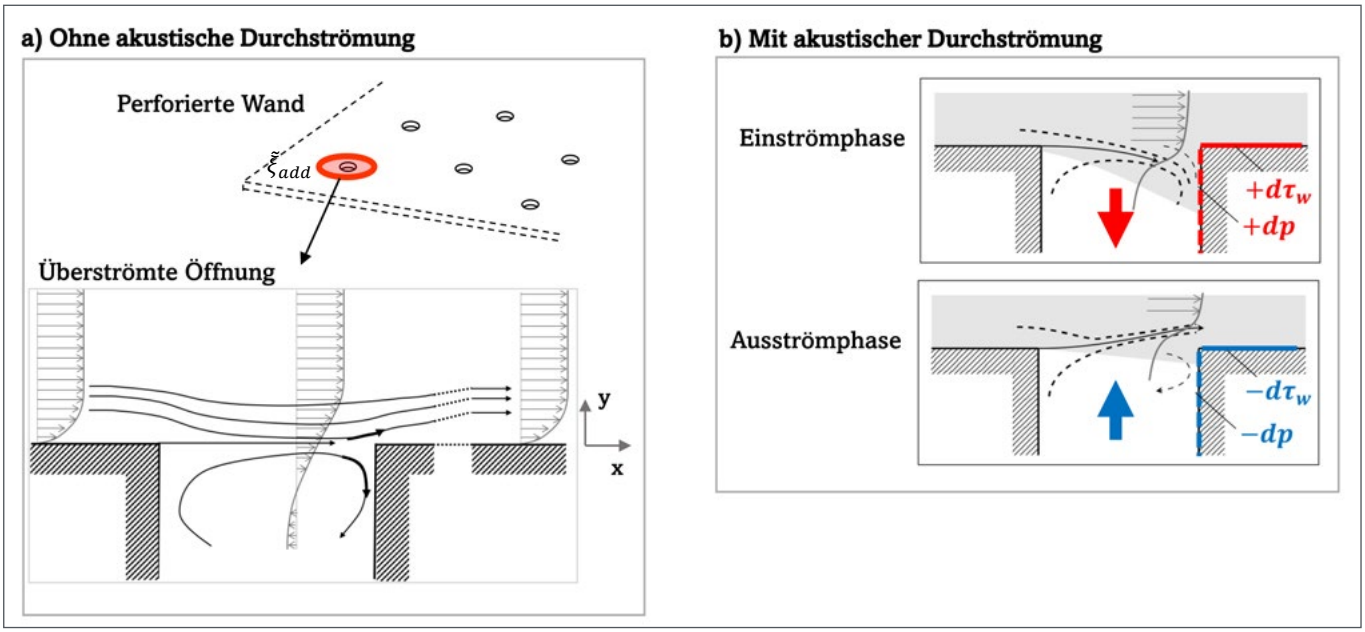


Abb. 12: a) Strömungsbild einer überströmten Öffnung ohne Schnelle in der Öffnung. b) Mit Schnelle: Es entstehen je nach Phasenlage positive und negative Anteile von Wandschubspannung und Staudruck an der Hinterkante.

gen Wandflächen und aus makroskopischen Öffnungen zusammensetzt (siehe Abb. 9 links). Die einzelnen lokalen Mechanismen, die den Aufbau der akustischen Grenzschicht und letztlich die Zusatzauslenkung $\tilde{\xi}_{add}$ bestimmen, sind bisher kaum untersucht worden. Hier wollen wir einen kurzen Überblick über die qualitativ erwartbaren und in einer Modellierung einzubeziehenden Mechanismen geben.

Einzelne makroskopische Öffnung

Die wesentliche Wechselwirkung zwischen Schall und Strömung findet in der Umgebung der Öffnungen statt. Wir beginnen daher mit einer Beschreibung der Strömung über einer einzelnen Öffnung und der damit verbundenen instationären lokalen Kräfte. In Abbildung 12 a ist die Gleichströmung über einer Öffnung im zweidimensionalen Fall skizziert. Die wandnormale Schnelle durch die Öffnung sei dabei vorerst Null. Das Stromlinienbild zeigt, dass die Gleichströmung an der Vorderkante ablöst und (infolge der verschwindenden Wandschubspannung) stromab der Vorderkante stark beschleunigt wird. In der Öffnungsebene ($y=0$) bildet sich eine Scherschicht, deren Stromlinie genau waagerecht auf die Hinterkante des Schlitzes trifft, da nach Voraussetzung die Schnelle durch die Öffnung Null ist. An der Hinterkante der Öffnung sind dann zwei Effekte zu erwarten:

1. Die beschleunigten Fluidelemente innerhalb der Öffnung ($y<0$) werden durch die senkrechte Wand der Hinterkante gestoppt; vor dieser Wand bildet sich ein Staudruck.
2. Die beschleunigten Fluidelemente außerhalb der Öffnung ($y>0$) werden wegen der Haftbedingung auf der Wand stromab der Hinterkante abgebremst. Dabei entsteht eine zunächst sehr hohe und mit dem weiteren Laufweg x abklingende Wandschubspannung.

Wird nun eine Schnelle durch die Öffnung angenommen (verursacht z. B. durch den Schalldruck und die Wandimpedanz des Liners), so wird die Scherschicht über der Öffnung schallperiodisch wechselnd in die Öffnung hinein bzw. aus der Öffnung heraus gelenkt, siehe Abbildung 12 b. An der Hinterkante werden daher der lokale Staudruck und die Wandschubspannung akustisch moduliert. Beide Anteile, akustischer Staudruck und Wandschubspannung, tragen zur tangentialen akustischen Kraft bei, die die Strömung auf die Wand (und vice versa die Wand auf die Strömung) ausübt. Bei der Frage, ob und wie beide Komponenten zur effektiven Randbedingung beitragen, sind wir bisher zu den folgenden groben Abschätzungen gekommen:

Periodische Folge von Öffnungen

Dazu wurde das Einzelloch (wie beim Liner) durch eine periodische Reihe von Öffnungen ersetzt. Eine vorläufige grobe Abschätzung [27] hat erstens ergeben, dass die lokal an der Hinterkante der Öffnung wirkenden akustischen Schubspannungs- und Staudruckkräfte nur einen kleinen Beitrag zur gesamten akustischen Wandschubspannung der Wand liefern, und dass insbesondere der Beitrag des Staudrucks zur akustischen Randbedingung vernachlässigbar ist. Zweitens hat die Abschätzung überraschenderweise dieselben Schallfeldlösungen geliefert wie das Modell der homogenen Wand. Die Ergebnisse waren zudem unabhängig vom Abstand der Öffnungen.

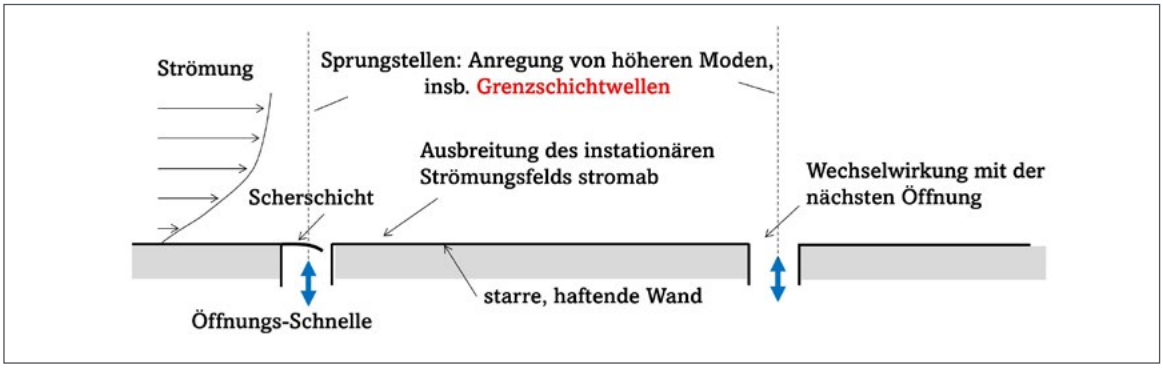


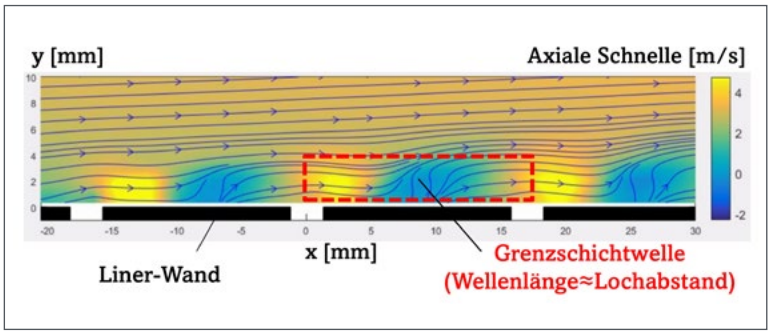
Abb. 13: Skizze der zu erwartenden lokalen Effekte an der realen Liner-Wand mit makroskopischen und voneinander separierten Öffnungen.

Beides steht im klaren Widerspruch zu unseren experimentellen Beobachtungen [27][28].
Eine Erklärung könnte dadurch gegeben werden, dass die theoretische Abschätzung nur die Ausbreitung der beiden (vor- und zurücklaufenden) Grundmoden im Kanal einbezogen hatte. In der Realität sind dagegen die in Abbildung 13 skizzierten Vorgänge zu erwarten: Das durch die vorderste Öffnung gestörte instationäre Strömungsfeld breitet sich stromab aus und interagiert mit der nächsten stromab liegenden Öffnung. An jeder Öffnung werden alle möglichen höheren Moden, insbesondere auch Grenzschichtwellen, angeregt, die an den anderen Öffnungen gestreut werden. Die Ausbreitung dieser Grenzschichtwellen (auch "Strömungsmoden" oder "hydrodynamische Moden" genannt) führt wegen ihrer, verglichen mit Schallwellen deutlich kleineren Wellenlänge zu einer merklichen Phasenverschiebung zwischen den akustischen und den hydrodynamischen Moden, die auf dem Weg zwischen zwei hintereinander liegenden Öffnungen sogar die Größenordnung von 2π erreichen kann. Dies passt auch zu experimentellen Beobachtungen, wie z. B. in Abbildung 14 gezeigt: Hier ist eine deutlich angeregte Grenzschichtwelle zu erkennen, deren Wellenlänge mit dem Abstand der Liner-Öffnungen übereinstimmt.
Die Wechselwirkung zwischen hydrodynamischen und akustischen Moden kann sogar zu einer gegenseitigen Verstärkung der betroffenen Moden führen. So haben z. B. Meyer, Kurtze und Mechel [29][30] bei Messungen in einem Strömungskanal, der mit einer periodischen Folge von Helmholtz-Resonatoren ausgekleidet war, statt einer Schalldämpfung eine starke Schallverstärkung beobachtet. Dies konnte in der Tat durch die Modenkonversion an den Öffnungen der Helmholtz-Resonatoren erklärt werden. Schallverstärkung tritt dann auf, wenn die Phasendifferenz zwischen Schallmode und hydrodynamischer Mode an den hintereinander liegenden Öffnungen konstant bleibt. In extremen Fällen kann sich die konvektive Instabilität sogar "aufschaukeln" und zu einer absoluten Instabilität der gesamten Strömung führen. Der akustisch ausgekleidete Kanal wird dann zum Schallgenerator. Die Modellierung der strömungsbeeinflussten Modenerzeugung und -streuung ist schwierig und muss voraussichtlich unter Einbeziehung numerischer Experimente erfolgen.
Eine weitere Verkomplizierung bei der Modellbildung kommt hinzu, wenn die Strömung über den Öffnungen nicht mehr (wie bisher vorausgesetzt) quasistationär, also praktisch ohne Phasenverzögerung auf die schallinduzierten Störungen reagiert. Bei höheren Strouhalzahlen (gebildet mit dem Durchmesser der Öffnungen) müssen die Anregung der Kelvin-Helmholtz-Instabilität in der Scherschicht über der Öffnung und möglicherweise die Dynamik der Strömungsablösung an der Vorderkante berücksichtigt werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Nachdem Cremer den Weg gewiesen hat, wie man den Einfluss der viskositätsbedingten akustischen Grenzschicht im Fall ruhenden Mediums als Zusatz zur Wandadmittanz berücksichtigen kann, versucht man seit fast 50 Jahren, diesen Weg auch für über-

Abb. 14: Laseroptisch vermessenes Geschwindigkeitsfeld über einem überströmten Liner mit drei Öffnungen, Seitenansicht mit Liner unten. Als Konturplot gezeigt ist der schallkohärente Anteil der axialen Geschwindigkeit bei einer beliebigen Phasenlage. Im wandnahen Bereich der Strömungsgrenzschicht ist eine mit ca. 19 m/s stromab laufende Grenzschichtwelle zu beobachten (Mach 0,1, Schallfrequenz 1122 Hz, Messsystem: phasensynchrone Particle Image Velocimetry).



strömte, akustisch absorbierende Wände (sogenannte Liner) zu beschreiten. Die Amplituden und die Verteilungen der schallsynchronen Schubspannung und der akustischen Schnelle in der akustischen Grenzschicht werden durch die Gleichströmung nicht nur quantitativ sondern qualitativ verändert. Die systematische Diskrepanz zwischen theoretischen und experimentellen Ergebnissen hat dazu geführt, dass diese Untersuchungen in jüngerer Zeit wieder an Fahrt gewonnen haben.

Zwei Gruppen von strömungsbedingten Mechanismen, die bisher allenfalls mit groben Näherungen berücksichtigt worden sind, aber zum Teil erhebliche Auswirkungen auf die Vorgänge in der akustischen Grenzschicht haben, sind hierbei wichtig. Einerseits muss die Entstehung schallsynchroner turbulenter Schubspannungen und die Reaktion der turbulenten Wandgrenzschicht auf die akustisch aufgeprägte zeitliche Änderung der Randbedingungen modelliert werden. Andererseits muss der räumlichen Inhomogenität realer Wände Rechnung getragen werden. Hierbei ist insbesondere der Effekt der hydrodynamischen Moden zu berücksichtigen, die an den diskreten Öffnungen des Liners angeregt werden und an den stromab liegenden Öffnungen zu erneuter Anregung von Schall führen können.

Während die Anregung, Ausbreitung und Streuung von hydrodynamischen Wellen an bzw. zwischen den diskreten Öffnungen ein einigermaßen umrissenes Problem ist, ist die schallsynchrone Dynamik der turbulenten Wandgrenzschicht ein weites Forschungsfeld, das bisher mehr weiße Flecken als gesicherte Erkenntnisse aufweist. Wir sehen in numerischen Experimenten die größte Chance, in beiden Forschungsfeldern Antworten auf die aufgeworfenen Fragen zu finden.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die Unterstützung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft, die dieses Projekt finanziert (SCHU 3376/2-1). Unser Dank gilt außerdem Friedrich Bake, Chenyang Weng, Lars Enghardt, Manfred Kaltenbacher und Florian Toth, die diese Forschung auf unterschiedliche Weise gefördert haben. Anita Schulz ist außerdem der DEGA für die Ehrung mit dem Lothar-Cremer-Preis 2021 zu großem Dank verpflichtet.

Literatur

[1] Bräunling, W. J. G.: Flugzeugtriebwerke – Grundlagen, Aero-Thermodynamik, Kreisprozesse, Thermische Turbomaschinen, Komponenten- und Emissionen. VDI-Buch, Springer Verlag Berlin-Heidelberg 2013, Kap. 14.

[2] Ingard, U.: Influence of fluid motion past a plane boundary on sound reflection, absorption, and transmission. Journal of the Acoustical Society of America, 31: 1.035–1.036, 1959.

[3] Myers, M. K.: On the acoustic boundary condition in the presence of flow. Journal of Sound and Vibration, 71(3): 429–434, 1980.

[4] Renou, Y.; Aurégan, Y.: Failure of the Ingard-Myers boundary condition for a lined duct: An experimental investigation. Journal of the Acoustic Society of America, 130(1): 52–60, July 2011.

[5] Zhou, L.; Bodén, H.: A systematic uncertainty analysis for liner impedance eduction technology. Journal of Sound and Vibration, 356: 86–99, 2015.

[6] Bodén, H.; Zhou, L.; Cordioli, J. A.; Spillere, A. M. N.: On the effect of flow direction on impedance eduction results. In 22th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, 30 May–1 June 2016, Lyon, France, AIAA 2016–2.727, 2016.

[7] Bodén, H.; Cordioli, J. A.; Spillere, A. M. N.; Serrano, P. G.: Comparison of the effect of flow direction on liner impedance using different measurement methods. In 23rd AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, Denver, CO, AIAA 2017–3.184, 2017.

[8] Nark, D. M.; Jones, M. G.; Piot, E.: Assessment of axial wave number and mean flow uncertainty on acoustic liner impedance eduction. In IAA/CEAS Aeroacoustics Conference, 2018, ATLANTA, United States, pp. 1–12, 2018.

[9] Spillere, A. M. N.; Bonomo, L. A.; Cordioli, J. A.; Brambley, E. J.: Experimentally testing impedance boundary conditions for acoustic liners with flow: Beyond upstream and downstream. Journal of Sound and Vibration, 489, 2020.

[10] Roncen, R.; Piot, E.; Mery, F.; Simon, F.; Jones, M. G.; Nark, D. M.: Wavenumber-based impedance eduction with a shear grazing flow. AIAA Journal 58(7), 2020.

[11] Watson, W. R.; Tracy, M. B.; Jones, M. G.; Parrott, T. L.: Impedance eduction in the presence of shear flow. In 7th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, 28–30 May 2001, Maastricht, Netherlands, AIAA 2001–2.263, May 2001.

[12] Brambley, E. J.: Fundamental problems with the model of uniform flow over acoustic linings. Journal of Sound and Vibration, 322: 1.026–1.037, 2009.

[13] Rienstra, S. W.; Darau, M.: Mean flow boundary layer effects of hydrodynamic instability of impedance wall. Procedia Engineering, 6: 124–132, 2010.

[14] Brambley, E. J.: Well-posed boundary condition for acoustic liners in straight ducts with flow. AIAA Journal, 49(6): 1.272–1.282, 2011.

[15] Enghardt, L.; Fischer, A.; Schulz, A.; Busse-Gerstengarbe, A.: Determination of the impedance for lined ducts with grazing flow. In 18th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, 4–6 June 2012, Colorado Springs, CO, number AIAA 2012–2.243, 2012.

[16] Jing, X.; Peng, S.; Wand, L.; Sun, X.: Investigation of straightforward impedance eduction in the presence of shear flow. Journal of Sound and Vibration, 335: 89–104, 2015.

[17] Nayfeh, A. H.: Effect of the acoustic boundary layer on the wave propagation in ducts. The Journal of the Acoustical Society of America, 54(6): 1.737–1.742, 1973.

[18] Starobinski, R.: Sound propagation in lining duct with essentially non-uniform distribution of velocity and temperature. In Noise of jet engines, Issue 2, CIAM, 752, pp. 155–181, 1978.

[19] Aurégan, Y.; Starobinski, R.; Pagneux, V.: Influence of grazing flow and dissipation effects on the acoustic boundary conditions at a lined wall. Journal of the Acoustical Society of America, 109(1): 59– 64, 2001.

[20] Brambley, E. J.: Acoustic implications of a thin viscous boundary layer over a compliant surface or permeable liner. Journal of Fluid Mechanics, 678: 348–378, 2011.

[21] Khamis, D.; Brambley, E. J.: Analytic model and concise impedance boundary condition for viscous acoustics in ducted shear flow. In 22th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, Lyon, France, number AIAA 2016–2.976, 2016.

[22] Khamis, D.; Brambley, E. J.: Viscous effects on the acoustics and stability of a shear layer over an impedance wall. Journal of Fluid Mechanics, 810: 489–534, 2017.

[23] Khamis, D.; Brambley, E. J.: Viscous effects on the attenuation of a plane wave by an acoustic lining in shear flow. The Journal of the Acoustical Society of America, 141, 2017.

[24] Weng, C.; Schulz, A.; Ronneberger, D.; Enghardt, L.; Bake, F.: Flow and viscous effects on impedance eduction. AIAA Journal, 56(3): 1.118–1.132, 2018.

[25] Cremer, L.: Über die akustische Grenzschicht vor starren Wanden. Archiv der elektrischen Übertragung, 2: 136–139, 1948.

[26] Kirchhoff, G.: Über den Einfluss der Wärmeleitung in einem Gase auf die Schallbewegung. Annalen der Physik und Chemie, 210(6): 177–193, 1868.

[27] Schulz, A.; Ronneberger, D.; Weng, C.; Bake, F.: The effect of the convective momentum transfer on the acoustic boundary condition of perforated liners with grazing mean flow. International Journal of Aeroacoustics, 20(5–7): 737–772, 2021.

[28] Schulz, A.; Ronneberger, D.: Einfluss des Impulstransfers auf die akustische Randbedingung überströmter Absorberwände. In: Fortschritte der Akustik – DAGA 2021, 47. Jahrestagung für Akustik, Wien, S. 12–25, 2021.

[29] Meyer, E.; Mechel, F.; Kurtze, G.: Experiments on the influence of flow on sound attenuation in absorbing ducts. The Journal of the Acoustical Society of America, 30: 165, 1958.

[30] Mechel, F.: Schalldämpfung und Schallverstärkung in Luftströmungen durch absorbierend ausgekleidete Kanäle. Acustica, 10(3): 133–148, 1960.

Prof. Dr.-Ing. Anita Schulz
Hochschule für Technik und Wirtschaft, Berlin

Prof. Dr. rer.nat. Dirk Ronneberger
pensioniert, ehemals Georg-August-Universität Göttingen

Ausbildung in der Akustik

Stefan Sentpali, Malte Kob, Johanna Bronek, Stephan Pitsch, Ennes Sarradj, Johannes Weinzierl, Sebastian Greisinger, Maximilian Miltenberger, Monika Gatt

Die Wissenschaft der Akustik mit ihrer Vielfallt und Interdisziplinarität bietet hervorragende Möglichkeiten an beruflichen Betätigungsfeldern und hat viele von uns in ihren Bann gezogen. Ausbildung in der Akustik bedeutet mehr als Studierenden nur Wissen und Fähigkeiten zu vermitteln. Eigentlich ist nach dem Studium auch der Lernprozess nicht abgeschlossen, sondern wie viele Akustiker:innen meinen, fängt dieser erst dann richtig an. Um eine sehr gute Ausbildung zu gestalten, bedarf es neben Vorbildern an Personen auch Lehrformate, Methoden und Tools. Die folgenden sechs Kurzbeiträge sind Beispiele gelungener Maßnahmen in der Ausbildung der Akustik und sollen anregen, die Qualität in der Lehre stetig zu verbessern.

Education in acoustics

The science of acoustics, with its diversity and interdisciplinary nature, has fascinated many of us and offers excellent opportunities in professional fields. Education in acoustics means more than just imparting knowledge and skills to students. Actually, the learning process is not over after graduation, but as many acousticians think, it only really begins then. In order to design a very good education, you need not only role models for people, but also teaching formats, methods and tools. The following six short contributions are examples of successful measures in acoustics training and are intended to encourage continuous improvement in the quality of teaching.

Einleitung

Stefan Sentpali

Wenn man einen Beitrag über die Lehre in der Akustik schreibt, gibt es prinzipiell die Möglichkeit wissenschaftliche Erkenntnisse der Didaktik aufzuzeigen oder über gelungene Beispiele aus der Welt der Bildung zu berichten. Letzteres fanden wir im Fachausschuss „Lehre der Akustik“ spannender und so ist eine Sammlung von sechs kurzen Einzelbeiträgen entstanden, was je nach Feedback in zukünftigen Beiträgen für das Akustik Journal weitergeführt werden kann.

Den Anfang macht Dr. Malte Kob. Er ist Professor an der Hochschule für Musik in Detmold und berichtet aus seinem aktuellen DEGA Projekt im Beitrag: „Mindestkanon 2.0 – welche Akustik-Lehre findet wo statt?“. Auch wenn der Bologna-Prozess die Modularisierung der Lehrinhalte vorangetrieben hat und im Prinzip eine vergleichende Übersicht der Lehrangebote in der Akustik möglich wäre, stellt sich in der Praxis die Suche nach Lehrinhalten der Akustik und Veranstaltungsorten, an denen entsprechende Qualifikationen vermittelt werden, als schwierig dar. Insbesondere neue Lehrformen – wie bspw. Tele-Teaching/MOOCs und kooperative Angebote – verlangen eine bessere Sichtbarkeit. Für die Akustik hat die DEGA bereits früh zwei Hilfsmittel entwickelt: den Mindestkanon für die Lehre akustischer Inhalte sowie den Studienführer Akustik. Im beschriebenen Projekt „Mindestkanon 2.0“, das unter Mitwirkung von Malte Kob in der DEGA und mit Unterstützung der EAA in den letzten beiden Jahren gefördert wurde, wurden beide Projekte verknüpft und weiterentwickelt.

Johanna Bronek ist am Weiterbildungszentrum der Hochschule München verantwortlich für Marketing und Kommunikation. Sie stellt den Akustikstudiengang „Master Ingenieurakustik“ vor, allerdings nicht formal analog einem Modulhandbuch, sondern aus der Sichtweise der Menschen, die diesen Studiengang mit Leben füllen. Schließlich bilden wir nicht nur Studierende aus, sondern begleiten sie auf ihrem Weg der Weiterentwicklung.

Der Studiengang ist eine Kooperation zwischen zwei Hochschulen in zwei Bundesländern. Jeder, der mit seiner Familie in ein anderes Bundesland schon umgezogen ist, kennt die Problematiken der föderalen Struktur unseres Bildungssystems. Die Tatsache, dass Bildungsangelegenheiten in Deutschland Ländersache sind, ist für den Studiengang allerdings nicht nur herausfordernd, sondern bietet auch Vorteile.

In der klassischen akademischen Lehre wird die Theorie in Präsenzvorlesungen vermittelt und das vertiefte Verständnis folgt später durch Laborexperimente im Praktikum. Dies hat rein praktische Gründe, ist aber didaktisch nicht optimal. Dr. Stephan Pitsch ist Professor an der Hochschule Reutlingen in der Fakultät Technik. Er hat das Matlabprogramm „Acoustics“, eine MATLAB Toolbox für die Lehre, entwickelt, um auch während einer Vorlesung Schallanalysen durchzuführen. Die Toolbox ist ihm sehr gut gelungen und zeichnet sich durch ihre Einfachheit sowie eine unkomplizierte Bedienung aus. Außerdem ist diese kostenfrei nutzbar.

Vorlesungen zur Akustik in den Bachelor- und Masterstudiengängen an Hochschulen und Universitäten

entstehen oft in jahrelangen Prozessen der Optimierung der Arbeitsmaterialien und Ergänzung der Lehrinhalte für Vorlesungen, Praktika und Skripte. Nicht selten entstehen so mehrere passgenaue Module für die unterschiedlichen Studiengänge und Schwerpunkte. Möchte man einen neuen Schwerpunkt integrieren oder das Themenfeld des Körperschalls zwischen Bachelor- und Masterniveau differenzieren, wird es Zeit für eine „Flurbereinigung" der Module und Lehreinheiten. Dr. Ennes Sarradj ist Professor an der Technischen Universität Berlin und leitet das Institut für Strömungsmechanik und Technische Akustik. Wie man dabei vorgehen kann, mit JUPYTER-Notebooks an Stelle eines Vorlesungsskriptes die recht komplizierten Fragestellungen des Körperschalls mit den sehr interessanten Theorien, Herleitungen und Berechnungen sowie wichtigen Aspekten für die Lärmminderungspraxis im Masterstudium zu integrieren und gleichzeitig die Neugier der Studierenden zu erhöhen, beschreibt er in seinem Beitrag „Körperschall interaktiv – über eine neue Lehrveranstaltung an der TU Berlin".

