



Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

02 | 2023

laermbekaempfung.de

**VDI**<sup>1</sup> Fachmedien

# Lärmbekämpfung

Akustik · Schallschutz · Schwingungstechnik

## Lärmbekämpfung aus einem Guss



Cadna  A<sup>®</sup>



Cadna  B<sup>®</sup>



Cadna  R<sup>®</sup>

 DataKustik

FLUGTAXIS

Ein Überblick über die Besonderheiten von zukünftigem Flugverkehrslärm

FLUGLÄRM

Anwendbarkeit der ISO 3744 zur Ermittlung von Drohnengeräuschen

TAGUNGSBERICHT

DEGA-Symposium Erneuerbare Energien und Lärmschutz



Pegel



Monitoring



Schalleist.



Intensität



FFT



Nachhall



STIPA



Bauakustik



# Endlich wieder im traditionellen Format

Nach drei Pandemie-Jahren, die auch an den Akustikern nicht spurlos vorbeigezogen sind, ist es endlich wieder so weit: Unsere DAGA findet wieder im traditionellen Format statt! Das heißt, wir sehen uns wieder persönlich, können live an Vorträgen teilnehmen, uns beim Kaffee in den Pausen austauschen und abends mit Freund\*innen den Charme des Austragungsortes erkunden. Online-Probleme, wie „Sie sind noch gemuted“, können wir für ein paar Tage vergessen.

Wovon reden wir genau? Natürlich von der 49. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Akustik, der DAGA 2023, die vom 6. bis 9. März 2023 in Hamburg stattfinden wird. Und in wenigen Tagen sind sie alle da: Kolleginnen und Kollegen von nah und fern, vereint durch das gemeinsame Interesse an Akustik und Lärmbekämpfung.

Mehr als 550 Beiträge zu nahezu allen Bereichen wurden eingereicht. Traditionsgemäß können sich die Teilnehmer\*innen wieder auf interessante wissenschaftliche Ideen, neueste Entwicklungen und aktuelle Anwendungen freuen. In 13 parallelen Sitzungen treffen sich sowohl Wissenschaftler\*innen als auch in der Industrie arbeitende Kolleg\*innen, um sich u.a. über Fragestellungen der Bau-/Raumakustik, Fahrzeug-/Flugzeugakustik, Lärmentstehung/-bekämpfung, Elektroakustik, Strömungsakustik, Hydroakustik, Musikalischen Akustik, Technischen Akustik, Psychoakustik, Soundscape, Lärmpolitik, Mess-/Berechnungsverfahren sowie Akustikausbildung auszutauschen.

Drei Vorkolloquien, die traditionellen Preisverleihungen, vier Plenarvorträge, Veranstaltungen der jungen DEGA, verschiedene Exkursionen und gesellige Zusammentreffen runden das Programm ab.

Mit dem Austragungsort Hamburg konnte für die diesjährige DAGA sicherlich ein ganz besonderes Umfeld gefunden werden. Die Teilnehmer\*innen werden die Stadt als eine pulsierende Metropole mit Charme und Stil erleben, ihre Bewohner\*innen bezeichnen sie auch gerne als stolze Perle des Nordens. Hamburg hat mehr Naherholungsgebiete als jede andere deutsche Stadt, mehr Brücken als Venedig und das kulturelle Angebot reicht von Musicals über herausragende Opern, kleine Klubs bis hin zu dem reinen Vergnügen, durch St. Pauli zu schlendern. Ganz zu schweigen vom Hafen, mit seiner besonderen Atmosphäre, die nirgendwo anders zu finden ist. Und dann ist da noch der einzigartige Blick auf das neue Wahrzeichen der Hansestadt, die Elbphilharmonie.

Für uns keine Frage: Die vier Tage der Konferenz werden eine Mischung aus inspirierendem Austausch über Themen der Akustik und Lärmbekämpfung, Treffen mit Freunden, die man eine Weile nicht gesehen hat, und entspannenden Momenten in der Stadt sein.

Die DAGA 2023 findet im Congress Center Hamburg (CCH) statt. Durch dessen Lage mitten im Herzen Hamburgs – 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. Es bietet ausreichend Platz und alle erdenklichen Annehmlichkeiten für eine rundum erlebnisreiche DAGA.

Zusammen mit unserem Team freuen wir uns schon sehr darauf, Sie in Hamburg begrüßen und Ihre Gastgeber für die DAGA 2023 sein zu dürfen! Der Countdown läuft ... ■



Otto von Estorff  
Stephan Lippert

Technische Universität Hamburg.  
Foto: Autoren



44

**Flugtaxis könnten rein technisch gesehen** in der Zukunft zur Realität werden. Was das für die Lärmbelastung bedeuten könnte, wird im Heft auf S. 44 vorgestellt. Foto: PantherMedia / sergeysan1



50

**Zur Untersuchung von Fluglärm durch Drohnen** dient ein Aufbau auf dem Modellflugplatz des Modellflugvereins „Hugo Junkers“ Dessau-Rodleben/ Deutschland Foto: Autoren

**Standpunkt**

**37** DAGA 2023 Endlich wieder im traditionellen Format  
*O. v. Estorff, S. Lippert*

**Fluglärm**

**44** FLUGTAXIS Ein Überblick über die Besonderheiten von zukünftigem Flugverkehrslärm  
*M. Bauer*

**50** DROHNEN Anwendbarkeit der ISO 3744 zur Ermittlung von Drohngeräuschen  
*J. Treichel, J. Foerster, J. Lieb, A. Volkert*

**Veranstaltung**

**55** TAGUNGSBERICHT Bericht vom DEGA-Symposium Erneuerbare Energien und Lärmschutz  
*Ch. Beckert, Ch. Popp, D. Schreckenber*

**Rubriken**

- 40, 59, 66** Aktuelles
- 63, 68** Veranstaltungen
- 64** Regelwerk
- 68** Impressum

Diese Ausgabe enthält eine Beilage von NTi Audio GmbH Essen



Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

Wir bringen Ihr Thema in den Markt. Ihr Beitrag auf [www.bauingenieur.de](http://www.bauingenieur.de)



# 55

Beim Dega-Symposium erneuerbare Energien und Lärmschutz versammelten sich viele Lärmschützer der Community. Foto (Beispielbild): PantherMedia / kasto



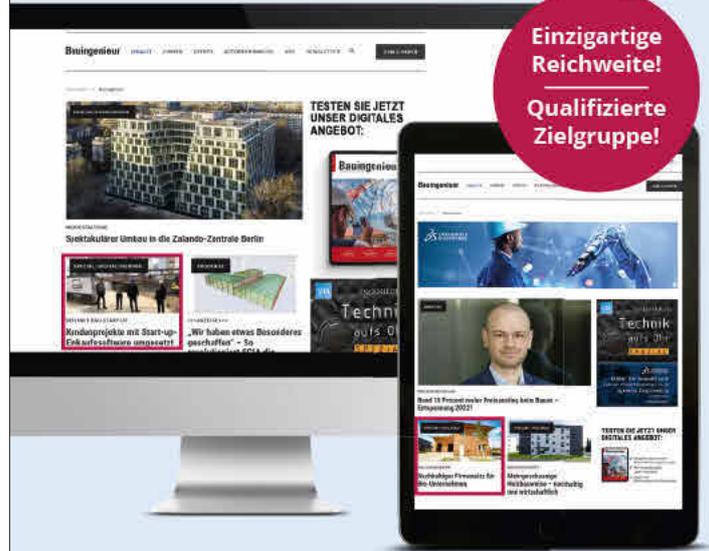
### Titelanzeige

#### CadnaA/B/R – Das vollintegrierte Software-system

Die Softwareprodukte CadnaA (Umgebungs-lärm), CadnaR (Schall in Räumen) und CadnaB (Bauakustik) der DataKustik GmbH werden von einer Vielzahl von Unternehmen in mehr als 60 Ländern eingesetzt. Jede Software ist auf ihren spezifischen Anwendungsbereich zugeschnitten, kann aber im Zusammenschluss auch zur Berechnung der Schallübertragung von außen nach innen (und umgekehrt) verwendet werden.

Die DataKustik GmbH wird als Aussteller auf der DAGA in Hamburg teilnehmen. Besuchen Sie uns am Stand Nr. 23 und erfahren Sie mehr über das vollintegrierte Softwaresystem CadnaA/B/R! [www.datakustik.com](http://www.datakustik.com)

**Einzigartige Reichweite!**  
**Qualifizierte Zielgruppe!**



Das Digital-Advertorial transportiert Ihre Botschaft nachhaltig und passgenau zu einer hochkarätigen Zielgruppe. Stellen Sie Ihre Problemlösungsansätze im redaktionellen Look&Feel vor und platzieren Sie Ihre Werbebotschaft im Umfeld anspruchsvoller redaktioneller Beiträge.

- Glaubwürdiges Umfeld: Platzierung Ihres Advertorials inmitten redaktioneller Beiträge – mit Bild und Überschrift auf dem Portal des Fachmagazins.
- Große Reichweite: Ihr Beitrag wird zusätzlich auf der Startseite von [www.ingenieur.de](http://www.ingenieur.de), dem reichweitenstärksten Ingenieurportal Deutschlands, ausgespielt. **1.958.646 Visits INGENIEUR.de pro Monat**, IWV 9/2021.

Page Impressions  
[www.bauingenieur.de](http://www.bauingenieur.de)  
\* IWV 1.2022. Reichweite steigend



**13.403**  
Monatsdurchschnitt  
2021

Wir beraten Sie gerne. Informationen über:  
Sven Pachinger | Telefon: +49 521 977998-80  
[sven.pachinger@verlagsbuero-pachinger.de](mailto:sven.pachinger@verlagsbuero-pachinger.de)

TECHNIKWISSEN FÜR INGENIEUR\*INNEN.  
[www.vdi-fachmedien.de](http://www.vdi-fachmedien.de)

# VDI fachmedien

## Forschungsbericht des Umweltbundesamts (UBA) zu Klappenaus-puffanlagen

Im Rahmen der Diskussion über den unnötigen Lärm von Kfz sind Klappenaus-puffanlagen ein großes Ärgernis. Das UBA ließ deshalb in einem Forschungsvorhaben das Thema der Klappenaus-puffanlagen und anderer Elemente des Sound Designs bei Kraftfahrzeugen im Detail untersuchen. In dem im Oktober 2022 veröffentlichten 1. Teil werden im Rahmen einer Marktübersicht die Möglichkeiten des Sounddesigns bei Kraftfahrzeugen beschrieben und analysiert, sowie die Relevanz für den Kfz-Markt und die Verwendungsgründe ermittelt. Auch werden die rechtlichen Vorgaben im Zusammenhang mit dem Sounddesign für Pkw und Motorräder untersucht. In einem Folgevorhaben sollen Handlungsoptionen für den Gesetzgeber aufgezeigt werden. „Der Abschluss der Arbeit richtet einen Blick in die Zukunft, in der durch neue Antriebs- und Mobilitätsformen, wie z. B. Elektromobilität und das Autonome Fahren, neue Herausforderungen für die Geräuschentwicklung und deren Vorschriftsmäßigkeit entstehen.“

[www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

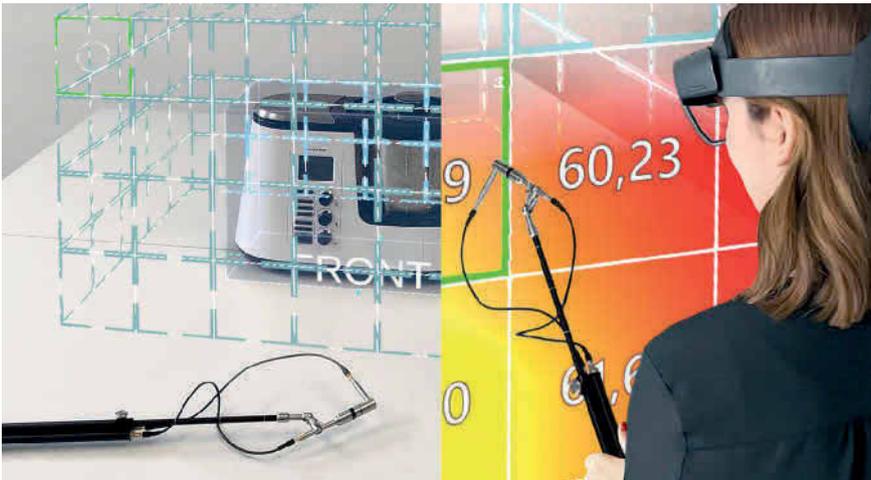


**Bild 1** Cochlea-Implantat-Service auch in den eigenen vier Wänden – Cochlear Remote Assist erweitert die Möglichkeiten zur teleaudiologischen Betreuung von CI-Trägern. Foto: Cochlear Ltd.

