

Nr. 03/ Oktober 2022

AKUSTIK JOURNAL

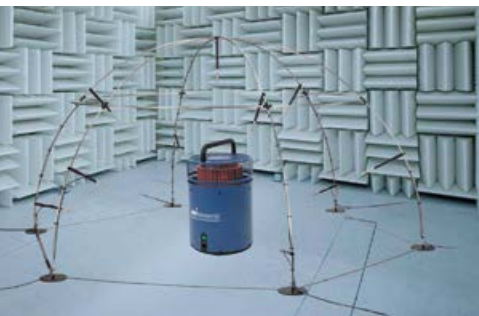


Auf der Suche nach rotierendem Lärm ■ Schallschutzklassen und erhöhter Schallschutz ■ Messung der Grundmode einer akustischen Röhre zu höheren Frequenzen ■

15. DEGA-Symposium ■ Reisekostenzuschüsse „DEGA Young Scientist Grants“ ■ DEGA-Akademie-Kurse im Jahr 2022 und 2023 ■ Vorschau: DAGA 2023 in Hamburg ■ Zuschüsse für Studierende zur DAGA 2023 ■



Innovative Schallmesstechnik



Schallpegelmesser | Lärm-Monitoring System | Bauakustiksysteme
Raumakustikmesssysteme | Messgeräte zur Materialprüfung
Schallquellen | Schallleistungsmesssysteme | Schallintensität
Akustische Kamera | Vibrationsmessgeräte | Kalibrierequipment

Ni Norsonic | **Tippkemper** norsonic

www.norsonic.de | tippkemper@norsonic.de | Tel. 02529 9301-0

Editorial

Auf der Suche nach Ruhe ...

... wanderte ich 12 Tage im August mit meinem Mann von Idar-Oberstein nach Rüdesheim am Rhein auf den Spuren von Hildegard von Bingen: Unser Wunsch war es, Ruhe in Bewegung zu finden, im eigenen Rhythmus und möglichst im Einklang mit uns, der Natur und dem Weg. Wir haben diese Ruhe gefunden, entlang verschlungener Pfade im Hunsrück, in sonnenverwöhnten Weinbergen, auf sanften Hügeln und in wunderschönen Wäldern. Wir haben uns an der Einfachheit des Gehens erfreut, die Schönheit der Natur genossen und wurden durch den Klang der Stille inspiriert.

Aber ganz ungestört war diese Ruhe nicht. Die Geräusche von Autos und LKW in den engen Taleinschnitten des Hunsrücks waren nicht zu überhören, auch nicht der Fluglärm und die ratternden Züge im engen Rheintal. Fahrzeuge, die Menschen und Güter von A nach B bringen, dominierten auf so manchem Abschnitt die Geräuschkulisse.

Und nicht nur im Außen gab es unruhige Momente. Unruhe kam auch in uns auf, wenn wir entlang von mehr als einer Klamm gepilgert sind, die kein Wasser mehr führte und als wir den Rhein mit seinem sehr niedrigen Pegelstand erblickten.

Auch die aktuellen Nachrichten können uns in Unruhe versetzen. Es sind Zeiten, in denen das Zuhören und Hinschauen manchmal schwerfällt – und gerade jetzt so wichtig sind. Ich wünsche uns, dass wir gemeinsam dazu beitragen, die Zukunft ruhiger und mehr im Einklang zu gestalten.

Ich danke allen herzlich, die sich in der DEGA und für ihre vielfältigen Belange engagieren. Mein besonderer Dank geht an unseren bisherigen Präsidenten Jesko Verhey und die ehemaligen Vorstandsmitglieder Ennes Sarradj und Bernhard Seeber für das sichere Navigieren in herausfordernden Zeiten und die engagierte und tatkräftige Unterstützung durch Martin Klemenz, Silvia Leuß, Evelin Baumer, Julia Schneiderheinze und Teresa Lehmann in der DEGA-Geschäftsstelle.

Ich freue mich auf die Arbeit mit den wieder und neu gewählten Vorstandsmitgliedern, um gemeinsam mit Ihnen allen – der Vielfalt der DEGA-Mitglieder und der „bunten“ Akustik-Familie – die Zukunft zu gestalten.

Ihre
Sabine Langer



Sabine C. Langer
Präsidentin der DEGA

Inhalt

Akustik Journal Nr. 03 / Oktober 2022

- **5 Aktuelles**
- **7 Fachartikel**
 - 7 **Auf der Suche nach rotierendem Lärm**
Gert Herold
 - 14 **Schallschutzklassen und erhöhter Schallschutz – Überarbeitung der DEGA-Empfehlung 103**
Christian Nocke, Reinhard O. Neubauer, Christian Burkhart
 - 25 **Messung der Grundmode einer akustischen Röhre zu höheren Frequenzen**
Joerg Panzer
- **32 Menschen**
 - 32 **Personalien**
- **33 Veranstaltungen**
 - 33 **Veranstaltungshinweise**
 - 33 DEGA-Akademie: Kurs „Soundscape – Konzeption, Standardisierung und Anwendungen in der Praxis“
 - 33 15. DEGA-Symposium „Erneuerbare Energien und Lärmschutz“
 - 34 DEGA-Akademie: Kurs „Bauakustik – von den Grundlagen zur Anwendung“
 - 35 DEGA-Akademie: Kurs „Grundlagen der Technischen Akustik“
 - 35 DEGA-Akademie: Kurs „Raumakustik kompakt“
 - 36 **Vorschau**
 - 36 DAGA 2023
 - 38 **Veranstaltungskalender**
- **39 DEGA**
 - 39 **Nachrichten und Mitteilungen aus der Fachgesellschaft**
 - 39 Neue Mitgliedsgebühren
 - 39 Reisekostenzuschüsse „DEGA Young Scientist Grants“
 - 40 **Fachausschüsse und Fachgruppen der DEGA stellen sich vor**
 - 40 Fachausschuss Physikalische Akustik (Teil 8)
 - 42 **Fachausschüsse / Fachgruppen**
 - 45 **Mitglieder / Fördermitglieder**
- **46 Normen / Richtlinien**
 - 46 **Neue Regelwerke zu den Themen Akustik und Lärmminderung (Juni – Sept. 2022)**
- **48 Publikationen**
 - 48 **Zeitschriften, Tagungsbände, Empfehlungen und Memoranden, Broschüren etc.**
- **50 Impressum**

Aktuelles

Nachrichten aus der Akustik

■ DAGA 2023: 49. Jahrestagung für Akustik



Die 49. Jahrestagung für Akustik wird vom 06.–09.03.2023 in Hamburg stattfinden.

Alle Informationen zur Tagung (Termin, Anmeldung, Programm und Ausstellung) erhalten Sie auf den Seiten [36f](#) oder unter <https://www.daga2023.de>. ■

■ DEGA-Akademie

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

09.–11.11.2022, online

Kurs „Bauakustik – von den Grundlagen zur Anwendung“

21.–23.11.2022, Braunschweig

Kurs „Grundlagen der Technischen Akustik“

23.–24.11.2022, Berlin

Kurs „Raumakustik kompakt“

28.11.2022, Braunschweig

Kurs „Bauakustik – von den Grundlagen zur Anwendung“

19.–21.04.2023, Braunschweig

Ausführliche Informationen zu den Kursen finden Sie auf den Seiten [33ff](#) oder unter <https://www.dega-akustik.de>. ■

■ Zuschüsse für Studierende zur DAGA 2023 (DEGA Student Grants)

Die DEGA vergibt auch im kommenden Jahr wieder „DEGA Student Grants“ zum Besuch der Tagung DAGA 2023 in Hamburg, um jungen Akustikerinnen und Akustikern die Teilnahme zu erleichtern. Die Grants umfassen die freie Tagungsteilnahme, einen Reisekostenzuschuss von 250 € und eine einjährige DEGA-Mitgliedschaft. Studierende, die zur DAGA 2023 einen Vortrag oder ein Poster eingereicht haben, können sich bis Mittwoch, den 16. November 2022 mit einem formlosen Antrag an die DEGA-Geschäftsstelle (vorzugsweise per E-Mail an dega@dega-akustik.de) um die Grants bewerben. Ein kurzer Lebenslauf, ein Befürwortungsschreiben eines/einer Hochschullehrenden (Prof. oder Priv.-Doz.) und die Kurzfassung (Abstract) des o.g. Vortrags bzw. Posters sind dem Antrag beizufügen. Außerdem muss das Manuskript (Final Paper) dem Antrag hinzugefügt werden; dieses sollte dem späteren Beitrag für den DAGA-Tagungsband weitgehend entsprechen (DIN A4, max. 4 Seiten, zweispaltig, Schrift 10pt). Über die Vergabe entscheidet der Vorstand der DEGA.

Es können sich einerseits Studierende (Bachelor, Master, Diplom, Magister o. ä., Nachweis bitte beifügen, keine Ph.D.) bewerben und andererseits Absolventen, bei denen die Abschlussurkunde nicht älter als ein halbes Jahr ist; d. h. nach dem 15.05.2022 ausgestellt wurde (Nachweis bitte beifügen). ■

■ 15. DEGA-Symposium



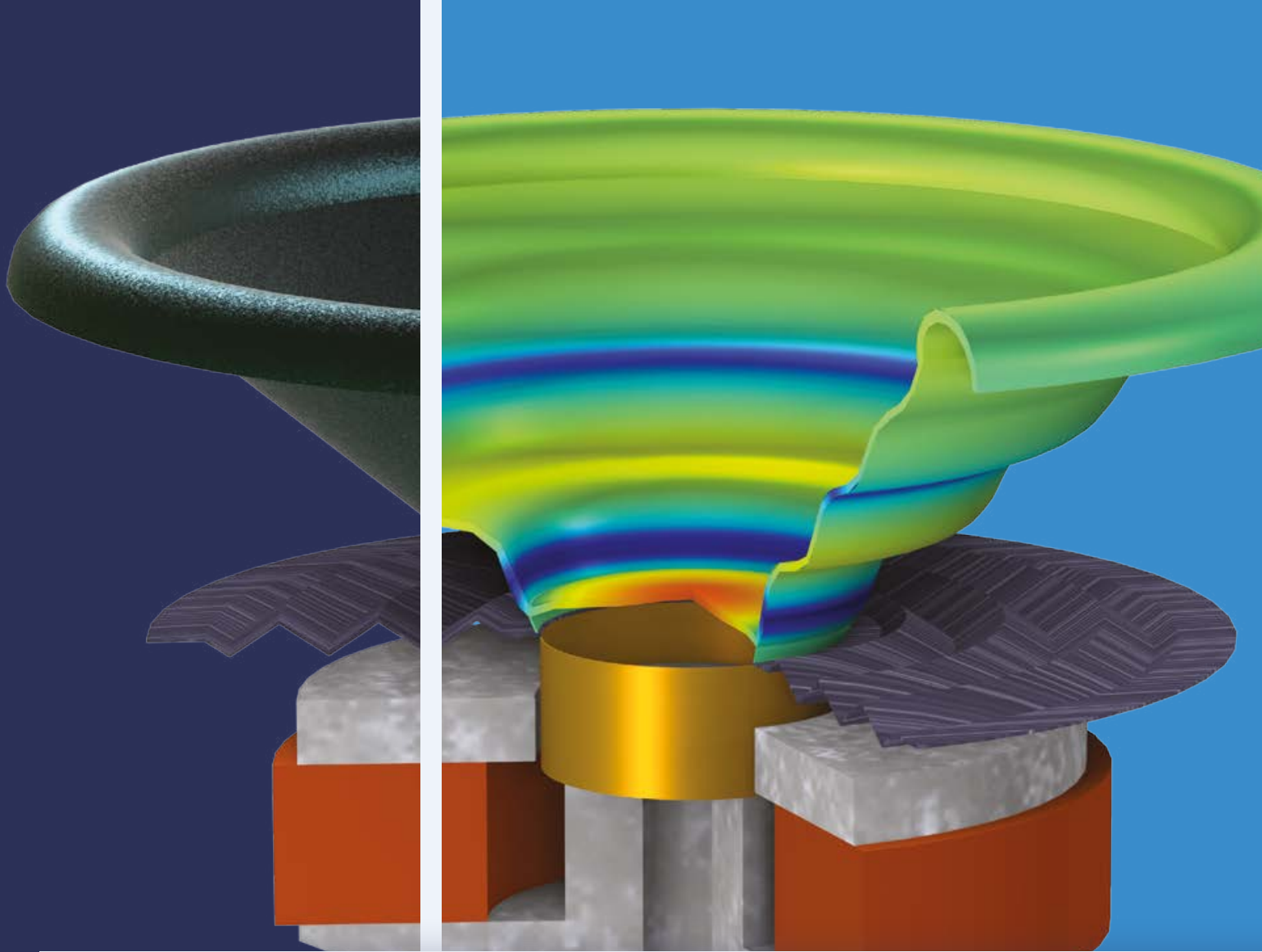
Unter dem Motto „Erneuerbare Energien und Lärmschutz“ findet das 15. DEGA-Symposium vom 14. bis 15. November 2022 in Berlin statt. Aufgrund der hohen Aktualität und des Umfangs der Thematik wird das diesjährige Symposium in zwei Tage aufgeteilt. Inhalt des ersten Tages ist die Akustik von Energieanlagen

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“.

Ausführliche Informationen zum Symposium (Programm, Anmeldung etc.) erhalten Sie auf S. [33f](#) oder unter <https://www.dega-akustik.de/>. ■

■ Reisekostenzuschüsse „DEGA Young Scientist Grants“

Um jungen Akustikerinnen und Akustikern die aktive Teilnahme an internationalen Tagungen mit dem Schwerpunkt Akustik zu ermöglichen, vergibt die DEGA Reisekostenzuschüsse. Es können Reisen gefördert werden, in deren Rahmen die Antragstellerin / der Antragsteller einen Vortrag oder ein Poster mit Veröffentlichung präsentiert. Ein Merkblatt mit sämtlichen Details und Anforderungen finden Sie hierzu auf der Seite <https://www.dega-akustik.de/ys-grants>. ■



Bestimmen Sie den Ton in der Akustik

mit COMSOL Multiphysics®

Multiphysik-Simulation treibt die Akustikinnovation voran, indem sie Einblicke in jeden Designaspekt gewährt, der die Produktleistung beeinflusst. Dank der Möglichkeit, gekoppelte physikalische Phänomene zu berücksichtigen, können Sie ein Design unter realen Bedingungen vorhersagen, optimieren und virtuell testen - noch bevor ein erster Prototyp gebaut wird.

» comsol.com/feature/acoustics-innovation

Auf der Suche nach rotierendem Lärm

Gert Herold

Schallquellen in Strömungsmaschinen lassen sich mit Mikrofonarrays messen. Mithilfe geeigneter Signalverarbeitungsalgorithmen lassen sich detaillierte Informationen über die Schallabstrahlung einzelner Komponenten ermitteln sowie auftretende Strömungsphänomene untersuchen. So kann diese Messtechnik bei der Neuentwicklung oder Wartung von Wärmepumpen, Turbofans, Windkraftanlagen oder anderen Maschinen mit rotierenden Komponenten, die mit einem Fluid interagieren, wertvolle Dienste leisten.

Worum sich's dreht

Strömungsmaschinen sind in vielen Bereichen des Alltags zu finden. Typischerweise wird hier Energie von einem Rotor auf ein Fluid übertragen, d. h. mithilfe rotierender Komponenten wird eine Strömung erzeugt. Dabei üben diese Komponenten kontinuierlich eine Kraft auf das Fluid aus, um es in Bewegung zu versetzen. Allgegenwärtige Beispiele sind Computerlüfter, Triebwerksfans oder Ventilatoren in der Wärmepumpe und der Klimaanlage. Das umgekehrte Wirkprinzip findet sich z. B. bei Windkraftanlagen oder allgemein bei mit Turbinen betriebenen Generatoren, wo einer Strömung Energie entzogen und auf einen Rotor übertragen wird. Hier wirken durch die Umströmung Kräfte auf Maschinenkomponenten, die sich dann in Bewegung setzen.

Bei all diesen Vorgängen entsteht in der Regel Schall, der je nach Anwendungsart und -ort als störender Lärm wahrgenommen werden kann. Das erzeugte Schallfeld ist sehr komplex und setzt sich aus mehreren Anteilen zusammen. Häufig weist das Spektrum sowohl tonale als auch breitbandige Komponenten auf. Schon seit Jahrzehnten wird anhand von Experimenten, Simulationen und Modellannahmen versucht, Rückschlüsse auf die Ursache einzelner Aspekte des gemessenen Schalls zu ziehen [1–3]. Eine direkte Messung und Trennung der schallerzeugenden Mechanismen im „echten“ Betrieb der Strömungsmaschine erschien lange Zeit aufgrund der Überlagerung verschiedener Phänomene jedoch als unrealisierbar. Neben der Schallerzeugung an unterschiedlichen Orten kommt bei rotierenden Maschinen erschwerend hinzu, dass sich der Abstrahlort einiger Quellen ständig mit der Zeit verändert. Andere Quellen hingegen sind stationär, und der abgestrahlte Schall all dieser Quellen überlagert sich und wird

In search of rotating noise

Sound sources in turbomachinery can be measured with microphone arrays. By using suitable signal processing algorithms, detailed information about the sound radiation of individual components can be determined and occurring flow phenomena can be investigated. This measurement technology can thus provide valuable assistance in the new development or maintenance of heat pumps, turbofans, wind turbines or other machines with rotating components that interact with a fluid.

gleichzeitig wahrgenommen bzw. kann an einem Ort immer nur in seiner Gesamtheit gemessen werden. Für die räumliche Trennung gleichzeitig abstrahlender Schallquellen hat sich die Anwendung von Mikrofonarrays etabliert [4–6]. Hierbei werden mehrere Mikrofone an bekannte Positionen im Raum verteilt. Wichtig ist, dass die Aufzeichnung der Signale synchron erfolgt. Durch die vorhandenen Laufzeitunterschiede in den Signalen können nun Rückschlüsse auf die zugrundeliegende Quellverteilung gezogen werden. Außerdem können Schallsignale entsprechend des Abstrahlortes der zugehörigen Quellen gefiltert werden. Ein exemplarischer Messaufbau mit 64 Mikrofonen für einen Ventilator mit 9 Schaufeln ist in Abbildung 1 gezeigt. Bei breitbandigen Signalen wie Rauschen ist es sinnvoll, über einen längeren Zeitraum zu messen.

Abb. 1: Messaufbau eines Axialventilators mit dem Mikrofonarray auf der Saugseite [7] (Ventilatorprüfstand, FAU Erlangen-Nürnberg).



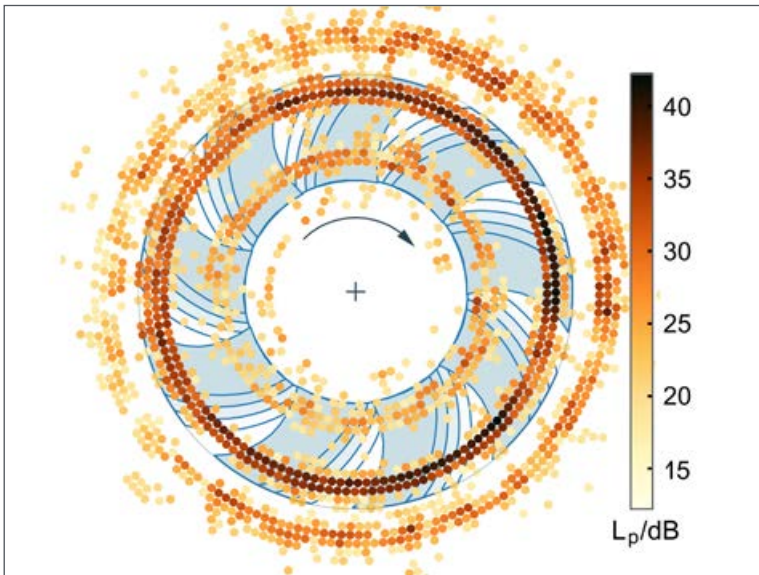
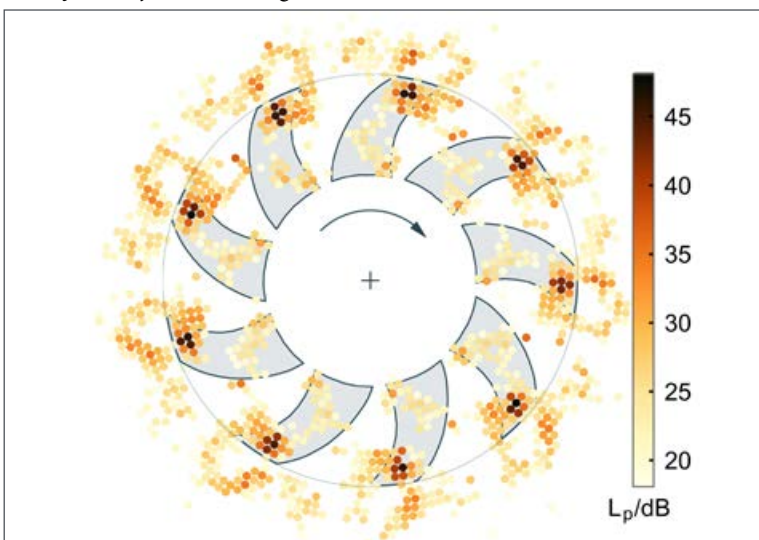


Abb. 2: Schallkartierung eines Ventilators mit 9 Schaufeln unter Annahme stehender Quellen (Auswertung Terzband bei 4 kHz)

So können die stochastischen Schwankungen des Schalldrucks ausreichend lang energetisch gemittelt werden. Viele hochauflösende Verfahren zur Auswertung von Mikrofonarraymessungen setzen dabei jedoch stationäre Schallquellen voraus [8–11]. Bei der Anwendung auf Objekte mit bewegten Komponenten wie z. B. einen Ventilator werden diese dann verwischt dargestellt.

Dies ist beispielhaft in Abbildung 2 dargestellt: Entlang der rotierenden Schaufeln des Ventilators wird ein Ring detektiert, da die Schallenergie durch die Rotation über den Umfang verteilt wird. Hiermit lässt sich lediglich eine grobe radiale Schalldruckverteilung ermitteln, jedoch bleiben Informationen zur Quellverteilung in Umfangsrichtung verborgen.

Abb. 3: Schallkartierung eines Ventilators mit dem virtuell rotierenden Mikrofonarray (Auswertung Terzband bei 4 kHz) [17]



Alles dreht sich

Um auch Schallquellen auf den Ventilatorschaufeln sichtbar zu machen gibt es mehrere Möglichkeiten: So kann die Auswertung auf einen so kurzen Zeitraum beschränkt werden, dass sich die Position der Blätter nicht signifikant verändert. Dadurch würde wieder der auswertbare Zeitraum beschränkt werden – und damit die zur Mittelung verfügbare Datenmenge. Eine weitere Möglichkeit ist es, im Auswertalgorithmus kontinuierlich die sich entsprechend der Bewegung verändernden Signallaufzeitdifferenzen zu berücksichtigen. Diese Variante findet in der Praxis durchaus Anwendung [12], da sie eine flexible Anordnung der Mikrofone relativ zum Messobjekt erlaubt. Jedoch ist die Auswahl der hochauflösenden Verfahren, die mit diesem Prinzip arbeiten, sehr beschränkt [13], und der Rechenaufwand ist um Größenordnungen höher als bei den für stationäre Quellen geeigneten Verfahren.