Wie schwer es ist per Videokonferenz ein akustisches Praktikum abzuhalten, haben viele Referenten während der Restriktionen in den letzten vier Semestern in Coronazeit erfahren. So gibt es Studierende im ersten bis vierten Semester, die kaum oder noch nie an einer Vorlesung in Präsenz teilnehmen konnten oder sogar die Räumlichkeiten ihrer Hochschulen noch nie besuchten. Randbedingungen zwingen uns zur Improvisation und schaffen damit oft auch Innovationen, von denen auch nach der Coronazeit profitiert werden kann. Maximilian Miltenberger ist Laboringenieur im Akustiklabor der Hochschule München und neben der Betreuung von Versuchen für Forschung und Entwicklung besonders für die Ausbildung in den Akustikpraktika verantwortlich. Mit zwei seiner Studenten, Johannes Weinzierl und Sebastian Greisinger, hat er versucht, in der Coronazeit Abhilfe von den eintönigen Videokonferenzen zu schaffen. Im Beitrag „Aufbau eines virtuellen und interaktiven Akustikpraktikums mit Hilfe von VR Technik" werden verschiedene Methoden der VR gezeigt und die Möglichkeiten zur Ergänzung von Praktika diskutiert.

Eine übliche Antwort auf die Frage „Was ist Schall?" lautet die Antwort „Schall ist die zeitliche Änderung der Dichte eines Mediums". Mathematisch gesehen ist dies zwar eine hinreichende, aber nicht ausreichende Definition. Somit fehlt eine weitere Abgrenzung, wie „Schall ist das, was wir hören". Gerade dieser zweite Aspekt, in dem der Mensch im Vordergrund steht, macht die physikalische Disziplin der Akustik für viele von uns interessant, allerdings nicht einfacher. Sobald menschliche Bedürfnisse, Empfindungen und die Pflicht der Gesundheitsfürsorge als Zielgröße abgeleitet werden müssen, werden ethische Fragen tangiert. Was in Medizin und Pflegewissenschaft Standard ist, ist für die Akustik noch teilweise ungewohnt. Dr. Monika Gatt ist praktische Philosophin und wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme an der Technischen Universität München. Sie versucht uns in einem für Ingenieure leicht verständlichen und kurzen Beitrag zu „Ethik und Akustik" dieses Thema näher zu bringen.

Projekt „Mindestkanon 2.0" – welche Akustik-Lehre findet wo statt?

Malte Kob

Das Gemeinschaftsprojekt von Monika Gatt, Jörn Hübelt und Malte Kob entstand aus der Arbeit des Fachausschusses Lehre und des Hochschulbeirats der DEGA als Ergebnis einer Umfrage, wie viele der in der zuletzt 2019 revidierten DEGA-Empfehlung 102 „Mindestkanon: Akustik in der Hochschul-Ausbildung" [1] gelisteten Inhalte tatsächlich in Bachelor-Studiengängen unterrichtet werden. Die ernüchternde Erkenntnis war, dass die Aufteilung von Lehrinhalten in Bachelor-, Master- und Promotions-Studiengänge kaum mit dem Mindestkanon abbildbar ist. Um auf Basis des tatsächlich vermittelten Lehrinhalts eine verbesserte Aufstellung machen zu können, wurde das Projekt „Mindestkanon 2.0" initiiert. Für die Ermittlung der Lehrinhalte wurden zunächst zwei Methoden genutzt:

- Abfrage der bestehenden Inhalte aus dem europäischen Studienführer „EAA Schola" (*https://euracoustics.org/schola*)
- Ergänzung der Inhalte um neue Einträge, mit denen aktuelle Inhalte und Ziele der Ausbildung besser erfasst werden

Bei einer umfangreichen Recherche in der bestehenden Schola-Datenbank [2] wurden 120 Editoren in 33 Ländern gefunden, die für die Pflege der Inhalte zuständig sein sollten. Von diesen sind nach persönlicher Ansprache aktuell knapp 40 noch aktiv und haben die Einträge der Lehrveranstaltungen aktualisiert. In Abbildung 1 (siehe folgende Seite) ist ein Ausschnitt der neuen graphischen Suche in Schola abgebildet.

Als Ergebnis der Umfrage wurden in Ergänzung der bestehenden Angaben zu Kursen weitere Inhalte definiert, die neu den vorhandenen oder neuen Lehrangeboten zugefügt werden können:

- Specialisation/Branch
- Joint course offer
- Aptitudes after completion of course
- Remote lecture (Y/N)
- Online course material available

Die Arbeiten zur Suche, Implementierung und Auswertung der Inhalte wurden im Rahmen des DEGA-Projekts von je einer Studentin der TU München (An-

Abb. 1: Grafische Suche nach Lehrinhalten im EAA-Studienführer „Schola"

drea Ebner) und der HfM Detmold (Anja Müller) durchgeführt. Das Web-Team der EAA (Luc Jaouen, Mathieu Gaborit) gestaltet zurzeit das Userinterface neu. Nach Abschluss der Arbeiten auf der neuen Seite der Europäischen Akustischen Gesellschaft (EAA) erlaubt der Studienführer künftig neben einer übersichtlicheren Darstellung und Suche auch per Email die Update-Erinnerung der Editoren, die an den jeweiligen Einrichtungen für die Aktualisierung der Lehrinhalte zuständig sind. Für die Nutzung bei der Suche kann eine Filterfunktion künftig die Darstellung auf gewünschte Qualifikationsziele oder Stichworte beschränken und somit bspw. die Auswahl von Studienorten oder möglichen Kooperationspartnern bei kooperativer Lehre erleichtern.

Abb. 2: Prof. Dr. Jörn Hübelt (li.) und Prof. Dr. Stefan Sentpali (re.) leiten den berufsbegleitenden Masterstudiengang Ingenieurakustik an den Hochschulen Mittweida und München. Besonders wichtig ist ihnen, dass die Studierenden Qualität in vielerlei Hinsicht erhalten. (Foto: Chris Eberhardt)

Für ein Folgeprojekt des FA Lehre und des Hochschulbeirats der DEGA kann der überarbeitete Studienführer eine Grundlage zur Neugestaltung des Mindestkanons liefern. Ein Treffen des Fachausschusses ist im Herbst 2022 in Detmold geplant.

Berufsbegleitend den Master in Ingenieurakustik absolvieren

Johanna Bronek

Zwei Hochschulen, zwei Bundesländer, ein akustisches Meisterwerk: Die Hochschule München und die Hochschule Mittweida kooperieren im Masterstudiengang Ingenieurakustik (siehe Tabelle 1) sehr eng miteinander. Gemeinsam entwickelt, starten sie das berufsbegleitende Studienangebot im kommenden Wintersemester 2022/23 bereits zum achten Mal. Dabei steht die Qualität ganz oben und ist den beiden Studiengangsleitern Prof. Dr. Stefan Sentpali (Hochschule München) und Prof. Dr. Jörn Hübelt (Hochschule Mittweida) in vielerlei Hinsicht wichtig (siehe Abb. 2). Und das geht weit über die Qualität der Lehre hinaus.

Work-Study-Balance

„Wenn ich studiere, studiere ich und wenn ich arbeite, dann arbeite ich". Das könnte ein Leitsatz unserer Studierenden sein, und wir schaffen das notwendige sowie passende Ambiente, damit sie sich auch daran halten können", geht Stefan Sentpali auf das berufsbegleitende Modell des Masters Ingenieurakustik ein. Und in der Tat ist der Ablauf des Studiums optimal dafür gestaltet. Präsenzphasen und Selbstlern-

einheiten, flankiert durch betreute Onlineübungen wechseln sich ab. Die Präsenzzeiten finden während des Semesters in Form von Blockkursen mit üblicherweise drei Tagen pro Monat statt. Dies ermöglicht den Studierenden einerseits ein hohes Maß an Flexibilität. Andererseits bietet diese Struktur mit Blockkursen, die in der Vorlesungszeit einmal pro Monat stattfinden, eine räumliche Trennung von Studium und Job. „Die Präsenzphasen kommen bei unseren Studierenden sehr gut an", so Sentpali weiter. „Sie wissen es zu schätzen, sich die vorgesehenen drei Tage pro Monat voll und ganz der Lehre widmen zu können. Dann sind die Studierenden auch absolut bei der Sache und können sich auf die Theorie und auch die Praxis ohne Ablenkungen von außen einlassen." Nach den Blockveranstaltungen gehen die Studierenden wiederum voll und ganz in ihren Beruf und können sich darauf konzentrieren, was gerade im Job wichtig ist – mit dem Vorteil, dass sie sich in den Lehrveranstaltungen theoretisches und praktisches Wissen aneignen konnten, welches sie direkt in ihren beruflichen Alltag einfließen lassen. Exzellente technische Ausstattung an beiden Studienstandorten unterstreichen dabei die Praxisorientierung. So sammeln die Studierenden z. B. Erfahrungen mit Rollenprüfstand und Fahrzeugakustik, Alphakammer und akustischen Materialverhalten, Tonstudio und Soundgestaltung sowie analytischen und numerischen Berechnungen. Dabei ergänzen sich die Standorte Mittweida und München ideal, sodass die beiden Hochschulen das komplette Spektrum der Akustik abdecken. Studierende lernen während ihres Ingenieurakustik-Studiums unter anderem das Labor für Akustik und Fahrzeugtechnik in München und die Labore für Psychoakustik und für Technische Akustik in Mittweida kennen. Dass die Lehrblöcke teilweise in München und teils in Mittweida stattfinden, haben die Studierenden bisher immer sehr positiv aufgenommen. Manchmal spricht ja einiges dafür, nicht nur den Job kurzzeitig hinter sich zu lassen, sondern auch das sonstige gewohnte Umfeld. Mittweida oder München als neue Stadt kennenzulernen und sich abends nach den Lehrveranstaltungen vielleicht noch mit den Kommiliton:innen und manchmal auch Referent:innen weiter auszutauschen, hat sicher seinen Reiz und stärkt das Miteinander ebenso wie den persönlichen und fachlichen Austausch.

Fachliches Netzwerk erweitern

Nicht nur beim abendlichen Zusammenkommen steht das Netzwerken im Vordergrund, auch in den Lehrveranstaltungen selbst – hier sicherlich mit einem stärkeren fachlichen als persönlichem Hintergrund. „In den Lehrveranstaltungen tauschen wir Dozenten uns mit den Studierenden zu unseren Erfahrungen in den unterschiedlichen Branchen aus und die Studierenden untereinander natürlich auch", erläutert Jörn Hübelt den Netzwerkgedanken in den Kohorten. „Einerseits führt es zu Aha-Erlebnissen, indem die einen erkennen, dass sie mit ihren Herausforderungen nicht allein sind. Andererseits eröffnen sich natürlicherweise Perspektivenwechsel, da die Studierenden sehr oft aus verschiedenen Fachbereichen zusammenkommen." Schnell geht es dann um konkrete Fragestellungen, die die Studierenden aus ihrem beruflichen Alltag mitbringen und die durch die Kommiliton:innen aus unterschiedlichen Richtungen betrachtet werden. So treffen Hörakustikerinnen auf Laboringenieure, Fahrzeugakustiker auf Audiotechnikerinnen oder Psychoakustikerinnen auf Fachkräfte, die sich mit dem Schallschutz beschäftigen – und die Aufzählung könnte noch weiter gehen.

Tab. 1: Studium Ingenieurakustik auf einen Blick

Kooperationsstudiengang Ingenieurakustik	
Abschluss	Master of Science (M.Sc.)
Start	Wintersemester
Regelstudienzeit	4 Semester plus 1 Semester Masterarbeit
ECTS	90
Kosten	2.450 Euro pro Semester in der Regelstudienzeit zzgl. Semesterbeiträge in Mittweida und München (Studienkosten sind steuerlich absetzbar)
Bewerbungszeitraum	15. April bis 15. Juli (online über die Hochschule Mittweida)
Zulassungsvoraussetzungen	■ Natur- oder ingenieurwissenschaftliches Studium ■ Bachelor- oder Diplomabschluss (oder gleichwertiger Abschluss) ■ mind. sechs theoretische Studiensemester ■ mind. 180 ECTS
Highlights	■ Joint-Degree: Kooperation Hochschule Mittweida mit Hochschule München ■ direkter Praxisbezug ■ alle Lehrenden mit Industrieexpertise ■ optimal berufsbegleitend studierbar ■ direkt nach dem Bachelor möglich (konsekutiv) ■ vernetzter Austausch mit Lehrenden und Studierenden ■ Qualifikationen in Fahrzeug-, Raum-, Bau-, Medien- und Psychoakustik, lärmarmer Konstruktion, Schallschutz und Simulation ■ Modulstudium: einige Module können einzeln studiert werden und mit einem Hochschulzertifikat abgeschlossen werden
Informationen	*https://hm.edu/ingenieurakustik*

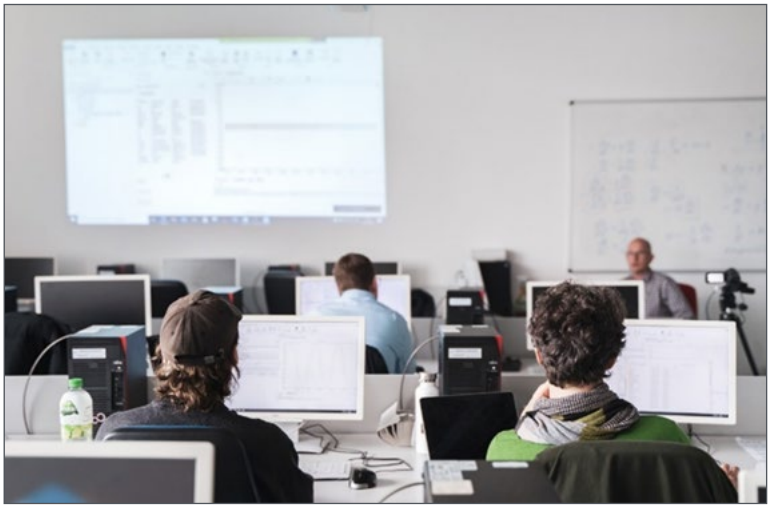


Abb. 3: In den anwendungsorientierten Lehrveranstaltungen verbinden die Studierenden Theorie und Praxis miteinander und können direkt ihre eigenen beruflichen Fragestellungen in die Diskussionen einfließen lassen. (Foto: Johanna Weber)

„Unsere kleinen Lerngruppen fördern den intensiven, interdisziplinären Austausch und die daraus entstehenden Synergien. Da auch alle Dozenten aus der Praxis kommen und mehrere Jahre Berufserfahrung in leitenden Positionen mitbringen, hört das Netzwerk nicht am Dozentenpult auf", so Hübelt weiter. „Wir auf der Seite der Lehrenden freuen uns mindestens genauso über den interdisziplinären Akustikaustausch wie die Studierenden. Dadurch bekommen unsere Erfahrungen und aktuellen Fragestellungen frischen Wind und eine ganz neue Qualität."

Promotion in Sicht

Apropos Qualität und wie zu Anfang schon erwähnt, ist auf diese ein besonderes Augenmerk im Masterstudiengang Ingenieurakustik gelegt. Deshalb ist er so ausgelegt, dass eine Promotion für die Absolvent:innen möglich ist. Die dazu notwendigen 300 ECTS-Leistungspunkte werden nach Abschluss meistens schon mit dem vorangegangenen Bachelor- oder gleichwertigen Studium in Summe erreicht. Sollten dennoch ECTS-Leistungspunkte fehlen, können diese mithilfe von Brückenkursen sowohl an der Hochschule Mittweida als auch an der Hochschule München erlangt werden. Auf die Qualität in der Lehre wird hier natürlich auch ganz genau geschaut. „Um unsere Studierenden auf ein Promotionsvorhaben oder ihre jeweiligen Herausforderungen im Job adäquat vorzubereiten, arbeiten wir im Master mit Spitzenleuten aus unterschiedlichen Unternehmen und Professor:innen mit vielen Jahren Wirtschaftserfahrung zusammen", erläutert Sentpali. So haben sich die Studiengangsleiter Hübelt und Sentpali selbst während ihrer Zeit bei einem Automobilhersteller kennengelernt und pflegen immer noch Kontakt zu anderen früheren Kolleg:innen – inner- und außerhalb des Unternehmens. Aber da der Masterstudiengang die ganze Bandbreite der Akustik behandelt, kommen natürlich auch die unterschiedlichsten Fachleute als Dozent:innen zusammen. „Von Psychologen über Ingenieure bis hin zu Physikern und Mathematikern sind in unserem Ingenieurakustik-Kollegenkreis alle Spezialisten vertreten, die das komplette Spektrum abdecken, das wir im Studiengang lehren möchten", so Sentpali weiter. „Es ist uns wichtig, dass unsere Studierenden mit erfahrenen Praktikerinnen und Praktikern in Kontakt kommen und so ihre eigene berufliche Praxis reflektieren können und mit theoretischem und anwendungsorientiertem Wissen bereichern."

Kurz und gut

Übrigens beinhaltet das Masterstudium über sich selbst hinaus auch die Möglichkeit des so genannten Modulstudiums an der Hochschule München. Dabei schreiben sich Interessierte in ein oder mehrere Module aus dem Ingenieurakustik-Master ein und absolvieren diese mit einem Hochschulzertifikat. Die Zulassungsvoraussetzungen an einer Teilnahme am Modulstudium orientieren sich an denen des Masterstudiums, das heißt ein erstes berufsqualifizierendes Studium muss bereits abgeschlossen sein. Mit dem Modulstudium ist eine passgenaue Fokussierung auf ein bestimmtes Thema, beispielsweise Lärmarme Konstruktion und Schallschutz oder Fahrzeugakustik, möglich. Praktisch dabei ist auch, dass ein erfolgreich abgeschlossenes Modulstudium später auf den Master angerechnet wird und somit die Studienzeit des Masters verkürzt.

Alles in allem: Der Masterstudiengang Ingenieurakustik setzt auf Qualität – sowohl in der anwendungsorientierten Lehre (siehe Abbildung 3) als auch im Aufbau des persönlichen fachlichen Netzwerks sowie in der Vereinbarkeit von Studium und Beruf. In vier berufsbegleitenden Semestern plus einem Semester, das der abschließenden Masterarbeit gewidmet ist, setzen sich die Studierenden intensiv mit dem Experimentieren, Erforschen und Erfassen von Schall auseinander. Das übergeordnete Ziel ist es, Geräuschkulissen in den unterschiedlichsten Situationen zu beeinflussen. Neben den technischen Aspekten steht der Mensch mit seinem Hörvermögen immer im Mittelpunkt. Alle, die Lust und Leidenschaft für das Thema Akustik in der ganzen Bandbreite mitbringen, können sich für das Studium an den Hochschulen München und Mittweida bewerben. Akustikerfahrene sind dabei ebenso willkommen wie Quereinsteiger:innen in das Themenfeld. Wichtig ist, dass sie einen ersten, vorzugsweise technischen oder naturwissenschaft-

lichen Hochschulabschluss mitbringen. Da der Studiengang optimal berufsbegleitend organisiert und angeboten wird, bietet es sich an, dass Interessierte bereits im Berufsleben stehen oder bald einsteigen möchten. Der Studiengang ist konsekutiv, das heißt er kann direkt nach dem ersten Abschluss auch ohne Berufstätigkeit im Teilzeitmodell studiert werden. Die Studiengangsleiter sowie alle Lehrenden möchten die Absolventinnen und Absolventen auf gehobene Fach- und Führungspositionen in der Industrie, bei Ingenieurdienstleistern und bei Behörden sowie für wissenschaftliche Tätigkeiten an Hochschulen, Universitäten und Forschungseinrichtungen vorbereiten. Dies wird insbesondere durch den modularen Aufbau und die berufsbegleitende Studienorganisation (siehe Abbildung 4) begünstigt.

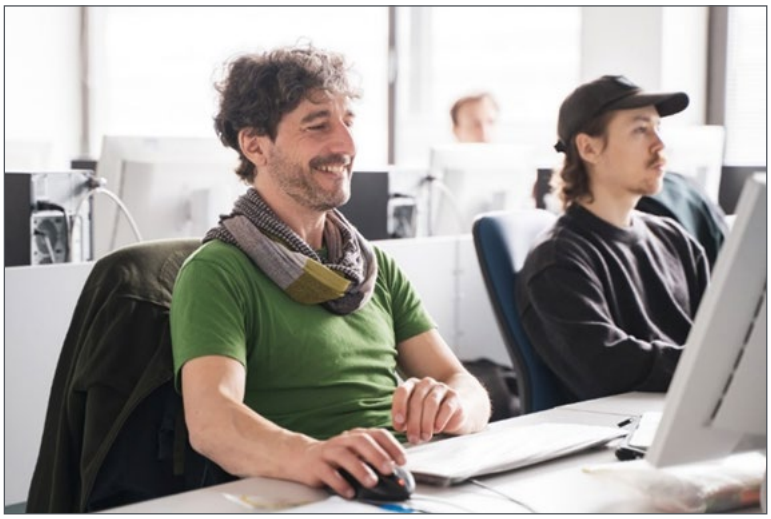


Abb. 4: Zeit fürs Studium und Zeit für den Job können durch das berufsbegleitende Modell ideal voneinander getrennt werden. So leiden weder der Arbeitsalltag noch der angestrebte Masterabschluss, sondern bedingen sich gegenseitig und profitieren voneinander. (Foto: Johanna Weber)

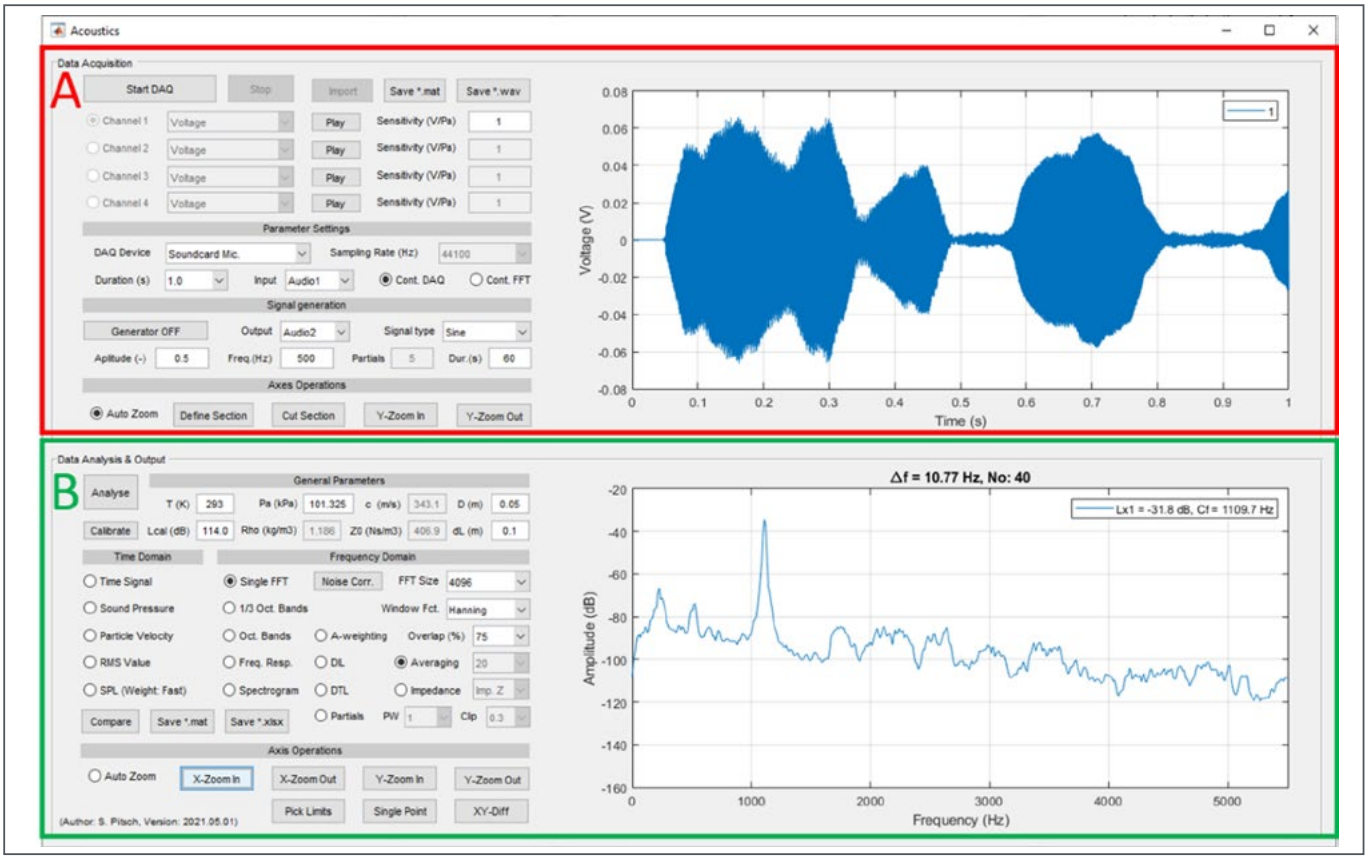
„Acoustics" - Eine MATLAB-Toolbox für die Lehre

Stephan Pitsch

Motivation für die Entwicklung

Wer technisch orientierte Vorlesungen hält und zur Auflockerung und Vertiefung der theoretischen Einheiten ab und zu ein Experiment einstreuen möchte, sieht sich mit einigen Herausforderungen konfrontiert: im Rahmen einer 90-minütigen Vorlesung darf das Experiment nicht lange dauern, der Versuchsaufbau muss zum Hörsaal transportiert werden können, und die Vorbereitung darf nicht zu viel Zeit in Anspruch nehmen. Je mehr Mess- und Analysetechnik dabei über Software abgedeckt werden kann, umso besser, denn es müssen weniger Geräte aufgebaut und transportiert werden. Mittlerweile gibt es ein breites Spektrum an Softwarepaketen, Apps und Tools für

Abb. 5: Grafische Benutzeroberfläche der MATLAB toolbox „Acoustics". Bereich A: Einstellung der Datenerfassung und Anzeige des Zeitsignals. Bereich B: Datenanalyse und Ergebnisanzeige.



Tab. 2: Implementierte Funktionen im Detail (Version 2021.05.01)

Datenerfassung
Interne Schnittstelle: Windows Sound Cards
Externe Schnittstellen: National Instruments NI 9219, 9220 und 9234
Sensortypen: Mikrofon, Beschleunigung, Spannung allgemein
Datenimport im Zeitbereich (*.wav oder *.mp3 Format)
Markieren, Schneiden und Speichern von Signalbereichen
Kontinuierliche Datenerfassung oder Einzelmessungen
Signalgenerator: Sinus, Sägezahn, Teiltöne, Rauschen, Chirp, Pulse
Datenanalyse
Sensorkalibrierung
Berechnung: Schalldruck, Schallschnelle, Effektivwerte, SPL (Zeitkonstante FAST)
FFT für Einzelsignale oder im kontinuierlichen Betrieb
Mittelwertbildung: Moving Window, Mehrfache Messungen
A-Bewertung
Oktav- / Terzbandanalyse
Korrektur Hintergrundgeräusch
Spektrogramm
Frequenzgang
Einfüge- / Durchgangsdämpfung (DIL/DTL)
Impedanzmessung
Grundfrequenz- und Teiltonbestimmung
Datenexport (*.mat und *.xlsx)
Bestimmung von Zeit- / Frequenz- / Amplitudendifferenzen
Frequenzschwerpunkt

akustische Messungen, die aber oft zu komplex für eine schnelle Anwendung in einer Unterrichtssituation oder in ihrem Funktionsumfang nicht auf eine Grundlagenvorlesung zugeschnitten sind.
Die Toolbox „Acoustics“ [3] wurde speziell für den Live-Einsatz in einer Akustikvorlesung entwickelt, die sich inhaltlich an der DEGA-Empfehlung 102 [1] orientiert und Themen wie z. B. Messung und Darstellung von akustischen Grundgrößen oder Frequenzanalyse mittels FFT behandelt. Als Entwicklungsumgebung wurde MATLAB verwendet.