## Neue Möglichkeiten mit Hörgeräteassistent

Erweiterte Möglichkeiten zur teleaudiologischen Betreuung sind neue Funktionen des Cochlear™ Remote Assist. Mit ihr können Nutzer eines kompatiblen Cochlear Nucleus® oder Kanso® Soundprozessors den Service ihres Audiologen oder Hörakustikers bei Bedarf auch aus der Ferne im Rahmen von Video-Sitzungen erhalten. Bei den zuvor vereinbarten Terminen können Probleme besprochen und Einstellungen des Soundprozessors optimiert werden. Mit Cochlear Remote Assist sowie mit dem bereits eingeführten Cochlear Remote Check eröffnet die Firma neue, zusätzliche Wege für eine qualitativ hochwertige Patientenbetreuung nach individuellem Zuschnitt sowie für die zuverlässige und effiziente CI-Nachsorge der Zukunft. Bei den Sitzungen begegnen sich Patient und Anpasser in einem virtuellen Raum. Um Hör-Erlebnisse nah am realen Leben zu schaffen, wird das Gespräch über den Lautsprecher des Mobilgeräts übertragen; auch Eltern oder Partner können somit in die Verständigung eingebunden werden. Audiologe bzw. Hörakustiker haben während der Sitzung die Möglichkeit, Anpassungen am Soundprozessor vorzunehmen. Anhand der unmittelbaren Rückmeldungen lassen sich MAP-Komfort und Klangqualität sofort optimieren. Auch die Einstellungen für ForwardFocus und mySmartSound™ können angepasst werden. Für die Programmierung einzelner Elektroden ist auch weiterhin ein Vor-Ort-Termin erforderlich. Grundsätzlich ist die neue telemedizinische Lösung sowohl für Erwachsene als auch für Kinder geeignet. Voraussetzungen für die Nutzung sind die Zustimmung des CI-Trägers sowie dessen Fähigkeit, die Funktionen von Remote Care zu bedienen. Ist dies der Fall, können Audiologe oder Hörakustiker ihren Patienten im myCochlear™ Portal für eine Nutzung registrieren. Beratung und Unterstützung bei einer Remote Assist-Sitzung zu erhalten, ist für Nutzer aller Cochlea-Implantat-Typen möglich; unabhängig davon, ob ein Träger unilateral, bilateral oder bimodal versorgt ist. MAP-Anpassungen aus der Ferne setzen jedoch ein Cochlea-Implantat CI24RE oder neuer voraus. „Mit der Erweiterung von Remote Care bieten wir Menschen mit Cochlea-Implantat zahlreiche zusätzliche Möglichkeiten, um ihren gewohnten Hörservice zu erhalten“, so *Jenny Adebahr* abschließend. „Virtuelle Beratung und Support können den Vor-Ort-Termin ergänzen, z. B. um herauszufinden, ob ein neuer Klinik-Termin notwendig ist oder das Hören auch aus der Ferne optimiert werden kann. Egal ob im Urlaub, unterwegs oder bei eingeschränkter Mobilität auch von zu Hause – Sie bleiben mit Ihrem Audiologen oder Akustiker des Vertrauens in Kontakt. Eine Nachkontrolle nach einem Remote Check, einem Anpasstermin oder einem Soundprozessor-Upgrade sind in dieser Form ebenso denkbar. Und man kann aus der Ferne Einstellungen am Soundprozessor aktivieren bzw. deaktivieren lassen. – Das alles sind großartige zusätzliche Optionen. Und angesichts steigender Patientenzahlen verstehen wir diese nicht zuletzt als wichtigen Beitrag zur Absicherung einer hochwertigen, lebenslangen Nachsorge. Zudem belegen Rückmeldungen, dass diese Möglichkeiten den Wünschen vieler Nutzer unserer Lösungen entsprechen.“

[www.cochlear.de](http://www.cochlear.de)



**Bild 1** HEAD acoustics: Erweitertes Portfolio für beste Performance.

Foto: head-acoustics.com

## Schalleistungs- und Schallintensitätsmessungen mit Augmented Reality

HEAD acoustics erweitert sein Portfolio um eine neue Augmented-Reality-Lösung von HoloMetrix. Mit dem ArtemiS SUITE Sound Intensity Module ASM 30 können Schallintensitäten zur Bestimmung der Schalleistung nach ISO 9614 gemessen oder Schallintensitätskarten für eine schnelle Quellenlokalisierung erstellt werden. Die Assistenzfunktionen der Software führen auch unerfahrene Benutzer sicher durch die notwendigen Schritte. Wenn eine Verfahrensnorm ein das Testobjekt umgebendes Messgitter erfordert, waren echte physische Aufbauten zu hohen Kosten erforderlich, was die Messungen sehr zeitaufwendig und kompliziert machte. Gerade für lösungsorientiertes Arbeiten, das schnelle Ergebnisse fordert, ist dies oft ein Ausschlusskriterium. Die HoloMetrix-Lösung projiziert ein virtuelles Messraster auf den Bildschirm der AR-Brille und überlagert so das reale Prüfobjekt und die Messsonde, deren Ausrichtung sich am Messraster orientiert. Außerdem überlagert es die Schalleistung der bereits gemessenen Teilflächen farblich, was akustische Messungen intuitiv und zeiteffizient macht. Die normgerechten Messpositionen werden automatisch auf der AR-Brille visualisiert und müssen nicht mehr zeitaufwendig manuell von den Anwendern ermittelt werden. Gemeinsam mit HoloMetrix hat HEAD acoustics eine Schnittstelle zur Software ArtemiS SUITE entwickelt. In Kombination mit dieser reduziert die Augmented Reality den Einrichtungsaufwand erheblich und bietet einige zusätzliche Synergieeffekte. So konfigurieren Nutzer beispielsweise zunächst das Test-Setup in der ArtemiS SUITE und übertragen es mit einem Klick auf die AR-Brille. Das innovative Frankfurter Startup HoloMetrix GmbH hat eine Softwareplattform für akustische Messungen auf Basis von Augmented Reality entwickelt, die das virtuelle Messraster dreidimensional in die reale Messumgebung projiziert. Für diese Positionierungsunterstützung wurde HoloMetrix am 24. Mai 2022 in Berlin mit dem goldenen German Innovation Award ausgezeichnet. Das Sound Intensity Module der ArtemiS SUITE bietet Schallintensitätsmessungen zur Bestimmung der Schalleistung nach ISO 9614 Unterstützung bei der Fehlersuche durch Schallintensitätskarten zur schnellen Quellenlokalisierung Assistenzfunktionen, die durch die Messungen führen. Automatische Qualitätskontrollen mit akustischem oder visuellem Feedback sind:

- Workflow Konzept: Speichern und Wiederholen einzelner Konfigurations- und Messschritte
- 3D-Modellerstellung inklusive zugehörigem Messraster vereinfacht die Handhabung bei der Konfiguration und Durchführung von Prüfungen
- Eine Schallintensitätskarte, die dem 3D-Modell überlagert werden kann
- Reportfunktion: Zusammenfassung der Ergebnisse, Zahlen, und Diagramme nach Standard oder individuell angepasst
- Vorlagenfunktion: Umfangreiche Reports einfach erstellen
- Dank modularem Aufbau: Weiterführende Analysen über die Schalleistung hinaus  
Verschiedene Frontends zur Datenerfassung
- Unkomplizierte mobile Messungen mit Systemen mit integrierten Akkus (SQuadriga III und SQobold)

[www.head-acoustics.com](http://www.head-acoustics.com)

## Tempo 30 als innerstädtische Regelgeschwindigkeit

Unter dem Titel „Aktiv mobil – Wirksame Voraussetzungen für eine nachhaltige Mobilitätswende in Kommunen: Teilvorhaben 1 – Umweltwirkungen einer innerörtlichen Regelgeschwindigkeit von 30 km/h“ hat das UBA durch eine Simulation auf der Basis von Verkehrsmodellen die Effekte der Regelgeschwindigkeit Tempo 30 im Vergleich zu Tempo 50 in drei Modellstädten (Göttingen, Halle/Saale und Ravensburg) untersuchen lassen. Modelliert wurden auch die Auswirkungen der Elektrifizierung der Kfz. Die Kurzfassung der Forschungsergebnisse ist bereits auf der Webseite des Umweltbundesamtes einzusehen. Der ausführliche Schlussbericht wird nach Auskunft des UBA Ende des I. Quartals 2023 erscheinen. Zeitgleich hat das UBA einen Erklärfilm online gestellt. Dieser beschreibt den Stand der nationalen Diskussion zu Tempo 30 als innerörtliche Regelgeschwindigkeit sowie positive Effekte für Verkehrssicherheit und Umweltqualität und Lärmschutz.