Eine dritte Möglichkeit ist es, das Mikrofonarray synchron mit den Quellen mitzubewegen, sodass diese relativ dazu als stehend erscheinen. Auch wenn eine tatsächliche Mitrotation des Arrays prinzipiell realisiert werden kann [14], ist der konstruktive und messtechnische Aufwand hier sehr hoch. Einfacher und in der Anwendung flexibler ist es, das Mikrofonarray „virtuell“ mitzurotieren [15]. Das bedeutet, dass ausgehend von einer geeigneten ortsfesten Sensoranordnung die gemessenen Signale so untereinander interpoliert werden, dass sie den Signalen eines gedachten mitbewegten Mikrofonarrays entsprechen. Ein zusätzlicher Vorteil des virtuellen Arrays gegenüber einem real mitrotierenden ist, dass die Rotation nachträglich angepasst werden kann. Das ist etwa dann wichtig, wenn in einem System unterschiedliche Rotationsgeschwindigkeiten oder sowohl stehende als auch rotierende Quellen vorkommen und betrachtet werden sollen. Voraussetzung für eine gute „Virtualisierung“ eines Mikrofonarrays ist jedoch eine ausreichende Abdeckung des Bereichs, in dem sich virtuelle Mikrofone befinden sollen, mit physikalischen Mikrofonen. Das ist prinzipiell mit beliebigen Anordnungen möglich [16]. Für eine Implementierung einer Rotation mit möglichst wenigen Mikrofonen hat sich allerdings eine ringförmige Anordnung der Mikrofone als vorteilhaft erwiesen. Der Fall des rotierenden Ventilators ist in Abbildung 3 noch einmal mit einem virtuell mitrotierenden Array ausgewertet. Es sind mehrere Schallquellen erkennbar, die sich klar verschiedenen Positionen auf den Ventilatorschaufeln zuordnen lassen. Mit der Möglichkeit der örtlichen Trennung der Schallquellen lassen sich auch komponentenspezifische Schalldruckspektren erzeugen. Das ist exemplarisch in Abbildung 4 für die Schallabstrahlung der Vorder-

und Hinterkanten des untersuchten Ventilators dargestellt. Eine solche Auswertung erlaubt die gezielte akustische Optimierung einzelner schallabstrahlender Komponenten. Dabei ist zu beachten, dass der sinnvoll auswertbare Frequenzbereich je nach Arraygeometrie beschränkt ist. Die obere Frequenzgrenze ist dabei gesetzt durch die verwendete Anzahl an Mikrofonen [17, 18], während für die räumliche Auflösung bei tiefen Frequenzen der Durchmesser des Arrays ausschlaggebend ist [12] – in beiden Fällen gilt, je mehr, desto besser.

Wie sich's dreht

Das Verfahren der virtuellen Rotation setzt voraus, dass die genaue Drehzahl zu jedem Zeitpunkt bekannt ist. Das bedeutet, dass diese mit einem geeigneten Verfahren – etwa mithilfe eines optischen Sensors – permanent erfasst und ebenfalls aufgezeichnet wird. Doch auch aus den akustischen Messdaten lassen sich Rückschlüsse auf vorhandene Rotationen ziehen. Weit verbreitet ist die Auswertung der Spektren hinsichtlich tonaler Anteile, deren Frequenz der Drehzahl oder Vielfachen davon entspricht. Bei Strömungsmaschinen relevant sind vor allem periodische Druckfluktuationen, die durch die Passage von Rotorblättern hervorgerufen werden. Diese Blattfolgefrequenz – also die Drehzahl multipliziert mit der Blattanzahl – und deren Vielfache sind charakteristisch für die tonalen Anteile im Spektrum.

In Abbildung 5 ist das Spektrum einer Rotor-Stator Anordnung in einem Strömungskanal dargestellt. Die Blattfolgefrequenz liegt bei 900 Hz, was bei einer Rotorblattzahl von 18 einer Drehzahl von 50 Hz oder 3 000 Umdrehungen pro Minute entspricht. Mit einer ringförmigen Mikrofonanordnung im Kanal lässt sich auch hier ein virtuell mitrotierendes Array realisieren. Das Spektrum im rotierenden Bezugssystem unterscheidet sich deutlich vom stationär betrachteten Fall und ist in Abbildung 6 dargestellt.

Hier treten unter anderem Töne bei 1 600 Hz und 3 200 Hz auf. Diese entsprechen der einfachen und doppelten Blattfolgefrequenz des fest stehenden Stators mit 32 Schaufeln, der nun relativ zu den virtuellen Mikrofonen entgegengesetzt rotiert, und somit 32 mal pro Umdrehung den Nachlauf der virtuell stationären Rotorblätter passiert. Da die virtuelle Rotation nicht auf eine bestimmte Drehzahl beschränkt ist, ist es auch möglich, Spektren für beliebige Drehzahlen zu erzeugen [20]. Dies ist in Abbildung 7 gezeigt, wo auf der senkrechten Achse die virtuelle Rotationsgeschwindigkeit kontinuierlich von stehend bis zur 12-fachen Rotordrehzahl verändert und jeweils das Spektrum im entsprechend drehenden Bezugssystem bestimmt wurde.

Die tonalen Anteile sind hier als Linien sichtbar – je

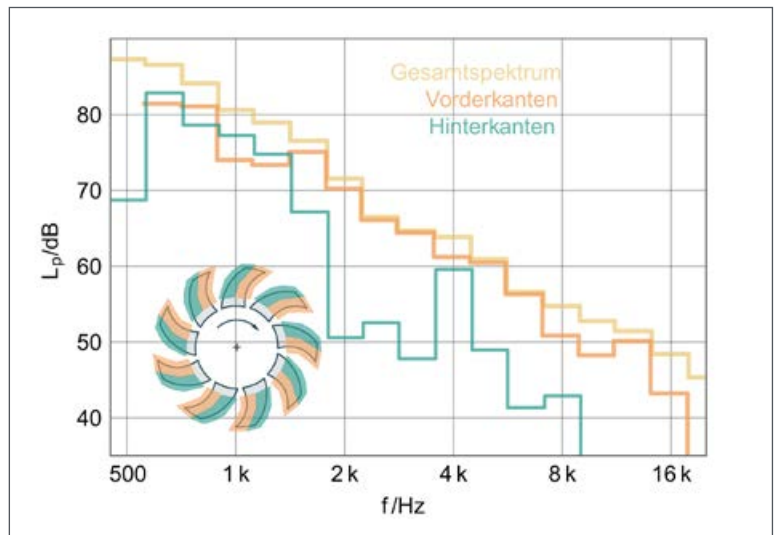


Abb. 4: Terzspektren für Vorder- und Hinterkanten des 9-Schaufel-Ventilators [17]

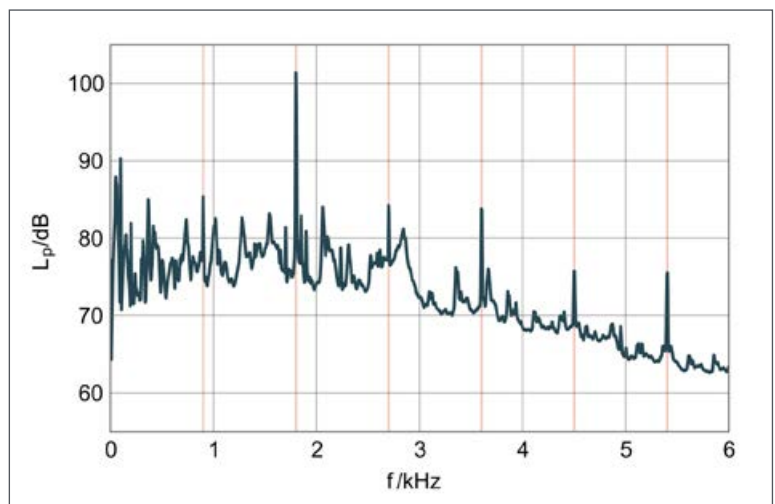


Abb. 5: Schmalbandspektrum einer Rotor-Stator-Anordnung im Strömungskanal [19]. Die Blattfolgefrequenzen des Rotors sind rot markiert.

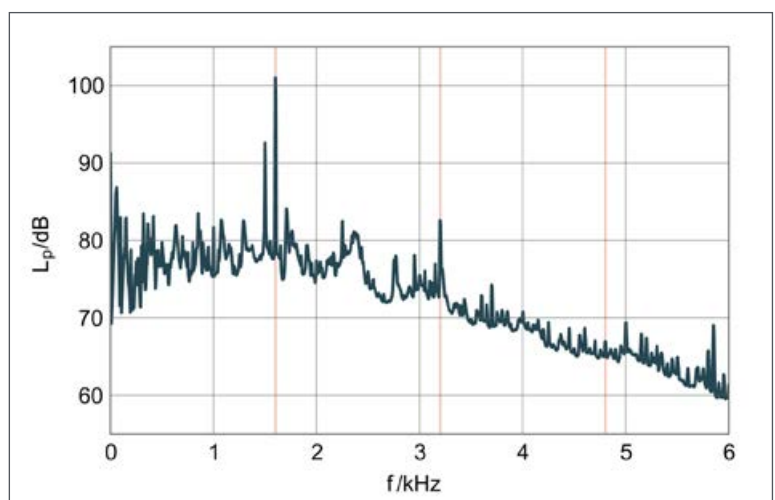


Abb. 6: Schmalbandspektrum einer Rotor-Stator-Anordnung im Strömungskanal mit virtueller Rotation [17]. Die Blattfolgefrequenzen des Stators sind rot markiert.

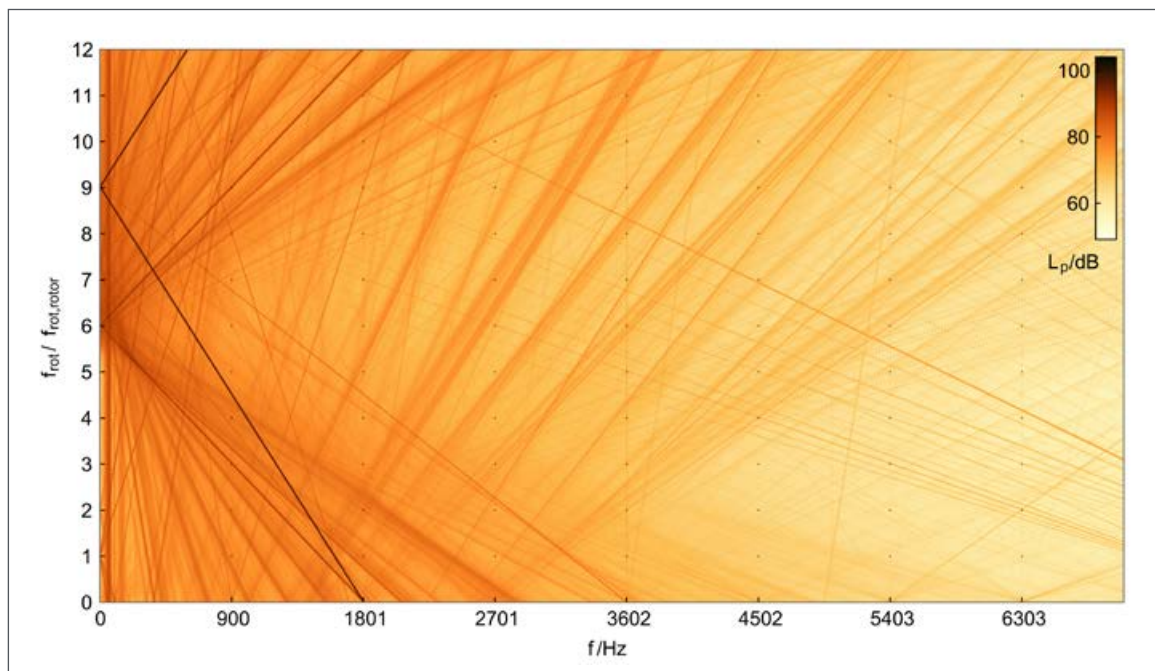


Abb. 7: $f_{\text{rot}}/f_{\text{rot,rotor}}$ -Diagramm für eine Rotor-Stator-Anordnung im zylindrischen Strömungskanal

nach betrachteter Drehzahl liegen die meisten Töne offensichtlich bei einer anderen Frequenz. Bei den Drehzahlen, an denen die „Tonlinien“ die Frequenz 0 Hz erreichen, sind sie nicht mehr als Ton vorhan-

den. Das ist im gezeigten Diagramm für einige dominante Töne bei der sechsfachen sowie bei der neunfachen Rotordrehzahl der Fall. Dies deutet auf Druckschwankungen hin, die mit dem entspre-



kühl, nicht brummig

Innovative Haustechnik
braucht akustischen Komfort

REAL-LIFE-PROOF.

www.head-acoustics.de



chenden Vielfachen der Drehzahl umlaufen. Solche Phänomene treten typischerweise in Rotor-Stator-Anordnungen auf. Druckschwankungen im Nachlauf des Rotors interagieren mit den Statorschaufeln, wodurch Schall abgestrahlt wird. Bei unterschiedlichen Anzahlen an Schaufeln kommt es vor, dass die auf eine Interaktion folgende nächste Interaktion ein anderes Rotor-Stator-Schaufelpaar betrifft [1] und damit die „Rotation“ der Quelle schneller erscheint als die tatsächliche Drehzahl.

Nicht immer sind schallerzeugende rotierende Phänomene tonal sichtbar oder so fest an die Drehzahl gekoppelt. Diese sind dennoch mithilfe eines ringförmigen Mikrofonarrays detektierbar, indem damit nach breitbandigen rotierenden und kurzzeitig kohärenten Strukturen gesucht wird [21]. Dies wird im Folgenden mit dem eingangs gezeigten Ventilator demonstriert, der mit knapp 1 500 Umdrehungen pro Minute rotiert. Auftretende Drehzahlen in zwei Betriebspunkten werden untersucht.

Bei der in Abbildung 8 gezeigten akustischen Drehzahlauswertung arbeitet der Ventilator unter optimalen Bedingungen. Der Algorithmus findet über die gesamte Messzeit nur stehende Quellen ($f_{rot} = 0$ Hz) und Quellen, die mit der Drehzahl rotieren ($f_{rot} = -25$ Hz, das negative Vorzeichen kennzeichnet eine Drehrichtung im Uhrzeigersinn). Wird der Betriebspunkt bzw. werden die Druckverhältnisse bei gleicher Drehzahl so verändert, dass die Strömung der Schaufelkontur nicht mehr folgen kann und regelmäßig abreißt, geht dies auch mit erhöhter Schallabstrahlung einher. Die sich ausbildenden „Ablöseblasen“ rotieren mit geringerer Geschwindigkeit als der Lüfter und stellen sich akustisch als transientes Phänomen dar. Dies ist in Abbildung 9 zu sehen, wo über die gesamte Messzeit immer wieder Rotationsgeschwindigkeiten mit etwas unter der halben nominellen Drehzahl auftreten.

Mit der Mikrofonarray-Technologie lassen sich so auch kritische Betriebszustände direkt detektieren und quantifizieren.

Wieviel sich dreht

Es wurde gezeigt, dass in rotierenden Strömungsmaschinen unterschiedlich rotierende (und stehende) Schallquellen gleichzeitig auftreten können bzw. in der Regel auch auftreten. Mit der virtuellen Rotation ist es möglich, jeweils auf Quellen mit einer konkreten Drehzahl zu fokussieren. Die anderen Quellen sind allerdings nach wie vor in der Schallkarte enthalten. Sie werden, wie anfangs gezeigt, zwar über den Umfang als Ring „verschmiert“, überlagern jedoch immer noch das Ergebnis. Mit geeigneten Algorithmen lässt sich der Einfluss der Schallquellen, die im jeweils verwendeten Bezugssystem nicht stehen

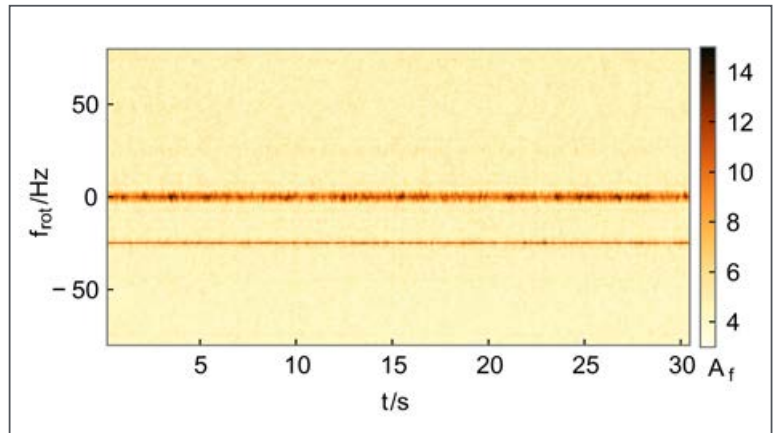


Abb. 8: Zeitabhängige Drehzahldetektion aus Breitband-Signalen für einen Ventilator im Auslegungspunkt [17]

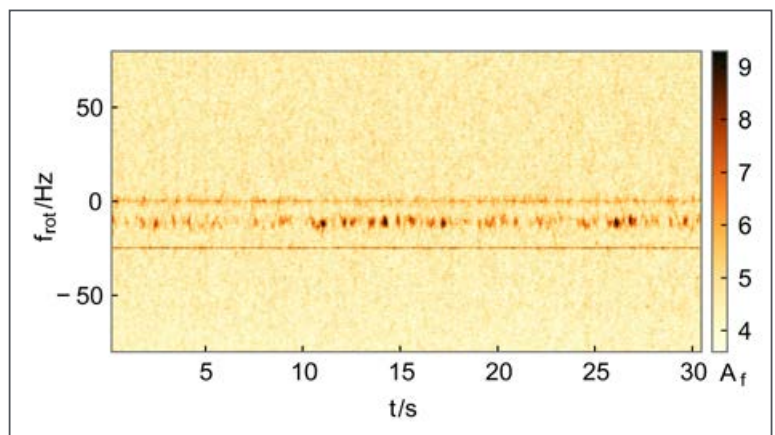


Abb. 9: Zeitabhängige Drehzahldetektion aus Breitband-Signalen für einen Ventilator in einem Betriebspunkt mit Strömungsabrissen [17]

(also verschmieren), herausmitteln. Damit kann der bei einer bestimmten Drehzahl rotierende Schallanteil besser von anderen Quellen getrennt und quantifiziert werden [17, 22].

In Abbildung 10 wird ein Prinzipexperiment ausgewertet, bei dem direkt vor dem Ventilator eine Stange installiert wurde, die von rechts in den Zustrom hineinragt. Die hierdurch verursachten Turbulenzen sorgen für einen deutlich erhöhten messbaren Schalldruckpegel gegenüber dem Betrieb des Lüfters ohne Zustromstörung. Dabei sind sowohl rotierende als auch stehende Quellen an der Schallabstrahlung beteiligt. Eine einfache Schallkartierung im ruhenden wie im rotierenden Bezugssystem lokalisiert zwar die dominanten Quellen, allerdings ist die erreichbare Dynamik sehr gering.

Werden die im jeweiligen Bezugssystem rotierenden Quellen herausgemittelt – also im rotierenden Bezugssystem die stehenden Quellen und umgekehrt – kann ein wesentlich besserer Signal-Rausch-Abstand realisiert werden, wobei das „Rauschen“ hier auch die durch rotierende Quellen beigetragenen breitbandigen Schallanteile umfasst.

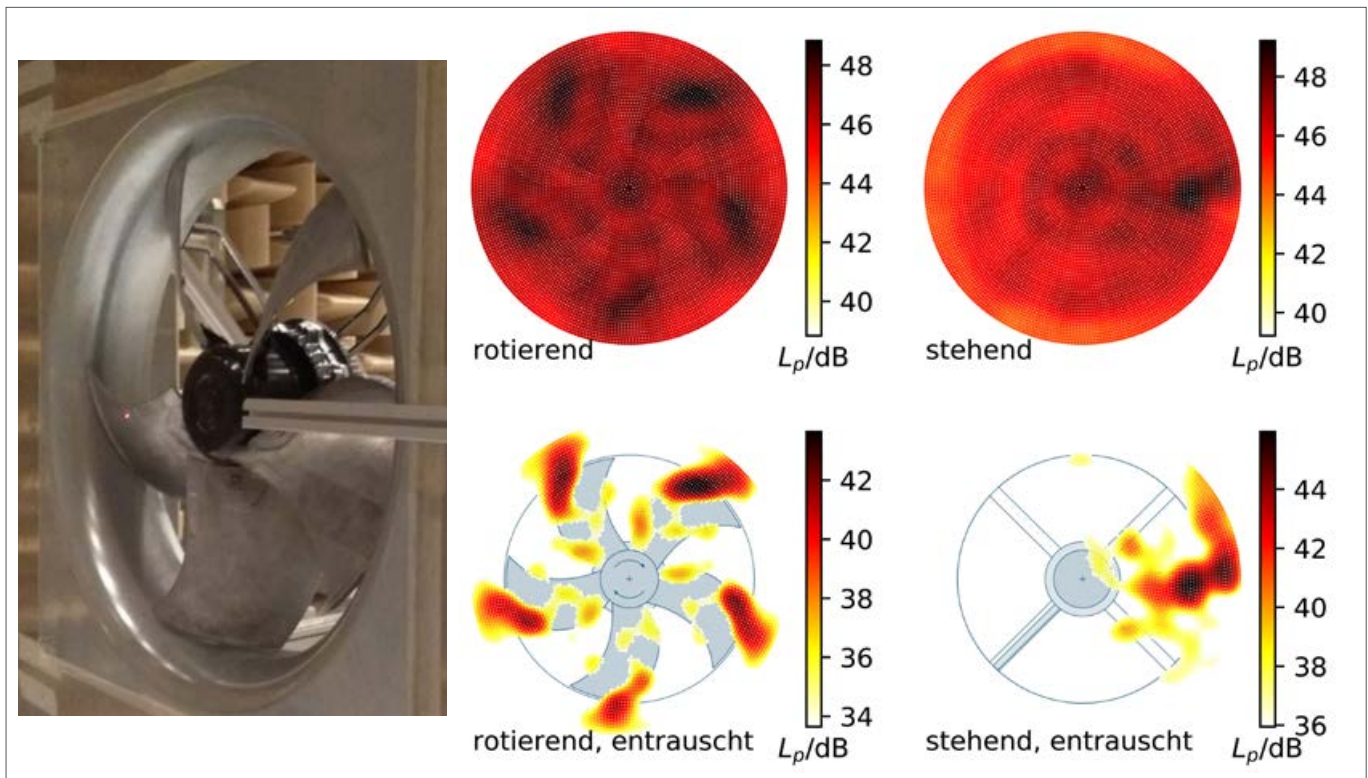
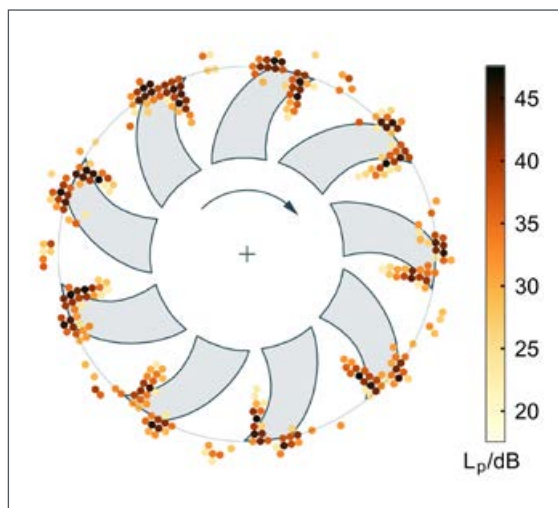


Abb. 10: Prinzipexperiment eines Ventilators mit Zustromstörung (reflexionsarmer Raum, TU Berlin). Schallkarten im rotierenden und stehenden Bezugssystem, ohne und mit Entfernung von „Rotationsrauschen“ (Auswertung Terzband bei 2 kHz) [22].

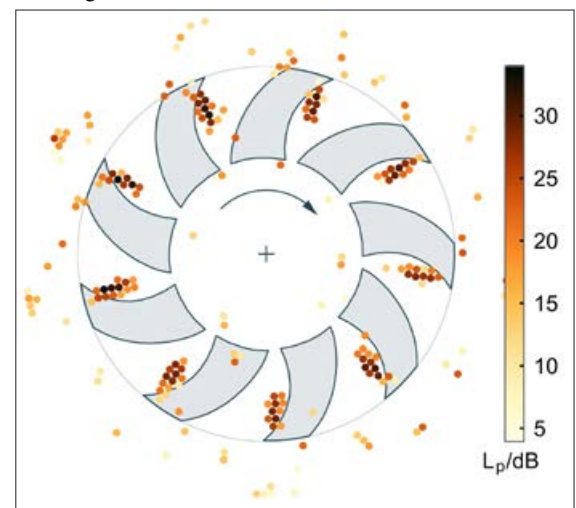
In den entrauschten Schallkarten in Abbildung 10 lassen sich einzelne Bereiche mit unterschiedlicher Schallabstrahlung an den Ventilatorschaufeln nun deutlich erkennen, und im stehenden System werden neben dem Bereich der Stange auch Quellen an den Statorstreben auf der Ventilatordruckseite sichtbar. Als weiteres Beispiel wird hier noch einmal der Ventilator mit 9 Schaufeln im Betriebspunkt mit Strömungsabriss betrachtet. Die einfache Schallkartierung im rotierenden Bezugssystem (Abb. 11) zeigt

Abb. 11: Schallkartierung eines Ventilators im Strömungsabriss mit 9 Schaufeln (Auswertung Terzband bei 4 kHz) [17].