Konzeption und Funktionalität der Toolbox
Um sowohl Lehrenden als auch Studierenden eine leichte Bedienbarkeit zu ermöglichen, sollten alle Parameter und Funktionen über ein einziges grafisches User-Interface (GUI) ohne versteckte Untermenüs zugänglich sein. Außerdem sollten für eine optimale Vergleichbarkeit immer das gemessene Zeitsignal und das Analyseergebnis gleichzeitig sichtbar sein. Aus dem Grund wurde das GUI in zwei Bereiche für die Datenerfassung und die Analyse eingeteilt (vgl. Abbildung 5). Zur Reduzierung der für die Experimente notwendige Hardware sollte die interne Soundkarte zur Messung und Wiedergabe von akustischen Signalen verwendet werden können, ein Datenimport vorgesehen werden und ein einfacher Signalgenerator integriert sein. Tabelle 2 zeigt den aktuellen Funktionsumfang der Toolbox (Version 2021.05.01). Zur ursprünglichen Programmversion wurden mittlerweile auch einige Funktionen hinzugefügt, die den Einsatz der Toolbox bei aufwändigeren Messungen ermöglichen, wie z. B. die Implementierung von weiteren externen Schnittstellen mit bis zu 4 Kanälen, verschiedener Methoden für die Mittelwertbildung, oder die Bestimmung von Frequenzgängen und Impedanzen.

Zugänglichkeit und Setup
Das „Acoustics“ GUI wurde mit Hilfe des GUIDE-Assistenten in MATLAB 2018b entwickelt. Voraussetzung vor der Inbetriebnahme ist die Installation der „Signal Processing Toolbox“, der „Data Aquisition Toolbox“, des „Data Acquisition Toolbox Support Package for Windows Sound Cards“ sowie ein Neustart von MATLAB. Vor Verwendung der bereits implementierten Schnittstellen NI 9219, NI 9220 oder NI 9234 ist die Installation des „Data Acquisition Toolbox Support Package for National Instruments NI-DAQmx Devices“ erforderlich. Es gibt zwei Varianten, die Toolbox zu verwenden: 1) Als MATLAB-Skript über den Editor: Der Quellcode und die Bedienungsanleitung werden als *.zip Datei über den File Exchange Service auf der Mathworks Webseite [4] heruntergeladen, und das Skript „Acoustics.m“ ausgeführt. In diesem Modus sind alle Dateien einfach zugänglich und können weiterentwickelt werden. 2) Als MATLAB interne Toolbox: „Acoustics“ kann über den Add-On Explorer in MATLAB gesucht, installiert und durch Eingabe von „Acoustics“ in der Kommandozeile gestartet werden.

Körperschall interaktiv – über eine neue Lehrveranstaltung an der TU Berlin

Ennes Sarradj

Im Curriculum einer vertieften Lehre im Bereich der technischen Akustik sind Inhalte zum Thema Körper-

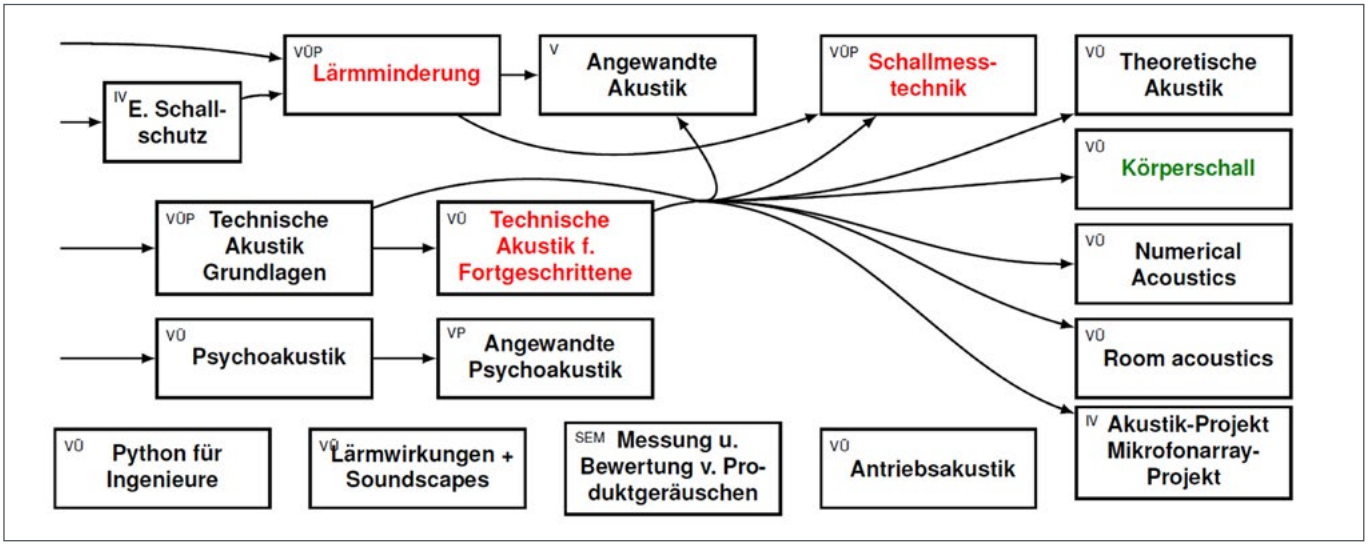


Abb. 6: Lehrveranstaltungen (Module) am Fachgebiet Technische Akustik der TU Berlin, rot: Aspekte des Themas Körperschall sind integriert, grün: neue Lehrveranstaltung zur Vertiefung des Themas Körperschall.

schall wegen ihrer Relevanz für viele akustische Fragestellungen vom Erschütterungsschutz über die Lärmminderung an Maschinen bis hin zum Ultraschall in Festkörpern sehr wünschenswert. Im Beitrag wird die 2019 vollständig neu konzipierte Lehrveranstaltung „Körperschall“ an der TU Berlin vorgestellt. Ausgangspunkt war dabei, dass einige Grundlagen zum Thema zwar bereits Bestandteil in anderen Lehrveranstaltungen sind, es aber an einem Angebot für Studierende in Masterstudiengängen fehlt, die sich auch in der zugrunde liegenden Theorie des Körperschalls, den zugehörigen Methoden und deren Anwendung vertiefen wollen. Für die Lehre auf diesem Niveau ist das Thema insofern herausfordernd, weil das Vermitteln von Sachverhalten allein nicht ausreichend ist. Jedoch erfordern schon einfache Herleitungen einen erheblichen mathematischen Aufwand. So besteht die Gefahr, dass nur sehr wenige wesentliche Zusammenhänge herausgearbeitet werden können und der Bezug zur Anwendung verloren geht.

Ausgangspunkt

Das Fachgebiet Technische Akustik an der TU Berlin bietet seine Lehrveranstaltungen (siehe Abb. 6) für Studierende vieler unterschiedlicher Bachelor- und Masterstudiengänge an. Damit soll sowohl eine Ergänzung zu anderen Inhalten (beispielsweise aus dem Bereich Maschinenbau oder Umwelttechnik) als auch eine Vertiefung in solchen Studiengängen möglich sein, bei denen ein Schwerpunkt auf die Akustik gewählt werden kann. Verschiedene Aspekte des Themas Körperschall sind dabei auch in drei verschiedenen Lehrveranstaltungen integriert.

In „Lärmminderung“ wird die Biegewelle, ihre Anregung und Abstrahlung sowie die Schalldämmung unter Verzicht auf Herleitungen vorgestellt. In „Technische Akustik für Fortgeschrittene“ gibt es einen Überblick über verschiedene Wellenarten des Körperschalls und deren Wellengleichungen sowie ausführliche Herleitungen zur Abstrahlung und zur Schalldämmung. In „Schallmesstechnik“ wird die Körperschallmesstechnik sowie die Modalanalyse als Anwendung behandelt. In keiner dieser Lehrveranstaltungen wird jedoch das Thema Körperschall vertieft. Deshalb wurde eine neue Lehrveranstaltung „Körperschall“ entwickelt, die eine solche Vertiefung vor allem für Studierende von Masterstudiengängen möglich macht. Die Zielsetzung ist dabei sowohl vertieftes Verständnis für die Physik des Körperschalls als auch die Vermittlung anwendbarer Grundlagen für Lärmminderung, Ultraschall und andere Bereiche. Dazu ist ein sicherer Umgang mit den zugehörigen mathematischen Modellen nötig. Die Anwendung auf verschiedenste Problemstellungen muss beherrscht werden. Aus diesen Überlegungen folgt, dass eine reine Faktenvermittlung sicher nicht ausreichend ist. Eine Besonderheit beim Thema Körperschall ist auch, dass die Physik nicht sehr anschaulich ist, da Körperschall kaum direkt wahrgenommen und auch nicht einfach beobachtet werden kann. Diese Abstraktheit trifft auf mathematische Modelle, die teils recht umfangreiche Herleitungen erfordern und kompliziert sind. Teilweise können Sachverhalte nur anhand numerischer Lösungen erschlossen werden. Auch die Anwendung erfordert oft langwierige Berechnungen, die eher den Einsatz eines Computers als den von Papier und Bleistift nahelegen.

Konzept und Inhalte

Auf der Grundlage dieser Überlegungen wurde folgendes Konzept für die Lehrveranstaltung entwickelt. Zunächst werden im Rahmen der Vorlesung

die physikalischen Grundlagen erklärt und wichtige Herleitungen und mathematische Modelle entwickelt. Auch wenn die Physik und die Modelle für Ultraschall angewendet werden könnten, werden parallel dazu vor allem Anwendungen mit Schwerpunkt auf die Technische Akustik und Lärmminderung behandelt. Um die zuvor erwähnten Probleme durch mangelnde Anschaulichkeit und aufwändige Herleitungen abzumildern, wird bereits während der Vorlesung auf eine stetige Interaktion der Studierenden mit den Vorlesungsinhalten am Computer gesetzt. Herleitungen, Diagramme, Ergebnisse sollen dabei in direkter Interaktion mit dem Computer gewonnen werden. Neben der Vorlesung wird in einer Übung in kleinen Gruppen die Anwendung des Stoffs in Projektform vertieft. Dabei werden Komplexaufgaben gelöst und damit auch die Problemlösungskompetenz gefördert. Die Lösungen liegen dann letztlich in Form von kleinen Computerprogrammen bzw. deren Ergebnissen vor.

Die Auswahl der behandelten Inhalte orientiert sich auch daran, dass bestimmte Themen wie Abstrahlung und Schalldämmung bereits in anderen Lehrveranstaltungen vertieft behandelt wurden. Ausgehend von Bewegungs- und Wellengleichungen werden zunächst Körperschallwellen im unendlich ausgedehnten Medium behandelt, bevor dann Spezialfälle wie Platten und Balken untersucht werden. Dieses Vorgehen ist analog zum Luftschall, wo auch ausgehend von der Wellengleichung zunächst freie Schallfelder und später solche in Kanälen und Räumen behandelt werden.

Weitere Themen sind Impedanzen, Körperschalldämmung und -dämpfung sowie endliche Systeme. Abschließend werden diffuse Körperschallfelder und deren Behandlung im Rahmen der Statistischen Energieanalyse vorgestellt. Insgesamt gibt es 13 Lektionen:

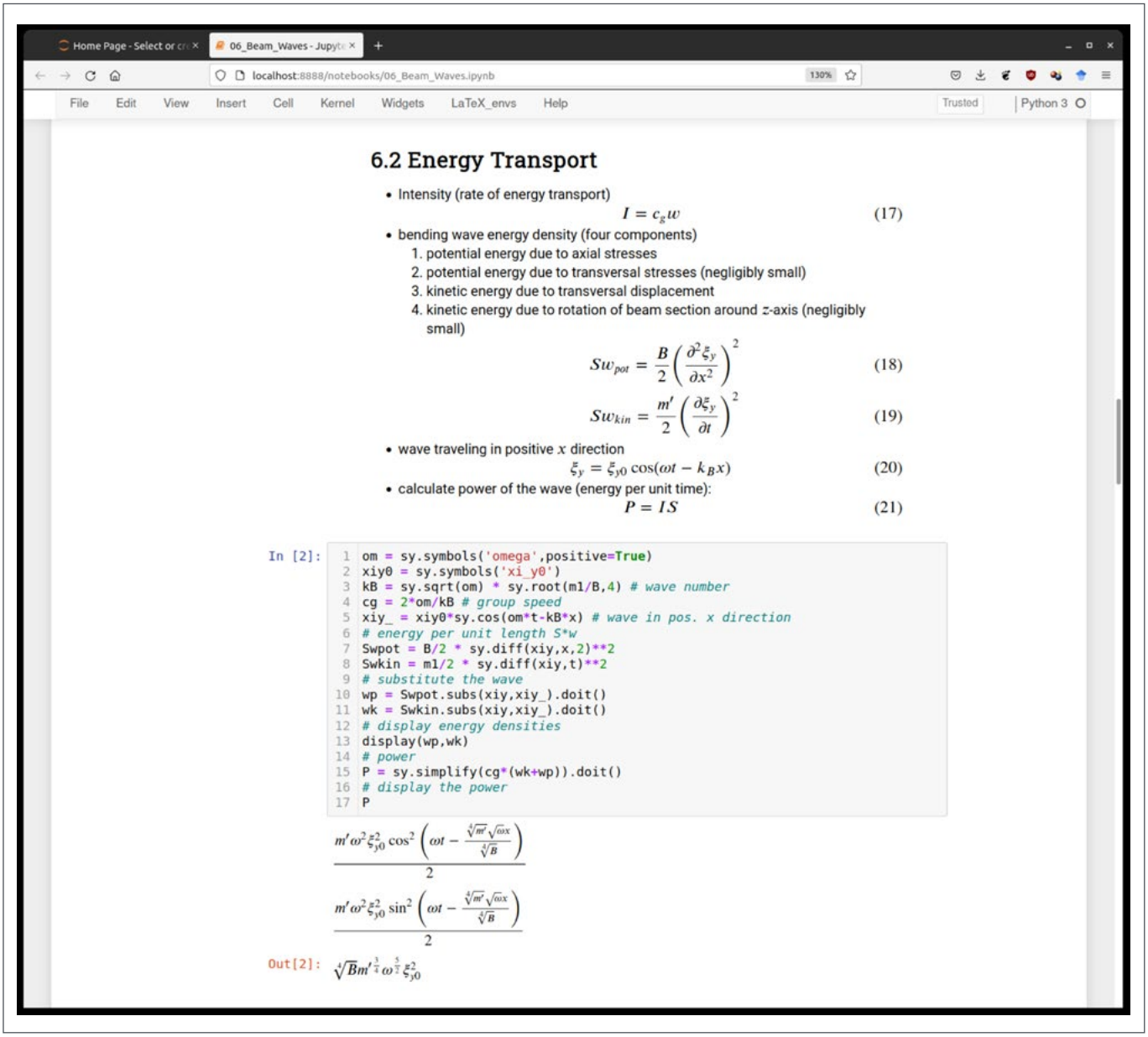
1. Einführung
2. Lineare Systeme
3. Wellengleichungen für Körperschall
4. Reflexion ebener Wellen
5. Plattenwellen
6. Wellen auf Balken
7. Punktimpedanzen
8. Transmission über Plattenstossstellen
9. Dämpfung und Dämpfungsbelege
10. Wellen auf endlichen Balken
11. Wellen auf endlichen Platten
12. Statistische Energieanalyse
13. Anwendung der SEA

Umsetzung

Ein wesentliches Element bei der Umsetzung des Konzepts sind die verwendeten Lehrmaterialien. Die übliche Form eines Vorlesungsskriptes erlaubt jedoch nur sehr begrenzt eine direkte Interaktion bzw. muss diese Interaktion durch die lernende Person vollständig selbst organisiert werden. Einen Ausweg bietet ein Vorlesungsskript, das interaktive Elemente mit einbaut oder sogar vollständig interaktiv ist. Ein solches vollständig interaktives Vorlesungsskript lässt sich mit Hilfe von JUPYTER-Notebooks realisieren. JUPYTER ist ein Projekt [5], das quelloffene Software für interaktive wissenschaftliche Berechnungen und Datenauswertungen bereitstellt. Zentral ist dabei das JUPYTER-Notebook, ein elektronisches Dokumentformat, das Text, mathematische Formeln und Abbildungen mit ausführbarem Programmcode, Visualisierungen und interaktiven Steuerelementen einer grafischen Benutzeroberfläche verbindet. Text und Formeln können über eine simple Markdown-Formatierung gestaltet werden, während für den Programmcode verschiedene Programmiersprachen verfügbar sind (insbesondere JUlia, PYThon und R, aus denen sich das Projektakronym zusammensetzt). Die Notebooks können also wie ein interaktives Buch eingesetzt werden, welches nicht nur interaktive Elemente enthält, sondern vom Nutzer vollständig bearbeitet werden kann.

Durch den Einsatz von JUPYTER-Notebooks an Stelle des Vorlesungsskripts wird es möglich, neben den erklärenden Texten auch Berechnungen und Herleitungen bereitzustellen, in die beim Lernen direkt eingegriffen werden kann. Darüber hinaus können Sachverhalte auch als interaktiv veränderbare Abbildungen und Diagramme oder sogar als interaktiv veränderbare Animationen begreifbar gemacht werden. Mit Bezug auf die erwähnten Besonderheiten beim Thema Körperschall bringt das insbesondere folgende Vorteile mit sich:

- Für langwierige und komplizierte Herleitungen können alle Schritte, die im Grunde nur aus längst bekannten und geübten mathematischen Umformoperationen bestehen, durch computergestützte Formelmanipulation ersetzt werden (siehe Abb. 7). So ist bei der Behandlung der Herleitungen die Konzentration auf die wesentlichen Überlegungen möglich.
- Notwendige numerische Berechnungen können „live“ umgesetzt werden (siehe Abb. 8). Das demonstriert zum einen unmittelbar die praktische Umsetzung einer solchen Berechnung (der Quellcode ist einsehbar) und zum anderen ist das wesentlich überzeugender als die bloße Angabe von Ergebnissen aus der Literatur.
- Verschiedene Diagramme, Abbildungen und Animationen werden interaktiv gesteuert (siehe Abb. 9). Damit werden gerade kompliziertere Zusammenhänge viel besser sichtbar und erlebbar als das mit einfachen Abbildungen der Fall wäre.



6.2 Energy Transport

- Intensity (rate of energy transport)

$$I = c_g w \tag{17}$$

- bending wave energy density (four components)
  1. potential energy due to axial stresses
  2. potential energy due to transversal stresses (negligibly small)
  3. kinetic energy due to transversal displacement
  4. kinetic energy due to rotation of beam section around z-axis (negligibly small)

$$Sw_{pot} = \frac{B}{2}\left(\frac{\partial^2 \xi_y}{\partial x^2}\right)^2 \tag{18}$$

$$Sw_{kin} = \frac{m'}{2}\left(\frac{\partial \xi_y}{\partial t}\right)^2 \tag{19}$$

- wave traveling in positive x direction

$$\xi_y = \xi_{y0}\cos(\omega t - k_B x) \tag{20}$$

- calculate power of the wave (energy per unit time):

$$P = IS \tag{21}$$

In [2]:

```
om = sy.symbols('omega',positive=True)
xiy0 = sy.symbols('xi_y0')
kB = sy.sqrt(om) * sy.root(m1/B,4) # wave number
cg = 2*om/kB # group speed
xiy_ = xiy0*sy.cos(om*t-kB*x) # wave in pos. x direction
# energy per unit length S*w
Swpot = B/2 * sy.diff(xiy,x,2)**2
Swkin = m1/2 * sy.diff(xiy,t)**2
# substitute the wave
wp = Swpot.subs(xiy,xiy_).doit()
wk = Swkin.subs(xiy,xiy_).doit()
# display energy densities
display(wp,wk)
# power
P = sy.simplify(cg*(wk+wp)).doit()
# display the power
P
```

$$\frac{m'\omega^2\xi_{y0}^2\cos^2\left(\omega t - \frac{\sqrt[4]{m'}\sqrt{\omega x}}{\sqrt[4]{B}}\right)}{2}$$

$$\frac{m'\omega^2\xi_{y0}^2\sin^2\left(\omega t - \frac{\sqrt[4]{m'}\sqrt{\omega x}}{\sqrt[4]{B}}\right)}{2}$$

Out[2]: $\sqrt[4]{B}m'^{\frac{3}{4}}\omega^{\frac{5}{2}}\xi_{y0}^2$

Abb. 7: Beispiel für computergestützte Formelmanipulation. Die in einer Biegewelle transportierte Energie setzt sich aus mehreren Anteilen zusammen. Für die Herleitung muss die Wellenfunktion mehrfach nach dem Ort und Zeit abgeleitet werden sowie in die Formel zur Berechnung der Intensität eingesetzt werden. Diese mathematischen Schritte werden durch den angegebenen Quellcode vom Computer erledigt. Ergebnis ist die Formel für die Leistung (bei Out[2]:).

- Da alle Teile des Notebooks bearbeitet werden können, kann der Text um einige Anmerkungen ergänzt werden und der Eingriff in den Quellcode erlaubt auf einfache Art und Weise eigene „Was wäre wenn?“-Rechenexperimente.

In den Notebooks wird als Programmiersprache Python [6] verwendet. Diese Programmiersprache ist sehr leicht zu erlernen, an Hochschulen und in der Industrie weit verbreitet und wird von vielen Studierenden bereits gut beherrscht. Für numerische Berechnungen, Formelmanipulation, grafische Darstellungen werden verschiedene Python-Pakete aus dem SciPy-Ökosystem [7] verwendet. Sämtliche eingesetzte Software ist für alle gängigen Betriebssysteme frei verfügbar und einfach zu installieren. Ebenfalls möglich ist eine Nutzung in der Cloud, so dass von jedem Webbrowser aus gearbeitet werden kann. Das Vorlesungsskript und jeglicher Quellcode darin sind ebenfalls unter freien Lizenzen (CC 4.0, MIT) verfügbar [8].

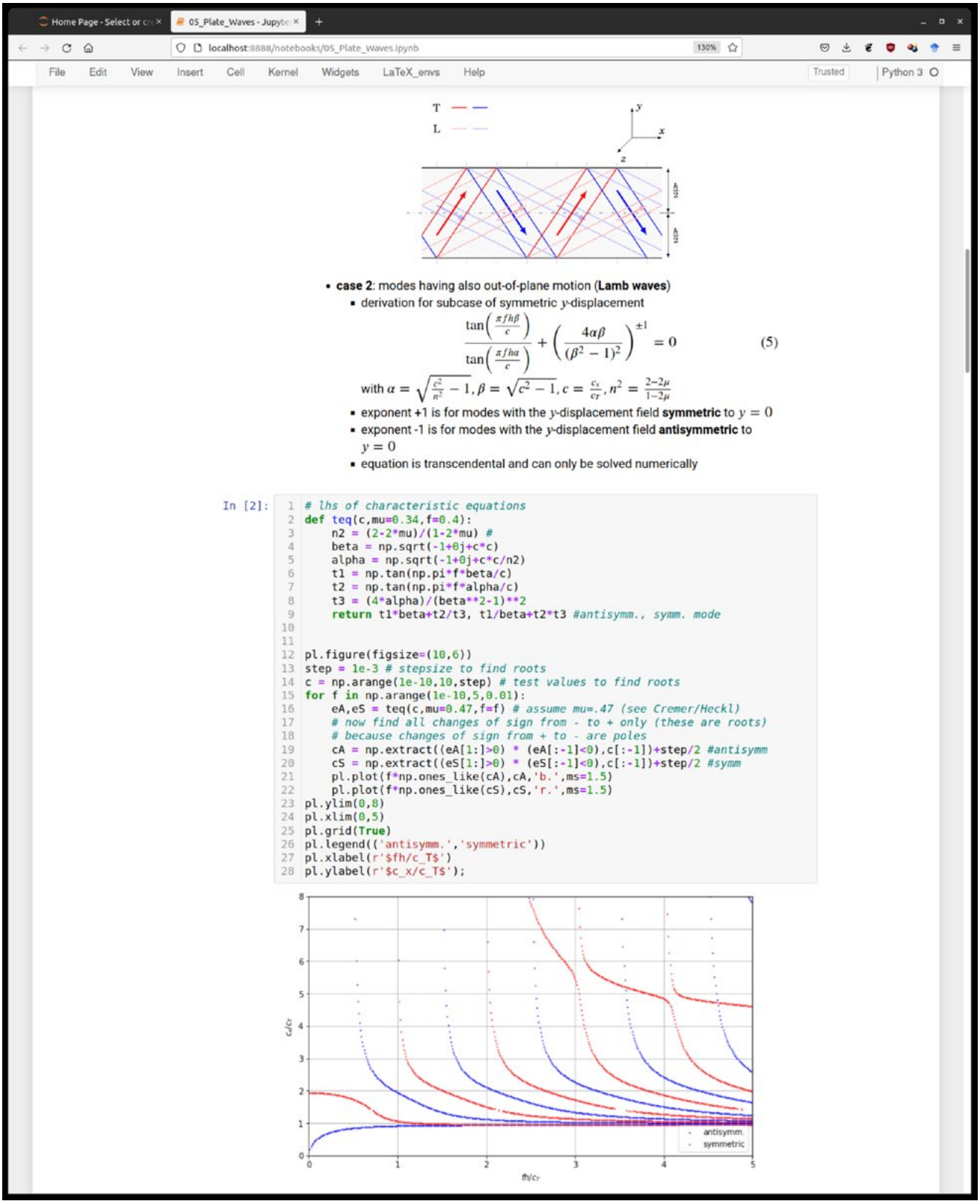
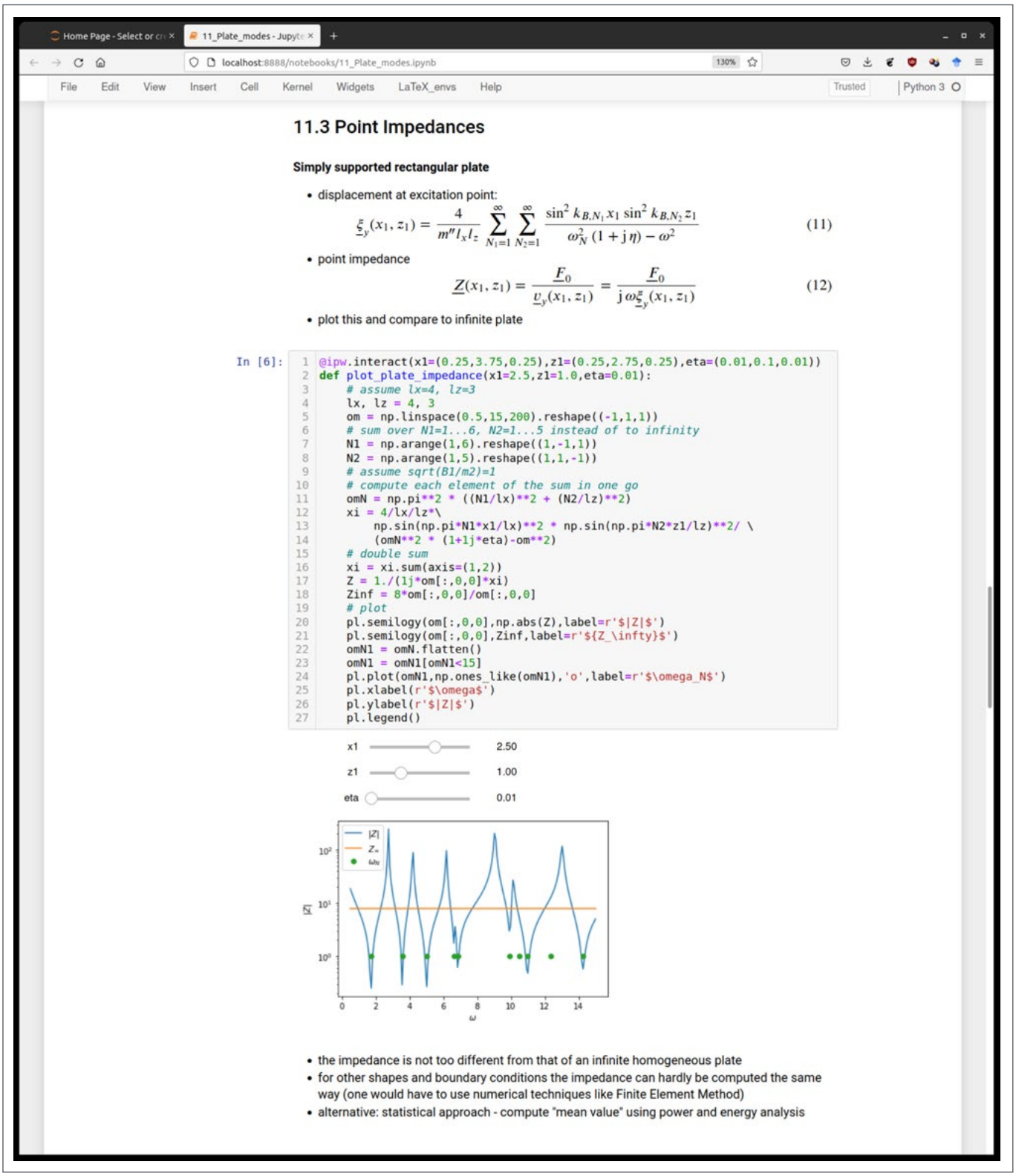


Abb. 8: Beispiel für numerische Berechnung. Auf Platten auftretende Lamb-Wellen sind bestimmte Moden in einem Wellenleiter, die sich aus Longitudinal- und Transversalwellen zusammensetzten, die jeweils an den freien Oberflächen reflektiert werden. Die sich aus diesen Überlegungen ergebende charakteristische Gleichung (5), mit der sich die Phasengeschwindigkeiten der einzelnen Wellen ermitteln lassen, ist transzendent. Der Quellcode zeigt die (näherungsweise) numerische Berechnung der Ergebnisse und die erzeugte zugehörige grafische Darstellung (Dispersionsdiagramm).