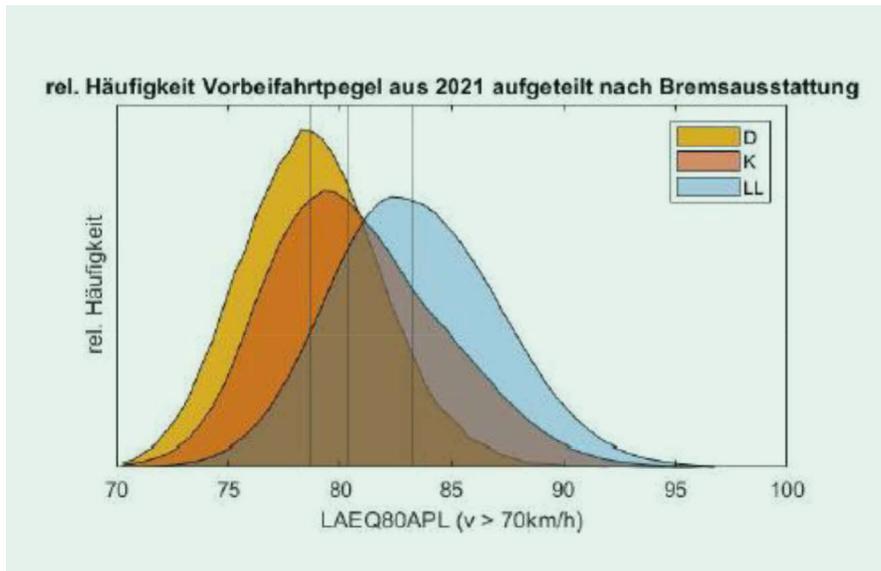
[www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

[www.ald-laerm.de](http://www.ald-laerm.de)

## Jahresbericht 2021 zum Bahnlärm-Monitoring

Im November 2022 hat das Eisenbahn-Bundesamt (EBA) den 3. Jahresbericht zum Lärm-Monitoring an den Bahnstrecken des Bundes veröffentlicht. Es ist der erste Bericht zu den Auswirkungen des seit dem 13.12.2020 geltenden faktischen deutschen Fahrverbots – in Folge des Schienenlärmschutzgesetzes – für Güterwagen, die den europäischen Geräuschgrenzwerten nicht genügen (Wagen mit Graugussklotzbremsen – GG-Wagen). Parallel dazu hat das EBA in seinem ersten Jahresbericht Ende September 2022 (korrigierte Version) über die Kontrollen in der Fahrplanperiode 2020/2021 berichtet. Danach beträgt der Anteil von GG-Wagen in 2021 nur noch 0,3 %. Die normierten Geräuschemissionen von Güterwagen in gutem Zustand und auf glatten und gut gedämpften Schienen gehen damit im Mittel um ca. 10 dB(A) zurück. Beim Lärm-Monitoring werden zwei wichtige Kenngrößen in jeweils in 7,5 m Abstand von der Mitte des nächstgelegenen Gleises ermittelt: Zur Beurteilung der Geräuschbelastungen werden die Mittelungspegel ermittelt. Zur Beurteilung der Geräuschemissionen der Fahrzeuge werden die mittleren Vorbeifahrtpegel bestimmt. Diese werden auf eine Geschwindigkeit von 80 km/h und eine durchschnittliche Anzahl der Achsen pro Länge von 0,225 normiert. Das EBA definiert als „lärmarme Güterwagen“ die Wagen, die einen normierten Vorbeifahrtpegel von 86 dB(A) nicht überschreiten (der mittlere europäische Emissionsgrenzwert beträgt 83 dB(A)). Entsprechend gelten als laute Wagen alle GG-Wagen, aber auch Wagen mit alternativen Bremssystemen, die nicht im guten Zustand sind und/oder auf nicht gut gepflegten Gleisen fahren. Der Bericht enthält sowohl die aktuellen Messergebnisse im Jahr 2021 als auch die Entwicklung der Geräuschkenngrößen seit dem Beginn des Monitorings im April 2019.

Bei der Bewertung der Minderungserfolge ist zu beachten, dass es im Mai 2019 bereits eine hohe Anzahl von lärmarmen Güterwagen gab (59 %), die gegenüber der Zeit vor dem Start des Umrüstprogramms 2012 bereits zu einer Minderung der Belastungen um ca. 3 dB(A) geführt hatte. Bei den Mittelungspegeln (24-Stunden-Pegel) hat sich die Belas-



**Schallpegelverteilung aller Güterwagen** mit einer nach der UIC-Nummer und dem NVR (nationales Fahrzeugregister) zuordenbare Bremsausstattung der im Jahr 2021 gemessenen Zugvorbeifahrten (normierter Vorbeifahrtpegel). Die schwarzen Linien stellen jeweils die Medianwerte dar. (Abb. 17 Lärm-Monitoring Jahresbericht 2021.) *Quelle: Eisenbahn-Bundesamt*

tung durch die Güterzüge von 2019 bis 2021 um weitere 4,1 dB(A) reduziert, dabei sind die Zugzahlen in dieser Zeit um 12 % gestiegen. Die normierten Vorbeifahrtpegel sind in dieser Zeit im Mittel um 7 dB(A) gesunken. Gegenüber dem Jahr 2020 ist die Minderung um 2 dB(A) angestiegen. Entsprechend hat sich der Anteil der „lärmarmen“ Güterwagen erhöht, von durchschnittlich 77 % in 2020 auf 87 % im Jahr 2021. Trotzdem ist dieser Anteil – gemessen an der faktischen Elimination der GG-Wagen – sehr hoch. Der wichtigste Grund dafür ist der jeweilige Pflegezustand der Güterwagen und der Fahrwege. Die Wartung dieser beiden Komponenten hat deshalb nach wie vor einen bedeutenden Stellenwert für die reale Entlastung der Bevölkerung.

Die Auswirkung des Pflegezustands der Gleise kann zum Teil mit der Schienenrauheit erfasst werden. Dazu kann ein Rauheits-Einzelwert  $L_{r,CA}$  in dB ermittelt werden. Diese Einzelwerte liegen an den verschiedenen Messstationen für die Bezugsgeschwindigkeit 120 km/h zwischen 0,9 und 19,6 dB (ein Ausreißer wegen Flugrosts auf der Strecke). Nur an 7 von den insgesamt 38 Gleisen liegt dieser Wert über 8,9 dB, dem entsprechende Einzelwert für die Typprüfgleise nach der TSI Lärm, d.h. dass die überwiegende Zahl der Messstrecken relativ glatt ist. Im

Umkehrschluss ist deshalb anzunehmen, dass ein relevanter Anteil der TSI-konformen Wagen nicht im besten Zustand ist. Eine detaillierte Analyse wäre empfehlenswert.

Der Bericht enthält ein interessantes Detail zu den Streuungen für die unterschiedlichen TSI-konformen Bremssysteme (Scheibenbremsen D, K-Sohlen – die Sohlen für die Neubeschaffung und für die Umrüstung in der Schweiz-, LL-Sohlen – die Standardsohle für die Umrüstung). (siehe **Bild**) Der Medianwert der Wagen mit LL-Sohlen liegt etwa 2,8 dB(A) über denen der K-Wagen, für scheibengebremste Fahrzeuge liegt der Wert um 1,6 dB(A) darunter. Das EBA erklärt die unterschiedlichen Emissionen damit, dass die LL-Wagen meistens deutlich älter sind als K-Wagen. Prüfstandsergebnisse des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung zeigen zudem beim Vergleich einer K- und einer LL-Sohle, dass die K-Sohle zu niedrigeren Radrauheiten führt als die LL-Sohle (Bericht 17 (2022): Akustische Anerkennung neuer Bremssohlen, Abbildung 26, S. 42). Insgesamt zeigt das Bild das langfristige Minderungspotenzial durch den graduellen Rückgang der LL-Wagen und – noch besser – die breite Einführung der Scheibenbremsen für Güterwagen auf.

[www.dzsf.bund.de](http://www.dzsf.bund.de)

[www.ald-laerm.de](http://www.ald-laerm.de)

# Die erste Adresse für Technikwissen: VDI Fachmedien

2x  
Hefte  
gratis



Sie wollen als Ingenieur oder Ingenieurin immer auf dem neuesten Stand der Diskussion in Sachen Lärm- und Schallschutz für Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft sein? Dann testen Sie jetzt die Zeitschrift **Lärmbekämpfung**, die einzige deutschsprachige Fachzeitschrift für das gesamte Gebiet der Akustik sowie des Lärm-, Schall- und Schwingungsschutzes: **Einfach QR-Code scannen und 2 Print-Ausgaben gratis erhalten!**<sup>1)</sup>



**Technikwissen für Ingenieur\*innen - jetzt testen:**

T +49 6123 9238-202

E [vdi-fachmedien@vuservice.de](mailto:vdi-fachmedien@vuservice.de)

[vdi-fachmedien.de](http://vdi-fachmedien.de)

<sup>1)</sup>  
Angebot nur gültig für  
Neu-Abonnenten und  
Neu-Abonnentinnen.

# Flugtaxis: Ein Überblick über die Besonderheiten von zukünftigem Flugverkehrslärm

Michael Bauer

**ZUSAMMENFASSUNG** Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Darstellung erster Erkenntnisse zur zukünftigen Lärm-situation, insbesondere beim Betrieb von Flotten technisch unterschiedlicher Flugtaxis für den Personentransport, denn trotz elektrischem Antrieb erzeugen Propeller, Rotoren oder Strahltriebwerke in jeder Überflugsituation wahrnehmbare aerodynamische Geräusche. Die hier vorgestellte Arbeit bietet einen Überblick über die neuesten Forschungsarbeiten des Autors, die sich mit dieser neuartigen Form des Fluglärms durch den Flugtaxiverkehr und der Fluglärminderung durch Verkehrsmanagement beschäftigen. Es wurde auch untersucht, wie sich unterschiedliche Flottenzusammensetzungen auf Lärm-Metriken auswirken. Um eine akustische Bewertung geplanter oder in Entwicklung befindlicher Lufttaxi-Systeme oder -Konzepte zu vermeiden, basieren alle Lärmdaten auf allgemeinen und generischen, aber technisch korrekten Annahmen.

## Air-Taxis: An outline of peculiarities of future air traffic noise

**ABSTRACT** The focus of this work is on the presentation of initial findings on the future noise situation, especially when operating fleets of technically different air-taxis for passenger transport, because despite the electric drive, propellers, rotors or jet engines produce perceptible aerodynamic noise in every overflight situation. The work presented here offers an overview of the author's latest research work, which deals with this new form of aircraft noise from air taxi traffic and aircraft noise reduction through traffic management. It was also examined how different fleet compositions affect noise metrics. In order to avoid an acoustic evaluation of planned or under development air-taxi systems or concepts, all noise data are based on general and generic but technically correct assumptions.

## 1 Einführung

Seit einigen Jahren erfährt die sogenannte neue urbane „Air Mobility“ (UAM), basierend auf kleinen und durchweg elektrisch angetriebenen Flugzeugen, ein wachsendes Interesse. Daneben steigern die Berichterstattung in Luft- und Raumfahrtzeitschriften, sowie Diskussionen in Zeitungen und Medien das öffentliche Interesse. Dabei stehen nicht nur die Technologien und bahnbrechenden Konzepte aus der Luftfahrtindustrie und den dazugehörigen Start-up-Unternehmen im Fokus, sondern es werden auch Informationen zu den ökologischen Vorteilen dieser neuen Flugzeugtypen ausgetauscht, die den regionalen Passagier-Flugverkehr grundlegend in einen individuellen Lufttransport transformieren könnten. Natürlich werden auch andere Aspekte wie Sicherheit und Wirtschaftlichkeit diskutiert, wenn beispielsweise Regeln für die Zertifizierung und den generellen Betrieb über bewohntem Gebiet definiert werden müssen. Einige der UAM-Systeme haben dabei bereits nennenswerte technische Reifegrade erreicht, in einigen Fällen sogar mit fliegenden Prototypen.