Quellen an den Vorder- und Hinterkanten der Ventilatorschaufeln, besonders im Bereich der Schaufelspitzen. Mit Entfernen des Rotationsrauschens (Abb. 12) werden nur noch die Vorderkanten als Hauptquellen bei 4 kHz erkannt. Dies lässt darauf schließen, dass sich im Bereich der Schaufelspitzen zu einem hohen Anteil die Schallquellen finden, die mit einer anderen Geschwindigkeit als der Ventilatordrehzahl rotieren. Quellbereiche an den Schaufelhinterkanten können durchaus noch vorhanden

Abb. 12: Rotationsentrauschte Schallkartierung eines Ventilators im Strömungsabriss mit 9 Schaufeln (Auswertung Terzband bei 4 kHz) [17].



sein, stellen jedoch keine Hauptquelle dar, d. h. Maßnahmen zu deren akustischer Optimierung würden möglicherweise gar nicht den erwünschten Effekt erbringen, da andere Quellmechanismen wesentlich stärker zur Schallemission beitragen.

Auch nach vielen Jahrzehnten ist die Schallentstehung in Strömungsmaschinen noch immer ein umfangreiches und interessantes Forschungsfeld. Viele Phänomene sind bis jetzt zwar in ihren Entstehungsprinzipien verstanden, stellen aber durch die Vielzahl an Wechselwirkungen nach wie vor hohe Anforderungen an die akustische Auslegung. Die hier vorgestellten Mess- und Signalverarbeitungstechniken sind in der Lage, dabei einen wertvollen Beitrag zu leisten. Ihr Einsatz erlaubt es, bislang nur schwer erfassbare, mit Schallentstehung gekoppelte rotierende Phänomene besser zu visualisieren und quantifizieren sowie den Weg zu effektiven Lärm-minderungsmaßnahmen zu weisen.

Literatur

- [1] Tyler, J. M.; Sofrin, T. G.: Axial flow compressor noise studies. 1962.
<https://doi.org/10.4271/620532>
- [2] Sharland, I. J.: Sources of noise in axial flow fans. *Journal of Sound and Vibration* 1.3, 1964.
<https://doi.org/10.1121/1.1977649>
- [3] Wright, S. E.: The acoustic spectrum of axial flow machines. *Journal of Sound and Vibration* 45.2, 1976.
[https://doi.org/10.1016/0022-460X\(76\)90596-4](https://doi.org/10.1016/0022-460X(76)90596-4)
- [4] Johnson, D. H.; Dudgeon, D. E.: *Array Signal Processing: Concepts and Techniques*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1993.
- [5] Dougherty, R. P.: Beamforming in acoustic testing. *Aeroacoustic Measurements*. Hrsg. von T. J. Mueller. Berlin, Heidelberg: Springer, 2002.
https://doi.org/10.1007/978-3-662-05058-3_2
- [6] Merino-Martinez, R.; Sijtsma, P.; Snellen, M.; Ahlefeldt, T.; Antoni, J.; Bahr, C. J.; Blacodon, D.; Ernst, D.; Finez, A.; Funke, S.; Geyer, T. F.; Haxter, S.; Herold, G.; Huang, X.; Humphreys, W. M.; Ledere, Q.; Malgoezar, A.; Michel, U.; Padois, T.; Pereira, A.; Picard, C.; Sarradj, E.; Siller, H.; Simons D. G.; Spehr, C.: A review of acoustic imaging methods using phased microphone arrays. *CEAS Aeronautical Journal* 10.1, 2019.
<https://doi.org/10.1007/s13272-019-00383-4>
- [7] Herold, G.; Zenger, F.; Sarradj, E.: Influence of blade skew on axial fan component noise. *International Journal of Aeroacoustics* 16.4-5, 2017.
<https://doi.org/10.1177/1475472X17718740>
- [8] Brooks, T. F.; Humphreys, W. M.: A deconvolution approach for the mapping of acoustic sources (DAMAS) determined from phased microphone arrays. *Journal of Sound and Vibration* 294, 2006.
<https://doi.org/10.1016/j.jsv.2005.12.046>
- [9] Sijtsma, P.: CLEAN based on spatial source coherence. *International Journal of Aeroacoustics* 6.4, 2007.
<https://doi.org/10.1260/147547207783359459>
- [10] Yardibi, T.; Li, J.; Stoica, P.; Cattafesta, L. N.: Sparsity constrained deconvolution approaches for acoustic source mapping. *The Journal of the Acoustical Society of America* 123.5, 2008.
<https://doi.org/10.1121/1.2896754>
- [11] Kujawski, A.; Herold, G.; Sarradj, E.: A deep learning method for grid-free localization and quantification of sound sources. *The Journal of the Acoustical Society of America* 146.3, 2019.
<https://doi.org/10.1121/1.5126020>
- [12] Ramachandran, R. C.; Raman, G.; Dougherty, R. P.: Wind-turbine noise measurement using a compact microphone array with advanced deconvolution algorithms. *Journal of Sound and Vibration* 333.14, 2014.
<https://doi.org/10.1016/j.jsv.2014.02.034>
- [13] Cousson, R.; Ledere, Q.; Pallas, M. A.; Berengier, M.: A time domain CLEAN approach for the identification of acoustic moving sources. *Journal of Sound and Vibration* 443, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.jsv.2018.11.026>
- [14] Sutliff, D. L.: Rotating rake turbofan duct mode measurement system. *The Journal of the Acoustical Society of America* 118.3, 2005.
<https://doi.org/10.1121/1.4779000>
- [15] Herold, G.; Sarradj, E.: Microphone array method for the characterization of rotating sound sources in axial fans. *Noise Control Engineering Journal* 63.6, 2015.
<https://doi.org/10.3397/1/376348>
- [16] Jekosch, S.; Sarradj, E.: An Extension of the Virtual Rotating Array Method Using Arbitrary Microphone Configurations for the Localization of Rotating Sound Sources. *Acoustics* 2.2, 2020. <https://doi.org/10.3390/acoustics2020019>
- [17] Herold, G.: One Ring to Find Them All – Detection and Separation of Rotating Acoustic Features with Circular Microphone Arrays. Technische Universität Berlin, 2021.
<https://doi.org/10.14279/depositonce-12591>
- [18] Lehmann, M.; Spehr, C.; Schneider, M.; Ernst, D.: Investigations on limitations of the virtual rotating array method. *Proceedings of the 8th Berlin Beamforming Conference*. Berlin, Germany, 2020.
- [19] Tapken, U.; Pardowitz, B.; Behn, M.: Radial mode analysis of fan broadband noise. *Proceedings of the 23rd AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference*. Denver, Colorado, 2017.
<https://doi.org/10.2514/6.2017-3715>
- [20] Herold, G.; Sarradj, E.: Detection and visualization of fan noise sources and excited modes in a circular duct. *Proceedings of the 25th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference*. Delft, Netherlands, 2019.
<https://doi.org/10.2514/6.2019-2441>
- [21] Herold, G.; Sarradj, E.: Detection of rotational speeds of sound sources based on array measurements. *Applied Acoustics* 157, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.107002>
- [22] Herold, G.; Jekosch, S.; Jüterbock, T.; Sarradj, E.: Virtual microphone array rotation in the mode-time domain and separation of stationary and rotating sound sources in an axial fan. *Proceedings of the 9th Berlin Beamforming Conference*. Berlin, Germany, 2022. ■



Dr.-Ing. Gert Herold
TU Berlin, Fachgebiet Technische Akustik

Schallschutzklassen und erhöhter Schallschutz

Überarbeitung der DEGA-Empfehlung 103

Christian Nocke, Reinhard O. Neubauer, Christian Burkhart

In diesem Beitrag wird die Idee zu einer Überarbeitung der DEGA-Empfehlung 103 vorgestellt. Die Fortschreibung basiert auf der DEGA-Empfehlung 103, Ausgabe 2018. Das Konzept der sieben Schallschutzklassen aus der DEGA-Empfehlung 103 wird weitergeführt und leicht modifiziert. Neben einer Aktualisierung der Bezüge zur DIN 4109-1 wird durch die Einführung eines Konzepts paralleler Kenngrößen auch die Idee der Richtlinie VDI 4100:2012 aufgegriffen. Im Sinne des Schallschutzes und der subjektiven Wahrnehmung von Geräuschen wird die Anwendung der Kenngrößen des Schallschutzes ($D_{nT,w}$, $L'_{nT,w}$ und $L_{AF,max,nT}$) empfohlen. Die Klassifizierung erfolgt anhand dieser Kenngrößen (als raumbezogene Kenngrößen benannt) und kann optional auch mit Hilfe der gewohnten Werte für die Schalldämmung von Bauteilen erfolgen. Weitere Aspekte wie die subjektive Wahrnehmbarkeit oder auch Nutzergeräusche werden aufgegriffen.

Einleitung

Eine wichtige Aufgabe des baulichen Schallschutzes ist es, die Nutzer eines Gebäudes vor Geräuschen zu schützen. Hierbei geht es um den Schutz vor fremden Nutzungen, den Schutz gegen Geräusche von außen wie auch den Schutz im eigenen Wohnbereich. Die auftretenden Geräusche sind dabei vielfältig und reichen von regulären Lebensäußerungen von Menschen bis hin zu Geräuschen aus technischen Anlagen. Wann ein Geräusch zu Lärm (nach DIN 1320 [1] unerwünschter Hörschall) wird, ist mithin eine sehr subjektive Angelegenheit.

Wohnungen sind besonders schutzwürdige Bereiche und dienen nicht zuletzt als Rückzugsraum und persönlicher Lebensraum, der unter anderem auch durch das Grundgesetz Artikel 13 geschützt wird. Es geht hierbei um den Schutz der Menschen, entsprechend sind als Grundlage jeder Art von baulichem Schallschutz zunächst die Schutzziele festzulegen. Hierzu merkte August Schick in [2] schon vor knapp 30 Jahren an:

„Die Frage nach Schutzzielen und Schutzansprüchen beim Wohnen kann deshalb letztendlich nur auf dem Hintergrund eines bestimmten Menschenbildes ver-

Sound insulation classes and increased sound insulation – Update of the DEGA recommendation 103

This paper presents the idea of an update of DEGA Recommendation 103. The update is based on the 2018 edition of DEGA Recommendation 103. The concept of the seven sound insulation classes from DEGA Recommendation 103 is continued and slightly modified. In addition to updating the references to DIN 4109-1, the idea of the guideline VDI 4100:2012 is also taken up by introducing a concept of parallel parameters. In terms of noise protection and the subjective perception of noise, the application of the characteristic quantities of noise protection ($D_{nT,w}$, $L'_{nT,w}$ and $L_{AF,max,nT}$) is recommended. Classification is based on these characteristic values (named as room-related characteristic values) and can optionally also be carried out with the help of the usual values for the sound insulation of building components. Other aspects such as subjective perceptibility or user noise are also taken into account.

ständig beantwortet werden.“

Die Frage nach dem Menschenbild beim Schallschutz greifen Fischer / Drechsler [3] auf. Ob nun die drei in DIN 4109-1:2016 [4] genannten Schutzziele

- Gesundheitsschutz,
- Vertraulichkeit bei normaler Sprechweise,
- Schutz vor unzumutbaren Belästigungen

als ausreichend angesehen werden können, ist kritisch zu hinterfragen. Fischer / Drechsler sehen kaum Fortschritte bei den Schutzzielen in den letztlich auch 2016/2018 kaum geänderten Anforderungswerten für die Schalldämmung aus DIN 4109:1989 [5]. Explizit führen Fischer / Drechsler aus, dass mit dem Menschenbild in Schallschutznormen auch anders umgegangen werden kann und nennen die Richtlinie VDI 4100:2012 [6] als Beispiel hierfür und führen an: „Damit ist sie auch in ihrem grundlegenden Ansatz ein ausgesprochener Gegenentwurf zur DIN 4109. Zusätzlich werden Kriterien wie Komfort und Lebensqualität (S. 4) angesprochen, die die Anforderungsniveaus der DIN 4109 nicht berücksichtigen.“

Diese weiteren Dimensionen des Wohnens gehen weit über den bloßen Gesundheitsschutz hinaus und entsprechen den Erwartungen der Menschen. Vor dem

Hintergrund dieser Situation wurde die Neufassung der Richtlinie VDI 4100 im April 2019 begonnen. Zeitgleich hat der Fachausschuss Bau- und Raumakustik der DEGA die Überarbeitung der DEGA-Empfehlung 103 eingefroren, um nicht zwei Dokumente mit demselben Inhalt parallel zu bearbeiten. Erklärtes Ziel war, die beiden Dokumente inhaltlich bezüglich der Anforderungen zusammen zu führen. Mit diesem Beitrag wird der aktuelle Stand beschrieben und kurz aus Sicht der Autoren kommentiert.

Rückschau

Der bauliche Schallschutz wird in Deutschland seit 1938 durch die Norm DIN 4109, zunächst DIN 4110 [7], beschrieben. DIN 4109:1944 [8] wurde seit 1944 mehrfach neu gefasst, zuletzt mit der Ausgabe vom Januar 2018 [9]. Aber selbst in dieser Ausgabe finden sich teilweise seit 1944 unveränderte Werte für die Schalldämmung von Bauteilen wie Wohnungstrennwänden oder auch -decken. Der bautechnische Fortschritt, der in anderen Bereichen des Bauens zu regelmäßigen Anpassungen der durch Normen und Regelwerke beschriebenen Qualität führt, wird schallschutztechnisch in der normativen Umsetzung nicht oder kaum beachtet. Dies führt dazu, dass sich Gerichte bis hin zum Bundesgerichtshof regelmäßig mit dem Schallschutz von Wohngebäuden beschäftigen müssen. Der BGH hat zum Schallschutz schon 1998 [10] festgestellt, dass DIN-Normen die aktuellen anerkannten Regeln der Technik wiedergeben können oder hinter diesen zurückbleiben. Der BGH führt dabei aus, dass DIN-Normen keine Rechtsnormen sind, sondern nur privat technische Regelungen mit Empfehlungscharakter.

Auch wenn es gerne von Seiten der Bauindustrie anders dargestellt wird, ist festzustellen, dass in vielen Bereichen der bauliche Schallschutz nahezu kostenneutral deutlich besser ausgeführt werden kann. Trotzdem galten die Anforderungen nach DIN 4109:1989 [5] mit wenigen Ausnahmen bis in die 2000er Jahre hinein als anerkannte Regel der Technik. Erst die wegweisenden Urteile des Bundesgerichtshofs aus den Jahren 2007 [11] und 2009 [12] änderten die Betrachtungs- und Denkweisen im baulichen Schallschutz.

In dem Rechtsstreit mit Urteil aus 2007 [11] ging es um den Schallschutz zwischen Doppelhäusern, dennoch wurde in der Urteilsbegründung möglicherweise allgemein ein höherer Schallschutz für alle Wohnungen gefordert. Dort heißt es:

„In aller Regel wird demgegenüber der Erwerber einer Wohnung oder eines Doppelhauses eine Ausführung erwarten, die einem üblichen Qualitäts- und Komfortstandard entspricht. Haben die Parteien einen üblichen Qualitäts- und Komfortstandard vereinbart, so muss sich das einzuhaltende Schalldämm-Maß an dieser Verein-

barung orientieren. Insoweit können aus den Regelwerken die Schallschutzstufen II und III der VDI-Richtlinie 4100 aus dem Jahre 1994 oder das Beiblatt 2 zur DIN 4109 Anhaltspunkte liefern.“

Das Urteil stellt lediglich fest, dass die genannten Regelwerke VDI 4100:1994 [13] wie auch Beiblatt 2 zu DIN 4109:1989 [14] Anhaltspunkte liefern können, welcher Schallschutz angesetzt werden kann, um einen üblichen Qualitäts- und Komfortstandard auch technisch zu definieren. Dieses Urteil des BGH wurde sowohl in juristischen als auch in technischen Kreisen heftig diskutiert. Im Juni 2009 folgte dann ein noch stärker diskutiertes Urteil des BGH [12], welches die Betrachtungsweise auf Mehrfamilienhäuser übertrug. Ob dies aus technischer Sicht so richtig war, mag dahinstehen, letztlich ist durch diese beiden Urteile Bewegung in die seit vielen Jahrzehnten stagnierenden Anforderungen an den baulichen Schallschutz gekommen. DIN 4109 kann nach Ganten [15] als Paradebeispiel einer Norm angesehen werden, die nicht die anerkannten Regeln der Technik beschreibt.

Auch gut 10 Jahre nach diesen Urteilen ist festzustellen, dass bei vielen Baubeteiligten eine große Unsicherheit darüber besteht, welcher Schallschutz als geschuldet anzusehen ist, um sich zum einen in einem rechtlich möglichst sicheren Bereich zu bewegen und zum anderen einen für alle Seiten befriedigenden Schallschutz zu erhalten. DIN 4109 dürfte nach weit verbreiteter Meinung von Schallschutz-Experten nur bedingt geeignet sein, einen angemessenen Schallschutz im Wohnungsbau zu erreichen, und bei höheren Komfortansprüchen vollends ungeeignet sein.

Komfort, Ruhe und Geborgenheit benötigen bessere Schalldämmwerte als in DIN 4109, egal welche Ausgabe, angeführt sind. Hier lohnt ein Blick auf andere Publikationen wie die Richtlinie VDI 4100:2012 [6] oder auch die DEGA-Empfehlung 103 [16]. Gerade die Ausgabe der Richtlinie VDI 4100 aus dem Jahr 2012 hat sich bis heute bei Planern, Architekten und Bauträgern leider nicht hinreichend etablieren können. Die Ursachen hierfür sind vielfältig – neben einer Verschiebung bei den Schallschutzstufen hat sich sicher der Wechsel der verwendeten Kenngrößen als wenig hilfreich bei der Akzeptanz herausgestellt. Die Kenngrößen D_{nTw} und L'_{nTw} sorgten eher für Verwirrung und Missverständnisse, wurden nicht verstanden und auf ganzer Linie von vielen Beteiligten abgelehnt. Eine weitere Ursache der Ablehnung des dreistufigen Schallschutzkonzeptes in VDI 4100 oder auch generell der Bauakustik ist die für Planer und Verbraucher vorhandene Schwierigkeit im Umgang mit „dB-Werten“. Die Werte der jeweiligen Schallschutzstufen in wahrnehmbare Unterschiede zu übersetzen und so das entsprechend angemessene Schallschutzniveau zu planen, umzusetzen, aber auch für die Menschen

verstehbar kommunizieren zu können, muss Aufgabe eines auf den Menschen ausgerichteten Schallschutzes sein.

Als transparentes und auch für Laien verständliches Dokument zum Schallschutz hat die Deutsche Gesellschaft für Akustik e. V. (DEGA e. V.) im Januar 2018 die DEGA-Empfehlung 103 „Schallschutz im Wohnungsbau – Schallschutzausweis“ [16] in aktualisierter Fassung veröffentlicht (erste Fassung dieser Empfehlung erschien im März 2009). Die Empfehlung wurde vom Fachausschuss Bau- und Raumakustik der DEGA, in welchem die meisten deutschen Experten des baulichen Schallschutzes organisiert sind, erarbeitet. Die auch für Laien auf einen Blick erkennbare farbliche Skala wurde auf häufigen Wunsch vieler Anwender angepasst, sodass seit 2018 die erste Stufe des erhöhten Schallschutzes auch eindeutig durch die Farbgebung als solche erkennbar ist.

Als weitere Dokumente zu einem besseren Schallschutz (als durch DIN 4109-1:2018-01 beschrieben) sind das schon vom BGH angeführte Beiblatt 2 zu DIN 4109:1989 [14] wie auch das Folgedokument DIN 4109-5:2020 [17] zu nennen. Die in diesen beiden Dokumenten angeführte Differenzierung mit nur einer Stufe für einen besseren Schallschutz kann für die bau- und immobilienwirtschaftliche Praxis kaum als ausreichend angesehen werden.

Vor dem Hintergrund dieser wenig übersichtlichen Situation mit einer unzulänglichen DIN 4109-1 [9], einem zurückgezogenen Beiblatt 2 zu DIN 4109 [14], einer wenig akzeptierten VDI 4100 aus dem Jahr 2012 [6] entstand der Gedanke, die Überarbeitung der Richtlinie VDI 4100 zu nutzen, um eine Verschmelzung der zunehmend verbreiteten und akzeptierten DEGA-Empfehlung 103 [16] und VDI 4100 [6] durchzuführen. Übergeordnetes Ziel, da bestand Einigkeit, sei die Anzahl der Regelwerke zu reduzieren. Im Folgenden wird der aktuelle Stand zur Fortschreibung der DEGA-Empfehlung 103 kurz vorgestellt.

Sieben Schallschutzklassen

Wie zuvor beschrieben, hat der Schallschutz in Gebäuden eine große Bedeutung, nicht nur für die Gesundheit, sondern auch für das Wohlbefinden der sich darin aufhaltenden Menschen. Besonders wichtig ist der Schallschutz im Wohnungsbau, weil Wohneinheiten den Menschen zur Entspannung und zum Ausruhen dienen sowie die Privatsphäre des eigenen Bereichs zwischen den Nachbarn gewährleisten sollen. In der DEGA-Empfehlung 103 [16] wird die Benennung „Wohneinheit“ verwendet, weil sie die tatsächliche Grundrissgestaltung und Nutzung besser beschreibt und sich von den traditionellen Begriffen „Wohnung“, „Reihenhaus“ und „Doppelhaus“

löst. Informativ wird im Entwurf gekennzeichnet, in welche Schallschutzklassen diese Gebäudearten bauüblich eingeordnet werden können.

DIN 4109-1 [9] legt Mindestanforderungen an die schalldämmenden Bauteile fest, die zur Wahrung des Gesundheitsschutzes für deren Bewohner notwendig und daher bauaufsichtlich verbindlich sind. Bei Einhaltung der Mindestanforderungen nach DIN 4109-1 ist davon auszugehen, dass Geräusche von außen oder aus fremden angrenzenden Wohneinheiten wahrgenommen werden können. DIN 4109-1 beschreibt keine Anforderungen, die über die genannten Schutzziele hinausgehen, die aber ebenfalls mit gängigen Bauarten erreicht werden können und in der aktuellen Baupraxis auch erreicht werden.

Mit den beschriebenen sieben Schallschutzklassen sollen dem Anwender einfache Entscheidungshilfen gegeben werden, mit deren Hilfe er den gewünschten, in Teilbereichen (z. B. Luftschallschutz, Trittschallschutz, Geräusche aus gebäudetechnischen Anlagen) aufeinander abgestimmten Schallschutz erreichen kann. Dazu werden in dem Entwurf sieben Schallschutzklassen (A* bis F zwischen fremden Nutzungen) für die Bewertung von Wohneinheiten als Ergänzung zu den Mindestanforderungen aus DIN 4109-1 definiert.

Mit Hilfe der sieben Klassen kann der gewünschte Schallschutz in der Planungsphase festgelegt und mit anderen Gebäuden verglichen werden. Neben der Planung von Neubauten kann auch eine Klassifizierung bei Bauten im Bestand durchgeführt werden. In vier weiteren Schallschutzklassen (EW0 bis EW4) werden Wohneinheiten für den eigenen Bereich nach der Qualität ihres Schallschutzes gekennzeichnet. Eine Übersicht zu den Schallschutzklassen und deren Beschreibung ist in Tabelle 1 dargestellt.