11.3 Point Impedances

Simply supported rectangular plate

- displacement at excitation point:

$$\underline{\xi}_y(x_1, z_1) = \frac{4}{m'' l_x l_z} \sum_{N_1=1}^{\infty} \sum_{N_2=1}^{\infty} \frac{\sin^2 k_{B,N_1} x_1 \sin^2 k_{B,N_2} z_1}{\omega_N^2 (1 + \mathrm{j}\,\eta) - \omega^2} \tag{11}$$

- point impedance

$$\underline{Z}(x_1, z_1) = \frac{\underline{F}_0}{\underline{v}_y(x_1, z_1)} = \frac{\underline{F}_0}{\mathrm{j}\,\omega \underline{\xi}_y(x_1, z_1)} \tag{12}$$

- plot this and compare to infinite plate

In [6]:

```
@ipw.interact(x1=(0.25,3.75,0.25),z1=(0.25,2.75,0.25),eta=(0.01,0.1,0.01))
def plot_plate_impedance(x1=2.5,z1=1.0,eta=0.01):
    # assume lx=4, lz=3
    lx, lz = 4, 3
    om = np.linspace(0.5,15,200).reshape((-1,1,1))
    # sum over N1=1...6, N2=1...5 instead of to infinity
    N1 = np.arange(1,6).reshape((1,-1,1))
    N2 = np.arange(1,5).reshape((1,1,-1))
    # assume sqrt(B1/m2)=1
    # compute each element of the sum in one go
    omN = np.pi**2 * ((N1/lx)**2 + (N2/lz)**2)
    xi = 4/lx/lz*\
        np.sin(np.pi*N1*x1/lx)**2 * np.sin(np.pi*N2*z1/lz)**2/ \
        (omN**2 * (1+1j*eta)-om**2)
    # double sum
    xi = xi.sum(axis=(1,2))
    Z = 1./(1j*om[:,0,0]*xi)
    Zinf = 8*om[:,0,0]/om[:,0,0]
    # plot
    pl.semilogy(om[:,0,0],np.abs(Z),label=r'$|Z|$')
    pl.semilogy(om[:,0,0],Zinf,label=r'${Z_\infty}$')
    omN1 = omN.flatten()
    omN1 = omN1[omN1<15]
    pl.plot(omN1,np.ones_like(omN1),'o',label=r'$\omega_N$')
    pl.xlabel(r'$\omega$')
    pl.ylabel(r'$|Z|$')
    pl.legend()
```


- the impedance is not too different from that of an infinite homogeneous plate
- for other shapes and boundary conditions the impedance can hardly be computed the same way (one would have to use numerical techniques like Finite Element Method)
- alternative: statistical approach - compute "mean value" using power and energy analysis

Abb. 9: Beispiel für ein interaktives Diagramm. Für eine rechteckige Platte lässt sich die Punktimpedanz für jeden Ort durch eine Summe über die Moden berechnen, (11) und (12). Diese Prozedur wird vom Quellcode umgesetzt, wobei die Koordinaten für die Punktimpedanz x1 und z1 sowie der Verlustfaktor interaktiv über die Schieberegler verändert werden können. Die sich ergebenden Frequenzverläufe der Punktimpedanz werden mit der für die unendliche Platte verglichen. So lässt sich herausfinden, dass zwar Punktimpedanzen unterschiedlich sind, sich im Mittel aber ein zur unendlichen Platte ähnlicher Wert ergibt.

Abb. 10: Vorderansicht R-Bau der Hochschule München mit VR-Kamera aufgenommen.

Aufbau eines virtuellen und interaktiven Akustikpraktikums mit Hilfe von VR-Technik

Johannes Weinzierl, Sebastian Greisinger, Maximilian Miltenberg

In den Bachelor- und Masterstudiengängen an der Hochschule München werden an der Fakultät Maschinenbau, Fahrzeug- und Flugzeugtechnik verschiedene Lehrmodule für Fahrzeugakustik und Technische Akustik angeboten. Diese setzen sich aus Vorlesungen und einem dazugehörigen Praktikum zusammen.

Durch die Pandemiesituation der letzten Semester und die Restriktion nur Onlinelehre durchführen zu können, hat sich deutlich gezeigt, dass Videokonferenzen zum Vermitteln von Inhalten der Akustikversuche im Praktikum, nur eingeschränkt geeignet sind.

Auf der Suche nach Alternativen zur Versuchsvorführung per Videokonferenz bieten die Darstellungstechniken von „Virtual Reality (VR)“ Möglichkeiten. Mit Interaktionsmöglichkeiten gekoppelt, erlaubt VR ein größeres Maß an Anschaulichkeit der Lehrinhalte. Außerdem können Studierende, die noch nie im Akustiklabor oder sogar an der Hochschule waren an einem kurzen virtuellen Rundgang teilnehmen, um die Räumlichkeiten kennenzulernen. Dafür wurden im Labor für Akustik und Dynamik eine 360°-Kamera, ein VR-Headset und Lizenzen für zwei verschiedene Softwaresuiten angeschafft. Bei der 360°-Kamera handelt es sich um eine Insta360 ONE X2, die auf der Vorder- und Rückseite jeweils eine Linse besitzt, welche die jeweiligen Aufnahmen zu einem umfassenden 360° Foto zusammenfügt (siehe Abb. 10).

Bei dem VR-Headset handelt es sich um eine HTC Vive Focus 3. Diese soll zum Testen und Durchführen des Praktikums während der Erstellungsphase verwendet werden. Alternativ ist es für die Studierenden ebenso möglich das Praktikum an einem PC

durchzuführen. Bei den verwendeten Softwarepaketen zur Erstellung des Praktikums handelt es sich um die „Virtual Reality Suite“ von present4D und „Captivate“ von Adobe.

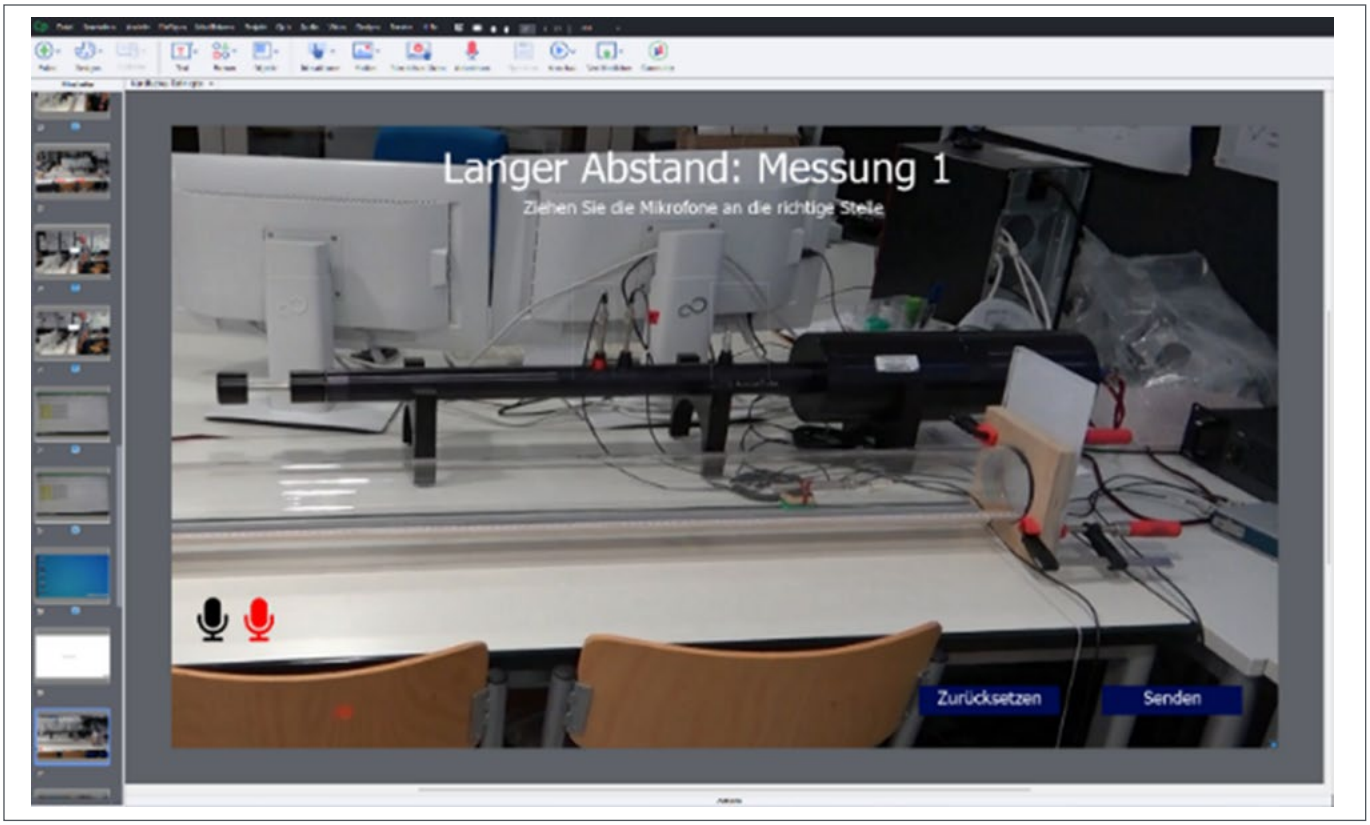
Die Programme unterscheiden sich dabei grundsätzlich in ihrem Aufbau. Die VR-Suite von present4D verwendet eine 360°-Umgebung, in der sich die Teilnehmenden umschauen und auf weitere Schauplätze des Labors wechseln können (siehe Abb. 11). Bei der Einblendung von 2D-Inhalten, z. B. Textfragen oder Videoeinspielungen, wird im 360-Grad-Umfeld ein Pop-up-Fenster angezeigt, welches die Inhalte wiedergibt. Das ermöglicht eine intuitive Bedienung ohne großen Aufwand bei der Erstellung der Inhalte. Dieses Programm ist sehr gut auf VR-Inhalte abgestimmt, bietet jedoch nur eingeschränkte Möglichkeiten bei der Erstellung von Ablaufschemata. Somit kann hier nur ein linearer Ablauf erstellt werden, der wie ein Film weiterläuft. Die Studierenden können hier also keine eigenen Entscheidungen treffen, sondern nur das Praktikum nach vorgegebenem Ablauf durchspielen.

Captivate von Adobe verwendet ähnlich MS Power Point Folien, welche man flexibel anordnen kann. In diesen Folien können verschiedene Inhalte, wie z. B. 360°-Fotos oder -Videos dargestellt und interaktive Folien gestaltet werden. So erlaubt z. B. Captivate Drag-and-Drop-Funktionen oder Fragen in Form eines Quiz zur Überprüfung des Lernstandes zu implementieren. Auch können von den Studierenden Entscheidungen getroffen werden, die den weiteren Verlauf des virtuellen Praktikums interaktiv beeinflussen. Diese Entscheidung kann dann entweder zu einem richtigen Ergebnis oder auch einem falschen führen. Man ist hier also wesentlich freier im Aufbau des Versuchs, allerdings ist hier die Verarbeitung der VR-Inhalte noch nicht optimal und man ist bei der Verwendung von VR-Inhalten noch teilweise eingeschränkt.

Abb. 11: Kundtsches Rohr in der VR-Suite

Bei der Entwicklung des digitalen Praktikums „Kundt´sches Rohr“ wird simultan mit den Softwarepaketen Adobe Captivate und Present4D VR-

Abb. 12: Drag-and-Drop in Adobe Captivate



Suite gearbeitet, um die jeweiligen Stärken beider Programme zu nutzen (siehe Abb. 12). Das fertige Lernpaket wird abschließend als HTML5 exportiert und kann von den Studierenden ohne zusätzliche Software im Webbrowser genutzt werden.
Geplant ist den Studierenden das Praktikum baldmöglichst zur Verfügung zu stellen, und weitere Akustikversuche, z. B. zur Ordnungsanalyse an Fahrzeugen, ebenso aufzuzeichnen und zu digitalisieren.

Ethik und Akustik

Monika Gatt

Die Lehre zur Ethik in der Akustik wird von drei Säulen getragen: erstens der Definition von Begriffen der Ethik, zweitens dem Erlernen der Theorien der Ethik inklusive der damit verbundenen Traditionen und drittens der Anwendung von Definitionen und Theorien auf aktuelle Beispiele in der Akustik. Die Ethik gehört zum Forschungs- und Lehrgebiet der Praktischen Philosophie und ist eine vollumfängliche wissenschaftliche Disziplin. Will man sich ethisch nachhaltig in der Ingenieurakustik positionieren, muss man die Philosophie dahinter verstanden haben. Will man im Ingenieurwesen, in der Akustik nachhaltige Produkte entwickeln, muss man die Mathematik und Physik dahinter verstanden haben.
Wir unterscheiden zunächst Ethik, Moral und Gewohnheit. Mit Ethik bezeichnen wir meist eine analytische Draufsicht auf Problemstellungen, die wir in DIN-Normen fixieren und mit Einschränkungen auch lösen. Normen sind weder wahr noch falsch, sie werden gesetzlich definiert und gelten sowohl im Allgemeinen als auch im Einzelfall. Mit Moral in der Akustik bezeichnen wir das tägliche menschliche Miteinander, zum Beispiel das Einhalten von Ruhezeiten in Wohngebieten. Mit Gewohnheit meinen wir zum Beispiel das Musizieren und das Meditieren. Wie wir ein Spannungsfeld in der Akustik beschreiben möchten und mit welchem Ziel wir Forschen, hängt maßgeblich davon ab, auf welcher Ebene wir eine Antwort der Ethik erwarten und einer Lösung entgegengehen möchten. Brauchen wir zum Lärmschutz und zu den Windkraftanlagen einen normativen Standpunkt oder interessiert uns die Ansicht der Bevölkerung, die unmittelbar von vorbeifahrenden Zügen oder einer Windkraftanlage betroffen ist?
Die beiden zentralen Begriffe der Ethik sind die Unantastbarkeit der menschlichen Würde und die Freiheit, als Werte sind sie gesetzlich und politisch unserer Gesellschaft grundgelegt. Die Würde ist insgesamt ein weiter Begriff, sie erstreckt sich deshalb auf alles Lebendige und alles Geistige. Hierzu gehört die Natur, die Pflanzen, die Tiere und das Universum, ebenso wie die Kultur, die Kunst, das Theater und die Naturwissenschaften.
Auf der Basis von Würde und Freiheit stehen die großen ethischen Lehren wie die Pflichtethik, die Tugendethik und der konsequentialistische Utilitarismus. Zudem sollte uns klar sein, ob wir die handelnde Person ethisch bewerten möchten, die Handlung selbst oder die Konsequenzen einer Handlung. Aktuell konfliktreich ist vor allem die frühzeitige Einschätzung der Technikfolgen. Auf der Abschätzung der Technikfolgen ruht die Verantwortungsethik. Wir sind ethisch dazu angehalten, vorhersehbare Folgen in den Konzeptionsprozess frühzeitig zu integrieren. Die Leistungsfähigkeit und Eleganz der Tugendethik besteht darin, dass sich Tugenden sowohl auf die handelnde Person als auch auf Maschinen sowie die Natur beziehen lassen. Beispiele für Tugenden sind Gerechtigkeit, Gastfreundschaft, Mut und die Fähigkeit zu Heilen. Der Kern der Kantischen Pflichtehtik ist zweifach, wir haben einerseits die Pflicht, uns an die gesetzlichen Normen in der Akustik zu halten und andererseits die Pflicht, unsere individuelle Begabung zum Ausdruck zu bringen. Der Utilitarismus lebt davon, dass das „größte Glück der höchsten Zahl“ zugewiesen werden soll und übersieht, dass Glück ein individuelles Gut darstellt. Ein:e Kranke:r wünscht sich Gesundheit, ein einsamer Mensch ein schönes Gespräch, wer Hunger hat, braucht Nahrung. Von daher stehen sich der „Technische Imperativ“, der „Ökologisch/Ökonomische Imperativ“ und der „Kategorische Imperativ“ spannungsreich gegenüber. Wenngleich viele technische Entwicklungen derzeit möglich sind, müssen wir diese nicht unhinterfragt umsetzen.
Von daher geht es in den Lehrveranstaltungen zur Ethik im Ingenieurwesen und in der Akustik darum, Orientierung zu finden und weiterzugeben, um in Zukunft verantwortungsbewusst und nachhaltig in einer friedlichen Gesellschaft zu leben.

Literatur

[1] Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V.: „Mindestkanon: Akustik in der Bachelor-Ausbildung“. DEGA-Empfehlung 102. 2009.

[2] EAA Schola
https://euracoustics.org/schola

[3] Pitsch, S.: „Acoustics – Toolbox for Teaching“. Fortschritte der Akustik – DAGA 2022, Stuttgart, DEGA Berlin 2022.

[4] Pitsch S.: „Acoustics” Toolbox, MATLAB Central File Exchange, 2021.
https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/75360-acoustics.

[5] Project Jupyter
https://jupyter.org/

[6] Python
https://www.python.org/

[7] SciPy
https://scipy.org/

[8] Lecture notes structure borne sound
https://github.com/acoular/structure-borne-sound-lecture

Prof. Dr.-Ing. Stefan Sentpali
Hochschule München

Prof. Dr.-Ing. Malte Kob
Hochschule für Musik Detmold

Johanna Bronek
Weiterbildungszentrum an der Hochschule München

Prof. Dr.-Ing. Stephan Pitsch
Hochschule Reutlingen

Prof. Dr.-Ing. Ennes Sarradj
Technische Universität Berlin

Johannes Weinzierl (B.Sc.)
Hochschule München

Sebastian Greisinger (B.Sc.)
Hochschule München

Maximilian Miltenberger (M.Sc.)
Hochschule München

Dr. phil. Monika Gatt
Technische Universität München

Ehrungen der DEGA

Auf der DAGA 2022 verlieh die DEGA folgende Auszeichnungen

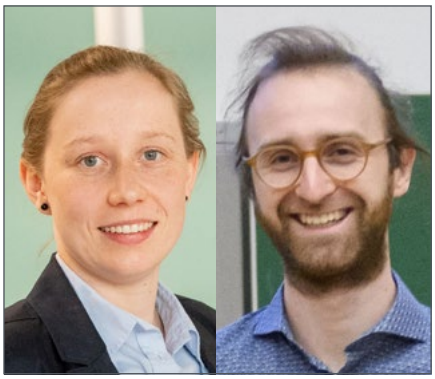
Helmholtz-Medaille für Prof. Jürgen Hellbrück

Auf der Eröffnungsfeier zur Tagung DAGA 2022 in Stuttgart am 22. März 2022 überreichte der Präsident der DEGA, Prof. Jesko Verhey, die Helmholtz-Medaille an den Preisträger, Prof. Dr. Jürgen Hellbrück, für seine herausragenden Beiträge in der psychologischen Akustik.
Die Laudatio wurde gehalten von Prof. Sabine Schlittmeier, Aachen (siehe S. 50) ■

Lothar-Cremer-Preis für Dr. Christian Adams

Auf der Eröffnungsfeier zur Tagung DAGA 2022 in Stuttgart am 22. März 2022 überreichte der Präsident der DEGA, Prof. Jesko Verhey, den Lothar-Cremer-Preis an den Preisträger, Dr.-Ing. Christian Adams, für seine wegweisenden Arbeiten auf dem Gebiet der Maschinenakustik.
Die Laudatio wurde gehalten von Prof. Tobias Melz, Darmstadt (siehe S. 51). ■

DEGA-Studienpreise 2022



Im Rahmen der diesjährigen Tagung DAGA 2022 wurden die folgenden herausragenden Abschlussarbeiten auf dem Gebiet der Akustik mit dem DEGA-Studienpreis ausgezeichnet:

- M. Sc. Wiebke Middelberg (links) für ihre Masterarbeit „GSC-Based Noise and Interferer Reduction for Binaural Hearing Aids Exploiting External Microphones“ an der C.-v.-O.-Universität Oldenburg, und an
- B. Sc. Nils Rummler (rechts) für seine Bachelor-Arbeit “Comparison of Multi-Exponential Decay Constant Estimation Methods” an der RWTH Aachen. ■

Posterpreise der DAGA 2022

Im Rahmen der Tagung DAGA 2022 in Stuttgart wurden wieder die besten Poster durch eine Jury prämiert. Die Übergabe der Preise fand am 24.03.2022 vor dem Plenarvortrag statt.
Gewonnen haben die Poster der folgenden Erstautorinnen/-autoren:

- Sarah Johannesmann (“Estimation of viscoelastic material parameters of polymers using Lamb waves”)
- Philipp Ostmann („Numerische Untersuchung des aeroakustischen Verhaltens eines generischen Schlitzauslasses“)
- Braj Bhushan Prasad („Vergleich verschiedener granularer Materialien und Mixturen für die Anwendung in partikelbasierten Schwingungsdämpfern“)

Wir gratulieren den Preisträgerinnen und Preisträgern und hoffen, auch in den kommenden Jahren viele weitere herausragende Poster auszeichnen zu können. ■

DEGA-Lärmschutzpreis erstmals vergeben

Im Rahmen der Tagung DAGA 2022 in Stuttgart wurde am 23. März 2022 erstmals der neue DEGA-Lärmschutzpreis durch den Präsidenten der DEGA, Prof. Jesko Verhey, an Dr. Ysbrand Wijnant von der Firma 4Silence B.V. (stellvertretend für das Gewinner-Team) übergeben.
Eine kurze Laudatio wurde gehalten von Dr. Christian Beckert, dem Vorsitzenden des Arbeitsrings Lärm der DEGA (siehe Seite 52). Anschließend stellte Dr. Wijnant das Projekt selbst vor (siehe Tagungsband der DAGA 2022, Manuskript auf Seite 604). ■

Laudatio für Prof. Jürgen Hellbrück

Sehr geehrter Vorstand der DEGA,
meine sehr geehrten Damen und Herren,
lieber Herr Professor Hellbrück,
die Deutsche Gesellschaft für Akustik hat beschlossen Dir, lieber Jürgen, die Helmholtz-Medaille zu verleihen. Es ist mir eine große Ehre und es ist mir eine große Freude, vor den hier versammelten Mitgliedern der DEGA die Laudatio halten zu dürfen.

Mit Herrn Prof. Jürgen Hellbrück ehrt die Deutsche Gesellschaft für Akustik einen Psychologen, für den – qua Profession wie Berufung – der Mensch immer im Mittelpunkt seiner Forschung und seiner Beiträge zur Akustik stand; in seiner Forschung zur Wirkung der akustischen Umwelt auf menschliches Erleben und Verhalten, auf die menschliche Wahrnehmung, auf das subjektive Empfinden und auf kognitive Leistung.

Jürgen Hellbrück ist Wahrnehmungspsychologe, Psychophysiker, Kognitionspsychologe und Umweltpsychologe, Lärmwirkungsforscher – und in all diesen Felder mit Leib und Seele Phänomenologe und Experimentalpsychologe.

Jürgen Hellbrück hat ab 1970 in Würzburg studiert. Das war einerseits ein Lehramtsstudium und andererseits ein Studium der Diplom-Psychologie. Letzteres hast Du im Jahr 1976 abgeschlossen, bist der Universität Würzburg aber zunächst weiterhin treu geblieben. Du hast bei Prof. Otto Heller promoviert und Deine Assistentenzeit dort am damaligen Institut für Psychologe III verbracht. In diesen Jahren war die zentrale Frage Deines Forschens, wie das Psychische, wie Wahrnehmungseindrücke, subjektive Empfindungen messbar gemacht werden können – und das möglichst genau und verzerrungsfrei. Und wie dieses methodische Wissen und methodische Entwicklungen zur Skalierung des menschlichen Lautheitsempfindens außerhalb des Labors nutzbar gemacht werden können, für Anwendungsfragen wie bei der Hörgeräteanpassung bzw. Hörfeldaudiometrie. In diesen Jahren an der Universität Würzburg hast Du das auch heute weiterhin verwendete sog. Würzburger Hörfeld bzw. die Würzburger Hörfeldskalierung mitentwickelt.

Mit der Habilitation im Fach Psychologie im Jahr 1986 endete Jürgen Hellbrücks Zeit an der Universität Würzburg. Und es folgten einige Jahre, die man durchaus als Wanderjahre bezeichnen kann. Professor Hellbrück ging für mehrere Jahre als Fellow der Alexander-von-Humboldt-Stiftung und der Japan Society for the Promotion of Science (JSPS) in das ferne Japan. Und zwar an die Universität Osaka zu Professor Seiichiro Namba und Professorin Sonoko Kuwano in das Laboratory of Auditory Perception. Japan und Würzburg: Das war und ist ja nicht nur geographisch eine große Distanz, sondern auch kulturell und sozial. Den Kontakt nach Deutschland und in die Heimat zu halten war damals noch viel schwerer als heutzutage. Und so waren diese Jahre in Japan 1986–1988 in mehrerlei Hinsicht herausfordernd und sehr prägend für Dich. Du bist dort einerseits in die kognitive Lärmwirkungsforschung eingetaucht und andererseits in die japanische Kultur, die Du mit Kochmütze und eigens importierten deutschen Linsen ausgestattet in einem japanischen Pub in Osaka an vielen Abenden als Koch bereichert hast.

Aber es zog Dich zurück nach Deutschland, so dass Du sehr gerne das Angebot von Prof. August Schick angenommen hast, an die Universität Oldenburg zu kommen. Dort hattest Du dann 1988 eine Vertretungsprofessur am Institut zur Erforschung von Mensch-Umwelt-Beziehungen und konntest auch darüber hinaus erst einmal dort forschen und lehren, zum einen im Bereich auditiver Wahrnehmung und Skalierungsverfahren, zum anderen verstärkt in der kognitiven Lärmwirkungsforschung.

Auch zu dieser Zeit in Oldenburg bist Du wochenends oft und gerne nach Würzburg gefahren: Würzburg als ein „Lebens-Mittelpunkt“. Und das ist auch so geblieben, als Du dann 1991 – nach einem kurzen Zwischenstopp an der Universität Konstanz mit einer weiteren Professurvertretung – als ordentlicher Professor in Eichstätt berufen wurdest. Zunächst als Professor für Umwelt- und Gesundheitspsychologie, später kam dann noch die Arbeitspsychologie hinzu.