Andererseits gibt es keine oder nur sehr vage Angaben zur Lärmsituation, die sich in Verbindung mit diesen, technologisch doch zum Teil recht unterschiedlichen Flugtaxi-Konzepten, erge-

ben wird. Wenn von Lärm die Rede ist, bezieht sich dies meist auf das einzelne Luftfahrzeug. Aber auch elektrisch betriebene Propeller, Rotoren oder Strahltriebwerke erzeugen immer noch aerodynamische – aeroakustische – Geräusche. Folglich bedürfen auch Flugzeuge, die als individuell lärmarm gelten, aber in einer signifikanten Anzahl von Flugbewegungen und meist in relativ niedrigen Höhen betrieben werden, einer detaillierten Untersuchung dieses zukünftigen Fluglärms. Großangelegte Lärmstudien mit mehreren UAM-Bewegungen unterschiedlicher Lufttaxi-Typen liegen erst seit Kurzem vor [1] vor, während es aber bereits vorher Hinweise gab, dass bewohnte Regionen unter Umständen Verkehrslärm durch Lufttaxi ausgesetzt sein könnten, wo Fluglärm „im üblichen Sinne“ aber bisher keine oder nur eine sehr untergeordnete Rolle spielt. Daher kann dieser „neuartige“ Lärm in der Bevölkerung im Zusammenhang mit UAM zu einem der kritischsten Aspekte für die zukünftige öffentliche Akzeptanz des Individual-Flugverkehrs werden.

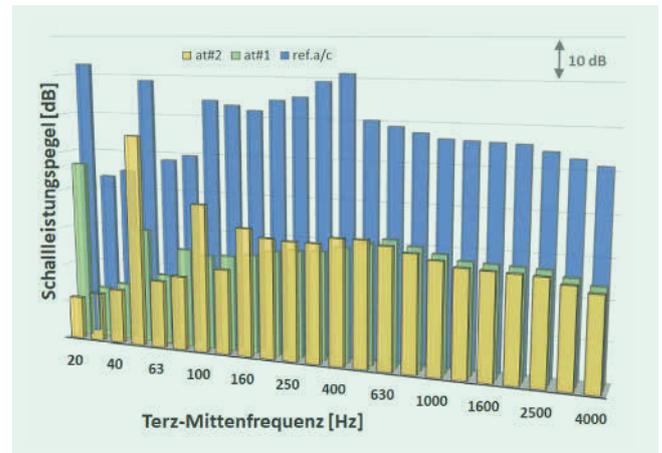
Die hier vorgestellten Arbeiten versuchen, einen ersten Überblick über die aktuellen Forschungsergebnisse des Autors zu geben und dabei schrittweise die Komplexität des UAM-Einsatzes zu erhöhen. Dies ermöglichte ein besseres Verständnis, in welcher Weise UAM-Fluglärm am Boden von den unterschiedlichsten

Parametern abhängt. Dies lässt dann auch erste Rückschlüsse darauf zu, wie dieser Fluglärm selbst bei entsprechend hoher Anzahl an Flugbewegungen, durch gezieltes Verkehrsmanagement reduziert werden könnte. Daneben werden Auswirkungen durch den Betrieb von Flugtaxi-Flotten, zusammengesetzt aus technisch sehr unterschiedlicher Flugzeug-Typen mit jeweils individuellen „akustischen Besonderheiten“, diskutiert.

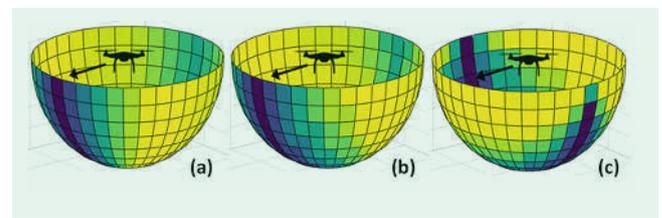
## 2 Flugtaxis als fliegende Geräuschquellen

Während man den Null-Emissions-Effekt elektrischer Antriebe in Bezug auf den fehlenden CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu schätzen weiß, werden diese Flugzeuge auch ohne Motor- oder Abgasgeräusche immer noch eine gewisse, und in einigen Fällen signifikante Geräuschsignatur haben. Aufgrund des zum Teil sehr unterschiedlichen Designs hat jedes Fluggerät seine spezifischen Gegebenheiten: Einige Propeller oder Jets sind ummantelt, andere sind je nach Einsatzlayout des Flugtaxis fest installiert oder mit einstellbaren Neigungswinkeln als Kippflügler ausgebildet. Die große Anzahl potenzieller Flugtaxi-Systeme impliziert bereits, dass es eine ähnliche Vielfalt in ihren aeroakustischen Eigenschaften geben könnte. Daher erfordern die notwendigen zukünftigen Untersuchungen zur Lärmbelastung in Städten und Gemeinden eine genauere Beschreibung des realen Flugzeugs, das dann aber auch unter realistischen Bedingungen betrieben wird. Jede Untersuchung – ob einzelner Überflug oder komplexe Mehrfachereignisse – erfordert dabei die Kenntnis der Lärmemission der Flugzeuge, die beispielsweise durch Schalleistung und Richtwirkung der Schallquellen beschrieben werden kann [2]. Beides wird – je nach technischem Konzept – eine Funktion von Zeit und Position des Flugzeugs auf seiner Flugbahn sein. **Bild 1** zeigt die Schalleistungsspektren für zwei generische Flugtaxis, gegeben bei einem bestimmten Betriebszustand, verglichen mit dem Spektrum eines leichten Hubschraubers [3]. Aufgrund des größeren Rotordurchmessers und der niedrigeren Drehzahl liegt die erste BPF des Hubschraubers bei einer niedrigeren Frequenz als bei den Flugtaxis, die ebenfalls deutlich tonale Anteile aufweisen.

Die Spektren repräsentieren die Gesamtschalleistung der Flugzeuge, d. h. für den Haupt- und Heckrotor des Hubschraubers, einschließlich Breitbandrauschen. Für die akustische Modellierung wurde angenommen, dass die Flugtaxis von mehreren Propellern angetrieben wurden (15 Propeller für at-1 und 12 für at-2). Es ist jetzt bereits ersichtlich, dass die Gesamtschalleistungspegel für beide Taxisysteme unter dem Niveau des Hubschraubers liegen. Dies ist ein erster, aber nicht allgemein gültiger Hinweis auf eine relativ geringe Geräuschemission des einzelnen UAM-Flugzeugs. Oft mit mehreren Propellern ausgestattet, sind sie aufgrund kleinerer Durchmesser und reduzierter Umfangsgeschwindigkeiten – beides wesentliche Parameter für die Geräuschentwicklung – „weniger laut“, was gemeinhin als „distributed propulsion“ bekannt ist. Neben der erzeugten Schalleistung ist die Art und Weise, wie die Geräusche räumlich abgestrahlt werden, eine weitere wichtige Frage. Während die Richtcharakteristiken für gewöhnliche Propellerflugzeuge im Prinzip untereinander vergleichbar sind, können die sehr unterschiedlichen Einbau- und Betriebsbedingungen für Flugtaxiantriebe auch zu unterschiedlichen Eigenschaften bezüglich der Richtcharakteristiken ihrer Schallquellen führen. Diese Richtwirkungen sind jedoch ein wesentlicher Faktor für den zeitlichen Verlauf des Fluglärms an einer bestimmten Beobachterposition, insbesondere bei der Mes-



**Bild 1** Schalleistungsspektren zweier generischer Flugtaxis im Vergleich zu einem kleinen, geräuscharmen Helikopter [3]. *Grafik: Autor*



**Bild 2** Richtwirkungen auf Hemisphären für verschiedene Kippwinkel eines Propellers, wobei das symbolische Flugtaxi in der Mitte jeder Hemisphäre positioniert ist. Helle Schattierung bedeutet höhere Schallabstrahlung, dunkle Schattierung steht für geringere Schallabstrahlung in den jeweiligen Winkelbereich. Propellerdurchmesser und Drehzahl sind für alle drei Fälle gleich. Die Pfeile zeigen die Flugrichtung an. *Grafik: Autor*

sung z. B. bei Lärmzertifizierungen, aber auch für Simulationen bei der Untersuchung von Fluglärm [2]. **Bild 2** zeigt unterschiedliche, generische Richtwirkungen für Flugtaxis mit jeweils unterschiedlicher Installation des Antriebs, die jedoch in allen Fällen von Propellern angetrieben werden. Die Variation zwischen Bild 2a und Bild 2b zeigt eine moderate, aber sichtbare Veränderung, während Bild 2c eine sehr unterschiedliche räumliche Abstrahlung liefert.

Wie erwähnt, sind die Schallspektren  $L_W(f,t)$ , aber auch die Richtwirkungen,  $DI_i(\Theta, \varphi, t)$ , Funktionen der Zeit und der Betriebsbedingungen, insbesondere bei Flugtaxis mit kippbarem Antrieb und/oder Kippflügeln. Hier bezieht sich der Index  $i$  auf verschiedene Flugtaxi-Typen. Reine Überflugsituationen oder der Reise-Verkehr lassen sich in einer ersten Annahme durch mehr oder weniger statische Zustände charakterisieren. Aber die Zeitabhängigkeit, die für diese Arten von neuartigen Flugzeugen deutlicher ausgeprägt sein kann als beispielsweise für ein Verkehrsflugzeug im Anflug auf einen Flughafen, impliziert bereits die Herausforderung beim Versuch die Gesamtlärmsituation der Nähe eines sogenannten Vertiports zu simulieren. Hierbei werden dann auch Flotten, zusammengesetzt aus verschiedenen Flugtaxi-Systemen mit unterschiedlichen Betriebsverfahren beim Anflug oder bei der Landung, zu berücksichtigen sein. Bei bestimmten Flugzeugkonzepten können dann auch zusätzliche akustische Effekte, z. B. durch Propeller-Propeller-Interaktion, auftreten. Um den Fluglärm in der Nähe von Vertiports in geeigneter Weise vorherzusagen zu können, müssen idealerweise die oben genannten Funktionen von

$L_W$  und DI für jedes Flugtaxi unter allen auftretenden Flugbedingungen bekannt sein. Zusätzlich könnten durch die vorgenannten Unterschiede zu den gängigen Fluggeräten auch neue Metriken und/oder Beurteilungs-Verfahren erforderlich werden [4], was hier allerdings nicht untersucht wurde.

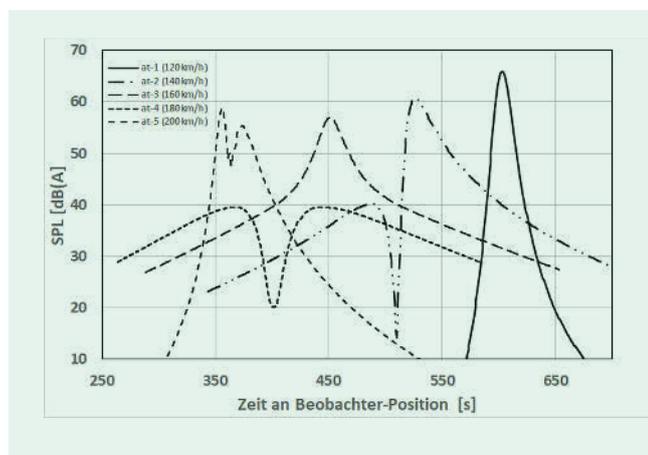
### 3. Überflugsimulation von Einzelereignissen

Unter Berücksichtigung des oben Gesagten erscheint eine klar umrissene stationäre Überflugsituation der einfachste Fall zu sein, um erste Indikatoren zu entwickeln wie sich Flugtaxis im Allgemeinen, aber auch wie sich die verschiedenen Taxitypen akustisch im Speziellen verhalten werden. Überflugsregeln gemäß den Zulassungsvorschriften erfordern in den meisten Fällen statische Flugzeugeinstellungen wie Leistung, Geschwindigkeit und Höhe. Da sich Anflug, Überflug und Abflug auf einer geraden Flugbahn direkt über einem Beobachter befinden, werden die Simulationen – sobald die Geräuschemissionen bekannt sind – Standard-Metriken wie den „Sound Exposure Level“ (SEL) oder den „Effective Perceived Noise Level“ (EPNL) liefern. In diesem Zusammenhang muss noch einmal klar erwähnt werden, dass dies etablierte Metriken für die Lärmzertifizierung von zivilen Flugzeugen, einschließlich Hubschraubern, sind. Aber in Bezug auf die Lufttaxi gilt nur eine Übergangsregelung, bis die behördlichen Vorschriften und Verfahren an Lufttaxi gegebenenfalls angepasst werden.