Parallelität der Kenngrößen

Generell soll in der fortgeschriebenen DEGA-Empfehlung 103, anders als in der letzten Ausgabe, zwischen zwei Betrachtungsweisen des Schallschutzes, die als „raumbezogene“ und „bauteilbezogene“ Betrachtung benannt werden, unterschieden werden. Die DEGA-Empfehlung 103 [16] und DIN 4109-1 [9] verwenden als Kenngrößen R'_w , $L'_{n,w}$ und $L_{AF,max;nT}$. Diese Größen werden in der Fortschreibung als „bauteilbezogene Kenngrößen“ bezeichnet. Die in VDI 4100:2012 (wie auch im zurückgezogenen Entwurf DIN 4109 [18] aus 2006 und dem weiteren Entwurf von 2013 [19]) verwendeten Kenngrößen $D_{nT,w}$, $L_{nT,w}$ und $L_{AF,max;nT}$ werden in dem Entwurf zur Fortschreibung zur Abgrenzung als „raumbezogene Kenngrößen“ bezeichnet. Die Bezeichnung „bauteilbezogen“ bzw. „raumbezogen“ ist dabei physikalisch nicht in jedem Fall korrekt, soll aber die unterschiedlichen,

Tab. 1: Beschreibung der sieben Schallschutzklassen

	Baulicher Schallschutz	Typische Baukonstruktion	Beispiele Gebäude
Klasse A*	Wohneinheit mit sehr gutem Schallschutz, die ein ungestörtes Wohnen nahezu ohne Rücksichtnahme gegenüber den Nachbarn ermöglicht	In der Regel mehrschalige Bauweise	Doppel- und Reihenhäuser
Klasse A	Wohneinheit mit sehr gutem Schallschutz, die ein ungestörtes Wohnen ohne große Rücksichtnahme gegenüber den Nachbarn ermöglicht	Durch mehrschalige Bauweisen kann beispielsweise im Bereich des Trittschallschutzes und der Körperschallübertragung ein besserer Schallschutz realisiert werden. Die Anforderungen an den Schallschutz können durch eine mehrschalige Bauweise oftmals auch mit leichteren Baustoffen erreicht werden.	
Klasse B	Wohneinheit mit gutem Schallschutz, die bei gegenseitiger Rücksichtnahme zwischen den Nachbarn ein ruhiges Wohnen bei weitgehendem Schutz der Privatsphäre ermöglicht	Hinweis: Für die Fachplanung von Wohneinheiten der Klassen A*, A und B bedarf es der besonderen Sorgfalt und einer ausführlichen Beratung.	
Klasse C	Wohneinheit mit gutem Schallschutz, in der die Bewohner bei üblichem rücksichtsvollen Wohnverhalten im allgemeinen Ruhe finden und die Vertraulichkeit gewahrt bleibt	Ein- oder zweischalige Bauweise, je nach verwendeten Baustoffen	Doppel- und Reihenhäuser, Mehrfamilienhäuser
Klasse D	Wohneinheit mit einem Schallschutz, der die Mindestanforderungen nach DIN 4109-1 für Geschosshäuser mit Wohnungen und Arbeitsräumen im Wesentlichen erfüllt und damit die Bewohner in Aufenthaltsräumen im Sinne des Gesundheitsschutzes vor unzumutbaren Belästigungen durch Schallübertragung aus fremden Wohneinheiten und von außen schützt.	In der Regel einschalige Bauweise	
Klasse E	Wohneinheit mit einem Schallschutz, der die Mindestanforderungen nach DIN 4109-1 nicht erfüllt. Belästigungen durch Schallübertragung aus fremden Wohneinheiten und von außen sind möglich; besondere Rücksichtnahme ist unbedingt erforderlich. Die Vertraulichkeit ist nicht mehr gegeben.	Alte Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken, leichten Hohlkörperdecken, o. ä. ohne schwimmende Estrichkonstruktionen, teilweise direkt aufgebrachte weichfedernde Bodenbeläge, Wohnungstrennwände „alter“ Bauart mit geringen Rohdichten.	
Klasse F	Wohneinheit wie Klasse E, jedoch ohne Anforderungen an den Schallschutz; hier werden alle Gebäude eingruppiert, für die keine Daten vorliegen oder die die Kennwerte der Klasse E nicht erreichen.		Oftmals Gebäude aus der Zeit Ende des 19. und Anfang bis Mitte des 20. Jahrhunderts

aus der Vergangenheit bekannten Betrachtungsweisen charakterisieren.

Vor dem Hintergrund der Dokumente VDI 4100 (2012) [6] und DEGA-Empfehlung 103 [16] werden für beide Arten der Kenngrößen parallel Anforderungswerte angegeben, um die sieben Schallschutzklassen zu beschreiben. Dabei werden mit den gewählten Werten trotz der unterschiedlichen Kenngrößen vergleichbare Anforderungsniveaus für

den Schallschutz sichergestellt. Für einzelne Räume können sich dabei Unterschiede ergeben, für einzelne Wohneinheiten sollten die Unterschiede nicht zu einer unterschiedlichen Einstufung der Klasse führen. Damit wird der Bezug zu den traditionellen Kenngrößen der Bauakustik (im Entwurf als bauteilbezogen beschrieben) hergestellt.

Anmerkung zur Parallelität der Kenngrößen

Der Luftschallschutz, beschrieben durch die raumbezogene Kenngröße $D_{nT,w}$, und die Luftschalldämmung, beschrieben durch die bauteilbezogene Größe R'_w , sind in DIN EN ISO 16283-1 [20] definiert. Der physikalisch exakte Zusammenhang beider Kenngrößen ist im Detail in [21] dargestellt. Dort wird gezeigt, dass eine gleichwertige Betrachtung nur möglich ist, wenn eine vorgegebene Streuung bzw. Differenz zwischen diesen beiden Kenngrößen akzeptiert wird. Umfangreiche statistische Betrachtungen zu den im Wohnungsbau typischen Raumvolumina und Flächengrößen der trennenden Bauteile zeigen, dass bei Vorgabe einer maximalen Differenz eine nahezu gleichwertige Klassenbildung möglich ist. Dies wurde in [22] untersucht und diskutiert. Danach lässt sich eine Klassenbildung nur durchführen, wenn die maximale Differenzen zwischen den beiden Kenngrößen ($D_{nT,w}$ und R'_w) festgelegt werden. Außerhalb dieses durch die maximale Differenz definierten Gültigkeitsbereichs (z. B. sehr große Raumvolumina und/oder sehr kleine Trennbauteile) ist eine exakte Umrechnung zwischen den Größen erforderlich und anzuraten.

Eine Klassenbildung mit der bewerteten Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ kann nur mit dem bewerteten Bau-Schalldämm-Maße R'_w verknüpft werden, wenn eine vorgegebene Unsicherheit (Streubreite) definiert wird. Dies ist die Grundlage des vorliegenden Entwurfs VDI 4100 mit paralleler Angabe beider Kenngrößen.

Schallschutzklassen: Beispiele für Werte

Eine Mischung der beiden Betrachtungsweisen mit raumbezogenen und bauteilbezogenen Kenngrößen ist nicht zulässig. Das schalltechnische Konzept eines Gebäudes hängt nicht von der Art der Betrachtung ab. Es wird empfohlen, die raumbezogene Betrachtung zu verwenden, da diese gegenüber der bauteilbezogenen Betrachtung besser mit dem subjektiv empfundenen Schallschutz korreliert.

Zwischen fremden Nutzungen werden sieben Schall-

schutzklassen unterschieden. Im eigenen Bereich einer Wohneinheit erfolgt eine Unterscheidung anhand von vier Schallschutzklassen.

In Tabelle 2 sind die Anforderungen für die Übertragung von Luftschall zwischen Wohneinheiten angegeben. Im Abschnitt 1 (Zeile 1.1) der Tabelle sind die Werte für die bewertete Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ in dB angegeben. Im Abschnitt 2 (Zeile 2.1/2.2) werden die Werte des bewerteten Bau-Schalldämm-Maßes R'_w in dB angeführt, die bei



Make better spaces

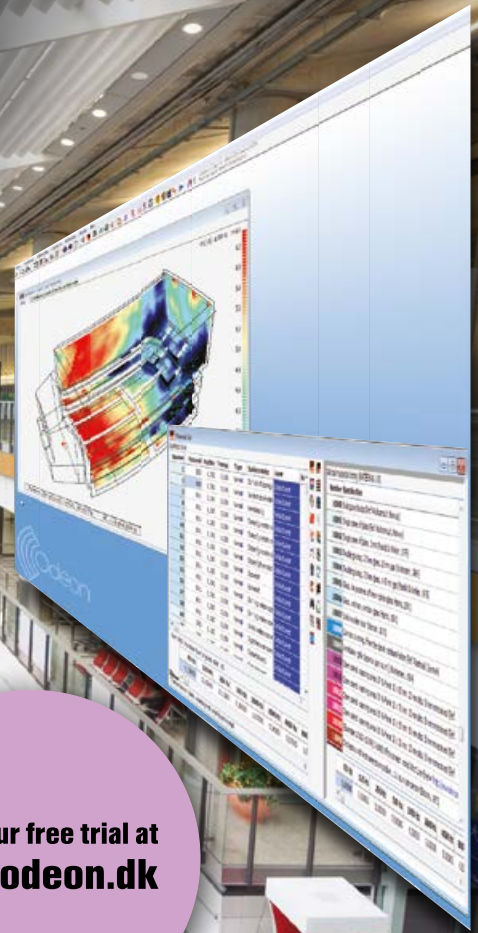
with the complete software solution for room acoustics

Elegant and user friendly interface

Fast and reliable simulations and measurements

Available as: **B** Basics, **I** Industrial, **A** Auditorium & **C** Combined

Start your free trial at
www.odeon.dk



Tab. 2: Anforderungen Luftschall

Spalte	1	2	3	4	5	6	7	8
Zeile		F	E	D	C	B	A	A*
1		raumbezogene Kenngröße – bewertete Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ in dB						
1.1	horizontal ¹⁾ / vertikal	< 51	≥ 51	≥ 54	≥ 57	≥ 62	≥ 67	≥ 72
2		bauteilbezogene Kenngröße – bewertetes Bau-Schalldämm-Maß R'_w in dB						
2.1	horizontal ^{1) 2)}	< 50	≥ 50	≥ 53	≥ 56	≥ 61	≥ 66	≥ 71
2.2	vertikal ²⁾	< 51	≥ 51	≥ 54	≥ 57	≥ 62	≥ 67	≥ 72

¹⁾ Gilt nicht für Wände mit Wohnungseingangstüren. Die Anforderungen Wohnungseingangstüren werden in Tabelle 3 beschrieben.

²⁾ Bei einem Volumen des Empfangsraums von mehr als 60 m³ oder einer Trennfläche von weniger als 10 m² ist der Nachweis über D_{nTw} zu führen. Bei einem Volumen des Empfangsraums von weniger als 30 m³ kann der Nachweis über D_{nTw} geführt werden.

Anmerkungen:

Wegen der in den höheren Schallschutzzklassen in der Regel größeren Volumina wird ab der Schallschutzklasse „B“ die Abstufung von 3 auf 5 dB erhöht.

den im Wohnungsbau üblichen Raumvolumina und Trennflächen den entsprechenden Schallschutz sicherstellen bzw. zur Zuordnung zu den Schallschutzklassen zu verwenden sind. Diese parallele oder auch zweigleisige Betrachtung mit raumbezogenen und bauteilbezogenen Kenngrößen kann als pragmatisches Zugeständnis mit dem Ziel der Akzeptanz wie auch der Transparenz gesehen werden.

Die historische Betrachtung einzelner Bauteile wie in DIN 4109 [4, 5, 7, 8, 9] wird in der DEGA-Empfehlung 103 [16] nicht weitergeführt. Einzige

Ausnahme zu diesem Ansatz ist die Betrachtung von Wohnungseingangstüren. Die entsprechenden Vorgaben sind in Tabelle 3 dargestellt. Auch wenn theoretisch für zusammengesetzte Bauteile (wie eine Wand mit einer Wohnungseingangstür) eine raumbezogene Beschreibung möglich wäre, erschien dem Ausschuss dies als wenig praktikabel, sodass hier die klassische bauteilbezogene Betrachtung bei dem Bauteil „Wohnungseingangstür“ beibehalten wurde. Analog dem Vorgehen zum Luftschall sind in Tabelle 4 die Vorgaben zur Klassifizierung des Trittschall-

Tab. 3: Anforderungen Luftschall Wohnungseingangstür

Spalte	1	2	3	4	5	6	7	8
Zeile		F	E	D	C	B	A	A*
	Kenngröße – Bewertetes Schalldämm-Maß R_w in dB							
1	Wohnungseingangstüren							
1.1	in Flure oder Dielen	< 22	≥ 22	≥ 27	≥ 32	≥ 37	≥ 42	
1.2	direkt in Auf- enthaltsräume	< 32	≥ 32	≥ 37	≥ 42	nicht zulässig		
1.3	Die Wohnungseingangstür umgebende Wand muss ein um mindestens 15 dB höheres bewertetes Schalldämm-Maß $R_{w, \text{Wand}}$ als die Tür aufweisen ($R_{w, \text{Wand}} \geq R_{w, \text{Tür}} + 15 \text{ dB}$).							

Anmerkung 1:

Die Anforderung an die Türen gilt für die Schallübertragung über die betriebsfertig eingebaute Tür ohne Nebenwege.

Anmerkung 2:

Bei zusammengesetzten Türelementen (z. B. Tür mit Oberlicht aus Glas, Türen mit Verglasungen etc.) bezieht sich die Anforderung auf das gesamte Türelement in der Wandöffnung.

Tab. 4: Anforderungen Trittschall

Spalte	1	2	3	4	5	6	7	8
Zeile	Trittschall	F	E	D	C	B	A	A*
1	raumbezogene Kenngröße – bewertete Standard-Trittschallpegel							
		$L'_{nT,w}$ in dB				$L'_{nT,w} + C_{L,50-2500}$		
1.1	Trittschallschutz ⁴⁾	$> 60^{2)}$	$\leq 60^{2)}$	≤ 50	≤ 43	$\leq 41^{2)3)}$	$\leq 34^{2)3)}$	$\leq 27^{2)3)}$
2	bauteilbezogene Kenngröße – bewerteter Norm-Trittschallpegel am Bau							
		$L'_{n,w}^{1)}$ in dB				$L'_{n,w}^{1)}) + C_{L,50-2500}$		
2.1	Decken, Treppen, Podeste, Hausflure, Loggien, Terrassen, Laubengänge	$> 60^{2)}$	$\leq 60^{2)}$	≤ 50	≤ 43	$\leq 41^{2)3)}$	$\leq 34^{2)3)}$	$\leq 27^{2)3)}$
2.2	Balkone, Nebenräume	$> 67^{2)}$	$\leq 67^{2)}$	≤ 57	≤ 50	$\leq 48^{2)}$	$\leq 41^{2)}$	$\leq 34^{2)}$

¹⁾ Bei einem Volumen des Empfangsraums von mehr als 60 m³ ist der rechnerische Nachweis mit einem Volumen von 60 m³ zu führen

²⁾ austauschbarer Bodenbelag anrechenbar (rechnerisch nur bei geprüftem ΔL_w)

³⁾ Ab Klasse B müssen Spektrumanpassungswerte berücksichtigt werden: $L_{nT,w} + C_{L,xxx}$, $L_{n,w} + C_{L,xxx}$

⁴⁾ Beim Trittschallschutz von Balkonen zu Nebenräumen dürfen um 7 dB höhere Werte verwendet werden.

Anmerkung:

Zu beachten ist, dass beim Übergang von Klasse C zu B die Spektrum-Anpassungswerte (typisch ca. 5 dB) zu berücksichtigen sind und daher die Stufe von 2 dB anstatt 7 dB verwendet wird.

schutzes angegeben. Hier wurde nach intensiver Diskussion für die Schallschutzklassen B, A und A* als Kenngröße die Summe aus der dem bewerteten Standard-Trittschallpegel bzw. dem bewerteten Norm-Trittschallpegel am Bau und dem Spektrumanpassungswert gewählt. Somit ist zwischen den Klassen C und B eine kleinere Schrittweite der Zahlenwerte zu erkennen, die aufgrund des Wechsels der Kenngröße einen besseren Trittschallschutz ausdrückt.

Die verwendeten Kenngrößen zum Trittschall sind in DIN EN ISO 16283-2 [23] definiert, wo auch der Zusammenhang zwischen $L'_{n,w}$ und $L'_{n,wT}$ dargestellt ist. Wie bei der Klassifizierung im Bereich Luftschall wird auch beim Trittschall eine maximale Differenz zwischen diesen beiden Kenngrößen für die im Wohnungsbau typischen Geometrien zugelassen, hierzu siehe auch die Untersuchung und Darstellung in [24]. Da die Raumhöhen im Wohnungsbau in der Regel weniger variieren als die sonstigen Raumabmessungen, wurde bei der bauteilbezogenen Betrachtung für den Luftschall zwischen Wänden und Decken differenziert. Für den Trittschall sind hier wiederum weitere Bauteile genannt, dies, um auch

hier eine Verbindung zur DIN 4109-Beschreibung zu ermöglichen. Auch für den Standard-Trittschallpegel gilt, dass diese Kenngröße gegenüber dem bauteilbezogenen bewerteten Norm-Trittschallpegel besser mit dem subjektiv empfundenen Schallschutz korreliert [23].

Weitere Anmerkungen zum aktuellen Stand

Die Fortschreibung der DEGA-Empfehlung 103 [16] wird weiterhin auch wieder Anforderungen zu Geräuschen aus gebäudetechnischen Anlagen, Nutzergeräuschen und Körperschallentkopplung und Außenbauteilen enthalten. Optional werden Kenngrößen zur Klassifizierung des Schallschutzes im eigenen Bereich, der Nachhallzeit in Treppenhäusern und Fluren sowie auch für baulich verbundene gewerbliche Bereiche angeführt.

Auch die bekannte Tabelle zur subjektiven Wahrnehmbarkeit von Geräuschen in den verschiedenen Schallschutzklassen (siehe Tabelle 5) bleibt erhalten. Dieses, gerade für Laien hilfreiche Instrument zur Verbalisierung der abstrakten dB-Werte soll der Akzeptanz der Richtlinie dienen.

Tab. 5: Orientierende Beschreibungen der subjektiven Wahrnehmbarkeit von üblichen Geräuschen aus benachbarten Wohneinheiten

	F	E	D	C	B	A	A*
Laute Sprache	einwandfrei zu verstehen, sehr deutlich hörbar		einwandfrei zu verstehen, deutlich hörbar	teilweise zu verstehen, im Allgemeinen hörbar	im Allgemeinen nicht verstehbar, teilweise hörbar	nicht verstehbar, noch hörbar	nicht verstehbar, nicht hörbar
Angehobene Sprache	einwandfrei zu verstehen, sehr deutlich hörbar	einwandfrei zu verstehen, deutlich hörbar	teilweise zu verstehen, im Allgemeinen hörbar	im Allgemeinen nicht verstehbar, teilweise hörbar	nicht verstehbar, noch hörbar	nicht verstehbar, nicht hörbar	
Normale Sprache	einwandfrei zu verstehen, deutlich hörbar	teilweise zu verstehen, im Allgemeinen hörbar	im Allgemeinen nicht verstehbar, teilweise hörbar	nicht verstehbar, noch hörbar	nicht verstehbar, nicht hörbar		
Sehr laute Musik	sehr deutlich hörbar					deutlich hörbar	hörbar
Laute Musik	sehr deutlich hörbar				deutlich hörbar	hörbar	noch hörbar
Normale Musik	sehr deutlich hörbar			deutlich hörbar	hörbar	noch hörbar	nicht hörbar
Wasserinstallationen, gebäudetechn. Anlagen, Urinieren	sehr deutlich hörbar	deutlich hörbar	hörbar	noch hörbar	nicht hörbar		
Betätigungsspitzen	sehr deutlich hörbar		deutlich hörbar	hörbar	noch hörbar	nicht hörbar	
Nutzergeräusche bei normaler Handhabung	sehr deutlich hörbar		deutlich hörbar	hörbar	noch hörbar	nicht hörbar	
Gehgeräusche	sehr deutlich hörbar		deutlich hörbar	hörbar	noch hörbar	nicht hörbar	nicht hörbar
Spielende Kinder	sehr deutlich hörbar			deutlich hörbar	hörbar	noch hörbar	nicht hörbar
Haushaltsgeräte	sehr deutlich hörbar			deutlich hörbar	hörbar	noch hörbar	nicht hörbar

Bedingungen für die Gültigkeit der Beschreibungen:

1. Nachhallzeit im Empfangsraum $T = 0,5 \text{ s}$ (bzw. Absorptionsfläche $A = 10 \text{ m}^2$) und übliches Volumen des Empfangsraums von 30 bis 60 m^3
2. Übertragungsfläche wie zwischen üblichen Wohn- bzw. Schlafräumen von 10 bis 15 m^2
3. stetiger Frequenzverlauf der Schalldämmung / Trittschallpegel ohne auffällige Einbrüche
4. Grundgeräuschpegel von $L_{eq} = 20 \text{ dB}$ sowie zeitliche und spektrale Verteilung entsprechend Rosa Rauschen

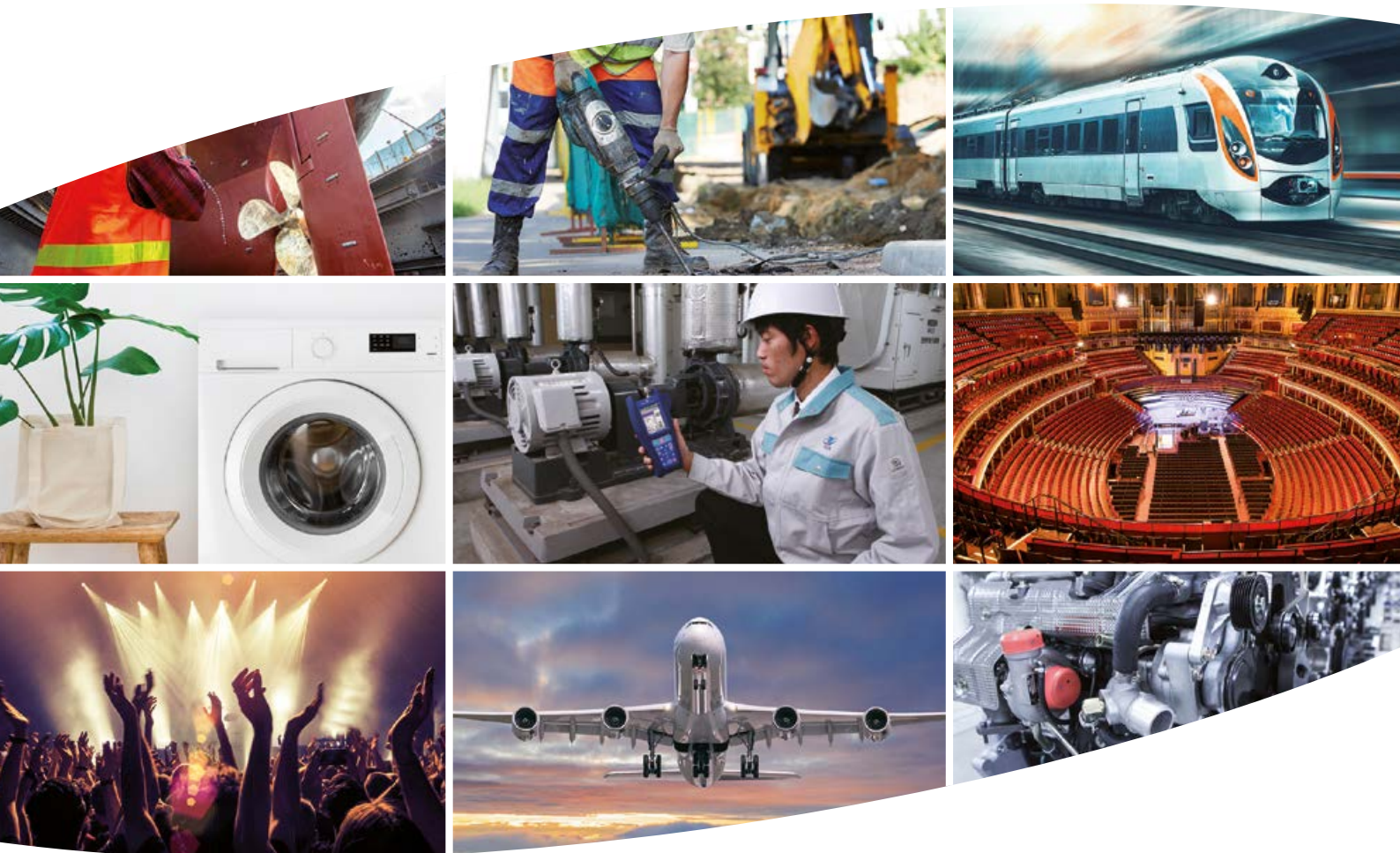
Neu gegenüber vorherigen Ausgaben ist in dem Entwurf ein Abschnitt zu sämtlichen in dem Dokument verwendeten Formelzeichen und Abkürzungen beigefügt. Hiermit soll ebenfalls Klarheit bei den durchaus divergierenden Definitionen von Kenngrößen

und Begriffen in anderen Regelwerken geschaffen werden.