In den dann kommenden über 20 Jahren an der Katholischen Universität Eichstätt-Ingolstadt hat sich Professor Hellbrück auf die kognitive Lärmwirkungsforschung und die Umweltpsychologie konzentriert, aber auch weiterhin zu Skalierungsmethoden geforscht, und dann schließlich auch zur menschzentrierten Gestaltung der multimodalen Mensch-Maschine-Interaktion. Die Akustik bzw. die Schnittstelle zwischen Akustik und Psychologie zogen sich als Querschnittsthemen durch nahezu alle Forschungsprojekte. Auch entstanden in dieser Zeit zwei große Lehrbücher, die nach wie vor einschlägig in ihren Bereichen sind: Das Buch Hören – ein interdisziplinäres Werk zu Physiologie, Psychologie und Pathologie, das Du in der zweiten Auflage dann zusammen mit Prof. Wolfgang Ellermeier veröffentlicht hast. Und das Lehrbuch Umweltpsychologie, das auch mehrmals aufgelegt wurde.

In diesen Eichstätter Jahren hast Du viele peer-reviewed Zeitschriftenartikel zu Deinem Forschungsbereich der kognitiven Lärmwirkungsforschung veröffentlicht. Dabei hast Du gerne die scheinbar simple Frage gestellt: „Stört Lärm kognitive Leistung?” Und beim gemeinsamen Nachdenken aufgezeigt, dass das zu einfach gedacht ist. Ich möchte an dieser Stelle gar nicht mehr zu Deinen Forschungsbeiträgen zur auditiven Kognition verraten, da ich mir sicher bin, dass wir – Sie und ich – im heutigen Festvortrag von Dir, lieber Jürgen, spannende Einsichten dazu erhalten werden.

Professur Hellbrück hat seine Forschung immer auf grundlagenwissenschaftliche, allgemeingültige Erkenntnisse ausgerichtet – das hat jedes methodisch streng geplante und strikt durchgeführte Experiment von Dir ausgezeichnet. Und zugleich hast Du immer die Anwendung, die praktische Relevanz im Blick gehabt, genauso wie die Frage nach dem „Warum”. „Warum” sind die Dinge so, wie sie sind? Die Frage nach der Funktion bestimmter Eigenheiten des menschlichen Gehörs, von Präferenzen bspw. bei Produktschallen aber auch vermeintlicher Unzulänglichkeiten der auditiven Kognition hat Dich immer fasziniert.

Dazu muss man natürlich, und das hast Du immer getan, über den Tellerrand

der eigenen Disziplin blicken und die interdisziplinäre Zusammenarbeit suchen. Und so ist es nicht verwunderlich, dass Du während Deiner Zeit an der Katholischen Universität Eichstätt-Ingolstadt nochmals als Gastprofessor nach Japan zurückgekehrt bist, mehrere Monate als Fellow am Hanse-Wissenschaftskolleg in Delmenhorst verbracht hast, und auch ein halbes Jahr als Gastwissenschaftler bei der Robert Bosch GmbH im „Ländle". Du hast an den Lärmrichtlinien der Arbeitsstättenverordnung mitgearbeitet und Dich im Forschungsverbund „Leiser Verkehr" wie auch im Rahmen der Fluglärmstudie „NORAH" der Erkundung der negativen Effekte von Verkehrslärm auf menschliches Erleben und Verhalten gewidmet.

Es war Dir immer ein Anliegen, Wissen weiterzugeben – aber noch viel mehr, zum Denken, zum Nachdenken, zum Hinterfragen anzuregen. Das habe ich selbst in vielen Gesprächen, zuerst als Studentin, dann als Doktorandin und schließlich als Habilitandin unheimlich schätzen gelernt. Und so wusstest Du uns, Deine wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, für die Psychoakustik, die auditive Kognitionspsychologie und die Lärmwirkungsforschung zu begeistern, so dass viele von uns auf dieser von Dir geschürten Begeisterung und basierend auf Deinen Beiträgen selbst eine wissenschaftliche Karriere aufbauen konnten. Dafür möchte ich Dir hier persönlich DANKE sagen.

Auch seit Deiner Emeritierung im Jahr 2015 bringst Du Dich und Dein Wissen weiterhin für die Gesellschaft und uns alle ein, z. B. im Rahmen von Vorträgen zum Thema Lärm, durch Dein Buch „Lauter Schall", das Du zusammen mit Professor Rainer Guski geschrieben und 2018 veröffentlicht hast, durch Diskussionsrunden und Buch-Besprechungen, die Du organisierst, und als Sprecher der Spielleitung für das Burgtheater in Freudenberg, wo das Haus Deiner Kindheit steht, das Dir nun als weiterer Wohnsitz dient – neben Würzburg.

Lieber Jürgen, vielen Dank für alles, was Du für die Akustik geleistet hast. Und für Deine Inspiration, für Deinen Weitblick, für Deinen Überblick, der viele von uns motiviert hat zur Suche nach neuen Erkenntnissen im Bereich der Akustik. Meine Damen und Herren, haben Sie herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit. ■

Sabine Schlittmeier

■ Laudatio für Dr. Christian Adams

Lieber Christian,
ich freue mich, dass ich die heutige Laudatio für Dich übernehmen darf.

Zunächst bedanke ich mich, dass die Deutsche Gesellschaft für Akustik mit dem Lothar-Cremer-Preis in einem strengen Auswahlverfahren herausragende Leistungen junger Menschen im Bereich der Akustik würdigt. Und umso mehr freue ich mich, dass nun Herr Adams diesen Preis für seine Forschungsarbeiten in der Maschinenakustik verliehen bekommt. Diese Arbeiten hat Herr Adams im Rahmen seiner Promotion sehr weitgehend vorangetrieben und entwickelt sie seitdem neben zahlreichen anderen Aufgaben stetig weiter.

Herr Adams wurde 1986 geboren, hat an der Hochschule Koblenz als Jahrgangsbester sein Bachelorstudium im Mechanical Engineering abgeschlossen und ist dann an die TU Darmstadt gewechselt, um dort sein Studium des Mechanical and Process Engineerings als M. Sc. abzuschließen. Anschließend wollte er sich weiter der Forschung widmen, hat sich gleichzeitig und früh in die Lehre eingebracht, und ich habe das Vergnügen gehabt, seine Promotion an meinem Fachgebiet betreuen zu dürfen. Dass er die Arbeit mit sehr wertvollen Ergebnissen, mit sehr guten, spannenden Veröffentlichungen begleitet und dann sehr klar mit „summa cum laude" abgeschlossen hat, war mir daher eine große Freude. Dass er nun den Lothar-Cremer-Preis verliehen bekommt, ist toll! Ich freue mich sehr!

Herr Adams hat seine Promotion dem Thema der Ähnlichkeits- und Sensitivitätsanalysen als Beiträge zu Modellgesetzen in der Maschinenakustik gewidmet. Er hat dabei erstmals Ähnlichkeits- und numerische Sensitivitätsanalysen miteinander kombiniert, dies mit dem Ziel, akustische Modellgesetze auch dann ableiten zu können, wenn das dynamische Verhalten der betrachteten Strukturen nicht durch analytisch formulierbare Bewegungsdifferentialgleichungen angegeben werden kann – was aber Voraussetzung für die Anwendbarkeit „klassischer" Ähnlichkeitsanalysen ist. Im Ergebnis seiner Arbeit können globale und lokale akustische Zielfunktionen von geometrisch unvollständig ähnlichen Strukturen mit für Ingenieursanwendungen ausreichender Genauigkeit auf skalierte Strukturen übertragen werden. Dabei hat sich Herr Adams auch der Bewertung der Genauigkeit der Skalierungsmethode gewidmet und eine geeignete Bewertungsgröße entwickelt und validiert, die sich als gegenüber alternativen Bewertungsgrößen erheblich vorteilhaft zeigt und Effizienzvorteile in der vorausschauenden Produktentwicklung bietet.

Was mich grundsätzlich beeindruckt hat, ist die konsequente wissenschaftliche Vorgehensweise, der hohe eigene Leistungsanspruch und auch der klare Praxisbezug, den er im Rahmen seiner Arbeit unbedingt herstellen wollte – und hat.

Im Ergebnis hat Herr Adams am Beispiel einer geometrisch unvollständig ähnlichen Getriebebaureihe gezeigt, dass sich eben die von ihm entwickelte Skalierungsmethode für Problemstellungen der industriellen Praxis anwenden lässt. Hier zielt sein Verfahren auf frühe Phasen des Produktentwicklungsprozesses ab, in denen viele Parameter noch nicht festgelegt und damit in Richtung günstiger akustischer Produkteigenschaften noch gut beeinflusst werden können. Und an diese Ergebnisse knüpft er in seiner weiteren Forschung auch an.

Mit Abschluss seiner hervorragenden Promotion habe ich Herrn Adams gebeten, die weitere Gestaltung der Forschungsausrichtung des Fachgebiets gemeinsam mit mir zu prägen, dies mit besonderem Fokus auf unsere maschinenakustische Forschung. Und es ist schlicht eine große Bereicherung, dass er dies seit Oktober 2019 mit großem Engagement tut.

Dabei ist zum einen anzumerken, dass wir beide in kurzer Zeit eine vertrauensvolle Achse aufgebaut haben, dass Herr Adams sich sehr schnell in einer beson-

ders anspruchsvollen Corona-Zeit in die Aufgaben eingearbeitet und seitdem viele Veränderungen erlebt und gemanagt hat. Denn in dieser Phase haben wir zum einen den Neubau eines Akustik-Technikums genießen und verkraften dürfen, wir haben einen Standortumzug und einen Neustart von Team und neuer Labortechnik umgesetzt und all das haben wir in Corona-Zeiten getan, d. h. mit zahllosen Sondersituationen, virtueller Lehre, hoher Veränderungsdynamik, immer neuen, gut einzuhaltenden Regelungen, die nötig waren.

Bei aller intensiver, konzentrierter Arbeit ging dabei das Lachen nicht verloren. Und in diesem Kontext erinnere ich mich gern an schöne und wertvolle Momente, z. B. eine längere Dienstreise Ende 2021, die wir im Kontext eines Kickoff-Treffens eines DFG-Projekts machten und die die Reise mit vielen interessanten und erfrischenden Gesprächen zu einem schönen, sehr kurzweiligen Erlebnis werden ließen.

Neben großer fachlicher Anerkennung meinerseits hat Herr Adams meinen sehr großen Respekt vor dem insgesamt Geleisteten, vor dem stetigen Engagement für das Team, für seine Forschung, sein wissenschaftliches Netzwerk aber unbedingt auch für die Studierenden und den weiteren Nachwuchs.

Dass Herr Adams nun den Lothar-Cremer-Preis verliehen bekommt, freut mich sehr. Ich danke der DEGA und den Gutachtenden, dass sie Herrn Adams ausgewählt haben und den Preis verleihen. Lieber Christian, ich halte Deine Ehrung für hochverdient und freue mich auf Deine weitere spannende wissenschaftliche Entwicklung – und auch auf eine weiterhin so gute fachlich-inhaltliche und persönlich-vertrauensvolle Zusammenarbeit, wie ich sie heute erlebe! Vielen Dank! ■

Tobias Melz

■ DEGA-Lärmschutzpreis: Laudatio

Die Deutsche Gesellschaft für Akustik (DEGA) hat eine lange Tradition und eine hohe Kultur in der Vergabe von Preisen für herausragende Leistungen auf dem Gebiet der Akustik, wie auch auf der diesjährigen Akustik-Tagung DAGA 2022 zu erleben war. Bislang wurden diese Preise einzelnen Personen für ihre exzellenten Beiträge zur wissenschaftlichen Akustik verliehen. Seit dem International Year of Sound 2020/2021 gibt es nun zwei neue Preise, mit denen auch praktische, umgesetzte und innovative Beiträge ausgezeichnet werden sollen:

- der DEGA-Preis für Kommunikationsräume (siehe *https://www.dega-akustik.de/preis-fuer-kommunikationsraeume*)
- der DEGA-Lärmschutzpreis (siehe *https://www.dega-akustik.de/laerm-schutzpreis*)

Der DEGA-Lärmschutzpreis wurde vom Arbeitsring Lärm der DEGA (ALD) initiiert. Er wird vergeben für innovative und realisierte Lösungen für den städtebaulichen Lärmschutz, d. h. die Minderung des Umgebungslärms (von Straßen, Schienenwegen, dem Luftverkehr, von Gewerbe und Industrie- sowie Freizeitanlagen) im öffentlichen Raum. Die Preisvergabe soll das nach wie vor unterentwickelte Lärmbewusstsein stärken und den Katalog von Lärmschutzmaßnahmen erweitern. Initiator des Preises ist der Stadtplaner Jochen Richard, der an eine frühere Preisverleihung des Deutschen Arbeitsrings für Lärmbekämpfung (DAL) – quasi die Vorgängerorganisation des ALD – anknüpft.

Prämiert werden sowohl lärmarme Produkte und Verfahren als auch umfassende städtebauliche Lösungen, wie sie in kommunalen Lärmaktionsplanungen oder anderen städtebaulichen Projekten zu finden sind. Es ist dem ALD deshalb eine besondere Freude, dass heute der erste DEGA-Lärmschutzpreis vergeben wird. Der Preisträger war zwar schon zum Tag gegen Lärm 2021 bestimmt worden, wegen der Corona-Pandemie hat sich aber die konkrete Preisverleihung verzögert.

Sie haben soeben von Herrn Wijnant gehört, wie durch Einbindung des Diffraktions-Effektes in die Konstruktion einer Schallschutzwand deren Wirkung deutlich verbessert werden kann. Schallschutzwände sind leider in vielen Fällen keine architektonischen Highlights. Da ist noch eine Menge zu tun, um sie besser in das Stadt- bzw. Landschaftsbild einzupassen. Wenn eine Schallschutzwand neben ihrer Schirmwirkung und der Absorption die Beugung an der Oberkante durch eine schallweiche Ausführung die Schallausbreitung so verändert, dass sie mit etwas geringerer Bauhöhe gegenüber der Standardausführung auskommt, so ist das in mehrfacher Hinsicht positiv, und zwar nicht nur in Bezug auf eine einfachere Bauausführung, sondern auch architektonisch.

Daher freue ich mich, dass die Firma 4Silence aus der Idee ein praxistaugliches und marktreifes Produkt schuf, dass hoffentlich breite Anwendung findet und dass nun dieser gelungene Technologietransfer durch den Präsidenten der DEGA, Herrn Prof. Verhey, mit dem DEGA-Lärmschutzpreis ausgezeichnet wird. ■

Christian Beckert
Michael Jäcker-Cüppers

Menschen

Ehrungen, Nachruf und Gratulationen

Rudolf-Martin-Ehrenurkunde für Dr. Thomas Fedtke

Bei der Rudolf-Martin-Ehrenurkunde handelt es sich um eine hohe Auszeichnung durch den DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärmminderung und Schwingungstechnik (NALS). Im Rahmen der Eröffnungsfeier zur Tagung DAGA 2022 in Stuttgart wurde die Urkunde an den diesjährigen Preisträger, Dr.-Ing. Thomas Fedtke, durch den Vorsitzenden des NALS, Hon.-Prof. Dr. Volker Wittstock, verliehen.

Thomas Fedtke stammt aus Halle an der Saale und studierte Akustik und Messtechnik an der Technischen Universität Dresden. Im Jahr 1991 ging er an die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) nach Braunschweig und nahm dort eine Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Labor Hörschall auf. 1998 promovierte er an der RWTH Aachen zum Thema „Breitbandige Methoden zur Bestimmung der komplexen Übertragungsfunktion von Mikrophonen". Seit 2005 leitet Dr. Fedtke die PTB-Arbeitsgruppe „Hörschall" und befasst sich u. a. mit der Messtechnik in diesem Fachgebiet sowie mit der Begutachtung von akkreditierten Kalibrier-Laboratorien.

Auch in der Normung ist Thomas Fedtke als Mitglied in zahlreichen Normungsgremien sehr engagiert. So ist er seit vielen Jahren beim IEC/TC 29 „Electroacoustics" deutscher Delegierter sowie Convenor der internationalen Arbeitsgruppen „Head and ear simulators" und „Threshold of hearing". Beispielsweise hat er hierbei maßgeblich dazu beigetragen, dass Schallkalibratoren präzise und zuverlässig arbeiten, oder dass die Kurven gleichen Lautstärkepegels sowie die Audiometerkalibrierung stets an den aktuellen Forschungsstand angepasst werden. Der NALS freut sich, Dr. Fedtke die Rudolf-Martin-Ehrenurkunde für seine hervorragenden Verdienste um die Normung der Elektro- und Psychoakustik sowie der Audiometrie verleihen zu dürfen. ■

Verstorben

Prof. Dr. Armin Kohlrausch, Eindhoven (NL),
Träger der Helmholtz-Medaille (2017) und Ehrenmitglied der DEGA (2019), siehe Nachruf rechts

Prof. Dr. Frank Fahy, Southampton (UK),
Träger der Helmholtz-Medaille (2008)

Dr. Charles E. Schmid, Bainbridge Island (USA),
Ehrenmitglied der DEGA (2014) ■

Wir gratulieren

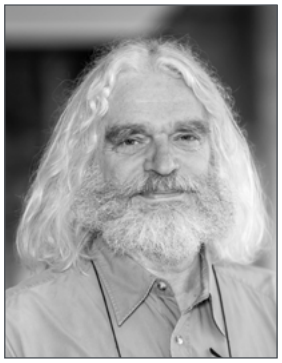
zum 80. Geburtstag (Mai 2022):
Prof. Dr. Werner Lauterborn,
Träger der Helmholtz-Medaille (2013) ■

Personalien

Prof. Dr.-Ing. Martin Dannemann ist seit Oktober 2021 Professor für Fahrzeugmesstechnik und Technische Akustik an der Westsächsischen Hochschule Zwickau. ■

Nachruf Prof. Dr. Armin Kohlrausch

*12.12.1953, †25.03.2022



Armin Kohlrausch war ein herausragender, weltweit anerkannter Wissenschaftler und Hörforscher, ein großartiger Mentor und Kollege und stete Inspirationsquelle auch für viele Studierende und NachwuchsforscherInnen. Armin Kohlrausch war ein begeisterter Wissenschaftler, voller Neugierde, mit Liebe zum Detail sowohl bei grundlegenden theoretischen Fragestellungen als auch beim Design neuer experimenteller Paradigmen. Er war ein kritischer Kopf, der gerne an etablierten Konzepten rüttelte und stets am Kern des Problems interessiert war. Auch wenn es kontrovers zuging, war er immer voller Respekt gegenüber anderen, inspirierend und motivierend. Armin Kohlrausch war ein sehr offener und herzlicher Mensch. Jemand, mit dem man gerne seine (vielleicht noch unreifen) Ideen und Anliegen diskutieren wollte und dem man anmerkte, dass er auch selbst Spaß daran hatte. Armin ist am 25. März 2022 im Alter von 68 Jahren unerwartet und viel zu früh von uns gegangen.

Armin Kohlrausch wurde am 12.12.1953 in Bremen geboren. Er studierte Physik in Göttingen (1973–1980) und promovierte anschließend (1981–1984) am Dritten Physikalischen Institut bei Prof. Manfred Schroeder im Bereich der binauralen Wahrnehmung. Zwischen 1985 bis 1990 war er Wissenschaftlicher Assistent und Akademischer Rat in Göttingen und mitverantwortlich für Forschung und Lehre in den Bereichen Psychoakustik und Raumakustik. 1991 wechselte Armin an das „Institute for Perception Research" (IPO) in Eindhoven, das als gleichberechtigte Träger das Philips Forschungslabor sowie die Technische Universität Eindhoven (TUE) hatte. 1994 wurde Armin Kohlrausch Professor für auditorische und multi-sensorische Wahrnehmung an der TUE. Armin war schon früh, und über viele Jahre, in der DEGA (und auch der EAA) engagiert. Er war Leiter des Fachausschusses Hörakustik, Vorstandsmitglied, Koordinator des Pro-

jektes zur Geschichte der Psychoakustik in Deutschland, aber eben auch Autor sehr vieler wissenschaftlicher Beiträge vor allem zur physiologischen und psychologischen Akustik.

2017 wurde Armin Kohlrausch von der Deutschen Gesellschaft für Akustik (DEGA) die Helmholtz-Medaille verliehen – als Anerkennung für seine herausragenden Beiträge und sein Lebenswerk in den Bereichen der binauralen Psychoakustik, auditorischen Modellierung, multi-sensorischen Wahrnehmung, sowie der technischen Anwendung grundlegender Prinzipien unserer Hörwahrnehmung. Es gab (mindestens) drei sehr wesentliche Abschnitte in Armin Kohlrauschs wissenschaftlichem Wirken.

Die Göttinger Jahre im Anschluss an sein Studium waren sicher prägend für ihn und auch wegweisend für einen Teil seiner späteren Arbeiten. In der Göttinger Zeit, die durchaus inspiriert von einigen Ideen Manfred Schroeders war, entstanden neue Ansätze und Initiativen auch im interdisziplinären Feld zwischen Mathematik, Raumakustik, Psychoakustik und Sprachverarbeitung. Armin Kohlrauschs Hauptaugenmerk lag dabei auf der Analyse der zeitlichen Verarbeitung beim Hören, insbesondere der Erforschung der dispersiven Eigenschaften des Innenohres, der Cochlea, wobei er mit Hilfe von Modellrechnungen den Phasengang und die komplexe Übertragungsfunktion unserer „auditorischen Filter“ ableiten konnte. Diese Arbeiten haben weltweit etliche weitere Studien sowohl in der Psychophysik als auch der Physiologie und in den Neurowissenschaften inspiriert. Zudem arbeitete Armin bereits in seiner Göttinger Zeit an der Verarbeitung von modulierten Schallen im Gehör und im Gehirn. Diese Arbeiten bildeten später die Grundlage für Durchbrüche im Bereich der auditorischen Modellierung.

Nach der kreativen Phase in Göttingen begann Armin Kohlrauschs zweite große Phase, die man als außergewöhnlich produktiv bezeichnen kann. Am IPO in Eindhoven baute Armin seine Arbeitsgruppe auf und hatte viele Freiheiten für seine Forschung. Diese Zeit war geprägt von bemerkenswerten Erkenntnissen und einschlägigen Publikationen seiner Gruppe insbesondere zur binauralen Signalverarbeitung im Gehör, die ja unser räumliches Hören ausmacht. Auch hier hatte Armin wieder einen „genialen“ Ansatz gewählt und mit cleveren Signalen gezeigt, dass es keine prinzipiell unterschiedliche Abbildung von binauraler (räumlicher) Information im Gehirn bei hohen Frequenzen (z. B. 4 kHz) im Vergleich zu tiefen Frequenzen (z. B. 500 Hz) gibt, im Gegensatz zu allen seinerzeit gängigen Konzepten und Theorien. Auch diese Erkenntnisse haben im Anschluss diverse neue Studien in den Bereichen Psychophysik, Physiologie und auditorische Modellbildung hervorgerufen. Zudem hat Armin Kohlrausch in dieser Zeit in Zusammenarbeit mit Kollegen der Universität Oldenburg an Projekten zur Modulationswahrnehmung gearbeitet. Auch hier hat Armin Analysen aus anderen Bereichen (z. B. zur Einhüllendenstatistik von Rauschprozessen) auf die Signalanalyse von fluktuierenden Schallen im menschlichen Gehör übertragen. Das hat letztlich, wiederum mithilfe kreativer Stimulationsparadigmen, viel zur Idee der Modulationsfilterbankzerlegung im Gehör, und generell viel zu unserem heutigen Verständnis der Signalanalyse beim Hören sowie der Sprachwahrnehmung in komplexen akustischen Umgebungen beigetragen.

Armins dritte große Schaffensphase begann, als er zum Philips Forschungslabor wechselte und seine Arbeiten wesentlich angewandter ausgerichtet waren als am IPO. Hier arbeitete er demnach stärker im Spannungsfeld zwischen Forschung und akademischer Arbeit auf der einen Seite und technischen Anwendungen auf der anderen Seite. Armins Schwerpunkte lagen dann vor allem in den Bereichen der („low-bit rate“) Audio-Kodierung und MPEG-Standardisierung, der parametrischen Stereokodierung für MPEG „surround“ sound, des „musical informational retrieval“ z. B. in Bezug auf die Klassifikation von Musik genre-basierend auf auditiven Merkmalen, sowie der virtuellen Akustik, der auditorischen Szenenanalyse und nicht zuletzt der audio-visuellen Wahrnehmung. Als „Quereinsteiger“ in die audio-visuelle Wahrnehmung entwickelte er neue Ansätze zur Messung und Verarbeitung von „synchronen“ auditorischen und visuellen Signalen und konnte zeigen, wie wichtig es ist, zwischen der Empfindlichkeit für eine Asynchronizität (an sich) und der Neigung, eine bestimmte Asynchronizität zu tolerieren, zu unterscheiden. Sein Fokus lag hier vor allem auf den methodischen Feinheiten und die haben die Grundlage geschaffen für eine neue Interpretation zuvor publizierter Daten.

Armin Kohlrauschs großartige Beiträge zur Wissenschaft bleiben uns erhalten. Seine Begeisterung für wissenschaftliches Arbeiten und Vermitteln, seine Vorbildfunktion als Forscher und Mentor werden uns in Erinnerung bleiben und haben viele von uns inspiriert. Wir verlieren dennoch einen fantastischen Kollegen, Mentor und Freund und werden ihn schmerzlich vermissen. Dankeschön für alles, Armin. ■

Torsten Dau

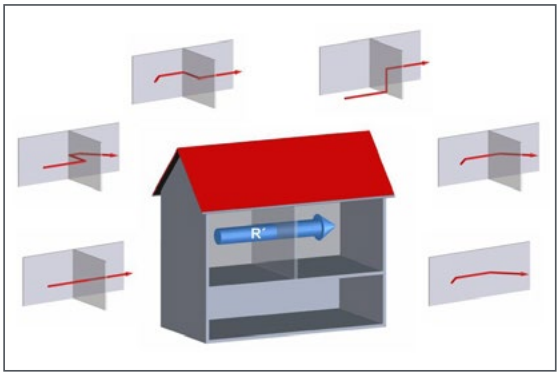
Veranstaltungen

Veranstaltungshinweise

26.09.–28.09.2022

DEGA-Akademie

Kurs „Bauakustik – von den Grundlagen zur Anwendung“



Der Kurs „Bauakustik – von den Grundlagen zur Anwendung“ findet im Jahr 2022 an zwei Terminen (16.–18.05. / 26.–28. 09.) jeweils 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
- Hon.-Prof. Dr.-Ing. Volker Wittstock, PTB Braunschweig

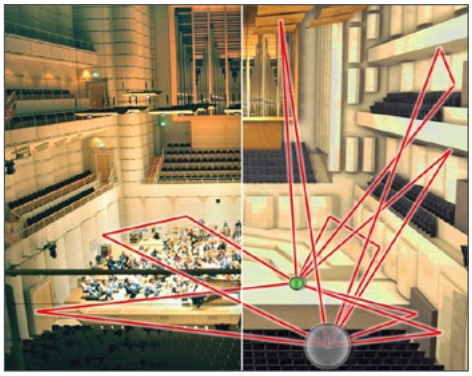
Veranstaltungsort:
Haus der Wissenschaft Braunschweig,
Pockelsstraße 11,
38106 Braunschweig
http://www.hausderwissenschaft.org

Programm, Leistungen, Gebühren und Anmeldung:
siehe *https://www.dega-akustik.de/aktuelles*

04.10.–07.10.2022

DEGA-Akademie

Kurs „Raumakustik und Beschallungstechnik“



Der Kurs „Raumakustik und Beschallungstechnik“ findet wieder vom 04.–07.10.2022 in Aachen statt. Er richtet sich an Interessierte u. a. aus der technischen Raumplanung, Ingenieurwesen, Ton- und Medientechnik und der Architektur mit Aufgaben in den Gebieten:

- raumakustische Planung und Optimierung von Konzert- oder Theatersälen, Stadthallen etc.,
- Einrichtung und Betreuung von Beschallungsanlagen.