Für die Entwicklung eines ersten Einblicks, wie Lufttaxi mit unterschiedlichen Bauausführungen und diversen aeroakustischen Eigenschaften am Boden wahrgenommen werden könnten, wurden fünf generische Flugzeuge beschrieben und für die Überflugsimulationen verwendet. Das grundlegende Ergebnis für den zeitlichen Schalldruckpegel-Verlauf während dieser Überflugereignisse ist in **Bild 3** dargestellt.

Die folgende Tabelle zeigt einige der oben genannten Metriken, sowie die am Boden ermittelten maximalen Schalldruckpegel.

Die Ergebnisse veranschaulichen, dass der Wertebereich für Überflugeräusche unter Umständen relativ groß werden kann,



**Bild 3** Beispiele für zeitliche Schalldruckpegel-Verläufe bei einem Beobachter am Boden für 5 akustisch unterschiedliche, generische Flugtaxi mit jeweils verschiedenen Fluggeschwindigkeiten. Vier Flugtaxi waren propellergetrieben, unterschieden aber durch die Einbaubedingungen (z.B. Propeller-Kippwinkel), ein Flugzeug hatte einen Strahltrieb. Der Schallleistungspegel wurde für alle Fahrzeuge auf 128 dB festgelegt [5]. Die Höhe für die dargestellte Überflugsituation betrug jeweils 400 m. Grafik: Autor

**Tabelle 1.** Ergebnisse für Einzel-Überflüge der fünf Flugtaxi. Alle Pegel sind in dB(A) angegeben und entsprechen den Pegel-Zeit-Kurven aus Bild 3

|      | SEL  | EPNL | $L_{Pmax}$ |
|------|------|------|------------|
| at-3 | 75.5 | 77.0 | 65.9       |
| at-4 | 73.3 | 73.8 | 60.6       |
| at-5 | 69.9 | 68.5 | 57.0       |
| at-6 | 57.4 | 58.8 | 39.6       |
| at-7 | 66,9 | 71.7 | 58.7       |

wenn unterschiedliche Flugtaxi-Designs und -Antriebsarten berücksichtigt werden.

### 4. Multiple Flugereignisse und Flugtaxi-Flotten

Betrachtet man die Vielfalt, die sich bereits aus den Einzelereignisse ergibt, erscheint es offensichtlich, dass die zukünftige Vorhersage von neuartigem Fluglärm beides erfordert: die Kenntnis der akustischen Eigenschaften der einzelnen Flugtaxi, aber auch die Zusammensetzung zukünftiger Flugtaxi-Flotten, da nicht davon auszugehen ist, dass ein Vertiport nur von einem einzigen Flugtaxi-System angefliegen wird. Eine weitere wichtige Frage wird sein, wie diese Flotten im Verkehrsmanagement betrieben werden. In diesem Abschnitt wird versucht, den Flottenaspekt sowie den Einfluss des Verkehrsmanagements auf die Lärmbelastung der Menschen am Boden zu betrachten. Doch bevor einfache oder komplexe Flugtaxi-Flotten eingeführt werden können, müssen einige allgemeine Vorstellungen entwickelt werden, wie zukünftige Fluglärmsituationen aussehen, und was die dominierenden Parameter sein könnten.

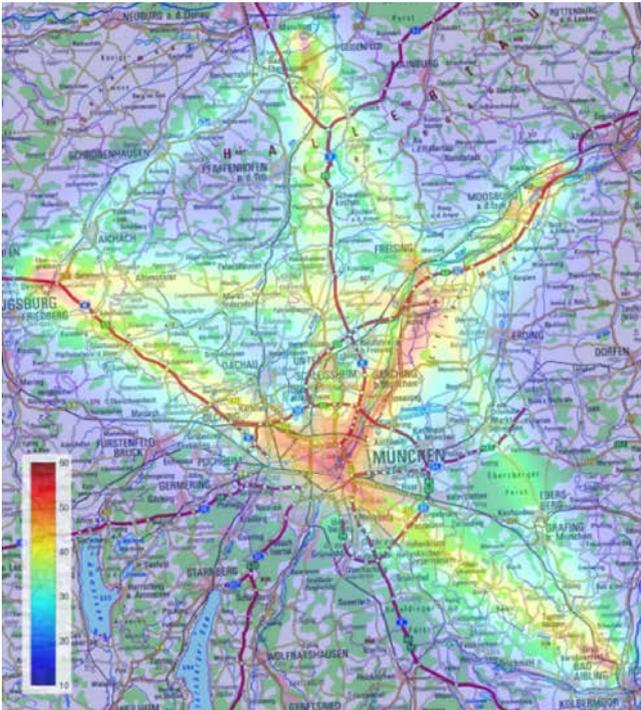
#### 4.1. Vereinfachter UAM-Verkehr

Die einfachste Flotte könnte aus zwei verschiedenen Flugzeugtypen bestehen von denen angenommen wurde, dass sie mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten fliegen. In einer ersten Studie [6] wurden mehrere Szenarien für vier Vertiports untersucht, die durch sechs Flugstrecken miteinander verbunden sind. Auf diese Strecken verteilten sich die zwei Lufttaxi-Typen mit unterschiedlichen Zahlen zwischen 100 und 1000 Bewegungen pro Tag, aber auch mit variierenden Anteilen der Taxisysteme zueinander, zwischen 10 % und 100 %. Für ein klares Verständnis der Ergebnisse mussten einige zusätzliche Voraussetzungen geschaffen werden. Hier sind die wichtigsten Annahmen, dass

- etwa 10 % des Verkehrs in den Abendstunden erwartet wurde, aber in der Nacht kein Flugtaxibetrieb stattfand,
- alle Flugtaxi die gleiche Flughöhe benutzten,
- alle Taxis des gleichen Typs mit der gleichen Geschwindigkeit über Grund flogen,
- alle Lufttaxi auf den gleichen Schallleistungspegel von  $L_W = 128$  dB eingestellt wurden.

**Bild 4** zeigt ein Ergebnis für den Großraum München, welches bereits eine Erweiterung der vorgenannten Studie [6] darstellt, auf Basis realistischer Flugverkehrszahlen [7].

Hier muss darauf hingewiesen werden, dass die Szenarien eher „interurbane“ als „urbane“ Verkehrssituationen abbilden. Daher bietet die Lärmkarte vorerst einen Einblick auf potenziellen Streckenlärm, dem sicher auch Relevanz zukommen wird. Die Studie bestätigt aber wieder die Erwartung, dass die Anzahl der Flug-



**Bild 4.** Simulierte Lärmkarte für den Großraum München. Dargestellt ist der 24h-Schalldruck-Mittelungspegel  $L_{den}$ . Deutlich wird besonders die neue Situation in Gebieten, die momentan kaum von Fluglärm betroffen sind. Die Simulationsberechnungen wurden mit zwei generischen, aber realistischen Flugtaxi-Systemen auf einem Raster mit 197 028 Punkten durchgeführt (Topografische Karte [8]). *Grafik: Autor*

zeuge ein sehr entscheidender Faktor für die Vorhersage, und die zukünftige Akzeptanz dieses neuartigen Fliegens sein wird. Gleichzeitig – und deutlich sichtbar in der Lärmkarte von Bild 4 – wird der Eintrag von Fluglärm in besiedelten Gebieten, in denen derzeit kein nennenswerter Fluglärm vorliegt. Zukünftige Prognose für die aufstrebende Flugtaxi-Industrie – Hersteller und Betreiber – aber auch für die genehmigenden Behörden werden daher an Bedeutung zunehmen.

## 4.2. Komplexer UAM-Verkehr

### 4.2.1. Einfluss von Geschwindigkeit und Flughöhe

Bevor zu viele Parameter gleichzeitig variiert werden, einschließlich ganzer Flotten die aus mehreren Lufttaxisystemen bestehen, musste ein weiteres Verständnis über Effekte durch unterschiedliche Verkehrsführung der Flugzeuge erreicht werden. Daher wurden zunächst Simulationen mit einer Flotte von 175 Flugtaxis eines einzelnen Typs durchgeführt. Der längste Flugweg aus Bild 4 wurde ausgewählt und mit Lufttaxis unterschiedlicher Geschwindigkeiten von 120 km/h bis 200 km/h und in verschiedenen Flughöhen zwischen 400 m und 1 200 m „bevölkert“. Dies lieferte die Grundlage für 14 verschiedene Verkehrssituationen, bei denen die Flugtaxis einer bestimmten Geschwindigkeit und Flughöhe mit einem gewissen prozentualen Anteil vertreten waren (siehe **Tabelle 2**). Die Szenarien enthielten symmetrische Verteilungen, d. h. die Anzahl langsamer und schnellerer Flugzeuge war entsprechend gleich, sowie die Anzahl der Flugzeuge auf niedrigeren Flughöhen war gleich derer die höher flogen. Nichtsymmetrische Verteilungen beschreiben dann unterschiedliche Populationen hinsichtlich Geschwindigkeit und Höhe (siehe **Tabelle 2**).