Der Arbeitsgruppe zur Bearbeitung der Fortschreibung (bestehend aus DEGA-Mitgliedern, die die Bearbeitung als ein Unterausschuss im NALS im DIN

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

Norsonic Tippkemper GmbH
Zum Kreuzweg 12
59302 Oelde-Stromberg

Telefon: 02529 / 9301-0
E-mail: tippkemper@norsonic.de

www.schallmesstechnik.de



HÖREN - FÜHLEN - LÖSEN

begonnen hatten) war und ist bewusst, dass weiterhin DIN 4109-1 als zentrales Regelwerk besteht und rein baurechtlich zu beachten ist. Dementsprechend wurde auf eine Kongruenz zwischen DIN 4109-1 und der Fortschreibung der DEGA-Empfehlung 103 geachtet, indem die Schallschutzklasse D weitgehend den „Mindestanforderungen“ für Mehrfamilienhäusern entspricht. Die Ableitung der weiteren Klassen ist teils aus psychoakustischen Erwägungen und aus pragmatischen Gründen erfolgt. Die Schallschutzklasse B greift die Anforderungen für Doppel- und Reihenhäuser auf. Es wird damit deutlich, dass ein sehr guter Schallschutz in diesem Gebäudetyp, in Mehrfamilienhäusern nicht erwartet werden kann. Damit wird in Mehrfamilienhäusern dem häufig formulierten Anspruch einer Nicht-Hörbarkeit eine Grenze aufgezeigt. Andererseits ist als Konsequenz aus der DIN 4109-1 kaum nachvollziehbar, dass dem Gesundheitsschutz von Menschen in Doppel- und Reihenhäusern ein besserer Schallschutz zuteil wird, als Menschen in Mehrfamilienhäusern. Dies schließt sich – wie von Fischer/Drechsler [3] formuliert – an die Gedanken zum Menschen bild im Schallschutz an.

Ausblick

Ein Entwurf zur Fortschreibung der DEGA-Empfehlung 103 soll in Kürze veröffentlicht und damit der Fachwelt zur Kenntnis gebracht werden. Bei der Fortschreibung der DEGA-Empfehlung 103 ist ebenfalls der Teil des DEGA-Schallschutzausweises anzupassen. Durch die Fortschreibung der DEGA-Empfehlung 103 wird eine Trennung zwischen der Klassifizierung anhand von Kenngrößen und die transparente und auf den Laien ausgerichtete Beschreibung des Schallschutzausweises aufrecht erhalten.

Zusammenfassung

Mit der, von der Deutschen Gesellschaft für Akustik (DEGA e. V.) im März 2009 erstmals veröffentlichten und zwischenzeitlich überarbeiteten DEGA-Empfehlung 103 (Fassung vom Januar 2018) „Schallschutz im Wohnungsbau – Schallschutzausweis“ besteht ein mehrstufiges, erprobtes und auch für Laien transparentes Konzept zum Schallschutz in Wohngebäuden. Bei der Fortschreibung der DEGA-Empfehlung 103 wurden bei der Formulierung der Anforderungen an den Schallschutz im Wohnungsbau einige Ideen der Richtlinie VDI 4100 aufgenommen, insbesondere die Verwendung der raumbezogenen Kenngrößen.

Die Einführung eines mehrstufigen Anforderungssystems ist für eine klare Differenzierung und Bewertung der schalltechnischen Qualität von Gebäuden sinnvoll und notwendig. Das System der DEGA-Empfehlung 103 ist auf die heute üblichen

Bauweisen und mit den aktuell bauaufsichtlich eingeführten Mindestanforderungen nach DIN 4109-1 abgestimmt. Durch die Einteilung in insgesamt sieben Schallschutzklassen wird eine differenzierte und praxisgerechte Einstufung sowohl für Neubauten als auch für den Altbaubestand ermöglicht.

Die Fortschreibung der DEGA-Empfehlung 103 ermöglicht auch künftig, dass mittels des bekannten Punktesystems ein Schallschutzausweis zur einfachen Kennzeichnung des Schallschutzes von Wohneinheiten erstellt werden kann. Diese weitere Aufgabe zur Adaptation der DEGA-Empfehlung 103 ist vom Fachausschuss Bau- und Raumakustik der DEGA zu leisten.

Für den Verbraucher eröffnet sich so nicht nur die Möglichkeit, den Schallschutz objektiv einzuschätzen; vielmehr können spätere Diskussionen, Ärger und Streit vermieden werden, indem der gewünschte Schallschutz mit Bezug auf die Schallschutzklassen vereinbart wird.

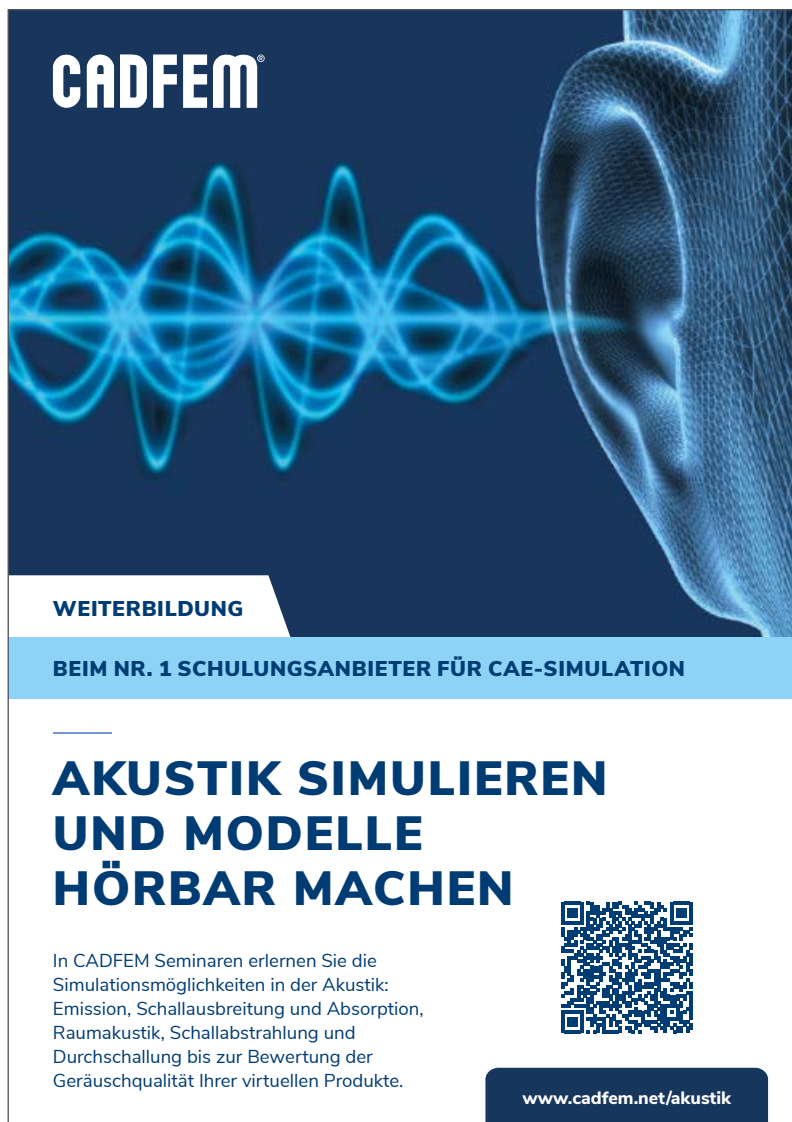
Literatur

- [1] DIN 1320:2009-12: Akustik – Begriffe. Berlin: Beuth-Verlag, 2009
- [2] Schick, A.: Ziele des Schallschutzes aus der Sicht der Lärmmwirkungsforschung. Zeitschrift für Lärmbekämpfung ZfL 40, 1993.
- [3] Fischer, H.-M.; Drechsler, A.: Schallschutz und Menschenbild. Fortschritte der Akustik – DAGA 2019, 45. Jahrestagung für Akustik, Rostock, 2019.
- [4] DIN 4109-1:2016-07: Schallschutz im Hochbau, Teil 1, Mindestanforderungen. 2016.
- [5] DIN 4109:1989-11: Schallschutz im Hochbau, Anforderungen und Nachweise. 1989.
- [6] VDI 4100:2012-10: Schallschutz im Hochbau – Wohnungen – Beurteilung und Vorschläge für erhöhten Schallschutz. 2012.
- [7] DIN 4110:1938-07: Technische Bestimmung für die Zulassung neuer Bauweisen. 1938.
- [8] DIN 4109:1944-04: Richtlinien für den Schallschutz im Hochbau. 1944.
- [9] DIN 4109:2018-01: Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen. 2018.
- [10] BGH, Urteil vom 14. Mai 1998 – VII ZR 184/97.
- [11] BGH, Urteil vom 14. Juni 2007 – VII ZR 45/06.
- [12] BGH, Urteil vom 4. Juni 2009 – VII ZR 54/07.
- [13] VDI 4100:1994-09: Schallschutz von Wohnungen – Kriterien für Planung und Beurteilung. 1994.
- [14] Beiblatt 2 zu DIN 4109:1989-11: Schallschutz im Hochbau. Hinweise für Planung und Ausführung; Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz; Empfehlungen für den Schallschutz im eigenen Wohn- oder Arbeitsbereich. 1989.
- [15] Ganten, H.; Kindereit, E.: Typische Baumängel. Verlag C. H. Beck München, 2010.
- [16] DEGA-Empfehlung 103, Schallschutz im Wohnungsbau – Schallschutzausweis. Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V., Berlin, 2018.
- [17] DIN 4109-5:2020-08: Schallschutz im Hochbau – Teil 5, Erhöhte Anforderungen. 2020.
- [18] DIN 4109-1:2006-10: Schallschutz im Hochbau, Anforderungen, ENTWURF. 2006.
- [19] DIN 4109-1:2013-06: Schallschutz im Hochbau – Teil 1, Anforderungen an die Schalldämmung, ENTWURF. 2013.
- [20] DIN EN ISO 16283-1:2018-04: Akustik – Messung der

Dr. rer. nat.**Dipl.-Phys.****Christian Nocke***Akustikbüro**Oldenburg***Dr. Dr. M. Sc Rein-****hard O. Neubauer***IBN Bauphysik**GmbH & Co. KG,**Ingolstadt***Dipl.-Ing. Univ.****Christian Burkhart***Akustikbüro**Schwartzenberger**und Burkhart,**Pöcking*

Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen am Bau – Teil 1: Luftschalldämmung. 2018.

- [21] Neubauer, R. O.: Schalldämmung und Schallschutz – Vergleich von bewertetem Bau-Schalldämm-Maß R'_w und bewerteter Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$. Bauphysik 43, H. 1, S. 18–26, 2021.
<https://doi.org/10.1002/bapi.202000024>
- [22] Neubauer, R. O.: Die Klassifizierung des Schallschutzes $D_{nT,w}$ mit Hilfe des Schalldämm-Maßes R'_w . Bauphysik 43, H. 6, S. 400–410, 2021.
<https://doi.org/10.1002/bapi.202100036>
- [23] DIN EN ISO 16283-2:2020-11: Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen am Bau – Teil 2: Trittschalldämmung. 2020.
- [24] Neubauer, R. O.: Trittschalldämmung – Norm-Trittschallpegel L'_n und Standard-Trittschallpegel L'_{nT} im Vergleich. Bauphysik 43, H. 5, S. 326–334, 2021.
<https://doi.org/10.1002/bapi.202100026> ■



CADFEM®

WEITERBILDUNG

BEIM NR. 1 SCHULUNGSANBIETER FÜR CAE-SIMULATION

**AKUSTIK SIMULIEREN
UND MODELLE
HÖRBAR MACHEN**

In CADFEM Seminaren erlernen Sie die
Simulationsmöglichkeiten in der Akustik:
Emission, Schallausbreitung und Absorption,
Raumakustik, Schallabstrahlung und
Durchschallung bis zur Bewertung der
Geräuschqualität Ihrer virtuellen Produkte.



www.cadfem.net/akustik

Messung der Grundmode einer akustischen Röhre zu höheren Frequenzen

Joerg Panzer

Akustische Röhren werden zur Schallführung in Lautsprecher-Systemen oder zur Messung von Materialeigenschaften verwendet. Wenn die Wellenlänge kleiner als der Durchmesser des Rohres ist, können Quermoden angeregt werden. In diesem Beitrag wird eine Methode vorgestellt, die es ermöglicht, aus der Messung der Schalldruckantwort nur die Grundmode zu extrahieren. Dies lässt sich bewerkstelligen durch Verwendung von drei Mikrofonen, die in die Wand eines kreisförmigen Rohres eingelassen sind.

Einführung

In diesem Beitrag wird über eine Beobachtung berichtet, die es nahelegt, den Frequenzbereich einer bestimmten Art von Messung zu erweitern. Die folgenden Beobachtungen wurden an einer Apparatur gemacht, welche den Schalldruckverlauf von einem Druckkammerlautsprecher misst. Abbildung 1 skizziert diesen Messaufbau. Die im folgenden gegebene Erklärung des Phänomens ist gültig für alle Abmessungen des Rohres, solange das Schallfeld in harmonisch zyklische Wellenfunktionen zerlegt werden kann. Dazu mehr im nächsten Abschnitt.

Ein Lautsprecher treibt den Wellenleiter mit einem sinusförmigen Signal von ausreichend niedrigem Pegel an, so dass wir von einer linearen Akustik ausgehen können. Die Größenverhältnisse können im Prinzip beliebig sein. Für das Verständnis stellen wir uns aber zunächst eine Röhre vor, deren Länge L größer ist als der Durchmesser D . Wir nehmen weiterhin einen konstanten kreisförmigen Querschnitt an. Am Ende des Rohres kann eine beliebige Randbedingung herrschen. Diese ist für die folgende Untersuchung nicht relevant.

Um den Schalldruck zu messen, betten wir mehrere Mikrofone in die Wand des Rohres entlang des Umfangs ein. Für das hier vorgestellte Experiment verteilen wir drei Mikrofone gleichmäßig entlang des Umfangs, wie in Abbildung 2 dargestellt.

Das folgende Beispiel einer Schalldruckmessung stammt von einem Rohr mit dem Durchmesser $D=38\text{ mm}$. Das Medium im Inneren des Rohres besteht aus Luft. Es gibt kein weiteres Füllmaterial.

Extracting the Fundamental Mode from Sound Pressure Measurements in an Acoustic Tube

Acoustic tubes are used to provide a load to loudspeakers or to measure material properties. If the wavelength is comparable to the diameter of the tube cross-modes can be excited. This paper demonstrates a method which allows to extract the fundamental mode from the measurement of the sound-pressure response. The only requirement is the use of three microphones mounted into the sides of the tube-wall as well as a circular cross-section.

Die Wände sind akustisch hart. Das Rohr besitzt am Ende eine frei abstrahlende Öffnung. Die gemessenen Daten werden in den Zeitbereich transformiert und dort so gefenstert, dass die Spektralkurve eine reflexionsfreie Antwort darstellt. Abbildung 3 zeigt die Frequenzgangkurven des Schalldruckpegels an den Mikrofonen M1, M2 und M3.

Abb. 1: Seitenansicht des Versuchsaufbaus

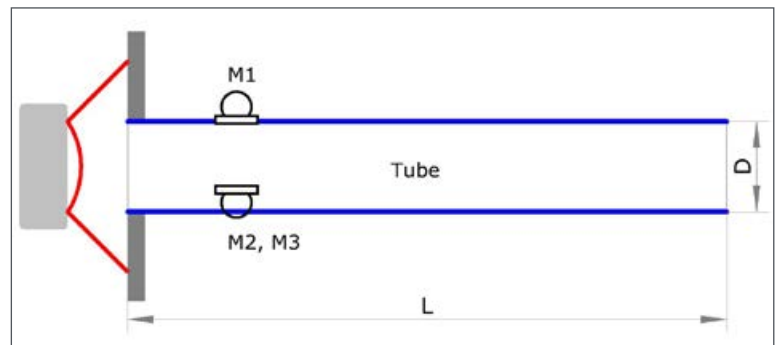
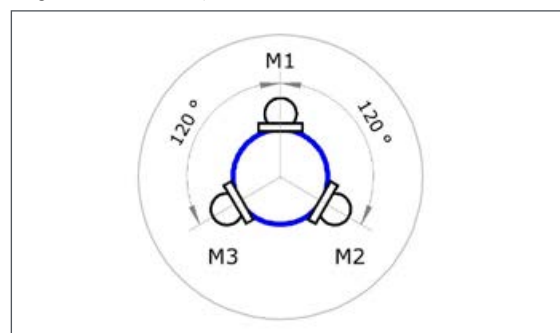


Abb. 2: Schnittdarstellung der akustischen Röhre und Lage der drei Mikrofone



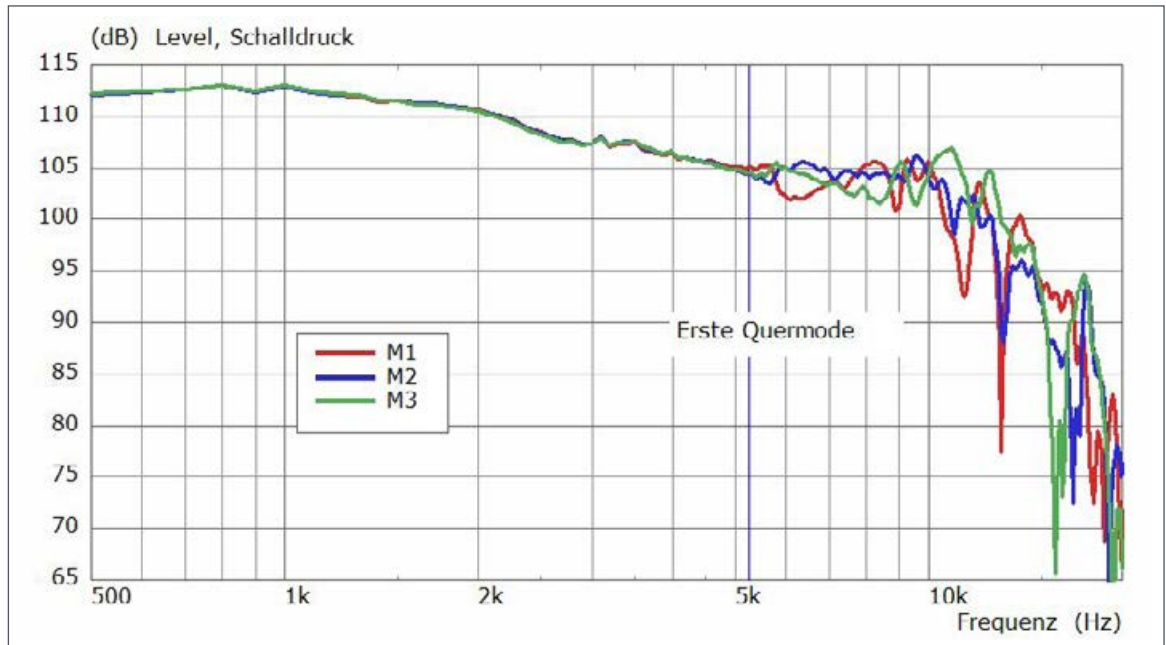


Abb. 3: Schalldruckpegel der drei Mikrofone (Reflexionen in z-Richtung entfernt)

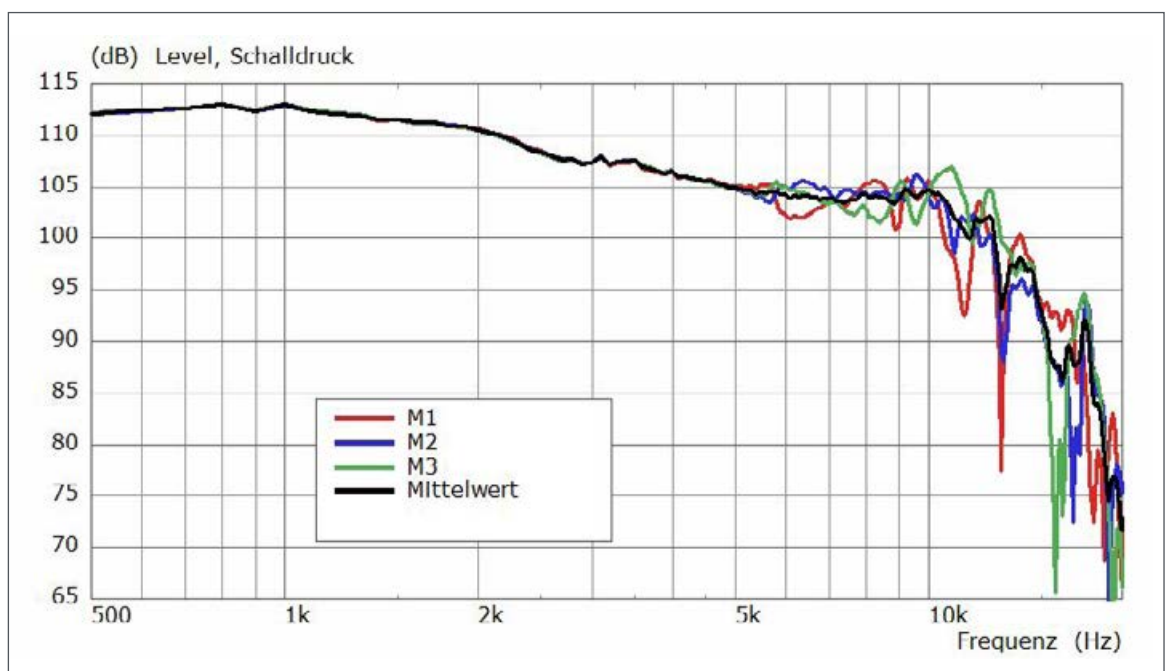
Im Frequenzbereich unterhalb 5 kHz sind die Frequenzgangkurven aller drei Mikrofone nahezu identisch.

Oberhalb von 5 kHz tritt eine Abweichung auf. Folgende Fragen ergeben sich: Warum sind die Frequenzgänge plötzlich unterschiedlich? Welche Kurve ist die richtige? Und was bedeutet „richtig“ in diesem Zusammenhang?

Die nähere Untersuchung zeigt, dass der einzige Unterschied zwischen den drei Messkanälen in der Winkelstellung der Mikrofone besteht. Ein weiterer Hinweis ergibt sich aus der Frequenz, oberhalb

derer sich die Frequenzgangkurven unterscheiden. Der Marker in Abbildung 3 ist eingestellt auf die Frequenz $f_{10} = 5276$ Hz. Ein möglicher Kandidat für die Ursache der Abweichungen sind sich ausbreitende Quermoden. Die Moden prägen sich abhängig von den Randbedingungen aus. Weitere Einzelheiten zu Moden werden im nächsten Kapitel besprochen, wo wir sehen werden, dass die Frequenz f_{10} die erste Quermode ist, die sich bei gegebenen Randbedingungen entlang der Röhre ausbreiten kann. Dies ist ein deutlicher Hinweis darauf, dass Quermoden die Ursache für die Schwankungen sind.

Abb. 4: Schalldruckpegel der drei Mikrofone und deren Mittelwert (Reflexionen in axialer Richtung entfernt)



Diese Quermodenaktivität bedeutet, dass der Schalldruck im Rohr nicht konstant über die Querschnittsfläche ist. Daher ist bei hohen Frequenzen die Mikrofonmessung an der Seite nicht repräsentativ für den Schalldruck im Inneren des Kanals. Bildet man jedoch den komplexwertigen Mittelwert der Antworten der Mikrofone M1, M2 und M3, so erhält man ein überraschendes Ergebnis, welches in Abbildung 4 dargestellt ist:

Es ist verlockend anzunehmen, dass der Mittelwert, dargestellt durch die schwarze Kurve in Abbildung 4, der Frequenzgang der Grundmode ist. Wie wir im nächsten Kapitel sehen werden, handelt es sich bei der schwarzen Kurve in der Tat um die Antwort der Grundschiwingung; dies gilt jedoch nur bis zu einer bestimmten Frequenz. Für unsere Beispielpipe liegt diese Frequenz bei $f_{01} = 10\,980\text{ Hz}$. Der neue Grenzwert liegt etwa eine Oktave über der klassischen Grenzfrequenz f_{10} , die gelten würde, wäre nur ein einziges Mikrofon entlang des Umfangs vorhanden [1].