Die ersten drei Kurs-Stunden werden in Form von Online-Tutorials (vor Kursbeginn) vermittelt; der Kurs beginnt in Präsenz am 4. Oktober um 13:00 Uhr.

Leitung und Referenten:

- Prof. Dr. rer. nat. Michael Vorländer (Leitung), Institut für Hörtechnik und Akustik, RWTH Aachen
- Dr.-Ing. Lukas Aspöck, Institut für Hörtechnik und Akustik, RWTH Aachen
- Dipl.-Ing. Ingo Witew, Institut für Hörtechnik und Akustik, RWTH Aachen
- Dr.-Ing. Gottfried Behler, Institut für Hörtechnik und Akustik, RWTH Aachen
- M. Sc. Marco Berzborn, Institut für Hörtechnik und Akustik, RWTH Aachen
- Prof. Dr.-Ing. Alfred Schmitz, IFAA – Institut für Akustik und Audiotechnik, Herzogenrath / Grevenbroich
- Prof. Dr.-Ing. Anselm Goertz, IFAA – Institut für Akustik und Audiotechnik, Herzogenrath / Grevenbroich

Veranstaltungsort:
Hotel Ibis Marschiertor,
Friedlandstr. 6-8,
52064 Aachen

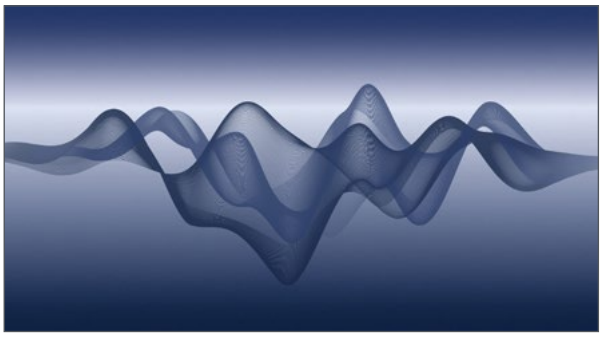
Programm, Leistungen, Gebühren und Anmeldung:
siehe *https://www.dega-akustik.de/aktuelles*

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

09.11.–11.11.2022

DEGA-Akademie

Kurs „Soundscape – Konzeption, Standardisierung und Anwendungen in der Praxis“



Der Kurs „Soundscape – Konzeption, Standardisierung und Anwendungen in der Praxis“ findet erstmals vom 9.–11.11.2022 als Online-Kurs statt. Er richtet sich an Architekturbüros, Stadtplanende, Messstellen und Beratungsbüros. In den letzten Jahren hat die Soundscape-Forschung aufgrund der erfolgten Standardisierung (Reihe DIN-ISO 12913) in der Praxis der Stadtplanung und auch in der Politik an Zustimmung gewonnen. Im Gegensatz zum Grundprinzip des klassischen Immissionsschutzes, dass z. B. ein bestimmter Schalldruckpegel von Verkehrsgeräuschen zu einer bestimmten Wirkung führt, strebt das Konzept Soundscape an, den spezifischen Kontext zu berücksichtigen. In der DIN-ISO 12913-1 ist Soundscape definiert als eine akustische Umgebung, die durch eine Person oder durch eine Gruppe von Menschen im Kontext wahrgenommen, erfahren und/oder begriffen wird. Der Kurs vermittelt das notwendige Wissen über die Vorgehensweisen in der Forschung und Anwendung von Soundscape in der Praxis unter Berücksichtigung der aktuellen Standards „Anforderungen an die Datenerhebung und die Dokumentation (DIN-ISO/TS 12913-2:2018)“ und „Datenanalyse (DIN-ISO/TS 12913-3:2019)“ und aktueller Forschungserkenntnisse.

Leitung und Referierende:

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

Programm, Leistungen, Gebühren und Anmeldung:
siehe beiliegendes Faltblatt und *https://www.dega-akustik.de/aktuelles*

14.11.–15.11.2022

15. DEGA-Symposium

Erneuerbare Energien und Lärmschutz

Das 15. DEGA-Symposium findet am 14.11. und 15.11.2022 in Berlin statt.

Seit dem 7. DEGA Symposium (2013) zum Thema Energiewende und Lärmschutz sind neun Jahre vergangen. In Anbetracht der aktuellen Situation in Bezug auf Klima, Umwelt, Energie und Politik hat das Thema heute eine erhöhte Aktualität. Der Druck, kurzfristig effiziente Lösungen als technische Voraussetzung für die Energiewende bereit zu stellen, ist enorm gewachsen. Die Realisierung der Energiewende stellt eine entscheidende gesellschaftliche Aufgabe dar und ist zugleich eine hohe Herausforderung für die wirtschaftliche Entwicklung in den nächsten Jahren.

Betroffen sind neben der Energieerzeugung und -speicherung in großem Ausmaß Energieanlagen in der Gebäudetechnik. Die Notwendigkeit, mit einer breiten Nutzung alternativer Energiequellen die Treibhausgasemissionen drastisch zu senken, ist zwar unbestritten, doch die neuen Technologien bringen andere Umweltbelastungen mit sich. So sind Windkraftanlagen und Wärmepumpen auch Quellen von Umgebungslärm, die ein hohes Konfliktpotenzial in der betroffenen Bevölkerung erreichen. Lösungen sind durch den Einsatz neuer, aber auch bewährter Schallschutztechnologien möglich, insbesondere auch bei der Entwicklung, Planung und Installation derartiger Anlagen. Gehen Lösungen, die dem Stand der Akustik zur Minderung der Geräuschemission entsprechen, in die Konstruktion, Fertigung und Aufstellung der genannten Geräte und Anlagen ein, so verbessert dies die öffentliche Akzeptanz und vereinfacht behördliche Genehmigungsverfahren.

So ist das Ziel des diesjährigen Symposiums, eine Brücke zu schlagen zwischen dem aktuellen Stand der Forschung und Entwicklung der Geräuschentstehung, -ausbreitung und -wahrnehmung im Einsatz von Anlagen erneuerbarer Energien und den Begutachtungen. Das 15. DEGA-Symposium bietet hierfür einen breiten Raum mit Diskussionen zu Fragen von rechtlichen, organisatorischen, planerischen und technischen Aspekten, um die Geräuschentstehung zu mindern und auf diese Weise den Schutz gegen Lärm zu stärken. Es leistet damit einen Beitrag, Entscheidungs- und Beurteilungsgrundlagen der Behörden zu verbessern und zuverlässiger abzusichern, was einen wichtigen Baustein für den Einsatz neuer Technologien und Verfahren auf Basis erneuerbarer Energien bildet.

Aufgrund der hohen Aktualität und des Umfangs der Thematik wird das diesjährige Symposium in zwei Tage aufgeteilt. Inhalt des ersten Tages ist die Akustik von Energieanlagen in der Gebäudetechnik. Der zweite Tag richtet den Fokus auf Windenergieanlagen. Verantwortlich für das Programm ist der Vorstand der DEGA (Koordination: Stefan Becker), zusammen mit dem Arbeitsring Lärm der DEGA (ALD) und den Fachausschüssen „Bau- und Raumakustik", „Fahrzeugakustik" und „Lärm: Wirkungen und Schutz". Die Veranstaltung wird gefördert durch das Umweltbundesamt und das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz.

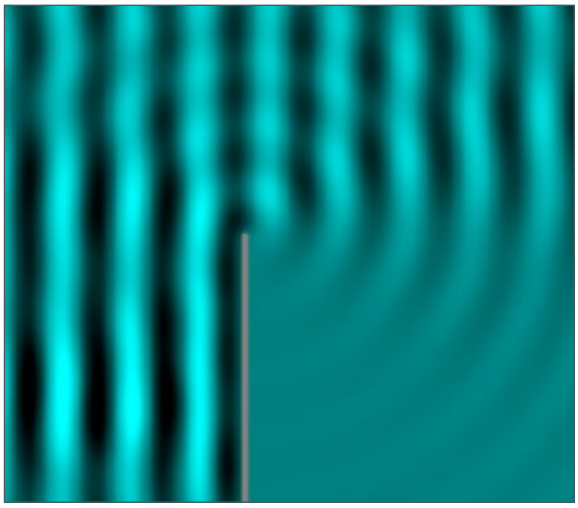
Veranstaltungsort:
Hessische Landesvertretung,
In den Ministergärten 5,
10117 Berlin
https://landesvertretung.hessen.de

Programm und Anmeldung:
siehe *https://www.dega-akustik.de*

23.11.–24.11.2022

DEGA-Akademie

Kurs „Grundlagen der Technischen Akustik"



Der Kurs „Grundlagen der Technischen Akustik findet am 23. und 24. November 2022 in Berlin statt.
Er richtet sich an Beschäftigte von Industriefirmen, Beratungsbüros und Behörden, die im Bereich Akustik tätig sind und ihre Kenntnisse und Fähigkeiten im Bereich der Grundlagen der Technischen Akustik festigen wollen. Außerdem sind alle diejenigen angesprochen, die in ihrer Tätigkeit erstmals mit Fragestellungen der Technischen Akustik konfrontiert sind und sich deshalb entsprechendes Grundlagenwissen auf diesem Gebiet aneignen wollen.

Kursleitung:
- Dr.-Ing. Judith Galuba, Normungsmanagement Akustik, Berlin
- Prof. Dr-Ing. Ennes Sarradj, TU Berlin, Institut für Strömungsmechanik und Technische Akustik

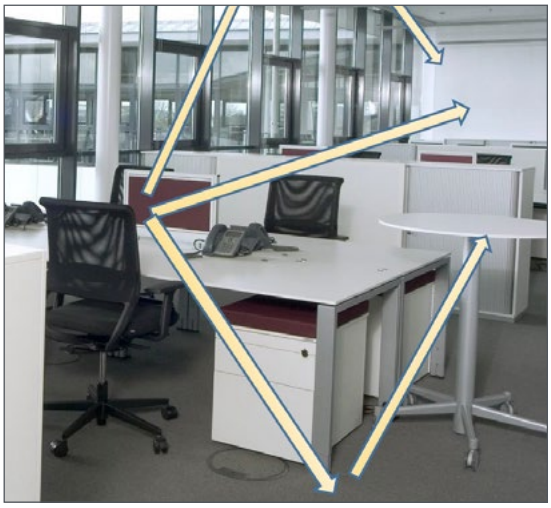
Veranstaltungsort:
DIN Deutsches Institut für Normung e. V.,
Burggrafenstraße 6,
10787 Berlin

Programm, Leistungen, Gebühren und Anmeldung:
siehe beiliegendes Faltblatt und *https://www.dega-akustik.de/aktuelles*

28.11.2022

DEGA-Akademie

Kurs „Raumakustik kompakt“



Der Kurs „Raumakustik kompakt“ findet wieder am 28. November 2022 in Braunschweig 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.

Leitung und Referent:

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

Veranstaltungsort:
Haus der Wissenschaft Braunschweig,
Pockelsstraße 11,
38106 Braunschweig
http://www.hausderwissenschaft.org

Programm, Leistungen, Gebühren und Anmeldung:
siehe beiliegendes Faltblatt und *https://www.dega-akustik.de/aktuelles*

Auf der Webseite finden Sie ab Sommer 2022 auch diejenigen Ingenieurkammern, die den Kurs als Fortbildungsveranstaltung anerkennen. ■

■ Vorschau

06.–09.03.2023

DAGA 2023

49. Jahrestagung für Akustik

HAMBURG, DAS „TOR ZUR WELT“
Nach der DAGA 2001 und der INTER-NOISE 2016 geht mit der DAGA 2023 ein weiteres Mal ein akustisches Schwergewicht in der norddeutschen Metropole vor Anker. Die Freie und Hansestadt Hamburg ist seit Jahrhunderten geprägt durch ihren Hafen. Über den drittgrößten Containerhafen Europas und größten Seehafen Deutschland erfolgt mehr als 40 % des deutschen Seegüterumschlags, so dass Hamburg im wahrsten Sinn des Wortes Deutschlands „Tor zur Welt“ darstellt. Die Verleihung des Hafenrechtes im Jahr 1189 und die florierende Hansezeit führten zu einem regen Austausch mit unterschiedlichsten Kulturen und Kontakten in die ganze Welt. Diese Offenheit und Vernetzung hat die Stadt über Jahrhunderte geprägt und ist heute nach wie vor spür- und erlebbar. Zusammen mit seiner norddeutschen Herzlichkeit bietet Hamburg somit einen idealen Rahmen für das alljährliche Zusammentreffen und den Austausch der großen akustischen Gemeinschaft aus Deutschland und den Nachbarländern.
Die vielen Besucher in Hamburg kommen jedoch nicht nur wegen des maritimen Flairs. Zwischen Alster und Elbe lässt sich in der zweitgrößten Stadt Deutschlands ein lebendiges urbanes Großstadtflair entdecken, das zum Bummeln und Verweilen einlädt. Mit der imposanten Elbphilharmonie, der legendären Reeperbahn und dem urigen Fischmarkt gibt es echte Highlights, die man nirgendwo sonst erleben kann. Die Nähe zum Wasser, das viele Grün, die kurzen Wege und die Kombination aus angesagtesten neuen Trends und alten hanseatischen Traditionen machen Hamburg zu einer rundum erlebenswerten Destination.

Die DAGA 2023 findet im Congress Center Hamburg (CCH) statt. Durch die Lage mitten im Herzen von Hamburg zwischen Alster, dem Park „Planten un Bloomen“ und der Innenstadt besteht eine hervorragende Anbindung an den öffentlichen Nah- und Fernverkehr. In direkter Umgebung befinden sich

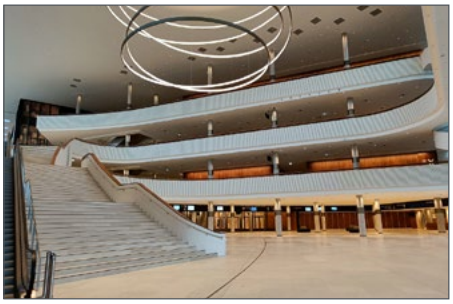
viele Übernachtungsmöglichkeiten sowie diverse kulinarische und touristische Entdeckungen. Das CCH selbst präsentiert sich nach mehrjähriger umfassender Modernisierung als eines der größten und modernsten Veranstaltungszentren in Europa und bietet ausreichend Platz und alle erdenklichen Annehmlichkeiten für eine rundum gelungene DAGA.
Zusammen mit unserem Team freuen wir uns schon sehr darauf, Sie bald in Hamburg begrüßen und Ihre Gastgeber für die DAGA 2023 sein zu dürfen

Otto von Estorff und Stephan Lippert

Zentrale Termine

- Ab September 2022: Anmeldung zur Teilnahme und Einreichung von Poster- und Vortragsanmeldungen
- 1. November 2022: letzter Termin für die Anmeldung von Vorträgen und Postern (Abstracts)
- 31. Januar 2023: letzter Termin Anmeldung für die Anmeldung zu den günstigen „frühen“ Teilnahmegebühren
- Februar 2023: Veröffentlichung von Konferenz-App und Tagungsprogramm
- 06.–09. März 2023: Tagung DAGA 2023
- 06. März 2023: Vorkolloquien zur DAGA, DEGA-Mitgliederversammlung
- Frühjahr 2023: Alle Teilnehmende erhalten per E-Mail den Online-Zugang zum Tagungsband

Veranstaltungsort



CCH – Congress Center Hamburg
Congressplatz 1
20355 Hamburg
https://www.cch.de

Vorkolloquien

- Numerische Verfahren in der Strömungsakustik
- BEM für komplexe akustische Fragestellungen
- Methoden in der Flugzeugakustik

Rahmenprogramm

Wir planen einen geselligen Abend in der Mensa der Universität Hamburg, nur wenige Schritte entfernt vom CCH und dem Dammtor Bahnhof. Auch die traditionelle Jam-Session soll wieder mit an Bord sein.
https://www.daga2023.de/programm/rahmenprogramm

Daneben werden auch wieder verschiedene Fachexkursionen zu Hamburgs akustischen Besonderheiten angeboten.
Der gesellige Abend und die meisten Exkursionen sind in der Teilnahmegebühr enthalten.

Anmeldung zur Tagung und Gebühren
Ab Herbst 2022 unter *https://www.daga2023.de/registrierung*

Beitragsanmeldung
Vorträge und Poster (Abstracts) können ab September bis zum 1. November 2022 über diese Seite eingereicht werden:
https://www.daga2023.de/autoren

Ausstellung und Sponsoring
Die wissenschaftliche Tagung wird in langjähriger Tradition von einer Firmenausstellung begleitet, die Unternehmen die Möglichkeit bietet, ihre Produkte und Dienstleistungen vorzustellen. Wir möchten Sie außerdem herzlich einladen, die DAGA durch Werbung, durch Sponsoring oder durch eine Spende zu unterstützen. Gern können Sie Ihre eigenen Vorschläge und Ideen einbringen. Nähere Information folgen ab diesem Herbst hier:
https://www.daga2023.de/ausstellung

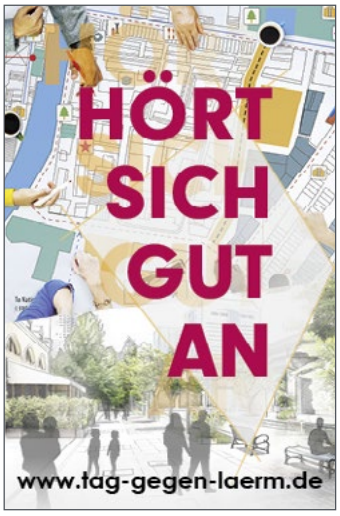
Kontakt und Information
Julia Schneiderheinze (DEGA-Geschäftsstelle)
E-Mail: tagungen@dega-akustik.de
Webseite: *https://www.daga2023.de*
Tel: 030 / 340 60 38 04

Veranstaltungsrückblick

27.04.2022

Hört sich gut an

25. Tag gegen Lärm 2022



Am 27. April 2022 fand der 25. Tag gegen Lärm – International Noise Awareness Day unter dem Motto „Hört sich gut an“ statt.

25 Jahre Tag gegen Lärm! Ein Feiertag? Ja und nein: es ist viel passiert rund um das Thema Lärm in den letzten Jahren. Die akustische Lebensqualität in Deutschland wurde nachhaltig verbessert. Trotzdem belasten Geräusche in vielen Alltagssituationen bis hin zu Erkrankungen. Der Handlungsbedarf ist offenkundig. Auch nach 25 Jahren war es daher wichtig, am Tag gegen Lärm die Forderung zu erneuern, notwendige Schritte zur Verbesserung der akustischen Umwelt anzustoßen.

In diesem Jahr wurde besonders die Partizipation von Bürgerinnen und Bürgern in den Fokus gerückt. Denn in vielen Bereichen des Immissionsschutzes, z. B. in der Lärmaktionsplanung, können und sollen sich Bürgerinnen und Bürger für eine gute und akzeptable akustische Umwelt aktiv in Planungsprozesse einbringen. Diese Fortschritte bei der Mitwirkung der Öffentlichkeit „hören sich gut an“. Die Expertise der Betroffenen mit ihren Ortskenntnissen und Bedarfen ist gefragt, um die langfristige Akzeptanz von Planungsvorhaben zu erreichen und bürgernahe, zukunftsorientierte Stadtentwicklung auf den richtigen Weg zu bringen.

Neue Herausforderungen im Lärmschutz und neue technische Entwicklungen im Kontext von Partizipation standen daher im Mittelpunkt der zentralen Veranstaltung „Ein Vierteljahrhundert Tag gegen Lärm – Stand und Perspektiven“, die die DEGA gemeinsam mit dem Umweltbundesamt und der Stadt Dessau-Roßlau durchgeführt hat. Ca. 130 Teilnehmerinnen und Teilnehmer verfolgten die digitale Veranstaltung unter der Leitung von Annett Steindorf (Umweltbundesamt) mit insgesamt 5 Fachvorträgen und einem Grußwort:

- Lilian Busse, Vizepräsidentin des Umweltbundesamtes:
  Eröffnung der Veranstaltung
- Brigitte Schulte-Fortkamp, Aktionsleiterin des Tag gegen Lärm:
  25 Jahre Tag gegen Lärm
- André Fiebig, TU Berlin:
  Partizipation und Lärmschutz – Möglichkeiten zur Mitwirkung der Bevölkerung
- Dirk Schreckenberg, ZEUS GmbH:
  Umgebungsgeräusche und Gesundheit
- René Weinandy, Umweltbundesamt:
  Laute Fahrzeuge ab Werk – Geschäftsmodell Lärm
- Frank Kniestedt, Amt für Umwelt und Naturschutz der Stadt Dessau-Roßlau:
  Umsetzung von Lärmminderungsmaßnahmen aus dem Lärmaktionsplan der Stadt Dessau-Roßlau

Die freigegebenen Vorträge können kostenfrei als PDF-Datei in der Geschäftsstelle der DEGA erworben werden.

In diesem Jahr war der Tag gegen Lärm in den verschiedenen Medien besonders stark vertreten. Sowohl in überregionalen als auch in regionalen Zeitungen bzw. Zeitschriften (z. B. dpa, Spiegel, Süddeutsche Zeitung, Tagesspiegel, Zeit online) wurden Beiträge zum Tag gegen Lärm veröffentlicht. Fernseh- und Radiobeiträge zum Aktionstag mit Interviewpartner:innen der DEGA wurden u. a. in der rbb Abendschau, auf radio1 RBB, auf WDR5 Quarks „Wissen im Gespräch“ und auf WDR 5 Morgenecho gesendet. Einige Radiosender machten den Tag gegen Lärm sogar zum Thema des gesamten Tages. Auch in den sozialen Medien wurde der Tag gegen Lärm thematisiert. Klicken Sie doch den Twitter-Kanal des Tag gegen Lärm mal an: *https://twitter.com/taggegenlaerm*.

Ein erfolgreiches Jubiläum, das gezeigt hat, wie wichtig der Tag gegen Lärm als Aktionstag immer noch ist, um auf die verschiedenen Problematiken von Lärm aufmerksam zu machen. Ein großer Dank an alle Akteurinnen und Akteure! Ein besonderer Dank geht an die Förderer und Sponsoren und an den Gesundheitsladen München, der erneut viele Aktionen in München und Umgebung organisiert hat.

Der 26. „Tag gegen Lärm – International Noise Awareness Day“ wird am 26. April 2023 stattfinden. ■

Brigitte Schulte-Fortkamp,
André Fiebig,
Evelin Baumer

Kalender

- **20.–22.06.2022 in Drübeck:**
  5. Workshop „Messtechnische Anwendungen von Ultraschall“

- **27.–30.06.2022 im Online-Format:**
  2nd International Symposium “Quiet Drones”,
  siehe *https://www.quietdrones.org/conferences/2-quiet-drones-2022*

- **28.06.2022 in Deggendorf:**
  15. Deggendorfer Akustik-Seminar,
  siehe *https://www.th-deg.de/emt#akustik-seminar*

- **06.–08.07.2022 in Verona (I):**
  Symposium “The Acoustics of Ancient Theatres”,
  siehe *https://acustica-aia.it/en/event/verona2020/*

- **21.–24.08.2022 in Glasgow (UK) bzw. online (hybrid):**
  Inter-Noise 2022,
  siehe *https://internoise2022.org/*

- **28.08.–01.09.2022 in Jena:**
  17th Meeting of the European Society of Sonochemistry,
  siehe *https://www.ess2022.de*

- **02.–04.09.2022 in Stuttgart:**
  Herbstworkshop der Fachgruppe „junge DEGA“

- **11.–14.09.2022 in Wien (A):**
  4th Vienna Talk on Music Acoustics,
  siehe *https://viennatalk2020.mdw.ac.at*

- **22.09.2022 in Braunschweig:**
  Sitzung des Fachausschusses Bau- und Raumakustik,
  siehe Seite 65f

- **26.–28.09.2022 in Braunschweig:**
  DEGA-Akademie-Kurs „Bauakustik – von den Grundlagen zur Anwendung“,
  siehe Seite 55 und *https://www.dega-akustik.de/aktuelles*

- **29.–30.09.2022 in Bad Honnef:**
  Herbstworkshop „Physikalische Akustik“,
  siehe Seite 66f und 67f

- **04.–07.10.2022 in Aachen:**
  DEGA-Akademie-Kurs „Raumakustik und Beschallungstechnik“,
  siehe Seite 55 und *https://www.dega-akustik.de/aktuelles*

- **24.–28.10.2022 in Gyeongju (KOR):**
  ICA 2022 – International Congress on Acoustics,
  siehe *https://ica2022korea.org*

- **09.–11.11.2022 als Online-Kurs:**
  DEGA-Akademie-Kurs „Soundscape – Konzeption, Standardisierung und Anwendungen in der Praxis“,
  siehe Seite 56 und *https://www.dega-akustik.de/aktuelles*

- **14.–15.11.2022 in Berlin:**
  15. DEGA-Symposium „Erneuerbare Energien und Lärmschutz“,
  siehe Seite 56 und *https://www.dega-akustik.de/aktuelles*

- **23.–24.11.2022 in Berlin:**
  DEGA-Akademie-Kurs „Grundlagen der Technischen Akustik“,
  siehe Seite 57 und *https://www.dega-akustik.de/aktuelles*

- **28.11.2022 in Braunschweig:**
  DEGA-Akademie-Kurs „Raumakustik kompakt“,
  siehe Seite 58 und *https://www.dega-akustik.de/aktuelles*

- **06.–09.03.2023 in Hamburg:**
  Jahrestagung DAGA 2023,
  siehe Seite 58f und *https://www.daga2023.de*

- **26.04.2023 bundesweit:**
  26. Tag gegen Lärm – International Noise Awareness Day,
  siehe *https://www.tag-gegen-laerm.de*

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

DEGA

Nachrichten und Mitteilungen aus der Fachgesellschaft

Vizepräsident, Schatzmeister und Vorstand der DEGA gewählt

Der Vorstandsrat der DEGA hat am 27.04. und am 25.05.2022 die folgenden Vorstandsmitglieder neu- bzw. wiedergewählt:

- Vizepräsident (designierter Präsident):
  Prof. Dr. Stefan Becker
- Schatzmeister:
  Dr. Gottfried Behler
- drei weitere Vorstandsmitglieder:
  Prof. Dr. Joachim Bös
  Prof. Dr. André Fiebig
  Dr. Christian Koch

Ihre Amtszeit wird am 01. Juli 2022 beginnen und dauert bis 2025. Im Namen aller Mitglieder gratulieren wir ihnen herzlich und wünschen ihnen viel Erfolg für ihr neues Amt!

Zur gleichen Zeit wird **Prof. Dr. Sabine Langer** das Amt der DEGA-Präsidentin übernehmen. Ihre Wahl als Vizepräsidentin/designierte Präsidentin erfolgte schon im Jahr 2019.

Der gewählte Vizepräsident, Prof. Dr. Stefan Becker, übernimmt dann im Jahr 2025 satzungsgemäß ohne weitere Wahl das Amt des Präsidenten für weitere drei Jahre.

Bilder und E-Mail-Adressen aller Vorstandsmitglieder finden Sie ab Juli 2022 unter *https://www.dega-akustik.de/dega/organe-und-statuten*.

Weitere Informationen zum zeitlichen und organisatorischen Ablauf sowie zum Wahlausschuss finden Sie im Akustik Journal, Ausgabe Oktober 2021.

Aus dem Vorstand ausscheiden werden Prof. Dr. Jesko Verhey, der bisherige Präsident, und Prof. Dr. Ennes Sarradj und Prof. Dr. Bernhard Seeber als weitere Vorstandsmitglieder. Schon jetzt sei ihnen herzlich für die geleistete Arbeit gedankt!