**Tabelle 2.** Zusammenfassung der Variationen über die 14 Verkehrsszenarien, mit Szenario Nr. 1 als Referenz [9]. Es wurden fünf Höhen und fünf verschiedene Fluggeschwindigkeiten verwendet. Üblicherweise wurde einer bestimmten Höhe eine bestimmte Geschwindigkeit zugeordnet. Für die Szenarien #11 und #12 wurden zusätzlich Geschwindigkeitsvariationen innerhalb der einzelnen Flughöhen zugelassen.

| Szenario | Höhen-Verteilung in % | Geschwindigkeits-Verteilung in %  |
|----------|-----------------------|---|
| 1        | 100                   | 100   |
| 2        | 100                   | 20/20/20/20/20  |
| 3        | 100                   | 10/20/40/20/10  |
| 4        | 20/20/20/20/20        | 100   |
| 5        | 20/20/20/20/20        | 100   |
| 6        | 20/20/20/20/20        | 20/20/20/20/20  |
| 7        | 10/20/40/20/10        | 20/20/20/20/20  |
| 8        | 10/20/40/20/10        | 10/20/40/20/10  |
| 9        | 5/10/40/30/15         | 20/20/20/20/20  |
| 10       | 5/10/40/30/15         | 10/20/40/20/10  |
| 11       | 5/10/40/30/15         | 5/10/15/30/40 @ 400m<br>5/10/40/30/15 @ 600m<br>20/20/20/20/20 @ 800m<br>15/30/40/10/5 @ 1,000m<br>40/30/15/10/5 @ 1,200m |
| 12       | 5/10/40/30/15         | 5/10/15/30/40 @ 400m<br>5/10/15/30/40 @ 600m<br>10/15/20/35/20 @ 800m<br>15/30/40/10/5 @ 1,000m<br>40/30/15/10/5 @ 1,200m |
| 13       | 100                   | 5/10/15/30/40   |
| 14       | 100                   | 5/10/15/30/40   |

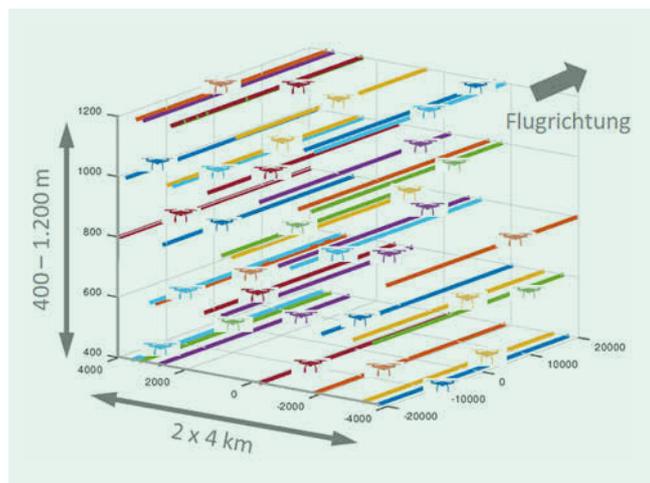
Als Indikator für die Qualität jedes Szenarios wurde für alle Situationen der Anteil  $N_p$  der Bevölkerung berechnet, der in einem bestimmten Bereich des Berechnungsgebietes bestimmten Schalldruckpegeln ausgesetzt war. Diese Untersuchung hat gezeigt, dass – verglichen zur Referenzhöhe von 800 m mit nur einer Fluggeschwindigkeit – die Einführung symmetrischer Verteilungen die Situation zunächst verschlechtert, d. h. der Anteil  $N_p$  wurde um bis zu 4,5 % erhöht. Dies war hauptsächlich der Einführung von niedrigeren Flughöhen geschuldet. Der Wechsel zu einer nicht symmetrischen Geschwindigkeitsverteilung ergab dann eine potenzielle Verbesserung für  $N_p$  um 2,5 % bezogen auf das Referenz-Szenario, so dass hier, selbst bei niedrigeren Flughöhen, eine Reduzierung des Fluglärms zu verzeichnen war.

### 4.2.2. Einführung von Flugkorridoren

In einem weiteren Schritt erschien es dann eine logische Konsequenz zu sein, dass eine relativ hohe Anzahl von Lufttaxibewegungen – wie etwa die 175 Taxis – sinnvollerweise nicht auf eine einzige Strecke beschränkt werden sollte, selbst wenn diese aus mehreren Flugebenen bestehen würde. Die Einführung von Luftkorridoren stellt einen weiteren notwendigen Schritt dar [10] und bietet damit einen zusätzlichen Freiheitsgrad im zukünftigen UAM-Verkehr. Für diese Untersuchung wurde das gleiche Referenzszenario wie in Abschnitt 4.2.1 verwendet und 9 Varianten aus **Tabelle 3** unter Einbeziehung eines Flugkorridors simuliert. **Bild 5** soll am Beispiel von Szenario #8 die Lage der Flugwege im Korridor verdeutlichen.

**Tabelle 3.** Zehn verschiedene Szenarien zur Verteilung des Flugtaxiverkehrs innerhalb eines Flugkorridors bei unterschiedlicher Ausdehnung. Alle Flugzeuggeschwindigkeiten waren auf jedem Pfad und jeder Flughöhe gleichmäßig verteilt.

| Szenario | Korridor in km | Flughöhe in m | Anzahl Flugpfade | Fluggeschwindigkeit in km/h |
|----------|----------------|---------------|------------------|-----------------------------|
| 1        | 0              | 800           | 1                | 120–200                     |
| 2        | 2              | 800           | 7                | 120–200                     |
| 3        | 4              | 800           | 7                | 120–200                     |
| 4        | 6              | 800           | 7                | 120–200                     |
| 5        | 8              | 800           | 7                | 120–200                     |
| 6        | 0              | 400–1200      | 35               | 120–200                     |
| 7        | 2              | 400–1200      | 35               | 120–200                     |
| 8        | 4              | 400–1200      | 35               | 120–200                     |
| 9        | 6              | 400–1200      | 35               | 120–200                     |
| 10       | 8              | 400–1200      | 35               | 120–200                     |



**Bild 5** Szenario #8 aus Tabelle 3 mit einem 4 km breiten Luftkorridor und 35 Flugwegen zwischen 400 m und 1 200 m Höhe, besetzt mit 175 Flugtaxis. Die Größe des Rechengebiets betrug 30 km x 50 km auf 24 000 Gitterpunkten. Grafik: Autor

Die wichtigsten Schlussfolgerungen aus der Einführung von Flugkorridoren lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Ausgehend von einem Referenzfall wurde die (konstante) Anzahl von Flugtaxi-Einsätzen innerhalb von Korridoren unterschiedlicher Breite verteilt.
- Aus den Simulationen ergab sich, dass die Lärmsituation am Boden durch Verwendung einer Verteilung verbessert werden konnte:  $N_p$  konnte um mehr als 50 % reduziert werden.
- Natürlich verursachten einige Einzelereignisse höhere, aber zeitlich begrenzte Expositionspegel, wie z.B. die Erhöhung des SEL um 4 dB an bestimmten Punkten am Boden, was eine natürliche Folge der niedrigeren Flughöhe war. Nichtsdestotrotz hat sich die globale Situation bezüglich der betrachteten Lärm-Metriken im Allgemeinen aber verbessert.

### 4.3. Einführung erster komplexer Flugtaxi-Flotten

Es ist zu erwarten, dass der Betrieb einer Lufttaxi-Flotte, die aus mehr als nur zwei Flugzeugtypen besteht, weitere Fragen auf-

werfen wird, insbesondere wenn man eine größere Anzahl von Lufttaxi-Bewegungen zwischen zwei einzelnen Vertiports organisieren muss. In diesem Abschnitt wird nun beschrieben, wie eine sukzessive Entwicklung immer komplexerer Verkehrsszenarien ein erstes Verständnis dafür lieferte, wie Lärminderung durch Verkehrsmanagement erreicht werden kann.

Dabei wurden Studien mit unterschiedlich zusammengesetzten Flotten durchgeführt [5], bei denen davon ausgegangen wurde, dass Flotten aus einer begrenzten Anzahl von fünf Flugzeug-Typen bestehen würden. Der Betrieb und das Management wurden während der Simulationen als ein zufälliger Prozess angesehen, der in gewissem Maße repräsentativ für den zukünftigen urbanen Flugverkehr sein könnte (Stichwort: „Fliegen on demand“). Zweifellos muss die Verkehrsführung bestimmten Regeln folgen, die hier vorausgesetzt wurden, indem nur die Verwendung vordefinierter Flugrouten zugelassen wurde, wie etwa bereits in Bild 5 gezeigt. Für die eigentlichen Flotten wurden vier Arten unterschiedlich zusammengesetzter Kategorien verwendet, deren Komplexität jedoch schrittweise erhöht wurde, um eine Identifizierung der Auswirkungen auf Fluglärm durch die spezifischen Flottenparameter zu ermöglichen. Hier werden die beiden komplexesten Flottenzusammensetzungen näher erläutert:

**Flotte A:** Diese Flotte bestand aus fünf akustisch unterschiedlichen Flugtaxi-Systemen. Jedes Lufttaxi wurde mit den in Tabelle 3 gezeigten fünf verschiedenen Geschwindigkeiten betrieben. Die Geschwindigkeit wurde den insgesamt 175 Flugtaxis zufällig zugeordnet. 35 Flugrouten wurden von den 175 Flugtaxis gleichmäßig besetzt, jedoch wurde zufällig entschieden welches individuelle Flugtaxi auf welcher Flugbahn flog.

**Flotte B:** Diese Flotte war vergleichbar mit Flotte A mit dem Unterschied, dass die 175 Lufttaxis – wiederum zufällig – aus einem Pool von 25 verfügbaren Taxis ausgewählt wurden, die sich alle in Geschwindigkeit und Lärmemission unterschieden. Durch die zufällige Auswahl konnten dann auch einige Lufttaxi-Typen mit mehr Fluggeräten im Szenario repräsentiert werden als andere Typen.

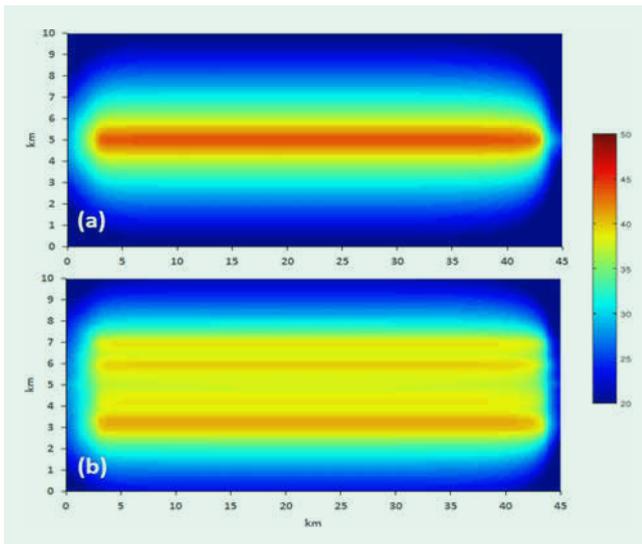
Für beide Flotten wurden wieder mehrere Szenarien aus Tabelle 3 für eine einfache gerade Flugbahn simuliert um zusätzliche Effekte, wie beispielsweise durch Kurvenflug, zu vermeiden.

**Bild 6** zeigt eine einfache Lärmkarte für Flotte A in verschiedenen Szenarien. Die Hauptergebnisse der Studie zu Flotteneffekten lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Unter Umständen kann ein Flottenmix wie bei Flotte A die Situation im Vergleich zum Referenzfall negativ beeinflussen, da die Einbeziehung schnellerer Flugtaxis mit einer höheren Lärmemission verbunden sein wird. Erst durch die Einführung breiterer Korridore verbesserte sich die Situation zunächst (siehe Bild 6). Der Anteil  $N_p$  der Bevölkerung, der dann dem neuartigen Fluglärm ausgesetzt sein würde, kann zwar erhöht werden, aber der Anteil derjenigen Einwohner, die von kritischen Schalldruckpegeln betroffen wären, ließe sich durchaus kontrollieren, so dass selbst „lautere“ Flugtaxis auf niedrigeren Flughöhen einsetzbar wären. Damit konnte selbst mit den vorgenannten, ungünstigen Randbedingungen eine recht eindrucksvolle Reduktion von  $N_p$  um 51,4 % (wieder im Vergleich zum Referenzszenario) erreicht werden.