Analyse

Bei niedrigen Schalldruckpegeln wird die Akustik im Kanal durch die lineare Wellengleichung bestimmt. Die Lösungen bestehen aus Wellenfunktionen. Die Geometrie unserer akustischen Röhre legt es nahe,

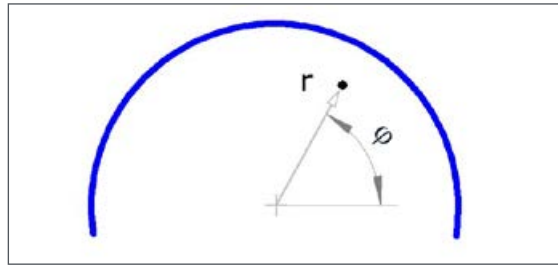


Abb. 5: Koordinaten des Radius = $\{r \mid 0 \leq r \leq D/2\}$ und des Umfangswinkels = $\{\varphi \mid 0 \leq \varphi \leq 360^\circ\}$

die Methode der Trennung der Variablen anzuwenden. Diese Methode liefert individuelle Wellenfunktionen, welche die Randbedingungen erfüllen und frei sind von gegenseitiger Koppelung. Daher hat für eine harmonische Analyse unsere grundlegende Lösung die allgemeine Form:

$$p(\varphi, r, z) = \sum \Phi(\varphi) R(r) Z(z) \quad (1)$$

In einem Rohr von kreisförmigem Querschnitt lässt sich die Wellenfunktion am besten in zylindrischen Koordinaten ausdrücken. Die radiale Koordinate bezeichnen wir mit r und die Umfangskoordinate mit dem Winkel φ , wie in Abbildung 5 dargestellt.

Die axiale Koordinate sei z und wird entlang des Roh-



Product sound quality is a key technological differentiator

Accuracy, performance, usability, and openness, are software characteristics engineers from all industries are looking for in order to make the most of the outcomes of the simulation during all phases of product design and manufacturing.

Learn more about Hexagon complete simulation solution for acoustics, vibro-acoustics and aero-acoustics

Learn more:



Abb. 6: Axiale Koordinate = $\{z \mid 0 \leq L\}$

res gemessen, wie in Abbildung 6 dargestellt.

Wenn das Rohr einen konstanten Schalldruck über den Querschnitt aufweist, wird es als „Plane-Wave-Tube“ oder Wellenleiter im Grundmodus bezeichnet. In diesem Fall vereinfacht sich die Wellenfunktion zu:

$$p(z) = Z(z) \quad (2)$$

Zur Anschauung der Schalldruckverteilung in einer kreisförmigen Röhre wollen wir nun zwei charakteristische Fälle betrachten. Ein Beispiel für ein Schalldruckfeld, bei dem nur die Grundmode angeregt wird, ist in Abbildung 7 dargestellt.

Theoretisch dominiert die Grundmode entweder im tieffrequenten Bereich oder bei Anregung des Feldes durch einen Kolben mit demselben Durchmesser wie das Rohr. In Abbildung 7 ist links eine schwingende Begrenzung und rechts eine schallharte Wand zu denken. Die Frequenz $f = 6127$ Hz ist willkürlich gewählt und ist keine Eigenfrequenz.

Wenn die Anregung asymmetrisch ist, wird das Feld komplexer, wie Abbildung 8 zeigt.

Das Feld der Röhre in Abbildung 8 wird von einer Punktquelle angeregt, die sich asymmetrisch auf der linken Seite befindet. Das Felddiagramm unterscheidet sich deutlich von dem Feld in Abbildung 7, obwohl die Randbedingungen identisch sind. Der Grund dafür ist, dass sich Quermoden, die in der Nähe der Schalldruckquelle angeregt werden, entlang des Kanals ausbreiten können. Dies ist so, weil die Wellenlänge bei dieser Frequenz klein genug gegenüber den Abmessungen ist. Umgekehrt würden bei einer großen Wellenlänge die Quermoden ebenfalls angeregt werden. Allerdings würden sich diese Moden nicht weit ausbreiten können und sich mit zunehmender Entfernung von der Punktquelle verflüchtigen.

Abbildung 9 zeigt Beispieldiagramme der Feldverteilung über den Querschnitt.

Die Wellenfunktion ist komplex genug, um eine Vielzahl von Randbedingungen zu erfüllen. Der interessierte Leser sei auf die Lektüre von [4] und [5] hingewiesen. Hier wollen wir uns auf einige wesentliche Merkmale beschränken. Diese Merkmale reichen aus, um zu zeigen, dass unser Messaufbau von drei Mikrofonen die Grundmode auch dann extrahieren kann, wenn das Feld nicht eben ist.

Die Summe der Formel (1) läuft auch über alle Quermoden. Es gibt Moden für die Umfangswellenfunktion ϕ und Moden für die Radialfunktion R . Für einen kreisförmigen Kanal lautet die Umfangsfunktion

$$\Phi_m(\varphi) = \cos(m \cdot \varphi) \quad (3),$$

m ist der Index einer Umfangsmode. Die radiale Komponente der Wellenfunktion lautet

$$R_{mn}(r) = J_m\left(\frac{2r}{D} \pi \cdot q_{mn}\right) \quad (4).$$

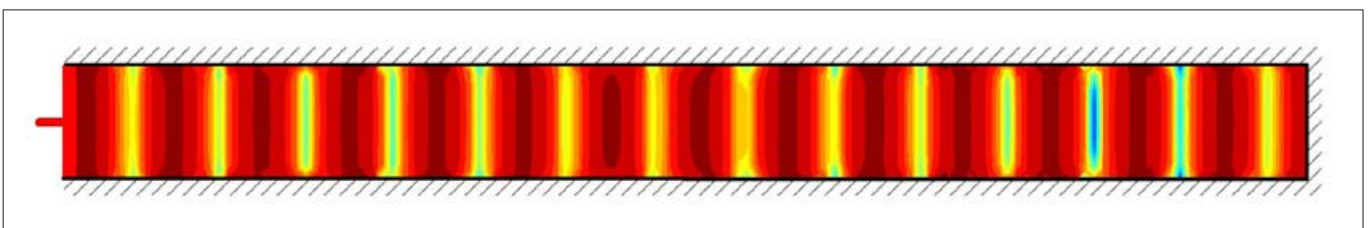
D ist der Rohrdurchmesser. Der Index m ist wieder die Nummer der Umfangsmode. m entspricht auch der Ordnung der Bessel-Funktion J_m . Der Index n zählt die Radialmode. Die Eigenwerte q_{mn} der Bessel-Funktion erfüllen die gegebene Randbedingung in der Querschnittsebene.

Die Mode mit den Indizes $m=0$ und $n=0$ ist die Grundmode. Sie erzeugt ein konstantes Feld über den Querschnitt. Wellenfunktionen mit dem Index $m > 0$ und $n=0$ erzeugen ein sternförmiges Muster, wie durch Gleichung 3 gegeben. Moden mit $m=0$ und $n > 0$ zeigen ein ringförmiges Muster, wie durch Formel 4 gegeben. Darüber hinaus ergeben sich Kombinationsmoden. Jede Umfangsmode m hat ein Set von Radialmoden in n , wobei für jedes m der Index n von null an zählt. Die Anzahl der Moden ist theoretisch unbegrenzt.

Die dritte Komponente der Wellenfunktion betrifft die z -Richtung. Ihre Größe ist typischerweise auch von m und n abhängig. Wir nehmen an, dass die hier gegebene Untersuchung unabhängig von der z -Richtung ist. Wir setzen daher $Z(z) = Z_{mn}(z)$.

Abb. 7: Schalldruckpegel bei $f = 6127$ Hz. Bereich: Rot-Blau = 50 dB. $d = 38$ mm, $L = 400$ mm, Schallgeschwindigkeit $c = 343$ m/s. Antrieb durch Kolben von links.

Neumann-Randbedingungen auf der rechten Seite des Rohres: $dp/dz=0$



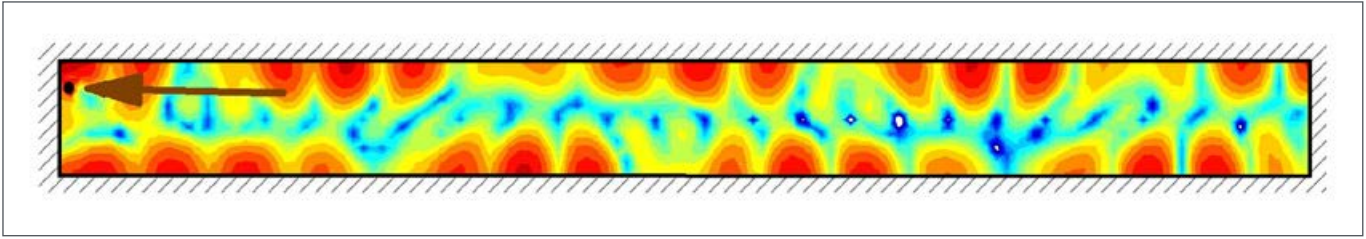


Abb. 8: Ansteuerung durch eine Punktquelle von beliebiger Position.
Neumann-Randbedingungen auf der linken und rechten Seite des Rohres (ansonsten wie in Abbildung 7).

Nachdem wir uns einen Überblick über die Zylinderfunktionen verschafft haben, können wir einen Ausdruck für den Mittelwert des Signals von gleichmäßig über den Umfang verteilten Mikrofonen formulieren. Setzt man Gleichung 3 und 4 in Gleichung 1 ein und bildet den Mittelwert durch Summierung der entsprechenden Schalldruckfunktionen, so ergibt sich eine spezielle modale Wellenfunktion

$$\bar{p}(\varphi, r, z) = \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} C_m(\varphi) R_{mn}(r) Z_{mn}(z), \quad (5)$$

mit der neuen Funktion C_m , wobei davon ausgegangen wird, dass die Mikrofonpositionen gleichmäßig entlang des Umfangs angeordnet sind:

$$C_m(\varphi) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \cos\left(m \cdot \varphi + m \cdot i \cdot \frac{2\pi}{N}\right) \quad (6).$$

In C_m steht N für die Anzahl der Mikrofone. C_m hat für alle φ folgendes Ergebnis:

$$C_m(\varphi) = \begin{cases} 1 & \text{für } m = 0 \\ 0 & \text{für } m > 0 \wedge m < N \end{cases} \quad (7).$$

Spiele wir die obigen Formeln für einen bestimmten Fall durch. Zum Beispiel können wir drei Mikrofone entlang des Umfangs an einer beliebigen z -Koordinate anbringen. Wir achten darauf, dass die Mikrofone nicht zu nahe bei der Quelle liegen. Bei drei Mikrofonen haben wir $N=3$, was zu $C_0(\varphi)=1$, $C_1(\varphi)=0$ und $C_2(\varphi)=0$ führt. Das bedeutet, dass sich die Umfangsmoden $m=1$ und $m=2$ durch Addition der Signale der Mikrofone M1, M2 und M3 aufheben. Da die Radialmoden von den Umfangsmoden abhängen, würden sich alle Radialmoden, die $mn=1n$ und $mn=2n$ zählen, ebenfalls aufheben. Abbildung 10 veranschaulicht die Aufnahme mit den drei Mikrofonen.

Die Kurven in Abbildung 10 verdeutlichen die Wirkungsweise von Formel 3. Die verschiedenen Farben zeigen entgegengesetzte Phasenlagen an. Das Argument ist der Umfangswinkel φ , wie in Abbildung 5 skizziert. Bei $m=0$ ist der Schalldruck konstant, und alle Mikrofone nehmen das gleiche Signal auf. Bei $m=1$ besitzt die Form des Schalldruckverlaufs Dipolcharakter. Jede Keule hat eine entgegengesetzte Phase. Die Summe der drei Mikrofone addiert sich zu Null. Bei $m=2$ haben wir einen Vierpol. Auch die-

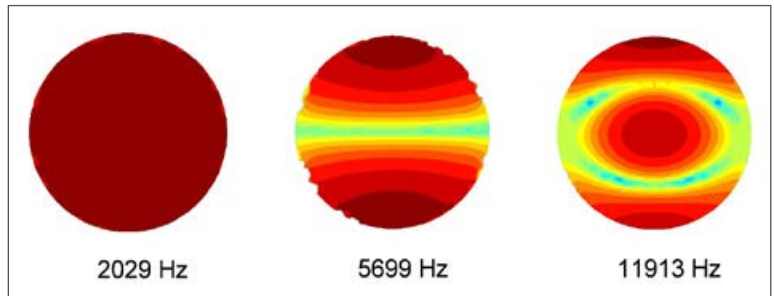
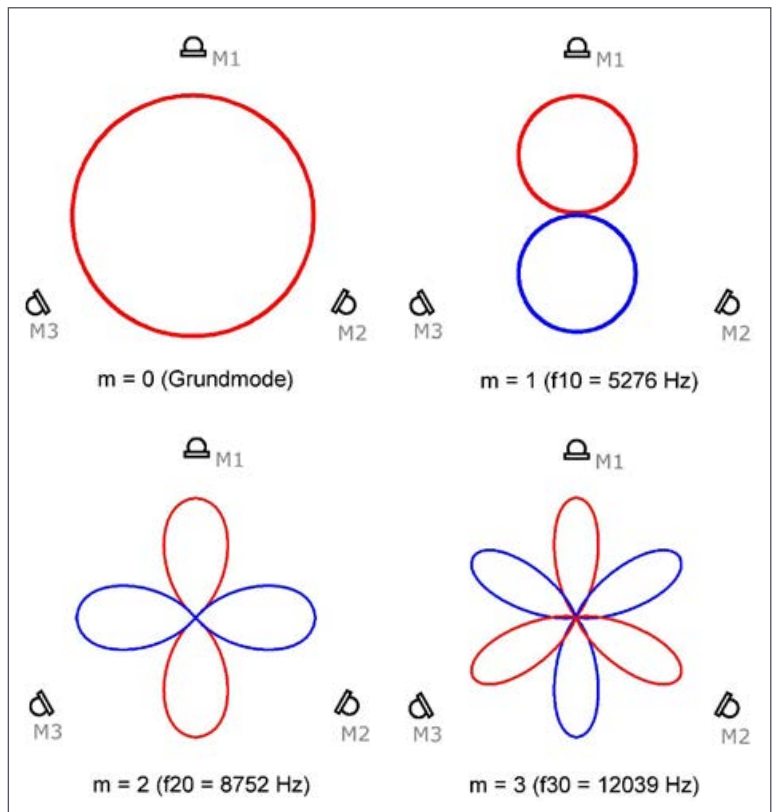


Abb. 9: Schalldruckverteilung des Querschnitts bei $z = 100$ mm (ansonsten wie in Abbildung 8).

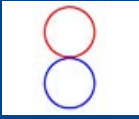
ser summiert sich zu Null. Mit $m=3$ schließlich führt die räumliche Unterabtastung dazu, dass die Summe der Signale denselben Wert ergibt, wie wir ihn mit nur einem Mikrofon messen würden.

Bei $N=3$ Mikrofonen ist daher eine obere Grenze die Frequenz $f_{30} = 12\,039$ Hz, unterhalb welcher der Mittelwert die Umfangsmodi auslöschen würde. Es

Abb. 10: Polardiagramm der Umfangsmodi (Formel 3) mit $m = 0 \dots 3$



Tab. 1: Obere Grenzfrequenzen des gültigen Messbereichs von verschiedenen Rohrdurchmessern D und Anzahl N von Mikrofonen.

			
D	Umfang f_{10}	Umfang f_{20}	Radial f_{01}
mm	Hz	Hz	Hz
25,4	7 914	13 128	16 470
38,1	5 276	8 752	10 980
50,8	3 957	6 564	8 235
70,0	2 872	4 764	5 976
100,0	2 010	3 335	4 183
120,0	1 675	2 779	3 486
150,0	1 340	2 223	2 789
200,0	1 005	1 667	2 092
250,0	804	1 334	1 673
q_{mn}	0,5861	0,9722	1,2197

gilt jedoch, auch die radialen Moden zu beachten, da die Mikrofone immer die Überlagerung aller Moden messen. Allerdings wissen wir, dass sich durch Interferenz die Umfangsmodi $m = 1$ und $m = 2$ und alle dazugehörigen Radialmodi auslöschen.

Nun sollten wir uns die Menge der Radialmoden von $m = 0$ noch genauer ansehen. Hier tritt die erste Radialmode bei $f_{01} = 10\,980\text{ Hz}$ auf. Bei jeder Anregungsfrequenz, die höher als f_{01} ist, kann sich diese Radialmode entlang der Röhre ausbreiten und wird daher überall mit der Grundmode überlagert sein. Andersherum betrachtet kann man sagen, dass für alle Frequenzen unterhalb von $f_{01} = 10\,980\text{ Hz}$ der Mittelwert der Signale der drei Mikrofone genau die Grundmode ergibt. Oberhalb von f_{01} und unterhalb von f_{30} ist ein Fehler durch zusätzliche Radialmoden zu erwarten. Bei höheren Frequenzen als f_{30} kann das Ergebnis aufgrund von räumlicher Unterabtastung der Quermoden fehlerhaft sein.

Tabelle 1 führt Grenzfrequenzen für eine Reihe von Rohrdurchmessern D und Anzahl von Mikrofonen N auf.

Als Grundlage für die Erstellung der Tabelle 1 wird angenommen, dass das Rohr in φ -Richtung kreisförmig ist und in r -Richtung schallharte Randbedingungen bestehen. Die erste Spalte zeigt den Rohrdurchmesser. In der zweiten Spalte ist die obe-

re Grenzfrequenz f_{10} in Hz angegeben, für den Fall, dass nur ein einziges Mikrofon verwendet wird. Die dritte Spalte gibt die obere Grenzfrequenz an, wenn zwei Mikrofone verwendet werden. In der letzten Spalte sind die oberen Grenzfrequenzen f_{01} aufgeführt, wenn drei oder mehr Mikrofone entlang des Umfangs positioniert sind. Wie bereits erwähnt, ist der Mittelwert der Signale dieser Mikrofone für alle Frequenzen, die kleiner sind als die Radialmode f_{01} , identisch mit der Grundschwingung.

Die oben genannten Werte errechnen sich aus den Eigenwerten der Formel 4, die durch die Nullstellen der Ableitung der Bessel-Funktion gegeben sind:

$$\frac{d}{dx} J_m(\pi \cdot q_{mn}) = 0 \quad (8).$$

Für jede Umfangsmoden m gibt es eine Reihe von Radialmoden, die in n variieren. Sobald die Nullstellen von Formel 8 gefunden sind, kann man die zugehörigen Frequenzen berechnen:

$$f_{mn} = q_{mn} \cdot \frac{c}{D} \quad (9)$$

mit der Schallgeschwindigkeit c und dem Rohrdurchmesser D . In der letzten Zeile von Tabelle 1 sind die drei Eigenwerte für f_{10}, f_{20}, f_{01} angegeben.

Bei der Verwendung von zwei Mikrofonen ($N=2$) würden nur die Moden gelöscht, die zu der Menge mit dem Index $m=1$ gehören. Der Modensatz von $m=2$ wäre wegen der räumlichen Unterabtastung unberechenbar. Daher bildet im Fall von $N=2$ die zweite Umfangsmoden f_{20} die obere Grenzfrequenz.

Die Verwendung von vier oder mehr Mikrofonen würde den gültigen Frequenzbereich, in dem der Mittelwert des Mikrofonsignals die Grundmode darstellt, nicht vergrößern. Mehr Mikrofone würden nur den Wert der Alias-Frequenz erhöhen. Allerdings wäre jeder solche Wert höher als die erste radiale Mode f_{01} .

Anmerkungen

Das Normenwerk [1] und auch die Artikel [2] und [3] über „Plane-Wave-Tubes“, an das sich die vorliegende Arbeit anschließt, sieht nur die Verwendung eines einzelnen Mikrofons vor. Empfohlen wird der Frequenzbereich bis f_{10} (Anmerkung: Im Annex B.4.1 wird angedeutet, dass es von Vorteil sein könnte, drei Mikrofone zu verwenden). Die Tabelle 1 der Norm ist vergleichbar mit der Tabelle 1 dieser Arbeit. Der Begriff „Asymmetric“ ist identisch mit unserem „Umfang“ und „Symmetric“ mit unserem „Radial“. „Mode No = 3“ ist mit unserer oberen Grenzfrequenz f_{01} gleichzusetzen, welche die erste radiale Mode darstellt.

Die Verwendung von mehreren Mikrofonen bietet noch einen weiteren Vorteil gegenüber einem ein-

zelen Mikrofon. Wie Abbildung 3 zeigt, ist der Frequenzbereich der Aktivität der Quersmoden deutlich sichtbar. Die Verwendung mehrerer Mikrofone dient also als Indikator. Mit nur einem Mikrofon wäre der Übergangsbereich weniger gut zu erkennen, da sich mit einer einzigen Messkurve Moden nicht extrahieren lassen.

Schlussfolgerung

Es wurde die Beobachtung bestätigt, dass der Mittelwert der Antworten von drei gleichmäßig über den Umfang verteilten Mikrofonen ausschließlich den Schalldruck der Grundmode misst und dabei höhere Moden durch Interferenz ausblendet. Das Ergebnis ist mathematisch exakt bis zu einer Frequenz, die etwa doppelt so hoch liegt wie die obere Grenzfrequenz, wenn nur ein einziges Mikrofon verwendet wird.

In wieweit eine Extraktion der Grundmode mit Hilfe mehrerer außen angebrachter Mikrofone auch bei anderen Querschnitten möglich ist, ist Gegenstand weiterer Forschung. Unbekannt ist auch der Einfluss der am Eingang und Ausgang der Röhre angekoppelten akustischen Systeme.

Bislang wurde die „Drei-Mikrofon-Technik“ nur ohne Dämpfungsmaterial getestet. Der Autor geht davon aus, dass diese Technik grundsätzlich auch funktio-

niert, wenn Dämpfungsmaterial vorhanden ist.

Der Autor sieht eine Anwendung der Drei-Mikrofon-Methode überall dort als Vorteil, wo man gezwungen ist, das Schallfeld vom Rand der Röhre her zu messen, zum Beispiel bei der Impedanzmessung von Materialien oder in der Elektroakustik.

Danksagung

Der Autor bedankt sich herzlich bei der Firma NEXO SA, und ein besonderer Dank geht an die Entwicklungsabteilung der Firma B&C SpA für die Unterstützung dieser Arbeit. Eine englischsprachige Version dieses Artikels finden Sie in [6].