Protokoll der Mitgliederversammlung

am Montag, den 21. März 2022 um 17:00 Uhr im hybriden Format (sowohl in Stuttgart als auch online)

1. Begrüßung

Der Präsident der DEGA, Jesko Verhey, eröffnet die Mitgliederversammlung, begrüßt die ca. 122 anwesenden Mitglieder (ca. 79 vor Ort, ca. 43 online) und stellt die Beschlussfähigkeit fest. Es folgt eine Schweigeminute für die Opfer des Krieges in der Ukraine.

2. Genehmigung der Tagesordnung

Die Einladung mit Tagesordnung wurde allen Mitgliedern im Akustik Journal Nr. 01/22 fristgerecht zugestellt. Diese Tagesordnung wird ohne Ergänzungen angenommen.

3. Bericht des Vorstands

Einleitend fasst Herr Verhey die wichtigsten Ereignisse und Entwicklungen des letzten Jahres zusammen:

- Die DEGA hat derzeit ca. 1.950 persönliche Mitglieder; dies entspricht ziemlich genau dem Stand vor einem Jahr.
- Die Corona-Krise dauert an, so dass weiterhin viele Veranstaltungen nur online oder hybrid stattfinden können. Vor allem wurde die Tagung DAGA 2021 erstmals im hybriden Format durchgeführt (sowohl vor Ort in Wien als auch online), und auch die laufende DAGA 2022 findet hybrid statt. Für den diesbezüglichen hohen Mehraufwand geht ein großer Dank an die Organisatoren der beiden Tagungen.
- Während der DAGA 2022 wird der DEGA-Lärmschutzpreis erstmals verliehen. Alle Interessierten sind eingeladen, an der Preisvergabe teilzunehmen.
- Um die Finanzen der DEGA stabil zu halten, hat der Vorstandsrat der DEGA kürzlich beschlossen, dass die Gebühren der DAGA-Tagungen in Zukunft variabel kalkuliert werden können – d. h. angepasst an das Preisniveau des jeweiligen Tagungsortes. Damit dieser Beschluss in Kraft tritt, muss auch der DAGA-Beirat noch zustimmen. Ebenso hat der Vorstandsrat beschlossen, dass die Beiträge für persönliche DEGA-Mitglieder ab dem Jahr 2023 um 10 % steigen, nachdem diese sechs Jahre unverändert geblieben sind.

Es folgen Berichte der übrigen Mitglieder des Vorstands über die Aktivitäten der DEGA:

- Frau Langer dankt Brigitte Schulte-Fortkamp für die erfolgreiche Aktionsleitung des „Tag gegen Lärm“ seit nunmehr 25 Jahren. Frau Schulte-Fortkamp fasst daraufhin den Tag gegen Lärm 2021 zusammen, bei dem insbesondere eine Online-Veranstaltung unter dem Motto „Immer noch zu laut“ stattfand, und bei dem mehrere YouTube-Videos („Noisella lehrt Akustik“) veröffentlicht wurden. Der Tag gegen Lärm 2022 steht unter dem Motto „Hört sich gut an“, und das Thema der zentralen Online-Veranstaltung lautet „Ein Vierteljahrhundert Tag gegen Lärm – Stand und Perspektiven“.
  Frau Langer weist auf die neue Online-Jobmesse „EAA Forum Laboris“ hin und lädt Studierende und Arbeitgeber ein, sich hieran zu beteiligen.
- Herr Behler erläutert, dass auch in den letzten Monaten keine neuen Projekte beim Vorstand beantragt wurden. Er lädt vor allem die Fachausschüsse zur Planung und Beantragung neuer Projekte ein. Er berichtet, dass die seit 2013 von der Fachkommission Schallschutz durchgeführte Prüfstellen-Zertifizierung nicht mehr teilweise durch die DEGA, sondern ab 2022 wieder vollständig vom Verband der Materialprüfungsanstalten (VMPA) abgerechnet wird.
- Herr Becker verweist auf die derzeit 77 Fördermitglieder, deren Anzahl

trotz Pandemie-Krise gleich geblieben ist. Er bedankt sich für die damit verbundene großzügige Unterstützung. Er blickt auf das „International Year of Sound 2020–2021“ zurück, bei dem die DEGA vor allem mehrere YouTube-Videos veröffentlicht hat („Faszination Akustik“ / „So klingt meine Welt“ / „Noisella lehrt Akustik“).

- Herr Sarradj berichtet, dass der Fachausschuss Bau- und Raumakustik im Herbst ein weiteres Memorandum veröffentlicht hat (zur ASR A3.7 „Lärm“ und den anerkannten Regeln der Technik in der Raumakustik). In Kürze wird die EAA ihr neues Online-Archiv „Documenta Acustica Electronica” veröffentlichen, in dem auch die Ausgaben der “Acta Acustica united with Acustica” (1996–2019) wieder zugänglich sein werden und ebenso die ersten drei Jahrgänge der „Acta Acustica“ (1993–1996). Schließlich erwähnt er, dass die Akustik seit kurzem in der Online-Auflistung „kleine Fächer“ als eigenes Fach vorgestellt wird.
- Herr Seeber blickt auf die erstmalige Verleihung des neuen DEGA-Preises für Kommunikationsräume bei der DAGA-Tagung in Wien zurück. Er lädt dazu ein, sich auch bei der kommenden zweiten Ausschreibung zu beteiligen. Das 14. DEGA-Symposium im Herbst 2021 wurde vom Fachausschuss Virtuelle Akustik organisiert und fand zum Thema „Interaktive Auralisierung für die Planung von Räumen“ mit ca. 60 Teilnehmenden in Berlin statt. Hierfür geht ein Dank an Stefan Weinzierl und Franz Zotter. Beim DEGA-Dissertationsregister sind die Inhalte nochmals deutlich erweitert worden – mit einem Dank an Herrn Sonntag.

Herr Klemenz berichtet, dass im Jahr 2021 vier Kurse der DEGA-Akademie stattgefunden haben, nämlich „Bauakustik“ (Braunschweig), „Raumakustik kompakt“ (Braunschweig), „Psychoakustik“ (online) und „DEGA-Schallschutzausweis“ (online). Er dankt allen Kursleiterinnen und Kursleitern für ihren Einsatz. Im Jahr 2022 findet eine erfreulich hohe Anzahl von neun Kursen statt, nämlich „Strömungsakustik 1+2“ (online, bereits stattgefunden), „Bauakustik“ (Braunschweig, erstmals mit zwei Kursen, wegen der hohen Nachfrage), „DEGA-Schallschutzausweis“ (online), „Raumakustik und Beschallungstechnik“ (Aachen), „Soundscape“ (neuer Kurs, online), „Grundlagen der Technischen Akustik“ (Berlin) und „Raumakustik kompakt“ (Braunschweig).

Die Gebühren für Akademie-Kurse wurden durch den Vorstand erstmals nach 15 Jahren leicht angehoben – allerdings nur für Präsenz-Kurse; für Online-Kurse bleiben die Gebühren unverändert.

Zur DAGA 2021 wurden zehn junge Teilnehmende mit einem „DEGA Student Grant“ gefördert. Für die DAGA 2022 wurde allerdings nur ein einziger Zuschuss beantragt und gewährt. Zu den Reisekostenzuschüssen „Young Scientist Grants“ gab es innerhalb des letzten Jahres keinen Antrag.

4. Finanzbericht

Herr Behler und Herr Klemenz erläutern den Finanzrechenschaftsbericht für das Jahr 2021 sowie den vom Vorstand aufgestellten und vom Vorstandsrat genehmigten Finanzplan für 2022, jeweils unterteilt in Ein- und Ausgaben. Sie erläutern auch die sich daraus ergebenden Rücklagen der DEGA.

Für das Jahr 2021 wurde eine „schwarze Null“ eingeplant; tatsächlich konnte aber ein deutlicher Überschuss erzielt werden. Bei diesem erfreulichen Ergebnis stellt sich die Frage nach der Abweichung von der Planung. Dies hat vielfältige Ursachen: höhere Einnahmen bei den DAGA-Tagungen, weniger Ausgaben (pandemiebedingt) für Projekte, Reisen/Grants und Bewirtung, Verschiebungen von Ausgaben von 2021 nach 2022 (u. a. Lohnsteuer und UBA-Mittel). Die Rücklagen sind gegenüber dem Jahr 2020 entsprechend angewachsen. Da die „freie Rücklage“ nach dem Einbruch von 2020 erst schrittweise wieder aufgebaut werden kann, wird ein Teil der Rücklagen den zeitnah auszugebenden „Verbindlichkeiten/Aufwendungen“ zugewiesen.

Die Planung für das Jahr 2022 sieht eine „schwarze Null“ vor. Hierbei sind besonders die relativ niedrigen Ausgaben für die DAGA 2022 hervorzuheben, da für die Universität Stuttgart nur eine geringe Miete anfällt und der gesellige Abend, der pandemiebedingt draußen stattfindet, keine hohen Kosten verursacht. Ebenso ist ein positives Ergebnis der insgesamt neun Akademie-Kurse zu erwarten. Somit dürfte das Jahr 2022 finanziell unkritisch sein. Allerdings ist anzumerken, dass dies noch nicht auf einen generell ausgeglichen Haushalt in einem „normalen“ Geschäftsjahr hindeutet – vor allem, weil die DAGA in Zukunft voraussichtlich nur noch in Ausnahmefällen an einer Universität stattfinden kann, wohingegen teurere Tagungszentren die Regel sein dürften. Zudem gibt es auch in 2022 noch pandemiebedingte Effekte; so wurde nur ein einziger „DEGA Student Grant“ beantragt. Die in TOP 3 erwähnten Maßnahmen zur finanziellen Konsolidierung sind daher für die kommenden Jahre sinnvoll und notwendig.

5. Bericht der Rechnungsprüfer

Bei der letzten Mitgliederversammlung wurden Stephan Lippert und Thomas Geyer als Rechnungsprüfer wiedergewählt. Herr Geyer berichtet, dass die Kasse der DEGA auch im Geschäftsjahr 2021 wieder ordnungsgemäß, vollständig und transparent geführt wurde. Alle Einzelbuchungen und Rücklagen sind belegbar; wobei wieder umfangreiche Stichproben durchgeführt wurden. Unregelmäßigkeiten wurden nicht festgestellt. So empfiehlt er die Entlastung des Vorstands. Herr Verhey dankt Herrn Geyer und Herrn Lippert für den Bericht.

6. Entlastung des Vorstands

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

7. Wahl der Rechnungsprüfer

Da Herr Lippert sein Amt als Rechnungsprüfer nach fünf Jahren abgeben möchte, dankt ihm Herr Verhey für seinen Einsatz in diesem wichtigen Ehrenamt.

Herr Geyer hat sich bereit erklärt, als

Rechnungsprüfer der DEGA weiterhin zur Verfügung zu stehen. Herr Prager ist ebenso bereit, dieses Amt neu anzunehmen. Beide (Thomas Geyer und Jens Prager) werden ohne Gegenstimmen in dieses Amt gewählt, und Herr Verhey dankt ihnen für ihre Bereitschaft.

8. Berichte aus den Fachausschüssen und Fachgruppen

Die anwesenden DEGA-Fachausschüsse (FA) und Fachgruppen (FG) berichten über ihre zurückliegenden Aktivitäten sowie über aktuelle Planungen und verweisen auf die kommenden Sitzungen bzw. Versammlungen. Im Folgenden werden die wichtigsten Ereignisse in Stichpunkten aufgezählt.

- FA Virtuelle Akustik (Annika Neidhardt): Leitung neu gewählt, Rückblick auf das 14. DEGA-Symposium „Interaktive Auralisierung für die Planung von Räumen“ im November 2021 in Berlin, Vorschau auf den europäischen Studierenden-3D-Audiowettbewerb in 2022
- FA Strömungsakustik (Manfred Kaltenbacher): neu konzipierte DEGA-Akademie-Kurse „Strömungsakustik“ haben im Februar 2022 stattgefunden (im Online-Format), Ausblick auf Workshop „Strömungsschall“ im Herbst 2022 in Braunschweig
- FA Sprachakustik (Janto Skowronek): demnächst neue Aktivitäten (nach pandemiebedingter Pause)
- FA Physikalische Akustik (Joachim Bös): Rückblick auf Herbstworkshop 2021 in Bad Honnef mit dem Thema „Modelle der physikalischen Akustik“, Vorschau auf Workshop 2022 zum Thema „Infraschall / tieffrequenter Schall“ gemeinsam mit dem FA Lärm
- FA Musikalische Akustik (Malte Kob, stellv.): Leitung neu gewählt, Vorschau auf Veranstaltungen „Vienna Talk“ und „Actor-Projekt“ in 2022
- FA Lehre der Akustik (Malte Kob, stellv.): Projekt „Überarbeitung des DEGA-Mindestkanons“ wird fortgeführt, Sammlung von Webseiten zur Lehre in der Akustik
- FA Lärm – Wirkungen und Schutz (André Fiebig): Mitwirkung beim Tag gegen Lärm 2021/2022, Vorschau auf gemeinsamen Workshop mit dem FA Physikalische Akustik
- FG „junge DEGA“ (Vincent Radmann): derzeit zweite Runde des Mentoring-Programms mit Dank an Mentorinnen und Mentoren, mehrere Veranstaltungen zur laufenden DAGA-Tagung (u. a. „Research in Shorts“ / Podiumsdiskussion zu Karrierewegen / „Mentoring-Café“)
- FA Hörakustik (Janina Fels): Beteiligung von FA-Mitgliedern bei internationalen Veranstaltungen und im Technical Committee „Psychological and Physiological Acoustics“ der EAA
- FA Fahrzeugakustik (Ercan Altinsoy): Online-Workshop fand im Januar 2022 statt, weiterer Workshop für Herbst 2022 geplant
- FA Bau- und Raumakustik (Christian Burkhart, stellv.): Rückblick auf FA-Sitzung im Herbst 2021 (Rosenheim / Valley / Holzkirchen), Memorandum zur ASR A3.7 „Lärm“ kürzlich veröffentlicht
- FG ALD – Arbeitsring Lärm der DEGA (Christian Beckert): Online-Podiumsdiskussion („Panel“) als neues Veranstaltungsformat (zum Thema „Fluglärm“ bereits veröffentlicht, weitere in Planung), Stellungnahme zum Thema „Gesamtlärmbewertung“ in Arbeit, erstmalige Verleihung des DEGA-Lärmschutzpreises während der DAGA 2022

Herr Verhey dankt allen Vertreterinnen und Vertretern für ihre Berichte und das darin sichtbar gewordene Engagement ihrer Fachausschüsse/-gruppen.

9. Verschiedenes

Die Amtszeit von Herrn Verhey als DEGA-Präsident wird im Sommer 2022 enden. Die Vizepräsidentin, Frau Langer, bedankt sich im Namen der DEGA ganz herzlich bei ihm für seine engagierte Leitung in schweren (Corona-)Zeiten. Herr Verhey bedankt sich bei allen Anwesenden für den Applaus und dankt auch dem Vorstand und der Geschäftsstelle für die tatkräftige Mitwirkung.

10. Termin der nächsten Mitgliederversammlung

Die nächste Mitgliederversammlung wird voraussichtlich am Montag, den 06.03.2023 als Präsenz-Sitzung während der DAGA 2023 in Hamburg stattfinden. Termin und Ort werden vier Wochen vorher per E-Mail und anschließend im Akustik Journal bekannt gegeben.

Herr Verhey dankt allen Anwesenden und schließt gegen 18:20 Uhr die Mitgliederversammlung.

Berlin, den 01.06.2022 ■

Martin Klemenz
(Geschäftsführer der DEGA),
Jesko Verhey
(Präsident der DEGA)

■ Reisekostenzuschüsse „DEGA Young Scientist Grants“

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

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

Fachausschüsse / Fachgruppen

Arbeitsring Lärm der DEGA (ALD)

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

ALD-Panel $L_{(\text{Straße + Schiene})}$

Die Koalitionsverträge der Jahre 2012 und 2017 befassten sich mit den Themen „Gesamtlärmbetrachtung" oder auch „verkehrsträgerübergreifender Lärmschutz". Der aktuelle Koalitionsvertrag von 2021 sagt auf Seite 49 „Um zu angemessenen Lärmschutzmaßnahmen zu kommen, werden wir die gesamte Lärmsituation berücksichtigen. Die Lärmsanierungsprogramme für Bundesfernstraßen und Schienenwege werden wir besser finanzieren." und ergänzt auf Seite 93 „Wir wollen zum Schutz der Gesundheit zukünftig die gesamte Lärmsituation berücksichtigen und werden die Einführung einer Gesamtlärmbetrachtung prüfen."

Aber bisher ist nichts Umsetzbares vom Gesetzgeber vorgelegt worden. Entsprechende Anfragen aus dem Bundestag wurden in der Regel mit Hinweis auf noch laufende Forschungsvorhaben beantwortet. Diese Situation ist unbefriedigend und hat den ALD veranlasst, die Gesamtlärmthematik mit besonderem Blick auf die Summation von Straßen- und Schienenverkehrslärm in einem Panel zu diskutieren.

Das ALD-Panel „$L_{(\text{Straße + Schiene})}$" fand am 1. April 2022 in Hamburg unter der Moderation von Margit Bonacker (konsalt GmbH, Hamburg) statt. Diskutiert haben Prof. Dr. Dominik Kupfer (w2k Wurster Weiß Kupfer Rechtsanwälte Partnerschaft mbB, Freiburg), Dr. Dirk Schreckenberg (stv. ALD-Vorsitzender, Hagen) und Dr. Urs Reichart (DEGES Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH, Berlin).

Als Einstieg stellte Prof. Kupfer sein Thesenpapier zur rechtlichen Regelung der gemeinsamen Betrachtung des Lärms von Straßen und Schienenwegen vor. Dieses Papier sowie die filmische Dokumentation des Panels sind auf der Homepage des ALD zu finden: *https://www.ald-laerm.de/ald/projekte-des-ald/2022/ald-panel-strasse-schiene*

Die intensive Diskussion wurde am Ende durch die Moderatorin wie folgt zusammengefasst: „Der Gesetzgeber sollte der insbesondere aus dem Grundrecht auf körperliche Unversehrtheit abzuleitenden Handlungspflicht endlich nachkommen, ein Lärmsanierungsgesetz zumindest zunächst nur für die Hauptverkehrsträger Straße und Schiene und auch deren Zusammenwirken auf den Weg zu bringen. Für die Bestimmung der einzelnen Kostentragungspflichten soll das Verursacherprinzip (‚polluter pays' principle) gelten." ■

Christian Beckert

Fachausschuss Bau- und Raumakustik

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

Auch auf der DAGA in Stuttgart wurde am 24.03.2022 eine weitere hybride Sitzung des Fachausschusses Bau- und Raumakustik, also mit Teilnehmenden vor Ort und weiteren Personen online, durchgeführt. Glücklicherweise konnten die Mehrzahl der Teilnehmenden vor Ort begrüßt werden. Das Protokoll zur Sitzung wird aktuell noch bearbeitet und kurzfristig an den Verteiler des Fachausschusses durch die Geschäftsstelle versandt.

Die kommende Sitzung des Fachausschusses ist beinahe schon in guter Tradition am Tag nach der Informationsveranstaltung für Schallschutzprüfstellen geplant. Diese Gemeinschaftsveranstaltung von VMPA, PTB und DEGA ist dieses Jahr am 21.09.2022 geplant; entsprechend findet die nächste Sitzung des Fachausschusses am 22.09.2022 um 9:00 Uhr ebenfalls bei der PTB in Braunschweig statt. Alle Schallschutz-Interessierten im Fachausschuss sind auch herzlich bei der Veranstaltung am 21.09.2022 willkommen. Eine Online-Teilnahme ist ebenfalls bei beiden Veranstaltungen möglich.

Der aktuelle Planungsstand zur Tagesordnung der 61. Sitzung ist wie folgt:

9:00 Uhr Beginn der Sitzung

1. Begrüßung und Kurz-Vorstellung PTB
2. Beschluss der Tagesordnung
3. Verabschiedung des Protokolls der 60. Sitzung (wird nachgereicht)
4. Berichte zu
   - Aktivitäten VMPA-Kommission
   - Neues aus der Normung bei DIN, CEN und ISO
5. Vorschau DAGA 2023 – Strukturierte Sitzungen
6. Weitere Aktivitäten mit und durch den Fachausschuss
   - Aktueller Stand Neufassung VDI 4100
   - Abgleich bestehender DEGA-Empfehlungen, -Memoranden und -Stellungnahmen
   - DEGA-FABARA-Exkursion(en)
   - DEGA-Symposium
7. Ort und Termin der nächsten Sitzung (geplant während der DAGA 2023)
8. Verschiedenes

ca. 12:00 Uhr, Ende der Sitzung

Zu der Sitzung am 22.09.2022 wird rechtzeitig eine separate Einladung mit der finalen Tagesordnung verschickt. Anreise wie auch eventuelle Übernachtungen sind selbst zu organisieren. Es bleibt weiterhin zu hoffen, dass die aktuellen Pandemiebedingungen auch im September 2022 die Sitzung erlauben.

Für den Herbst ist aktuell (im November angedacht) eine separate Exkursion mit Besichtigungen bei Firmen und Projekten im Südwesten angedacht. Hierzu

erfolgen weitere Informationen bei der Sitzung im September.
Alle Mitglieder des Fachausschusses sind wie immer herzlich eingeladen weitere Themen vorzuschlagen. ■

Christian Nocke
Henning Alphei
Tobias Kirchner

Fachausschuss Hörakustik

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

Am 24.03.2022 fand während der DAGA Stuttgart die Fachausschusssitzung in hybrider Form statt. Es waren insgesamt 21 Teilnehmer*innen anwesend.
Alle aktuellen Informationen und das Protokoll der Sitzung sind auf Webseite des Fachausschusses: *https://www.dega-akustik.de/ha* dargestellt. Der Fachausschuss Hörakustik zählt aktuell 74 Mitglieder und 353 Interessierte.
Die Mitglieder des Fachausschusses Hörakustik waren/sind aktiv an Konferenzbeiträgen & -organisation von internationalen und nationalen Tagungen beteiligt:

Auswahl der Aktivitäten im Zeitraum 2020–2022:

- e-Forum Acusticum 2020, *https://fa2020.universite-lyon.fr*
- ISAAR 2021 "The auditory system throughout life – Models, mechanisms and interventions", *https://www.isaar.eu*
- DAGA 2021, 5 strukturierte Sitzungen mit Beteiligung der Hörakustik
- Euronoise 2021: P&P Session
- Oct. 2021: BASH Meeting Binaural and Spatial Hearing, *https://binaural.and.spatialhearing.org*
- DAGA 2022 Stuttgart: SPP2236 AUDICTIVE

Während des e-Forum Acusticum 2020 wurden im EAA Technical Committee on Psychological and PhysiologicalAcoustics (TC P&P) neue (Co-)Chairs und Council Members für die nächsten drei Jahre gewählt. Es wurden gewählt:

- Chair: Piotr Majdak (Vienna)
- Vice-chair: Janina Fels (Aachen)
- Council: Sarah Verhulst (Ghent), Mathieu Lavandier (Lyon), Andre Fiebig (Berlin), Armin Taghipour (Luzern)

Weitere Informationen sind auf *https://euracoustics.org/technical-committees/psychological-and-physiological-acoustics* zu finden.

Auswahl der geplanten Aktivitäten
ICA 2022 (*https://ica2022korea.org/*):

- Theme Organizers of "A10: Physiological Acoustics": T. Dau, J. Fels and Y.-H. Park
- Structured sessions:
  A10-03: Interactive hearing devices, V. Hohmann,
  A11-01: Psychological acoustics, A. Fiebig and M. Tsuruta-Hamamura,
  A11-04: Spatial hearing, E. Altinsoy and P. Majdak,
  A11-06: Psychoacoustics applied to the soundscape, M. Engel and A. Fiebig,
  A21-02: Virtual acoustic environments for hearing research, J. Fels and J. Buchholz,
- Plenary lecture "Bringing the real life into the lab: Hearing research in interactive virtual environments" given by J. Fels

Ausblick und Auswahl der nächsten Konferenzen und Workshops mit Beteiligung der Mitglieder des FA Hörakustik:

- 19.–24.06.2022: International Symposium of Hearing
- 21.–24.09.2022: 53. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Medizinische Physik und 24. Jahrestagung der Deutschen Sektion der ISMRM: Audiologie-Beitrag: Störschallmanagement in CI
- 21.–24.08.2022: Inter-Noise 2022
- 14.-17.09.2022: 24. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie
- 12.-14.10.2022: 66. Internationaler Hörakustiker-Kongress
- 24.-28.10.2022: ICA 2022
- 03.-04.11.2022: Symposium Excellenzcluster
- Sommer 2023: SPP2236 AUDICTIVE Satellite Symposium
- 11.-17.09.2023: Forum Acusticum
- 04.-08.12.2023: Acoustics23: joint Meeting of the Acoustical Society of America, WESPAC, the Australian Acoustical Society and the Pacific Rim Underwater Acoustics Conference

Aktuell werden zwei mögliche DEGA-Projekte im Fachausschuss diskutiert. Ein Projekt beschäftigt sich mit der „Sammlung und Implementierung akustischer Illusionen als Demonstrationsmaterial" und das andere Projekt mit „Psychoakustischen Begriffe in der virtuellen Akustik". Im Herbst 2022 ist ein Online-Fachausschusstreffen geplant. ■

Janina Fels

Fachausschuss Lärm: Wirkungen und Schutz

Vorsitzender:
Dr. Florian Schelle, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
fa-laerm@dega-akustik.de

Am 22. März 2022 fand im Rahmen der DAGA 2022 in Stuttgart die diesjährige Fachausschusssitzung statt. An der hybriden Veranstaltung nahmen 26 Personen vor Ort und sieben Personen online teil. Neben den Berichten zu Aktivitäten des Fachausschusses im vergangenen Jahr sowie den bevorstehenden Veranstaltungen standen hierbei auch Neuwahlen an. Nach sechsjähriger Leitung des Fachausschusses stellte sich der bisherige Vorsitzende André Fiebig nicht mehr zur Wahl, auch sein Stellvertreter Frederik Gast stellte nach drei Jahren in der Leitung sein Amt zur Verfügung. Als neue Leitung wurde von den Mitgliedern ein

Team aus drei Personen gewählt:

- Florian Schelle vom Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)
- Sandra Dantscher vom Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)
- Helga Sukowski von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)

Die Leitung übernimmt Florian Schelle, die Stellvertretung teilen sich Helga Sukowski und Sandra Dantscher. Unser Dank gebührt André Fiebig und Frederik Gast für ihr langjähriges Engagement in der Leitung des Fachausschusses sowie allen Mitgliedern, dass Sie uns mit dieser Wahl Ihr Vertrauen geschenkt haben. Wir freuen uns auf die bevorstehende Zusammenarbeit und den gemeinsamen Austausch.

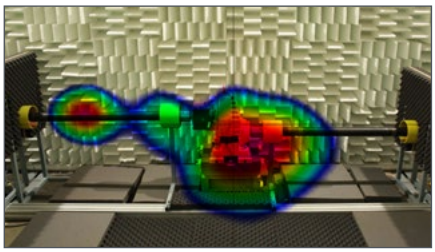
Im vergangenen Jahr beteiligte sich der Fachausschuss unter anderem an der Überarbeitung der Broschüre „Lärm im Alltag: Informationsbroschüre zum Tag gegen Lärm“, die nun in der 4. überarbeiteten Auflage als gedrucktes Exemplar kostenfrei bei der Geschäftsstelle der DEGA bestellt werden kann. Weiterhin beteiligte sich der Fachausschuss an der Planung und Organisation des 25. Tag gegen Lärm. Die zentrale Auftaktveranstaltung „Ein Vierteljahrhundert Tag gegen Lärm – Stand und Perspektiven“ fand am 26.04.2022 online statt. Die vielseitigen Vorträge im Kontext von Partizipation und Soundscapes, Gesundheit und Lebensqualität zeigten eindrucksvoll, wie sich der Tag gegen Lärm in den letzten 25 Jahren entwickelt hat.