Flotte B – zufällig aus dem Lufttaxi-Pool generiert – zeigte ein ähnliches Verhalten, aber hier streute die Reduzierung von  $N_p$  erwartungsgemäß relativ stark zwischen 19,2 % und 100,0 %<sup>1)</sup>, je

<sup>1)</sup> 100 % Reduzierung von  $N_p$  bedeutet, dass verglichen zum Referenzszenario keine Personen mehr dem hier betrachteten Schalldruckpegel-Intervall ausgesetzt sind.



**Bild 6** Lärmkarte [5] für Flotte A auf einem geradlinigen Flugweg in einem 8 km breiten Korridor für Referenzszenario 1 aus Tabelle 3 (a). Zum Vergleich Szenario 10 bestehend aus 35 Flugwegen (b). Der Korridor ist durch die gestrichelten Linien angedeutet. Grafik: Autor

nachdem welche Variante der Flotte B zum Einsatz kam. Dies impliziert, dass tatsächlich die Flottenzusammensetzung, d. h. die Anzahl der Flugtaxis eines bestimmten Typs betriebenen Flugtaxis, den wahrscheinlich größten Einfluss haben wird. Dies impliziert aber auch, dass für zukünftige Fluglärmprognosen in der Nähe von Vertiports die Flottenzusammensetzung so genau wie möglich bekannt sein sollte.

## 5. Schlussfolgerungen

Flugtaxis werden sich durch ihre sehr spezifischen akustischen Eigenschaften auszeichnen, die stark von ihrem individuellen technischen Design, der Integration des Antriebs und den Betriebsbedingungen abhängen. Dies erfordert im Grunde eine detaillierte Kenntnis jedes Flugtaxi-Typs, der an einem bestimmten Flughafen oder Vertiport betrieben wird, um den Fluglärm durch UAM vorherzusagen und zu bewerten.

In einigen Regionen, in denen künftig UAM eine Rolle spielen wird, ist mit zusätzlichem oder neuem Fluglärm am Boden zu rechnen. In den meisten Fällen – immer abhängig von der Anzahl der Flugtaxi-Bewegungen – kann dieser zusätzliche Lärm jedoch auf einem allgemein niedrigeren Niveau liegen, da einzelne Flugtaxis durchaus eine geringere Schalleistung aufweisen können als beispielsweise kleine Helikopter [3]. Der Fluglärm im Reiseflug könnte durchaus durch andere, bereits vorhandene Quellen überdeckt werden. Allerdings werden Flughöhe und Geschwindigkeit hierbei die entscheidende Rolle spielen. Die Geräuschsituation unmittelbar am Vertiport kann sich bei bestimmten Konfigurationen und Szenarien kritischer entwickeln als bei anderen, und das bei gleichem Passagieraufkommen.

Abhängig von den endgültigen Verkehrszahlen können Flugtaxis innerhalb von Korridoren auf verschiedenen Flughöhen betrieben werden. Diese Flughöhen werden dann entsprechend der Reisegeschwindigkeit zugeordnet. Langsamere Flugtaxis sollten vorzugsweise die höheren Flughöhen nutzen, schnellere sollten auf niedrigeren Flughöhen betrieben werden, um die Zeit für die Geräuschwahrnehmung zu minimieren. Die Einführung eines

spezifischen Verkehrsmanagements, das sich ggf. vom bekannten Flugverkehrsmanagement unterscheidet, kann für UAM denkbar werden um – auf die jeweilige geografische Situation zugeschnitten – den Anteil der vom neuartigen Fluglärm betroffenen Bevölkerung so gering wie möglich zu halten.

Es ist davon auszugehen Vertiports von Flugtaxi-Flotten angefliegen werden, zusammengesetzt aus Flugzeugen unterschiedlicher akustischer Eigenschaften. In Bezug auf die einzelnen Lärmemissionen könnten dann Änderungen in der Flottenzusammensetzung auch zu einer spürbaren Änderung der Lärmpegel führen, so dass eine Neubewertung in der Nähe dieses Vertiports sinnvoll wäre, sobald sich die Betriebsflotte maßgeblich ändert.

Wie eingangs erwähnt wird derzeit diskutiert, welche Metriken am besten geeignet sein könnten, um den UAM-Fluglärm zu bewerten [11], oder ob eventuell auch die Frequenzbewertung für UAM-Flugzeuge um eine E-Bewertung erweitert werden sollte [12].

Neben der Betrachtung reiner pegelbasierender Metriken dürften Untersuchungen zur Belästigung oder Akzeptanz in der Bevölkerung vielleicht sogar einen höheren Stellenwert einnehmen als beim „herkömmlichen“ Fluglärm. Weitere Forschungsaktivitäten, insbesondere zur Auralisation einzelner Flugtaxis aber auch ganzer Flotten, werden ein wichtiges Instrument sein, um diese Akzeptanz zu ermitteln. ■

## Literatur

- [1] Bauer, M.; Redmann, D.: "ATEFA – Project's results on UAM air traffic noise and air-taxi certification", INTER.NOISE 2022, 21–24 August 2022, Glasgow, Scotland
- [2] Bauer, M.: Future Urban Air Mobility: A Brief Summary of Air-taxi Configurations under Aero-acoustic Aspects, International Conference on Aeronautical Materials and Aerospace, Chengdu/China, 2020.
- [3] Bauer, M.; Redmann, D.; Weilandt, L.: ATEFA – A first German approach on UAM community noise and air-taxi certification, INTER.NOISE 2021.
- [4] ICAO, Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation Environmental Protection, Volume I: Aircraft Noise, 8th Edition, July 2017.
- [5] Bauer, M.: Community noise from urban air mobility (UAM) and its control by traffic management, INTER.NOISE 2021
- [6] Bauer, M., First Assessment of Community Noise for a Simulated Scenario of New Urban Air Traffic, 26th International Congress on Sound and Vibration (ICSV), Montréal, 2019.
- [7] ROLAND BERGER GMBH (publisher), Urban air mobility – The rise of a new mode of transportation, München, November 2018.
- [8] Bayerische Vermessungsverwaltung – [www.geodaten.bayern.de](http://www.geodaten.bayern.de), Creative Commons Namensnennung 3.0 Deutschland Lizenz (CC BY 3.0 DE).
- [9] Bauer, M.: Assessment of en-route noise by simulated scenarios for future urban air traffic, INTER.NOISE 2020, Seoul, South Korea, 2020.
- [10] Bauer, M.: Influence on community noise from new urban air mobility (UAM) by introducing air lanes for flight management, 4th International Conference on Aeronautical, Aerospace and Mechanical Engineering, 26–28 February 2021, Sanya/China
- [11] HotTopics in Quiet Drones, Experten Workshop, INTER.NOISE 2021, 2. August 2021 (Online-Treffen).
- [12] Thalheimer E.: Community acceptance of drone noise: The drone of drones, INTER.NOISE 2021.



**Dr. rer. nat. Michael W. Bauer**  
Geschäftsführer  
MUNICH AEROACOUSTICS,  
Kirchheim b.München  
[michael.bauer@muc-aero.com](mailto:michael.bauer@muc-aero.com)

Foto: Autor

# Anwendbarkeit der ISO 3744 zur Ermittlung von Drohengeräuschen

J. Treichel, J. Foerster, J. Lieb, A. Volkert

**ZUSAMMENFASSUNG** Unbemannte Luftfahrtsysteme (engl. unmanned aircraft system, UAS) werden für eine Vielzahl von Aufgaben eingesetzt. Vor allem der industrielle und professionelle Einsatz von unbemannten Luftfahrzeugen (engl. unmanned aircraft, UA) wird zu einer wachsenden Zahl von Anwendungsmöglichkeiten führen. Die stetig steigende Zahl von UA wirft die Frage nach der Lärmbelastung auf die Bevölkerung durch diese Fluggeräte auf. Zum ersten Mal sieht eine EU-Verordnung eine einheitliche Lärmeinstufung für UA vor. Sie beinhaltet die Einführung eines Labels für den garantierten Schalleistungspegel. Dieser soll nach EN ISO 3744:2010 mittels eines Hüllflächenverfahrens ermittelt werden. Die Hersteller sind dazu verpflichtet, den garantierten Schalleistungspegel im Rahmen ihrer CE-Kennzeichnung zu dokumentieren. Darüber hinaus schreibt die EU-Verordnung einen maximal zulässigen Schalleistungspegel vor. Der zulässige Pegel ist abhängig vom Gewicht der UA. Aus diesem Grund hat das Umweltbundesamt mit akustischen Untersuchungen von UA begonnen. Für die Messungen gemäß der EU-Verordnung wurden verschiedene kleinere Multikopter verwendet. Dieser Beitrag stellt die Ergebnisse der akustischen Messungen vor und zeigt, ob die Anforderungen der EU-Verordnung eingehalten werden. Darüber hinaus werden mögliche Herausforderungen der geltenden Messnorm für die Anwender aufgezeigt.

## Applicability of ISO standard 3744 for the determination of drone noise

**ABSTRACT** Unmanned Aircraft Systems (UAS) are used for a variety of purposes. Especially the industrial or professional use of unmanned aircraft (UA) will lead to an increasing number of possible applications. The steadily rising number of UA raises the question of noise impact on the society from these vehicles. For the first time, an EU regulation provides a uniform noise rating for UA. It involves the introduction of a label for the guaranteed sound power level. This level is to be determined via EN ISO 3744:2010 by means of an enveloping surface method. Manufacturers are required to document the guaranteed sound power level as part of their CE marking. In addition, the EU regulation specifies a maximum permissible sound power level. The permitted level depends on the weight of the UA. Therefore, the German Environment Agency has started with acoustic investigations of UA. Various small multicopter were used for the measurements in accordance with the EU regulation. This paper presents the results of the measurements and shows whether the requirements of the EU regulation are complied with. The challenges for users of the applicable measurement standard are also highlighted.

## 1 Einleitung

Immer mehr Menschen nutzen Drohnen<sup>1)</sup> privat wie gewerblich. Während zunächst der Schwerpunkt vor allem im Bereich der Foto- und Filmaufnahmen lag, sind die Anwendungen heute deutlich vielfältiger. Drohnen werden unter anderem für die Inspektion und Wartungsarbeiten an Infrastrukturbauten, für diverse Vermessungsaufgaben oder zum Transport von medizinischen Gütern eingesetzt. Auch in Zukunft werden diese Fluggeräte in vielerlei Aufgabengebieten Anwendung finden, nicht zuletzt, weil immer längere Flugzeiten und größere Traglasten realisierbar sind.

Die stetig zunehmende Anzahl von Drohnen wirft die Frage nach den zukünftigen Geräuschauswirkungen auf die Bevölke-

rung auf. Hierüber liegen derzeit weder national noch international fundierte Erkenntnisse vor. Absehbar ist jedoch, dass sich zukünftig immer mehr Menschen in Deutschland durch den Lärm von Drohnenflügen belästigt fühlen werden.

Die Delegierte Verordnung (EU) 2019/945 [1] beinhaltet ein Geräuschemessverfahren, um Drohnen ähnlich der Outdoor-Richtlinie 2000/14/EG [2] zu labeln. Das bedeutet, dass der garantierte Schalleistungspegel auf dem Gerät oder der Verpackung abgebildet werden muss. Inwieweit dieses Geräuschemessverfahren praktikabel und realistisch ist, wurde durch einen Versuchsaufbau untersucht und soll nachfolgend dargestellt werden.