Literatur

- [1] AES Information Document for Acoustics; Plane-Wave-Tubes – Design and Practice. AES-11d-2012
- [2] Magalotti, R.; Pasini, P.: Building a Plane-Wavetube – Experimental and Theoretical Aspects. JAES, Vol 47, Jul/Aug 1999.
- [3] Buck, M.: Plane Wave Tubes – Uses and Limitations. AES 117 Convention Paper 6268, Oct 2004.
- [4] Morse, P.; Ingard, U.: Theoretical Acoustics. McGraw Hill, 1968.
- [5] Rienstra, S.: Fundamentals of Duct Acoustics. TU Eindhoven, 2015.
- [6] Panzer, J.: Extracting the Fundamental Mode from Sound Pressure Measurements in an Acoustic Tube. AES 147 Convention Paper 10238, NY, Oct 2019. ■

Joerg Panzer
Universität
Le Mans, IMDEA

Schallschutz- und Akustiklösungen weltweit



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

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

Menschen

Personalien

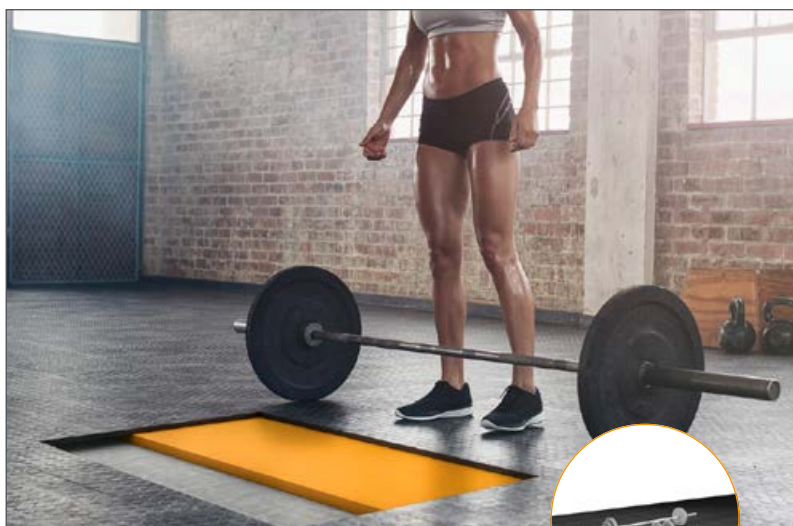
■ Verstorben

Prof. Dr. Felix Kolmer, Prag (CZ), Holocaust-Überlebender, Professor für Akustik in Prag, Engagement u. a. als Vorsitzender des Bundesverbandes Information und Beratung für NS-Verfolgte e. V. und als Vizepräsident des Internationalen Auschwitz-Komitees, Träger zahlreicher internationaler Ehrungen (u. a. des Bundesverdienstkreuzes), verstorben im Alter von 100 Jahren

Prof. Dr. Grażyna Grelowska, Gdansk/Danzig (PL), Professorin an der Technischen Universität Gdansk, Vorsitzende u. a. der Polnischen Gesellschaft für Akustik, Mitarbeit in internationalen Dachverbänden, Organisatorin der Polnisch/Deutschen Akustik-Seminare innerhalb der OSA-Tagungen ■

■ Personalien

Prof. Dr. Malte Kob ist seit Oktober 2022 neben seiner bisherigen Position an der HfM Detmold Universitätsprofessor für Stimmforschung am Antonio Salieri Institut für Gesang und Stimmforschung in der Musikpädagogik an der Universität für Musik und darstellende Kunst Wien. ■



Effektiver Schallschutz in Fitness-Studios

- Optimale Lärmreduktion bis zu 29 dB* für verschiedene Fitness-Anwendungen
- Langfristiger Werterhalt des Gebäudes und einfacher Einbau ohne zusätzliches Equipment
- Reduziertes Verletzungsrisiko für Athleten durch Bedämpfung rückfedernder Gewichte

* $\Delta L_{AF,max}$ bei einem Gewicht von 50 kg und einer Abwurfhöhe von 50 cm



www.getzner.com/g-fit

getzner
engineering a quiet future

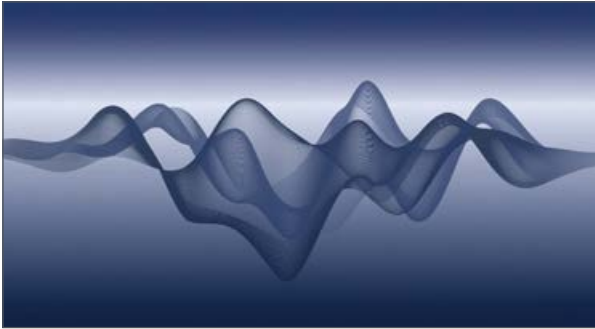
Veranstaltungen

■ Veranstaltungshinweise

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. November 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 <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 Geräuschestehung, -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 Geräuschestehung 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:

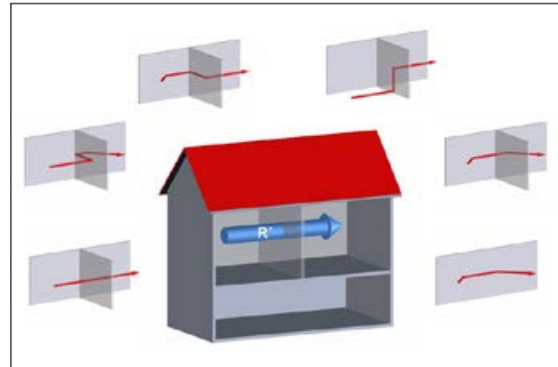
siehe beiliegendes Faltblatt und <https://www.dega-akustik.de> ■

21.11.–23.11.2022 und

19.04.–21.04.2023

DEGA-Akademie

Kurs „Bauakustik – von den Grundlagen zur Anwendung“



Der Kurs „Bauakustik – von den Grundlagen zur Anwendung“ findet in den kommenden Monaten an zwei Terminen (21.–23.11.2022 / 19.–21.04.2023) jeweils in Braunschweig statt.

Er richtet sich an alle, die sich mit der Thematik intensiver auseinander setzen wollen (insbesondere aus Architektur, Bauingenieurwesen etc.).

Hinweis:

Ursprünglich sollte der erstgenannte Kurs im September 2022 stattfinden; dieser Termin musste jedoch krankheitsbedingt auf November verschoben werden. Für beide Termine waren zum Redaktionsschluss noch Teilnahmeplätze frei.

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>

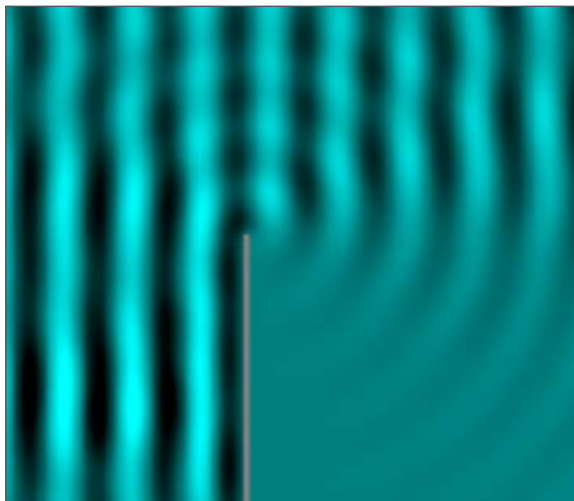
Programm, Leistungen, Gebühren und Anmeldung:

siehe beiliegendes Faltblatt (April-Termin) und

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

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 Sarraj, TU Berlin, Institut für Strömungsmechanik und Technische Akustik

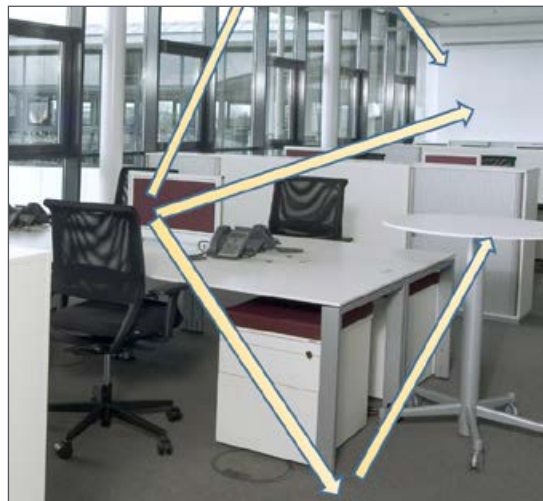
Veranstaltungsort:

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

Hinweis:

Die maximale Teilnehmezahl wurde erreicht; eine Anmeldung ist nur auf Nachfrage möglich (Warteliste). Weitere Informationen finden Sie auf der DEGA-Webseite <https://www.dega-akustik.de> ■

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

■ **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 Schwerkrieg 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 Deutschlands 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 Großstadtfair 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 (rechts) und Stephan Lippert (links)

**Veranstaltungsort**

CCH – Congress Center Hamburg

Congressplatz 1

20355 Hamburg

<https://www.cch.de>**Anmeldung und Gebühren**

Die Anmeldung zur DAGA ist möglich unter

<https://www.daga2023.de/registrierung>**Beitragsanmeldung**

Abstracts für Vorträge und Poster können bis zum 1. November 2022 hier eingereicht werden:

<https://www.daga2023.de/autoren>**Zentrale Termine**

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

Vorkolloquien

- Numerische Verfahren in der Strömungsakustik (Organisation: Stefan Becker)
- BEM für komplexe akustische Fragestellungen (Organisation: Sören Keuchel)
- Methoden in der Flugzeugakustik (Organisation: Wolfgang Gleine)

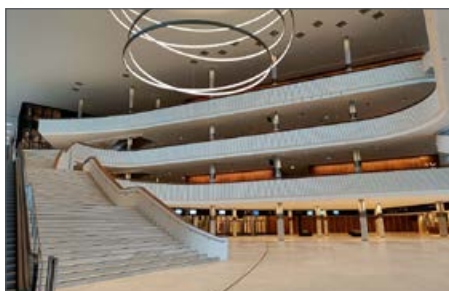
Strukturierte Sitzungen

Neben den allgemeinen Sitzungen zu verschiedensten Themen der Akustik werden auch wieder speziell für die DAGA 2023 organisierte Sitzungen mit aktuellen Schwerpunkt-Themen angeboten:

- Akustische Metamaterialien
- Assisted Hearing in the Loop – Experiments, Algorithms, Devices
- Augmented Acoustic Reality
- Bewegte akustische Quellen in einem Medium mit und ohne Strömung
- Emerging Methods and Applications of Acoustic Holograms
- Innenlärm in Flugzeugen
- Kavitation mit Schwerpunkt maritimer Kontext
- Lärm am Arbeitsplatz
- Lärm von Schießplätzen
- Materialcharakterisierung mit Ultraschall
- Meeresakustik und Wasserschall
- Motion and Gaze Behaviour in Auditory Scenes
- Neue digitale Möglichkeiten für die musikalischen Akustik
- Perceptual Optimization of Dynamic Binaural Rendering
- Personal Sound Zones
- Philosophie in der Akustik
- Schallschutz im Umfeld von Musikklubs
- Sound Analysis for Music and Audio Signals
- Speech Processing, Anonymization and Machine Learning for Medical and Social Good
- Strömungsakustik in der Energiewende
- Virtualisierung von Musikinstrumenten
- Wirkungsbezogene Lärmbewertungsmaße

Weiterführende Informationen:

<https://www.daga2023.de/programm/vortraege-und-poster>

**Rahmenprogramm und Exkursionen**

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.

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 Mitte Oktober 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 ■

■ Kalender

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

■ 14.–15.11.2022 in Berlin: 15. DEGA-Symposium „Erneuerbare Energien und Lärmschutz“, siehe Seite 33 und <https://www.dega-akustik.de/aktuelles>

■ 21.–23.11.2022 in Braunschweig: DEGA-Akademie-Kurs „Bauakustik – von den Grundlagen zur Anwendung“, siehe Seite 34 und <https://www.dega-akustik.de/aktuelles>

■ 23.–24.11.2022 in Berlin: DEGA-Akademie-Kurs „Grundlagen der Technischen Akustik“, siehe Seite 35 und <https://www.dega-akustik.de/aktuelles>

■ 23.–24.11.2022 in Braunschweig: Workshop „Strömungsschall in Luftfahrt, Fahrzeug- und Anlagentechnik“, siehe Seite 44 und <https://www.dega-akustik.de/sta>

■ 28.11.2022 in Braunschweig: DEGA-Akademie-Kurs „Raumakustik kompakt“, siehe Seite 35 und <https://www.dega-akustik.de/aktuelles>

■ 06.–09.03.2023 in Hamburg: Jahrestagung DAGA 2023, siehe Seite 36f und <https://www.daga2023.de>

■ 19.–21.04.2023 in Braunschweig: DEGA-Akademie-Kurs „Bauakustik – von den Grundlagen zur Anwendung“, siehe Seite 34 und <https://www.dega-akustik.de/aktuelles>

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

■ 20.–23.08.2023 in Chiba, Greater Tokyo (J): Inter-Noise 2023, siehe <https://internoise2023.org/>

■ 11.–15.09.2023 in Torino (I): Forum Acusticum 2023, siehe <https://www.fa2023.org>

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

Admonter



Admonter Akustikelemente eröffnen neue Möglichkeiten der akustischen und visuellen Raumgestaltung.

Admonter Akustikplatten absorbieren bis zu 100% des auftreffenden Schalls, dank des baubiologisch natürlichen Aufbaues und des geringen Flächengewichtes der Acoustics Premium Produkte sind diese optimal für Neubau und auch Sanierung geeignet. Erhältlich in vielen verschiedenen Holzarten, die sich optimal mit Böden, Wand- und Möbelementen, Türen und Treppen aus dem Hause Admonter kombinieren lassen. Neu: Das Acoustic Premium Deckensegel als Fertigbauteil.

[admonter.com](https://www.admonter.com)

Naturholzböden
Floors

Naturholzplatten
Elements

Naturholz-Akustikplatten
Acoustics

Naturholztüren
Doors

Naturholzstiegen
Stairs

DEGA

Nachrichten und Mitteilungen aus der Fachgesellschaft

■ Neue Mitgliedsgebühren

Die Beiträge für persönliche Mitglieder der DEGA sind seit sechs Jahren nicht erhöht worden. Angesichts der derzeitigen Preissteigerungen hat der Vorstandsrat bei seiner letzten Sitzung eine Gebührenerhöhung um 10 % beschlossen. Demnach werden die Jahresbeiträge ab Januar 2023 wie folgt angehoben:

	bisher	ab 2023
Mitglied vollzahlend	80,- €	88,- €
Mitglied vollzahlend (Doppelmitglied)	60,- €	66,- €
Mitglied Rentner/-in	40,- €	44,- €
Mitglied Rentner/-in + Rabatt	20,- €	22,- €
Mitglied studierend	20,- €	22,- €

Die betreffende Jahresrechnung mit den neuen Gebühren werden alle Mitglieder wie gewohnt im Frühjahr 2023 erhalten. Für Fördermitglieder der DEGA bleiben die derzeitigen Gebühren (klein/mittel/groß) im Jahr 2023 unverändert bestehen. ■

■ 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>. ■

WIE REALISIEREN WIR EFFIZIENTEN SCHALLSCHUTZ IM HOLZBAU? GEMEINSAM.



REGUPOL sound and drain 22

Trittschalldämmung Außenfläche

Messergebnis:

$$L_{nw} (C_{1,50-2500}) = 41 (+3) \text{ dB}$$

akustik@regupol.de

www.regupol.com

■ Fachausschüsse und Fachgruppen der DEGA stellen sich vor (Teil 8)

Fachausschuss Physikalische Akustik

Hinter vorgehaltener Hand munkelt man etwas spöttisch, der DEGA-Fachausschuss Physikalische Akustik (<https://www.dega-akustik.de/pa>) sei das Sammelbecken für alle Themen der Akustik, die nicht in einen der anderen Fachausschüsse der DEGA hineinpassen. Bereits ein erster Blick in eines der beliebten Nachschlagewerke unserer Zeit (https://de.wikipedia.org/wiki/Physikalische_Akustik) bietet Diskussionsstoff: „Physikalische Akustik behandelt die physikalischen Grundlagen der Akustik, die auf Schwingungen beruhen. Die physikalische Akustik handelt von den longitudinalen Wellen, den Schallwellen, die vom Ohr wahrgenommen werden.“ Warum die Physikalische Akustik auf Longitudinalwellen beschränkt sein sollte, erschließt sich nicht – das englischsprachige Pendant (siehe https://en.wikipedia.org/wiki/Physical_acoustics) nennt durchaus u. a. auch Rayleigh-Wellen und Scherwellen. Dort werden u. a. auch Schallminderung, Schallabsorption, Schalllevitation, nichtlineare Akustik, Sonolumineszenz oder Thermoakustik als Aspekte der Physikalischen Akustik aufgeführt. Eine scharf abgrenzende wissenschaftliche Definition scheint es daher nicht zu geben. Deshalb wollen wir uns von einem anderen Blickwinkel nähern: von der Geschichte des Fachausschusses und der bisher gelebten Praxis.

Der DEGA-Fachausschuss Physikalische Akustik (FA PA) wurde im Jahr 1993 auf Betreiben des damaligen DEGA-Vizepräsidenten Prof. Fridolin Mechel gegründet, der auch Leiter des Fachverbands Akustik der DPG (Deutsche Physikalische Gesellschaft) war und daher gute Kontakte zum Physikzentrum in Bad Honnef hatte. Herr Mechel schlug Herrn Dr. Fröhlich vom Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik in Berlin als Fachausschussleiter vor, doch dieser übernahm von ihm die Leitung des DPG-Fachverbands Akustik, und Prof. Martin Ochmann von der damaligen Technischen Fachhochschule Berlin (heute Berliner Hochschule für Technik) wurde der erste Leiter des FA PA.

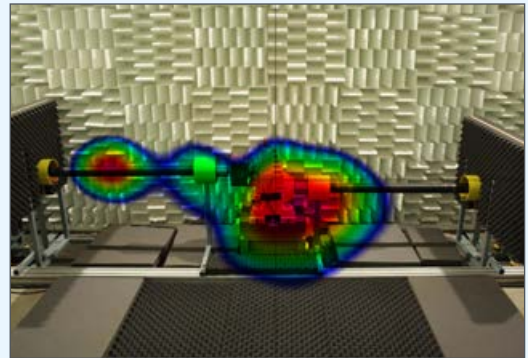
Schon im selben Jahr wurde im November 1993 im Physikzentrum Bad Honnef der erste Workshop „Physikalische Akustik“ mit 35 Teilnehmenden veranstaltet, der damals noch auf zweieinhalb Tage angesetzt war: Am 23. November 1993 beschäftigte man sich unter Leitung von Herrn Dr. Fröhlich mit dem Thema „Nichtkonventionelle Erzeugung und Detektion von Ultraschall“ (neun Vorträge), am 24. November unter Leitung von Prof. Volker Mellert (Universität Oldenburg) mit dem Thema „Schallausbreitung in der Atmosphäre“ (sieben Vorträge), und der Vormittag des 25. November war der Diskussion allgemeiner Fragen des FA PA (z. B. Ziele und Aufgaben des FA PA; Auftreten auf der nächsten DAGA-Tagung in Dresden; Themen, Ort und Termine der nächsten Workshops) gewidmet.

Prof. Martin Ochmann leitete den FA PA von 1993 bis 2002. In den Jahren 2002 bis 2005 wurde er von Dr. Eduard Chilla (ehemals ebenfalls Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik, Berlin, dann Telefilter GmbH, schließlich Vectron International GmbH) geleitet, bevor in den Jahren 2005 bis 2011 die Fachausschussleitung in den Händen von Prof. Wolfgang Kropp von der Chalmers tekniska högskola im schwedischen Göteborg lag. Prof. Ennes Sarradj (damals Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, inzwischen Technische Universität Berlin) hatte die Leitung von 2011 bis 2017 inne, seit 2017 (bis März 2023, dann stehen Neuwahlen an) darf ich den FA PA leiten.

Der FA PA hatte im Laufe der Jahre wechselvolle Beziehungen zu anderen DEGA-Fachausschüssen. So wurde z. B. der ursprüngliche Fachausschuss Hydroakustik im Jahr 2000 in den FA PA integriert. Umgekehrt erhielt das Thema Strömungsakustik im FA PA dermaßen viel Aufmerksamkeit und Zulauf, dass folgerichtig im Jahr 2010 daraus ein eigenständiger erfolgreicher DEGA-Fachausschuss wurde. Zwischenzeitlich gab es auch immer mal wieder Diskussionen über einen eigenen DEGA-Fachausschuss Numerische Akustik (oder Computational Acoustics), aber bis jetzt ist dieses Gebiet ein Teilbereich des FA PA geblieben. Besonders lang und eng ist die Beziehung zum DPG-Fachverband Akustik, mit dem nach wie vor gemeinsam der traditionelle Herbstworkshop im Physikzentrum Bad Honnef veranstaltet wird.

Die Vielfalt des FA PA wird am ehesten in den Themen der mittlerweile 27 Herbstworkshops deutlich: u. a. „Akustische Sensorik“, „Hydroacoustics“, „Physik des Gehörs“, „Ultraschall in Biologie und Medizin“, „Kavitation in Technik und Medizin: Beschreibung und Quantifizierung“, „Sehen mit Schall“, „Aktive Beeinflussung der Entstehung und Ausbreitung von Luft- und Körperschall“, „Geführte Wellen“, „Charakterisierung von Schallquellen“, „Numerische Akustik“, „Schallausbreitung in inhomogenen Medien“, „Licht und Schall“ (DPG-Jahr des Lichts 2015), „Charakterisierung von Materialien“ oder „Impulsschall/Transientenschall“.

Die Herbstworkshops erstrecken sich inzwischen meist über eineinhalb Tage und werden manchmal auch in Zusammenarbeit mit anderen DEGA-Fachausschüssen gestaltet, z. B. der Herbstworkshop „Physik der Musikinstrumente“ unter Mitwirkung



Aufnahme mit einer akustischen Kamera: Untersuchung der Schallabstrahlung eines Industriegetriebes im reflexionsarmen Halbraum.

Quelle: Fachgebiet Systemzuverlässigkeit, Adaptronik und Maschinenakustik SAM, TU Darmstadt.

der DEGA-Fachausschüsse Musikalische Akustik und Strömungsakustik im Jahr 2016 mit 11 Vorträgen und 38 Teilnehmenden oder der aktuelle Herbstworkshop zum Thema „Infraschall und tieffrequenter Schall“ mit ebenfalls 11 Vorträgen und 34 Teilnehmenden am 29./30. September 2022 in Kooperation mit dem DEGA-Fachausschuss Lärm: Wirkungen und Schutz. Im Jahr 1998 ging der Herbstworkshop wegen terminlicher und inhaltlicher Überschneidungen in der Euronoise-Konferenz in München auf, im Jahr 2014 wurde der Workshop zum offiziellen 8. DEGA-Symposium zum Thema „Messverfahren in der Akustik“ mit 15 Vorträgen und 49 Teilnehmenden ausgeweitet.

Fachausschussmitglieder sind auch sehr aktiv bei der Organisation und Durchführung von Strukturierten Sitzungen auf der DAGA-Konferenz (z. B. seit vielen Jahren „Meeresakustik und Wasserschall“) und anderen Konferenzen sowie beim Verfassen von Fachartikeln für das Akustik Journal (u. a. 2/2018: „Die humane Stimmgebung“, 3/2018: „Zur Akustik von Weingläsern“, 3/2018: „Schallbasierte Messungen bei Tiefbohrungen“, 2/2020: „Akustik von E-Bikes“, 2/2021: „Der leise Flug der Eule“, 2/2022: „Dynamische Aspekte beim Schallempfang im Meer“).

Aktuell (Stichtag 29.09.2022) hat der FA PA 52 Mitglieder und 399 Interessierte. Weitere Mitglieder und Interessierte sind jederzeit willkommen!

Joachim Bös

Anzeigenmöglichkeiten im Akustik Journal

Aktuelle Frist: Einreichung bis 13. Januar – für Februar-Journal 2023
Informationen: <https://www.dega-akustik.de/publikationen/akustik-journal>
Kontakt: akustikjournal@dega-akustik.de



Viertelseite



Halbe Seite



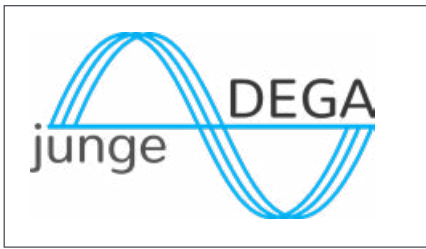
Ganze Seite



Die Preise gelten zzgl. MwSt. Fördermitglieder der DEGA e.V. erhalten jährlich eine kostenfreie Anzeige im Format einer Viertelseite. Dieser Rabatt ist auch auf größere Formate übertragbar. Für 2023 sind auch Umschlagseiten buchbar.

■ Fachausschüsse / Fachgruppen

Fachgruppe „junge DEGA“



Vorsitzender:

Lucas Heidemann, Hochschule für Technik Stuttgart,
lucas.heidemann@hft-stuttgart.de

Nachdem der Herbstworkshop der jungen DEGA zweimal kurzfristig abgesagt werden musste, konnte er dieses Jahr im sehr frühen Herbst endlich stattfinden. Die Fachgruppe traf sich vom 2.–4. September im Zentrum für Bauphysik der Hochschule für Technik Stuttgart, gute 500 m vom Austragungsort der DAGA 2022 entfernt.



Auf dem Programm standen neben Vorträgen der Teilnehmenden Führungen durch die Laborgebäude von HFT Stuttgart und des Fraunhofer Instituts für Bauphysik. Ein weiteres Highlight war ein Vortrag über die Schall- und Schwingungsprobleme beim Bahnprojekt Stuttgart-Ulm mit anschließender Führung über die Baustelle des Bahnhofs Stuttgart 21. Um diesem neuen Beton etwas alten Beton entgegenzusetzen, konnten die Teilnehmenden anschließend einen Luftschutzbunker von 1941 besuchen, der momentan von einem gemeinnützigen Verein zu einem Kulturzentrum umgebaut wird. Mitglieder der Fachgruppe junge DEGA halfen dem Verein bereits im Frühjahr bei der akustischen Konzeptionierung der Räume. Abgerundet wurde der Workshop durch einen Wettbewerb, in dem die Teilnehmenden in kurzer Zeit ein möglichst wirkungsvol-

les Gehäuse für einen Lautsprecher bauen durften.