In Kooperation mit dem Fachausschuss „Physikalische Akustik“ und dem „Arbeitsring Lärm der DEGA“ (ALD) findet am 29. und 30.09.2022 der diesjährige Herbstworkshop im Physikzentrum Bad Honnef statt. Das Thema des Workshops lautet „Infraschall und tieffrequenter Schall“. Bei Interesse an einem eigenen Vortrag freuen wir uns über Vorschläge per Mail an fa-laerm@dega-akustik.de.

Für die kommende DAGA 2023 in Hamburg sind bislang strukturierte Sitzungen zu den Themen „Wirkungsorientierte Indikatoren zur Geräuschbewertung mit dem Ziel einer verbesserten Vorhersage von Lärmwirkungen“ (Uwe Ritterstaedt, André Fiebig) sowie „Lärm am Arbeitsplatz“ (Sandra Dantscher) geplant. Weitere Vorschläge sind willkommen und können dem Fachausschuss per Mail mitgeteilt werden. ■

Florian Schelle
Sandra Dantscher
Helga Sukowski

Fachausschuss Physikalische Akustik



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

Folien des 26. DEGA-Workshops Physikalische Akustik auf Fachausschuss-Webseite verfügbar

Viele der im Rahmen des 26. DEGA-Workshops Physikalische Akustik zum Thema „Modelle der physikalischen Akustik“ am 21./22.10.2021 im Physikzentrum Bad Honnef gezeigten Präsentationsfolien stehen auf der Webseite des Fachausschusses Physikalische Akustik (*https://www.dega-akustik.de/pa*) zum Download bereit. Vielen Dank an Christian Adams und Ivor Nissen für die Zusammenstellung und Verfügbarmachung der Folien!

Fachbeitrag von zwei Mitgliedern des Fachausschusses im Akustik Journal

In der Ausgabe Nr. 01/2022 des Akustik Journals erschien ein Fachbeitrag mit dem Titel „Dynamische Aspekte beim Schallempfang im Meer“ (*https://www.dega-akustik.de/fileadmin/dega-akustik.de/publikationen/akustik-journal/22-01/akustik_journal_2022_01_online_artikel2.pdf*). Dieser sehr spannende Artikel wurde von den beiden Fachausschussmitgliedern Jan Abshagen und Ivor Nissen verfasst – vielen Dank dafür!

Fachausschussmitglied Christian Adams erhält Lothar-Cremer-Preis

Der diesjährige Lothar-Cremer-Preis wurde im Rahmen der DAGA 2022 in Stuttgart für seine wegweisenden Arbeiten auf dem Gebiet der Maschinenakustik dem Fachausschussmitglied Christian Adams verliehen. Die Laudatio ist auf Seite 51 zu finden. Zu dieser besonderen Auszeichnung natürlich auch vom Fachausschuss herzliche Glückwünsche!

Fachausschusssitzung am 24.03.2022 im Rahmen der DAGA 2022 in Stuttgart

Während der DAGA 2022 in Stuttgart fand am 24.03.2022 auch eine Fachausschusssitzung Physikalische Akustik statt. 13 von 53 Fachausschussmitgliedern waren physisch anwesend (keine online), so dass der Fachausschuss beschlussfähig war (≥ 20 % bzw. ≥ 11 Mitglieder). Neben diesen 53 Mitgliedern hat der Fachausschuss derzeit auch 391 Interessierte (ohne Stimmrecht). Themen der Sitzung waren u. a. der kommende Herbstworkshop (siehe unten) und die Vorbereitung der Wahl einer neuen Fachausschussleitung bei der nächsten DAGA 2023 in Hamburg (ebenfalls siehe unten). Mit zehn Stimmen bei einer Enthaltung und ohne Gegenstimmen votierten die Fachausschussmitglieder dafür, die Wahl in einer offenen Abstimmung durchzuführen. Außerdem votierten die Mitglieder mit acht Stimmen bei drei Gegenstimmen dafür, den Herbstworkshop in Bad Honnef künftig eher Ende September statt Mitte/Ende Oktober stattfinden zu lassen – bei der Hausverwaltung wird entsprechend angefragt, ob das möglich ist.

Herbstworkshop Physikalische Akustik am 29./30.09.2022 in Bad Honnef

Am 29. und 30. September 2022 (! – nicht, wie sonst üblich, erst im Oktober!) wird im Physikzentrum Bad Honnef der 27. DEGA-Workshop Physikalische Akustik stattfinden, diesmal zum Thema „Infraschall und tieffrequenter Schall“. Die Organisation erfolgt in Kooperation mit dem Fachausschuss Lärm: Wirkun-

gen und Schutz und dem ALD. Namentlich haben sich dankenswerterweise André Fiebig, Christian Koch und Detlef Krahé bereit erklärt, an der Programmgestaltung und Durchführung mitzuwirken.

Nächste Fachausschusssitzung

Die nächste Fachausschusssitzung wird im Rahmen des o. g. 27. DEGA-Workshops Physikalische Akustik in Bad Honnef stattfinden, voraussichtlich am frühen Nachmittag des 29.09.2022. Dazu wird noch einmal separat eingeladen. Voraussichtlich ist auch eine online-Teilnahme möglich. Über eine rege Beteiligung von Mitgliedern und Interessierten würden wir uns freuen!

Wahl einer neuen Fachausschussleitung im Rahmen der DAGA 2023 in Hamburg

Im März 2023 wird auf der DAGA in Hamburg in offener Abstimmung eine neue Fachausschussleitung gewählt. Als Wahlausschuss fungieren Stefanie Retka und Joachim Bös. Fremd- und Eigennominierungen sind noch bis unmittelbar vor der Wahl möglich – ich bitte um entsprechende Nachricht. Insbesondere auch wegen dieser Wahl wird um eine rege Teilnahme an dieser Fachausschusssitzung gebeten! ■

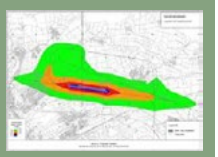
Joachim Bös

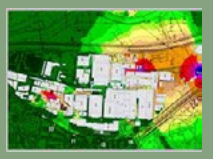
Fachausschuss Virtuelle Akustik

Vorsitzende:
Dipl.-Ing. Annika Neidhardt, TU Ilmenau,
annika.neidhardt@tu-ilmenau.de

Studierende (international) werden herzlich eingeladen, bis Ende Juni 2022 zum 6. 3D-Audioproduktionswettbewerb Europas Beiträge einzureichen. Die Ausschreibungskategorien und die Einreichseite sind unter *https://ambisonics.iem.at/s3dapc/2022* zu finden. Die Einsendungen werden von einer internationalen Jury begutachtet, und bis Herbst werden 3 Nominierte pro Einreichkategorie gekürt. Die Preisverleihung findet Anfang Oktober 2022 online statt, und Institutionen mit 3D-Audioanlagen werden ermuntert, live verbundene Breakout Listening Sessions auszurichten. Neben dem Verband Deutscher Tonmeister (VDT), sind dieses Jahr das ORF musikprotokoll (für cat.1) und die audiomostly Veranstaltungspartner des Wettbewerbs. ■

Annika Neidhardt





KURZ UND FISCHER
Beratende Ingenieure ▪ Bauphysik

Die Kurz und Fischer GmbH ist ein internationales tätiges Planungs- und Beratungsbüro mit Schwerpunkten in den Bereichen Thermische Bauphysik, Raum- und Bauakustik, Schallimmissionsschutz sowie Nachhaltiges Bauen.

Wir suchen zum nächst-möglichen Zeitpunkt eine/n engagierte/n

Niederlassungsleiter (m/w/d) für unseren Standort in Kempten (Allgäu)

Ihre Aufgaben:

- Büroleitung
- Selbstständige Bearbeitung von Projekten im Sachgebiet Schallimmissionsschutz

Ihre Qualifikationen:

- Ingenieurwissenschaftliches Studium oder ein vergleichbarer Studiengang
- Bereitschaft zur Projektverantwortlichkeit
- Interesse an einer beratenden Tätigkeit mit direktem Kundenkontakt
- Reisebereitschaft und Flexibilität

Wir bieten Ihnen:

- Interessante und eigenverantwortliche Projekte und Aufgaben in einem erfolgreichen und wachsenden Unternehmen
- Familienfreundliche Arbeitszeitgestaltung
- Kollegiales Betriebsklima mit gemeinsamen Aktivitäten
- Fachliche und persönliche Weiterbildung

Fühlen Sie sich angesprochen? Dann freuen wir uns auf Ihre aussagekräftigen Bewerbungsunterlagen, gerne auch per E-Mail an roland.kurz@kurz-fischer.com

Kurz und Fischer GmbH | Brückenstraße 9 | 71364 Winnenden
Tel: 07195 9147-0 | E-Mail: winnenden@kurz-fischer.com | www.kurz-fischer.com

Winnenden | Halle (Saale) | Bottrop | Feldkirchen-Westerham | Bretten | Lübeck | Kiel | Schwerin | Budapest |

Mitglieder / Fördermitglieder

Derzeit hat die Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V.

- 1.960 persönliche Mitglieder
- und 77 Fördermitglieder

(Stand Mai 2022).

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

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

- ACOEM GmbH, Hallbergmoos
- Akustikbüro Schwartzenberger und Burkhart, Pöcking / Weimar
- ALN Akustik Labor Nord GmbH, Kiel
- AMC Schwingungstechnik, Asteasu (E) / Nürnberg
- Amorim Deutschland GmbH, Delmenhorst
- ARRK Engineering GmbH, München
- BASF SE, Ludwigshafen
- Baswa AG, Baldegg (CH)
- Bayer Bauphysik Ingenieurgesellschaft mbH, Fellbach
- Bertrandt Technikum GmbH, Ehningen
- BeSB GmbH, Berlin
- Brose Fahrzeugteile GmbH, Oldenburg
- CADFEM GmbH, Grafing
- CAE Software und Systems GmbH, Gütersloh
- Carcoustics TechConsult GmbH, Leverkusen
- Cervus Consult GmbH, Willich
- Cirrus Research GmbH, Frankfurt/M.
- Comsol Multiphysics GmbH, Göttingen
- DataKustik GmbH, Gilching
- Ecophon Deutschland, Lübeck
- EDAG Engineering GmbH, München
- EM Plan, Neusäß
- 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
- Hottinger Brüel & Kjaer GmbH, Darmstadt
- 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
- Microflown 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
- ProCom-Bestmann e.K., Naumburg
- Regupol BSW GmbH, Bad Berleburg
- Renz Systeme GmbH, Aidlingen
- RION Co., Ltd., Amstelveen (NL)
- 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
- Sealed Air Verpackungen GmbH, Alsfeld
- 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
- Valeo Telematik und Akustik GmbH, Friedrichsdorf
- Wölfel Gruppe, Höchberg
- WRD GmbH, Aurich
- ZF Friedrichshafen AG, Friedrichshafen

Normen/Richtlinien

Neue Regelwerke zu den Themen Akustik und Lärmminderung (Feb. 2022 – Mai 2022)

Bezeichnung	Titel	Preis*
Fachgebiet Audiologie / Psychoakustik		
DIN ISO 532-1	Akustik – Verfahren zur Berechnung der Lautheit – Teil 1: Verfahren nach Zwicker (ISO 532-1:2017, korrigierte Fassung 2017-11)	146,40 €
Fachgebiet Bau- und Raumakustik		
DIN EN 16798-1	Energetische Bewertung von Gebäuden – Lüftung von Gebäuden – Teil 1: Eingangsparameter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik – Modul M1-6; Deutsche Fassung EN 16798-1:2019	199,80 €
DIN EN ISO 3382-3	Akustik – Messung von Parametern der Raumakustik – Teil 3: Großraumbüros (ISO 3382-3:2022): Deutsche Fassung EN ISO 3382-3:2022	91,60 €
E DIN EN 12354-5	Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 5: Installationsgeräusche; Deutsche und Englische Fassung prEN 12354-5:2022	156,30 €
E DIN EN 12758/A1	Glas im Bauwesen – Glas und Luftschalldämmung – Produktbeschreibungen, Bestimmung der Eigenschaften und Erweiterungsregeln; Deutsche und Englische Fassung EN 12758:2019/prA1:202	32,00 €
E DIN EN 14366-1	Bauakustik – Messung von Luftschall und Körperschall von gebäudetechnischen Anlagen im Prüfstand – Teil 1: Anwendungsregeln für Abwasserinstallationen; Deutsche und Englische Fassung prEN 14366-1:2022	103,80 €
E DIN EN 17823	Akustische Eigenschaften von Bauteilen und von Gebäuden – Prüfstandsmessungen der Trittschalldämmung von Treppen und Treppen-Entkopplungselementen; Deutsche und Englische Fassung prEN 17823:2022	98,30 €
Fachgebiet Elektroakustik / Messgeräte		
E DIN EN IEC 60318-7	Elektroakustik – Simulatoren des menschlichen Kopfes und Ohres – Teil 7: Kopf- und Rumpfsimulator für Messungen an ohrnahen Schallquellen (IEC 29/1073/CDV:2021); Deutsche und Englische Fassung prEN IEC 60318-7:2021 (Einspruchsfrist: 29.06.2022)	119,50 €
E DIN EN IEC 60318-8	Elektroakustik – Simulatoren des menschlichen Kopfes und Ohres – Teil 8: Akustischer Koppler für Hochfrequenzmessungen von Hörgeräten und Kopfhörern, die über Ohreinsätze mit dem Ohr verbunden sind (IEC 29/1076/CDV:2021); Deutsche und Englische Fassung prEN IEC 60318-8:2021 (Einspruchsfrist: 29.06.2022)	130,60 €
Fachgebiet Lärmschutz		
E DIN 18005	Schallschutz im Städtebau – Grundlagen und Hinweise für die Planung	84,90 €
E DIN 18005 Beiblatt 1	Schallschutz im Städtebau – Berechnungsverfahren – Schalltechnische Orientierungswerte für die städtebauliche Planung	38,90 €
E DIN 45687	Akustik – Software-Erzeugnisse zur Berechnung der Geräuschimmission im Freien – Nationale Ergänzung zu DIN 17534-1 (Einspruchsfrist: 25.07.2022)	38,90 €

Bezeichnung	Titel	Preis*
E DIN EN 16272-1	Bahnanwendungen – Oberbau – Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung – Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften – Teil 1: Produktspezifische Merkmale – Schallabsorption (Labormethode) bei diffusen Schallfeldern; Deutsche und Englische Fassung prEN 16272-1:2022	98,30 €
E DIN EN 16272-2	Bahnanwendungen – Oberbau – Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung – Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften – Teil 2: Produktspezifische Merkmale – Luftschalldämmung (Labormethode) bei diffusen Schallfeldern; Deutsche und Englische Fassung prEN 16272-2:2022	78,80 €
E DIN EN ISO 11819-1	Akustik – Messung des Einflusses von Straßenoberflächen auf Verkehrsgeräusche – Teil 1: Statistisches Vorbeifahrtverfahren (ISO/DIS 11819-1:2021); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 11819-1:2021	146,40 €
E DIN EN ISO 17201-6	Akustik – Geräusche von Schießplätzen – Teil 6: Schalldruckmessung im Nahbereich der Geräuschquelle zur Bestimmung der Schallexposition (ISO 17201-6:2021); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 17201-6:2021	98,30 €
E DIN EN ISO 26101-1	Akustik – Verfahren für die Qualifizierung von Freifeld-Prüfumgebungen – Teil 1: Qualifizierung von Freifeldumgebungen (ISO 26101-2:2021); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 26101-1:2021	91,60 €
E DIN ISO 17534-1	Akustik – Software für die Berechnung von Schall im Freien – Teil 1: Qualitätsanforderungen und Qualitätssicherung (ISO 17534-1:2015); Text Deutsch und Englisch (Einspruchsfrist: 25.07.2022)	98,30 €
E DIN ISO/TS 11819-3	Akustik – Messung des Einflusses von Deckschichten auf Verkehrsgeräusche – Teil 3: Referenzreifen (ISO/TS 11819-3:2021); Text Deutsch und Englisch	91,60 €
Fachgebiet Maschinen- und Fahrzeugakustik		
DIN 14610	Akustische Warneinrichtungen für bevorrechtigte Wegebenutzer	45,50 €
E DIN EN 1501-4	Abfallsammelfahrzeuge – Allgemeine Anforderungen und Sicherheitsanforderungen – Teil 4: Geräuschprüfverfahren für Abfallsammelfahrzeuge; Deutsche und Englische Fassung prEN 1504-4:2022	72,00 €
E DIN EN IEC 60704-2-19, VDE 0705-704-2-19	Elektrische Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke – Prüfvorschrift für die Bestimmung der Luftschallemission – Teil 2-19: Besondere Anforderungen für Luftreiniger (IEC 59/768/CD:2021); Text Deutsch und Englisch	17,36 €
VDI 2081 Blatt 1	Raumlufttechnik – Geräuscherzeugung und Lärmminderung	245,10 €
Fachgebiet Ultraschall / Hydroakustik		
DIN EN ISO 23864	Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen – Ultraschallprüfung – Verwendung der automatisierten Totalfokussierungsmethode (TFM) und verwandter Technologien (ISO 23864:2021); Deutsche Fassung EN ISO 23864:2021	119,50 €
E DIN EN IEC 62127-1	Ultraschall – Hydrophone – Teil 1: Messung und Charakterisierung von medizinischen Ultraschallfeldern bis zu 40 MHz (IEC 87/747/CD:2020); Text Deutsch und Englisch	108,80 €

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

Publikationen

Übersicht

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

	Name	gedruckt	online
Zeitschrift	Akustik Journal (drei Ausgaben pro Jahr)	0 €[1]	X
	Acta Acustica®		X
Tagungsbände	DAGA-Tagungsbände „Fortschritte der Akustik“ (1970–2021)		X[2]
	Proceedings ICA / INTER-NOISE		X[3]
Empfehlungen und Memoranden	DEGA-Empfehlung 101: Akustische Wellen und Felder		X
	DEGA-Empfehlung 102: Mindeskanon Akustik in der Bachelor-Ausbildung		X
	DEGA-Empfehlung 103: Schallschutz im Wohnungsbau - Schallschutzausweis		X
	Memorandum „Die allgemein anerkannten Regeln der Technik in der Bauakustik“ (DEGA BR 0101)		X
	Memorandum „Schallschutz im eigenen Wohnbereich“ (DEGA BR 0104)		X
	Memorandum zur Durchführung und Dokumentation von Audio-Produktionen für wissenschaftliche Anwendungen in der Akustik (DEGA VA 1201)		X
	Memorandum „Beurteilung der Geräusche gebäudetechnischer Anlagen“ (DEGA BR 0105)		X
	Memorandum „Tieffrequente Schallübertragung von schwimmenden Estrichen“ (DEGA BR 0106)		X
	Memorandum zur ASR A3.7 „Lärm“ und den anerkannten Regeln der Technik in der Raumakustik (DEGA BR 0107)		X
Schriftenreihe „Geschichte der Akustik“	Heft 1: Von der Antike bis in das 20. Jahrhundert	10,00 €	
	Heft 2: Akustisches Wissen auf den Transferwegen	10,00 €	
	Heft 3: Preisträger europäischer Wissenschaftsakademien	10,00 €	
	Heft 4: Sondhauß-Röhre, Seebeck-Sirene	15,00 €	
	Heft 5: Von den Äolstönen bis zur Strouhal-Zahl	32,95 €[4]	
	Heft 6: Von der Luftsirene bis zur russischen Aeroakustik	29,95 €[4]	

	Name	gedruckt	online
	Heft 7: Lord Rayleigh, Sir Horace Lamb, Sir James Lighthill	22,95 €[4]	
	Heft 8: Große Wissenschaftler mit Beiträgen zur Akustik	32,95 €[4]	
	Heft 9: Kundt, Waetzmann, Schuster	26,95 €[4]	
	Heft 10: Eberhard Zwicker, Lothar Cremer und Manfred Heckl	32,95 €[4]	
	Heft 11: Erwin Meyer, Heinrich Barkhausen und Walter Reichardt	29,95 €[4]	
Fachgebiet Lärm	YouTube-Video „So klingt meine Welt“		X
	YouTube-Videos „Noisella lehrt Akustik“		X
	Hörbeispiele und Geräuschsituationen		X
	Mitschnitt (Video) des ALD-Panels „Fluglärm“ vom 03.12.2021		X
	Mitschnitt (Video) des ALD-Panels „Gesamtlärm“ vom 01.04.2022		X
	Broschüre „Lärm im Alltag“		X
	ALD-Broschüre „Energiewende und Lärmschutz“ (2016)	2,00 €	X
	ALD-Broschüre „Schienenverkehrslärm – Ursachen, Wirkungen, Schutz“ (2018)	2,00 €	X
	ALD-Broschüre „Straßenverkehrslärm“ (2021)		X
	ALD-Broschüre „TEchnologies of NOise Reduction (TENOR)“		X
Fachgebiet Musikalische Akustik	Tagungsband (2015) „Musikalische Akustik zwischen Empirie und Theorie“		X
	Tagungsband (2013) „Nuancen in der musikalischen Akustik“		X
	Tagungsband „International Symposium on Music Acoustics“ (ISMA 2019)		X
	Literaturdatensammlung Musikalische Akustik		X
Fachgebiet Lehre der Akustik	Dissertationsregister Akustik		X
	Studienführer „EAA Schola“		X
	YouTube-Video „Faszination Akustik – Eine Reise durch die Welt des Schalls“		X
Fachgebiet Hörakustik	Kompendium 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) Preise ohne Gewähr; Bestellungen ausschließlich über *https://westarp-bs.de*

Impressum

Akustik Journal Nr. 02 / Juni 2022

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

Stv. Chefredaktion
Dr. rer. nat. Christian Koch

Redaktionsbeirat
Prof. Dr.-Ing. habil. Ercan Altinsoy
Prof. Dr.-Ing. habil. Stefan Becker
Prof. Dr. rer. nat. Bastian Epp
Prof. Dr. phil. André Fiebig
Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Kletschkowski
Prof. Dr.-Ing. Malte Kob
Prof. Dr.-Ing. Schew-Ram Mehra

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

Anzeigen
Julia Schneiderheinze (M.A.)
E-Mail: jschneiderheinze@dega-akustik.de

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

Gestaltungskonzept
Heilmeyer und Sernau Gestaltung
Web: *www.heilmeyerundsernau.com/*

Druck
Königsdruck Printmedien und digitale Dienste GmbH
Web: *www.koenigsdruck.de*

Bildnachweise
S. 1 – Titelseite: © Stefan Busse-Gerstengarbe, Jülich; S. 5 – Aktuelles: Tag gegen Lärm 2022, Logo © Viktoria Vorländer, Ursprungsbilder: kenta57, zolotons, Dzmitry, Rawpixel.com / stock.adobe.com; S. 5 – Aktuelles: DEGA-Preis für Kommunikationsräume, Logo © Julia Echterhoff, julistrationen.de, Copyright DEGA e. V.; S.49 – Ehrungen der DEGA: Preisträger:innen (J. Hellbrück, Ch. Adams, N. Rummler) © Gottfried Behler, Copyright DEGA e. V.; S.49 – Ehrungen der DEGA: Preisträger:innen (W. Middelberg) © Uni Oldenburg; S. 52 – Ehrungen: DEGA-Lärmschutzpreis, Logo © Julia Echterhoff, julistrationen.de, Copyright DEGA e. V.; S. 53 – Menschen: Nachruf Prof. Dr. Armin Kohlrausch © Marc Rosmalen; S. 55 – Veranstaltungen: DEGA-Akademie „Raumakustik und Beschallungstechnik“, Logo © RWTH Aachen, Institut für Hörtechnik und Akustik; S. 56 – Veranstaltungen: 15. DEGA-Symposium, Logo © kokliang1981 / stock.adobe.com; S. 57 – Veranstaltungen: DEGA-Akademie „Grundlagen der Technischen Akustik“, Logo © Ennes Sarradj, Berlin; S. 58 – Veranstaltungen: DEGA-Akademie „Raumakustik kompakt“, Logo © Prof. Dr. Alfred Schmitz, Grevenbroich; S. 58 – Veranstaltungen: DAGA 2023, Logo © Ina Platte, inani-design.de; S. 58 – Veranstaltungen: DAGA 2023, Lichterherz auf der Elbphilharmonie © Sascha Bruch, https://www.instagram.com/sascha_b_hamburg; S. 59 – Veranstaltungen: DAGA 2023, Tagungszentrum: CCH im Erdgeschoss © Teresa Lehmann, Berlin, Copyright DEGA e. V.; S. 59 – Veranstaltungen: DAGA 2023, Junge Leute an den Landungsbrücken © Joerg Modrow; S. 60 – Veranstaltungen: Rückblick 25. Tag gegen Lärm 2022, Logo © Viktoria Vorländer, Ursprungsbilder: kenta57, zolotons, Dzmitry, Rawpixel.com / stock.adobe.com; S. 65 – DEGA: Fachausschuss Bau- und Raumakustik © mit feundlicher Genehmigung der Firma Müller-BBM GmbH; S. 66 – DEGA: Fachausschuss Hörakustik © psdesign1 / fotolia.com; S. 66 – DEGA: Fachausschuss Lärm: Wirkungen und Schutz © A.F.X. Süß, Berlin, Copyright DEGA e. V.; S. 67 – DEGA: Fachausschuss Physikalische Akustik © SAM, TU Darmstadt; S. 68 – DEGA: Fachausschuss Virtuelle Akustik © Franz Zotter, Kunstuniversität Graz

HEAD acoustics

traumhaft leise

Innovative Haustechnik
braucht akustischen Komfort

REAL-LIFE-PROOF.

www.head-acoustics.de

Im Mittelpunkt der Mensch

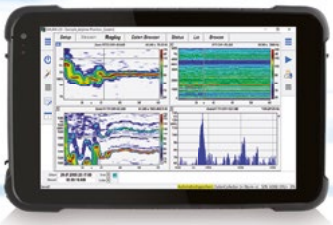
SINUS Messtechnik GmbH

*Die **SINUS Messtechnik GmbH** steht seit 1990 für professionelle Mess- und Analysesysteme zur Schall- und Vibrationsanalyse. Vom Schallpegelmesser bis zur akustischen Kamera bieten wir eine breite Auswahl an Messgeräten mit einer Vielzahl von Softwareoptionen für die gängigsten Anwendungsgebiete wie Bauakustik, Schallleistungsmessung, Lärmquellenidentifizierung, Gebäudeschwingung, Umweltlärm, Arbeitsschutz, Vibrationsanalyse, Struktur- und Modalanalyse, NVH-Prüfungen und vielkanalige Datenerfassung an. Durch die Erweiterbarkeit unserer Software SAMURAI mit neuen Optionen werden ständig weitere Anwendungsbereiche erschlossen.*

Tango_Plus

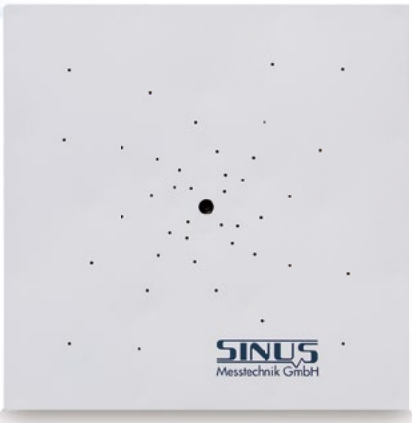
Apollo_lt

Soundbook_Expander



NoisePAD

Soundbook



AC100

Apollo_Carrier

SINUS Messtechnik GmbH
Föpplstrasse 13
04347 Leipzig
• Tel.: +49 341 24429-0
• Fax.: +49 341 24429-99
• www.soundbook.de
• info@soundbook.de

Apollo, NoisePAD, SAMURAI, Soundbook und Tango sind Markenzeichen der SINUS Messtechnik GmbH