Während einer Fachgruppensitzung wurden zudem die laufenden und zukünftigen Projekte der jungen DEGA besprochen und die Veranstaltungen auf der DAGA 2023 in Hamburg geplant. Wir möchten hierbei insbesondere an die DEGA Student Grants erinnern, die es Studierenden erleichtern, ihre Arbeit in Form eines Vortrags oder Posters auf der DAGA vorzustellen. Bewerbungsschluss ist hierbei der 16.11.2022. ■

Lukas Heidemann

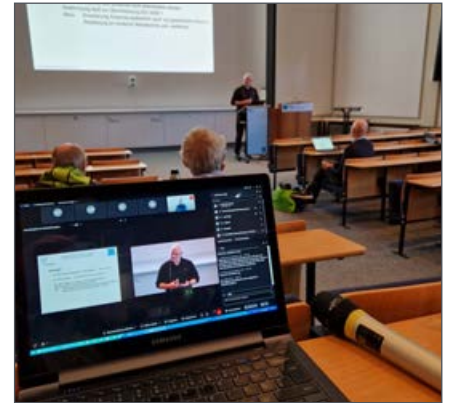
Fachausschuss Bau- und Raumakustik



Vorsitzender:

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

Nach langer Pause fand am 22.09.2022 eine Sitzung des Fachausschusses in Braunschweig statt. Wie vor der Pandemie schon zur Tradition geworden, folgte die Sitzung am Tag nach der gemeinsamen Informations-Veranstaltung für Schallschutzprüfstellen von VMPA, PTB und DEGA. Dank gebührt der PTB und dem dortigen Team um Volker Wittstock für die Bereitstellung des Raums, der Konferenz-Technik und der freundlichen Aufnahme. Aufgrund des großen Interesses von zeitweise mehr als 100 Online-Teilnehmenden musste zu Sitzungsbeginn das Webtool gewechselt werden. Der VMPA stellte spontan das System des Vortrags zur Verfügung – auch hierfür geht ein großer Dank an Herrn Camillo Klimke für diese Unterstützung. Das folgende Bild entstand im Hörsaal der PTB, der mit gut 15 Teilnehmenden in Präsenz gefüllt war.



Die Sitzung des Fachausschusses wurde im Wesentlichen von einer Diskussion um Entwicklungen im Bereich der Normung geprägt. Weitere Informationen zu der Diskussion zur Fortschreibung bzw. Aktualisierung der DEGA-Empfehlung 103 sind im entsprechenden Artikel dieser Ausgabe des Akustik Journal zu finden. Aufgrund einiger Anfragen zu und Angeboten von Firmenbesuchen wurde als neues Format die Idee von Exkursionen des Fachausschusses vorgestellt. Diese Exkursionen sollen der Information und dem informellen Austausch im kollegialen Kreis dienen und sind nicht als weitere Sitzung des Fachausschusses gedacht. Eine erste Exkursion mit Besichtigung des Werks, der Produktion und von Showrooms ist für den 23./24.11.2022 (Save-the-date) mit einem Besuch der Fa. BARRISOL (Kembs, Elsass) geplant; nähere Informationen sowie die Einladung folgen in separater Mail. Für das erste Halbjahr 2023 liegt das Angebot der Fa. Trolldtekt aus Dänemark zu einer Exkursion nach Aarhus sowie zum Werk vor. Das Protokoll der Sitzung mit allen Informationen wird in Kürze versandt. Beschlüsse des Fachausschusses wurden während der Sitzung nicht gefasst, sondern sollen per E-Mail nachgeholt werden.

Im Rahmen der kommenden DAGA in Hamburg ist die nächste Sitzung des Fachausschusses geplant. Die Tagesordnung wird rechtzeitig vor der DAGA versandt. Neben einer strukturierten Sitzung zum Thema „Schallschutz im Wohnungsbau – DEGA-Empfehlung 103“ ist auf der Fachausschuss-Sitzung die Idee zu einer weiteren Sitzung zu „Schallschutz und Raumakustik in Kitas – offene Lernlandschaften, Lüfter etc.“ (als aktueller Ar-

beitstitel) entstanden. Allen Teilnehmenden wird für die Teilnahme gedankt. ■

*Christian Nocke
Henning Alphe
Tobias Kirchner*

Fachausschuss Elektroakustik



Vorsitzender:

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

Herbstworkshop 13.09.2022 in München

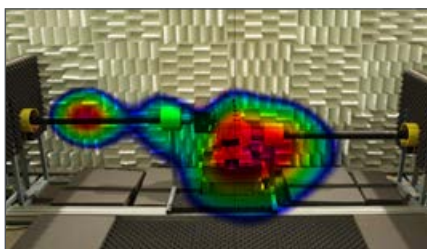
Nach zwei Online-Herbsttreffen waren wir froh, uns in 2022 wieder persönlich treffen zu können, diesmal bei BMW im Forschungs- und Technologiehaus in München-Garching.

Wir waren etwa 20 Teilnehmer, die Majorität waren Mitglieder und Interessierte des DEGA-Fachausschusses Elektroakustik (FA EA). Aber auch ein paar „neugierigen Externen“ haben wir die Türen geöffnet, um bewusst den Dialog zu fördern und für die DEGA und unseren Fachausschuss zu werben.

Das Thema war „Automotive Audio – Personal Sound Zones“ – ein FA-übergreifendes Thema, was auch zu dieser Resonanz geführt hat. Klassische Elektroakustik traf auf Automotive-Infotainment und klassische Schwingungsakustik – NVH (Noise, Vibration, Harshness). Und wie so häufig wurde deutlich: Die angeschnittenen Themen benötigen viel mehr Diskussionszeit als zur Verfügung stand. ■

*Daniel Beer
Angela Linow*

Fachausschuss Physikalische Akustik



Vorsitzender:

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

Herbstworkshop Physikalische Akustik am 29./30.09.2022 in Bad Honnef

Am 29. und 30. September 2022 fand im Physikzentrum Bad Honnef der 27. DEGA-Workshop Physikalische Akustik statt, diesmal zum Thema „Infraschall und tieffrequenter Schall“. Die Organisation erfolgte in Kooperation mit dem Fachausschuss Lärm: Wirkungen und Schutz. Namentlich haben insbesondere André Fiebig, Christian Koch und Detlef Krahé an der Programmgestaltung und Durchführung mitgewirkt, unterstützt auch durch Daniel Beer – vielen Dank dafür!

Die 11 Vorträge beschäftigten sich u. a. mit den Themen Messung von und Messgeräte für Infraschall und tieffrequenten Schall; Wahrnehmung und Wirkung von tieffrequentem Schall und Infraschall oder Infraschall-Messungen zur Überwachung des Kernwaffenteststopps. Aus Sicht des Fachausschusses etwas „exotischere“, aber ebenfalls hoch spannende Themen waren die tieffrequente Kommunikation bei Insekten oder die Erzeugung von tiefsten Tönen bei Pfeifenorgeln. Mit 34 Teilnehmenden war der Workshop sehr gut besucht, was das große Interesse an der Thematik verdeutlicht.

Fachausschusssitzung im Rahmen des 27. DEGA-Workshops in Bad Honnef

Im Rahmen des o.g. 27. DEGA-Workshops Physikalische Akustik in Bad Honnef fand am 29.09.2022 auch eine Fachausschusssitzung statt. Themen waren u. a. potenzielle Themen für künftige

DEGA-Workshops oder die Vorbereitung der Wahl einer neuen Fachausschussleitung im März 2023.

Nächste Fachausschusssitzung im Rahmen der DAGA 2023 in Hamburg

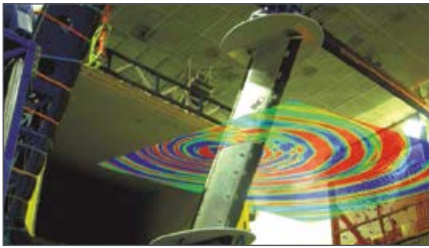
Die nächste Fachausschusssitzung wird im Rahmen der DAGA 2023 in Hamburg (06.–09. März 2023) stattfinden, voraussichtlich am Nachmittag des 09.03.2023 (Donnerstag). Dazu wird noch einmal separat eingeladen. Voraussichtlich ist auch eine online-Teilnahme möglich. Über eine rege Beteiligung von Mitgliedern und Interessierten würden wir uns freuen (u. a. auch wegen der dann anstehenden Wahl einer neuen Fachausschussleitung – siehe nächster Punkt). Auch Gäste und Studierende, die mal „reinschnuppern“ möchten, sind sehr willkommen!

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 für das Amt der Fachausschussleitung und der stellvertretenden Fachausschussleitung 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 Strömungsakustik



Vorsitzender:

Prof. Dr. Lars Enghardt, DLR, Abt. Triebwerksakustik, Berlin, lars.enghardt@dlr.de

Workshop „Strömungsschall in Luftfahrt, Fahrzeug- und Anlagentechnik“
Sechster gemeinsamer Workshop der Fachausschüsse „Q2.3 Strömungsakustik und Fluglärm“ der Deutschen Gesell-

schaft für Luft- und Raumfahrt DGLR und „Strömungsakustik“ der Deutschen Gesellschaft für Akustik DEGA

- vom 23. bis 24. November 2022 in Braunschweig
- Ort: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Hermann-Blenk-Saal, Braunschweig
- Anmeldung: siehe <https://www.dega-akustik.de/sta>

Hintergrund:

Offenkundig sind aerodynamisch bedingte Schallquellen an Flugzeugen für den Fluglärm verantwortlich (z.B. Triebwerke, Propeller, Rotoren, Hochauftriebshilfen, Fahrwerke etc.). Allerdings geht auch ein Großteil des Lärms von technischen Anlagen (Ventilatoren, Ventile, Ausströmer, Bläsvorrichtungen,

gen, Lüftungsanlagen, Turbomaschinen etc.) auf Strömungsvorgänge zurück. Unabhängig vom konkreten Fall besteht letztlich die Aufgabe, Strömungslärm zu reduzieren. Neben der theoretischen und experimentellen Beschreibung von Strömungsschallquellen hat sich in den letzten Jahren die numerische Simulation als dritte Säule der aeroakustischen Analyse etabliert. Der Workshop soll die Gemeinsamkeiten und neuesten Entwicklungen im Bereich der Quellmechanismen, der Methoden und Lärminderungslösungen in Luftfahrt und Technik aufzeigen, einen regen Austausch über die Disziplinengrenzen hinweg anregen und damit eine nationale Vernetzung im Gebiet der Strömungsakustik unterstützen.

Themen der Fachbeiträge:

- Validierung numerischer Verfahren
- experimentelle und numerische Methoden der Aeroakustik
- Schallerzeugung durch Rotoren und Turbulenz

Das Programm wird im November 2022 an alle Teilnehmenden per E-Mail versandt. ■

Lars Enghardt



Part of the ROCKWOOL Group



(Der Sound nach der Montage von Rockfon Akustiklösungen)

Sounds Beautiful

■ Mitglieder / Fördermitglieder

Derzeit hat die Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V.

- 1.970 persönliche Mitglieder
- und 79 Fördermitglieder (Stand Oktober 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 Schwartzberger 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
- Microflow Technologies BV, Arnhem (NL)
- Microtech Gefell GmbH, Gefell
- Möhler + Partner Ingenieure AG, München
- Molex CVS Bochum GmbH, Bochum
- Müller-BBM Gruppe, Planegg bei München
- Norsonic Tippkemper GmbH, Oelde-Stromberg
- Novicos GmbH, Hamburg
- NTi Audio GmbH, Essen
- Odeon A/S, Lyngby (DK)
- PCB Synotech GmbH, Hückelhoven
- Phonotech SPRL, Thimister-Clermont (B)
- 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
- Zech Ingenieurgesellschaft mbH, Lingen (Ems)
- ZF Friedrichshafen AG, Friedrichshafen

Normen/Richtlinien

Neue Regelwerke zu den Themen Akustik und Lärminderung (Juni 2022 – Sept. 2022)

Bezeichnung	Titel	Preis*
Fachgebiet Audiologie / Medizintechnik		
E DIN EN IEC 60118-16	Akustik – Hörgeräte – Teil 16: Definition und Überprüfung der Merkmale von Hörgeräten (IEC 29/1077/CDV:2021); Deutsche und Englische Fassung prEN IEC 60118-16:2021	108,80 €
Fachgebiet Bau- und Raumakustik		
DIN 18560-2	Estriche im Bauwesen – Teil 2: Estriche und Heizestriche auf Dämmschichten (schwimmende Estriche)	72,00 €
Fachgebiet Elektroakustik / Messgeräte		
DIN EN 50695, VDE 0830-9	Lautsprecher-Durchsage-System-General-Notfallalarm-System, Kommunikations-System für Marine-Anwendungen; Deutsche Fassung EN 50695:2021	88,92 €
DIN EN IEC 63296-1, VDE 0896-1	Tragbare Multimedia-Geräte – Bestimmung der Batteriedauer – Teil 1: Lautsprecher mit eigener Stromversorgung (IEC 63296-1:2021); Deutsche Fassung EN IEC 63296-1:2021	48,81 €
E DIN EN ISO 10534-2	Akustik – Bestimmung der akustischen Eigenschaften in Impedanzrohren – Teil 2: 2-Mikrofontechnik für Standardschallabsorptionsgrad und Standardoberflächenimpedanz (ISO/DIS 10534-2:2022); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 10534-2:2022 (Einspruchsfrist: 09.11.2022)	108,80 €
E DIN EN ISO 20270	Akustik – Charakterisierung von Körperschall- und Schwingungsquellen – Indirekte Messung von blockierten Kräften (ISO 20270:2019); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 20270:2022	124,90 €
Fachgebiet Lärmschutz		
DIN 15905-5	Veranstaltungstechnik – Tontechnik – Teil 5: Maßnahmen zum Vermeiden einer Gehörgefährdung des Publikums durch hohe Schallemissionen elektroakustischer Beschallungstechnik	72,00 €
DIN CEN/TS 17812	Messung der akustischen Eigenschaften von Markierungen – Das Nahfeldmessverfahren; Deutsche Fassung CEN/TS 17812:2022	47,10 €
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 Fassung EN ISO 17201-6:2022	98,30 €
DIN ISO 16079-2	Zustandsüberwachung und -diagnostik von Windenergieanlagen – Teil 2: Überwachung des Antriebsstrangs (ISO 16079-2:2020)	140,50 €
Fachgebiet Maschinen- und Fahrzeugakustik		
DIN 14630	Akustische Warngeräte und Kennleuchten für bevorrechtigte Wegebenutzer – Anforderungen und Funktionsprinzip	38,90 €

Bezeichnung	Titel	Preis*
DIN 38452-1	Langzeitmessung von Schienenverkehrsgeräuschen – Teil 1: Emissionen; Text Deutsch und Englisch	114,10 €
DIN EN 805	Nahrungsmittelmaschinen – Entschwartzungs-, Enthäutungs- und Entvliesmaschinen – Sicherheits- und Hygieneanforderungen; Deutsche Fassung EN 12355	124,90 €
DIN EN ISO 28927-13	Handgehaltene motorbetriebene Maschinen – Messverfahren zur Ermittlung der Schwingungsemission – Teil 13: Eintreibgeräte (ISO 28927-13:2022); Deutsche Fassung EN ISO 28927-13:2022	98,30 €
DIN EN ISO 3381	Bahnanwendungen – Akustik – Geräuschemessungen in spurgebundenen Fahrzeugen (ISO 3381:2021); Deutsche Fassung EN ISO 3381:2021	135,40 €
DIN/SPEC 77229-5	Technische Dienstleistungen – Leistungskategorien und -inhalte für industrielle verfahrenstechnische Anlagen – Teil 5: Kälte-, Wärme- und Schallsolierung	0,00 €
E DIN 18160-1	Abgasanlagen – Teil 1: Planung und Ausführung	199,80 €
E DIN EN 16286-2	Bahnanwendungen – Übergangssysteme zwischen Fahrzeugen – Teil 2: Messung der Akustik; Deutsche und Englische Fassung prEN 16286-2:2022	91,60 €
E DIN EN 415-7	Sicherheit von Verpackungsmaschinen – Teil 7: Kartonnier- und Faltkistenpackmaschinen; Deutsche und Englische Fassung prEN 415-7:2022 (Einspruchsfrist: 19.10.2022)	199,80 €
E DIN EN IEC 61810-7-27	Elektromechanische Elementarrelais – Mess- und Prüfverfahren – Teil 7-27: Elektrische Kontaktgeräusche (IEC 94/634/CD:2021); Text Deutsch und Englisch (Einspruchsfrist: 12.10.2022)	58,90 €
VDI 3465	Emissionsminderung – Anlagen zur Herstellung von Holzpresslingen	184,50 €
Fachgebiet Ultraschall / Hydroakustik		
DIN EN 17391	Zerstörungsfreie Prüfung – Schallemissionsprüfung – Überwachung der Schallemission von metallischen Druckgeräten und -strukturen im Betrieb – Allgemeine Grundsätze; Deutsche Fassung EN 17391:2022	114,10 €
DIN EN ISO 9712	Zerstörungsfreie Prüfung – Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung (ISO 9712:2021); Deutsche Fassung EN ISO 9712:2022	130,60 €
E DIN EN IEC 63305	Unterwasserakustik – Kalibrierung von Schallwellenvektorempfängern im Frequenzbereich 5 Hz bis 10 kHz (IEC 87/770/CD:2021); Text Deutsch und Englisch	162,00 €

*) 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: Mindestkanon Akustik in der Bachelor-Ausbildung		X
	DEGA-Empfehlung 103: Schallschutz im Wohnungsbau – Schallschutzausweis		X
	Memorandum „Die allgemein anerkannten Regeln der Technik in der Bauakustik“ (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
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	Kompodium zur Durchführung von Hörversuchen in Wissenschaft und industrieller Praxis (Entwurf)		X

¹⁾ für Mitglieder

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

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

⁴⁾ Preise ohne Gewähr; Bestellungen ausschließlich über <https://westarp-bs.de>

Impressum

Akustik Journal Nr. 03 / Oktober 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 Kletsch-
kowski

Prof. Dr.-Ing. Malte Kob

Prof. Dr.-Ing. Schew-Ram Mehra

Redaktionsassistentz

Dipl.-Ing. Evelin Baumer

Dr.-Ing. Martin Klemenz

Anzeigen

Julia Schneiderheinze (M.A.)

E-Mail: jschneiderheinze@dega-akustik.de

Layout und Satz

Dipl.-Ing. Evelin Baumer

E-Mail: ebaumer@dega-akustik.de

Gestaltungskonzept

Heilmeyer und Sernau Gestaltung

Web: [www.heilmeyerundserna.com/
kontakt](http://www.heilmeyerundserna.com/kontakt)

Druck

Königsdruck Printmedien und digitale
Dienste GmbH

Web: www.koenigsdruck.de

Bildnachweise

S. 1 – Titelseite: © kokliang1981 / stock.adobe.com; S. 3 – Editorial: Portrait Sabine C. Langer © Max Fuhrmann / TU Braunschweig; S. 5 – Aktuelles: DAGA 2023, Logo © Ina Platte, inani-design.de; S. 5 – Aktuelles: 15. DEGA-Symposium, Logo © kokliang1981 / stock.adobe.com; S. 33 – Veranstaltungen: 15. DEGA-Symposium, Logo © kokliang1981 / stock.adobe.com; S. 35 – Veranstaltungen: DEGA-Akademie „Grundlagen der Technischen Akustik“, Logo © Ennes Sarradj, Berlin; S. 35 – Veranstaltungen: DEGA-Akademie „Raumakustik kompakt“, Logo © Prof. Dr. Alfred Schmitz, Grevenbroich; S. 36 – Veranstaltungen: DAGA 2023, Logo © Ina Platte, inani-design.de; S. 36 – Veranstaltungen: DAGA 2023, Lichterherz auf der Elbphilharmonie © Sascha Bruch, https://www.instagram.com/sascha_b_hamburg; S. 37 – Veranstaltungen: DAGA 2023, Tagungszentrum: CCH im Erdgeschoss © Teresa Lehmann, Berlin, Copyright DEGA e.V.; S. 37 – Veranstaltungen: DAGA 2023, Junge Leute an den Landungsbrücken © Joerg Modrow; S. 42 – DEGA: Fachgruppe Junge DEGA, Gruppenbild © Benjamin Müller; S. 42 – DEGA: Fachausschuss Bau- und Raumakustik © Silvia Crisman / fotolia.com; S. 42 – DEGA: Fachausschuss Bau- und Raumakustik, Veranstaltungsbild © Camillo Klimke; S. 43 – DEGA: Fachausschuss Elektroakustik © U.P.images / fotolia.com; S. 43 – DEGA: Fachausschuss Physikalische Akustik © SAM, TU Darmstadt; S. 44 – DEGA: Fachausschuss Strömungsakustik © Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, Braunschweig

XL3

Schallpegelmesser Klasse 1

Terz- und Oktavspektrum

Nachhallzeit und Raumakustik

Luft- und Trittschalldämmung
mit Auswertung im Gerät

Deutsche Bedienoberfläche

Einbindung in NoiseScout und
Bauartzulassung in Arbeit



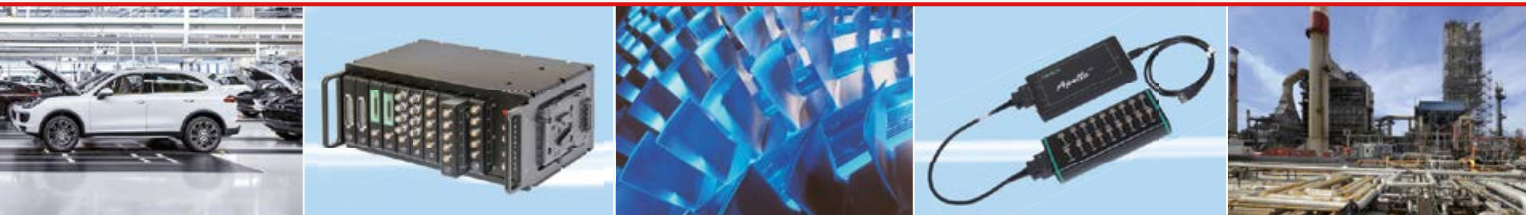
NTi Audio GmbH · Essen, Deutschland
+49 201 6470 1900 · de@nti-audio.com

www.nti-audio.com



Apollo_I_t: jetzt auch mit integriertem PC

SINUS
Messtechnik GmbH



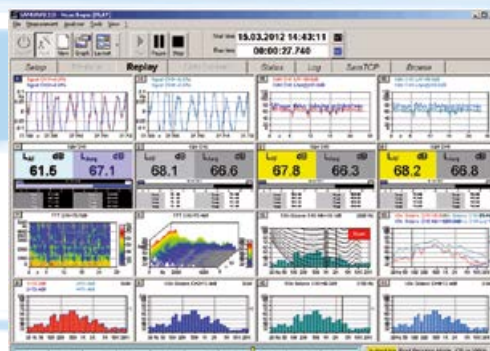
Apollo_PC mit integriertem PC für Monitoring- Anwendungen

Mit der Apollo_I_t-Serie bieten wir vielkanalige VibroAkustik-Meßsysteme in den Abmessungen einer externen USB-Festplatte. Apollo_I_t macht Ihren PC zum mehrkanal-SPM nach IEC 61672 / 61260 Klasse 1. Apollo_I_t hat zusätzlich zwei Trigger/Tacho-Eingänge, zwei Signalausgänge und ist synchron erweiterbar.

- Versionen:
- 2/4-Kanal Apollo_I_t wahlweise mit BNC oder LEMO7 Eingangsbuchsen
 - 8-Kanal Apollo_I_t wahlweise mit NIM-CAMAC, SMB oder DSUB25 Eingangsbuchsen
 - 16-Kanal Apollo_I_t mit MDR Eingangsbuchse (Mini Delta Ribbon) und BNC-Splitterbox
 - Apollo_Carrier mit 10 Steckplätzen für Apollo_I_t für bis zu 160 Kanäle, kaskadierbar
 - **NEU:** Apollo_PC mit integriertem PC Intel Atom für Windows oder Linux Anwendungen



CAMAC LEMO7 BNC MDR



Apollo_PC_16

Apollo_PC mit 4 ... 16 Kanälen, integrierter PC
mit 2x LAN, 3x USB, HDMI, 12 VDC Versorgung,
265 x 105 x 35 mm, passive Kühlung, Hutschiene

Software für Apollo Meßsysteme:

- **NEU:** SIMON Web-Monitoring ab 01/2023
- SAMURAI 3.2 VibroAkustik-Software für Echtzeit- und Postprozess-Analysen
- SINUS MATLAB Toolbox (SMT) für die individuelle Programmierung mit MATLAB
- ARTEMIS Operational Modal Analyse
- LabVIEW Library für die individuelle Programmierung von Prüfsystemen
- Treiber für Windows und Linux
- Support für Python und C++

Apollo ist ein Markenzeichen der SINUS Messtechnik GmbH
LabVIEW ist ein Markenzeichen von National Instruments
ARTEMIS ist ein Markenzeichen von SVIBS

Kontakt

SINUS Messtechnik GmbH

Föpplstrasse 13
04347 Leipzig

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

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