## 2 Messaufbau und Messdurchführung

Die EU-Verordnung 2019/945 [1] legt im Anhang Teil 13 eine Geräuschprüfvorschrift zur Erfassung und Berechnung des Schalleistungspiegels für die Drohnenklassen C1 bis C3 und C5

<sup>1)</sup> Im weiteren Artikel wird das umgangssprachliche Wort Drohne als Synonym für UAS und UA verwendet.

bis C6 in der offenen Kategorie fest. Als Grundnorm zur Messung soll die ISO 3744:2010 [3] genutzt werden. Diese Norm enthält Verfahren für die Bestimmung des Schalleitungspegels einer Geräuschquelle aus Schalldruckpegeln. Dabei ist eine Hüllfläche zu bilden, die die Geräuschquelle umschließt. Die Messungen sind in einer Umgebung durchzuführen, die näherungsweise den Bedingungen eines akustischen Freifeldes in der Nähe einer oder mehrerer reflektierenden Flächen entspricht.

Nach [1] soll die Hüllfläche eine Halbkugel mit der Mikrofonanordnung aus [3] Anhang F sein. Für die Messungen wurden insgesamt 12 Mikrofone verwendet. Die einzelnen Mikrofonpositionen wurden anschließend nach [3] Anhang F berechnet. Ebenso ist die Drohne über einer reflektierenden Fläche zu messen, die übrige Messumgebung muss den Anforderungen von [3] Anhang A entsprechen.



**Bild 1** Aufbau am Nationalen Erprobungszentrum für unbemannte Luftfahrtsysteme (DLR) in Cochstedt/Deutschland. Foto: Autoren



**Bild 2** Aufbau auf dem Modellflugplatz des Modellflugvereins „Hugo Junkers“ Dessau-Rodleben/Deutschland Foto: Autoren

Um das zu gewährleisten, fanden die Messungen im Freien auf zwei verschiedenen Flugplatzgeländen statt (**Bild 1** und **2**). Als reflektierende Fläche wurde jeweils die Start-/Landebahn des Flugplatzes gewählt. Die übrige Messumgebung war in beiden Fällen eine weitläufige Rasenfläche ohne Baumbewuchs oder Bebauung. Weitere Reflexionen konnten somit ausgeschlossen werden.

Aufgrund der Größen der gemessenen Drohnen (siehe **Tabelle 1**) wurde aus Anhang F der kleinstmögliche Radius von  $r = 4 \text{ m}$  angenommen und die Mikrofonpositionen entsprechend bestimmt. Der kleinste Radius wurde ebenfalls gewählt, um den Abstand zwischen Fremd- und Drohngeräusch so groß wie möglich zu gestalten.

Alle Drohnenmodelle wurden im Schwebeflug (engl. hover) in einer Höhe von  $0,5 \text{ m}$  (Mittelpunkt der Drohne) über der reflektierenden Fläche gemessen. Die Festlegung der Flughöhe wurde zwar nach der Änderung von [1] durch die Delegierte Verordnung (EU) 2020/1058 [4] entfernt, in der DIN EN 4709-001:2021-08 [5] ist sie jedoch weiterhin enthalten. Dieser Normentwurf enthält technische Spezifikationen und Prüfverfahren zur Unterstützung der Einhaltung der Delegierten Verordnung (EU) 2019/945 der Europäischen Kommission [1]. Die Messungen wurden mindestens 5-mal wiederholt, die Messdauer betrug je nach Drohnenmodell 5-10 Sekunden.

### 3 Messauswertung

Alle Messergebnisse wurden entsprechend [3] mit den Korrekturfaktoren  $K_1$  (Fremdgeräuschkorrektur) und  $K_2$  (Umgebungskorrektur) versehen sowie die A-Bewertung hinzugefügt.

In **Tabelle 2** ist der zeitlich gemittelte Messflächen-Schalldruckpegel  $L_p$  nach folgender Formel angegeben:

$$\overline{L_p} = \overline{L'_p(ST)} - K_1 - K_2 + A \quad (1)$$

mit

$\overline{L'_p(ST)}$  der über alle Mikrofonpositionen auf der Messfläche gebildete

Mittelwert während die zu untersuchende Geräuschquelle in Betrieb ist

$K_1$  Fremdgeräuschkorrektur ermittelt nach [3] Punkt 8.2.3

$K_2$  Umgebungskorrektur, hier  $K_2 = 0$ , da gemäß [3] Abschnitt 4.3.1

$K_2$  bei Messungen im Freien auf einer reflektierenden Ebene aus Asphalt oder Beton vernachlässigt werden kann.

$A$  A-Bewertung

**Tabelle 1** Spezifikation der verwendeten Drohnenmodelle.

| Eigenschaften        | Drohne 1       | Drohne 2       | Drohne 3       | Drohne 4     | Drohne 5     | Drohne 6     | Drohne 7     | Drohne 8     |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Gewicht in g         | 7 000          | 6 200          | 10 000         | 1 320        | 500          | 6 200        | 2 355        | 1 700        |
| Größe in cm LxBxH    | 162 x 162 x 78 | 125 x 125 x 58 | 170 x 170 x 80 | 38 x 39 x 24 | 33 x 38 x 6  | 96 x 96 x 50 | 89 x 89 x 22 | 42 x 42 x 21 |
| Bauart               | Octocopter     | Octocopter     | Octocopter     | Quadrocopter | Quadrocopter | Hexacopter   | Quadrocopter | Quadrocopter |
| theoretische Klasse* | C3             | C3             | C3             | C2           | C1           | C3           | C2           | C2           |

\* dies entspricht der Klassenzuordnung der offenen Kategorie, wenn alle untersuchten Drohnenmodelle nach der Veröffentlichung und Anwendungspflicht von [1] auf dem Markt gebracht worden wären. Tatsächlich entsprechen sie derzeit der Klasse C5, die zwar zu labeln ist, aber keinem Grenzwert unterliegt.

**Tabelle 2** Ergebnisse der Einzelmessungen und der über die Zeit gemittelten Oberflächenschalldruckpegel.

|                              | Drohne 1                  | Drohne 2    | Drohne 3    | Drohne 4    | Drohne 5    | Drohne 6    | Drohne 7    | Drohne 8    |
|------------------------------|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Messung                      | $\overline{L_p}$ in dB(A) |             |             |             |             |             |             |             |
| 1                            | 78,5                      | x           | x           | <b>65,8</b> | 59,2        | <b>75,6</b> | x           | <b>66,8</b> |
| 2                            | <b>78,6</b>               | <b>77,6</b> | <b>77,9</b> | 64,7        | x           | 75,5        | <b>67,8</b> | <b>66,8</b> |
| 3                            | <b>78,6</b>               | <b>78,3</b> | x           | x           | <b>59,9</b> | <b>76,4</b> | 66,5        | 67,0        |
| 4                            | 78,7                      | x           | <b>77,8</b> | <b>65,1</b> | <b>60,7</b> | x           | <b>66,8</b> | 66,6        |
| 5                            | 78,9                      | 77,5        | 77,4        | 66,1        | 59,2        | 75,7        | 66,4        | x           |
| 6                            | 78,9                      | 78,1        | 78,0        | -           | -           | -           | 67,5        | 67,3        |
| 7                            | -                         | 77,9        | -           | -           | -           | -           | -           | 66,9        |
| 8                            | -                         | x           | -           | -           | -           | -           | -           | 67,4        |
| $\overline{L_{px}}$ in dB(A) | 78,6                      | 78,0        | 77,8        | 65,5        | 60,3        | 76,0        | 67,3        | 66,8        |

Nach [1] ist „[d]er A-bewertete zeitlich gemittelte Oberflächen-Schalldruckpegel [...] für jede UA-Konfiguration mindestens dreimal zu bestimmen. Weichen mindestens zwei der bestimmten Werte um nicht mehr als 1 dB voneinander ab, sind keine weiteren Messungen notwendig. Andernfalls sind die Messungen so lange fortzusetzen, bis zwei Werte um nicht mehr als 1 dB voneinander abweichen. Zur Berechnung des Schalleistungspegels einer UA-Konfiguration ist das arithmetischen Mittel der beiden höchsten, um nicht mehr als 1 dB voneinander abweichenden Werte des zeitlich gemittelten Oberflächen-Schalldruckpegels zu verwenden.“  $[\overline{L_{px}}]$

Um den Anforderungen zu genügen, wurden aus den Messergebnissen die Werte herausgesucht, die dem 1 dB-Kriterium sowie der Anzahl der Messungen entsprechen. Die genutzten Werte zur Ermittlung des arithmetischen Mittels sind in Tabelle 2 hervorgehoben. Hierbei bedeutet „x“, dass die Messungen unzulänglich waren und dadurch von der Auswertung ausgeschlossen wurden. Dies konnte bei plötzlichen Windstößen, zu starken Hintergrundgeräuschen oder zu starkem Eingriff in die Lenkung der Drohne der Fall sein.

Der Schalleistungspegel wurde anschließend nach der folgenden Formel ermittelt:

$$L_{WA} = \overline{L_{px}} + 10 \lg \frac{S}{S_0} \text{ dB} \tag{2}$$

mit

S Flächeninhalt der Messfläche, hier Flächeninhalt einer Halbkugel mit  $r = 4 \text{ m}$

$S_0$   $1 \text{ m}^2$

Nach [1] Teil 14 soll nun der garantierte Schalleistungspegel auf dem Label abgebildet werden. Die Definition des garantierten Schalleistungspegels in dieser Verordnung lautet:

„ein Schalleistungspegel, der nach den Anforderungen von Teil 13 des Anhangs ermittelt wurde und der die durch Produktionsschwankungen und Messverfahren bedingten Unsicherheiten beinhaltet [...]“

Folglich wurde eine erweiterte Unsicherheit  $U$  gemäß Abschnitt 9 aus [3] ermittelt.

$$U = k \sigma_{\text{tot}} \tag{3}$$

$$\sigma_{\text{tot}} = \sqrt{\sigma_{R0}^2 + \sigma_{\text{omc}}^2} \tag{4}$$

mit

$k$  Erweiterungsfaktor,  $k = 2$  hier da nur ein Modell je Art zur Verfügung stand und keine weitere Datenbasis bekannt ist.

$\sigma_{\text{tot}}$  gesamte Standardabweichung

$\sigma_{R0}$  sämtliche Unsicherheiten, die die Messnorm zulässt, mit Ausnahme der Instabilität der Schalleistung der zu untersuchenden Quelle ( $\sigma_{\text{omc}}$ ). In diesem Fall 1,5 dB, da kein, für das Produkt, spezifischer Wert bekannt ist bzw. bisher ermittelt wurde.

$\sigma_{\text{omc}}$  Standardabweichung zur Bestimmung von Schwankungen der Betriebs- und Aufstellungsbedingungen, hier ermittelt über alle gültigen Messungen aus **Tabelle 2**.

Die erweiterte Unsicherheit  $U$  wurde auf den berechneten  $L_{WA}$  addiert, um den garantierten Schalleistungspegel zu erhalten. Die Ergebnisse sind in **Tabelle 3** dargestellt.

Ebenso wurde der theoretische maximale Schalleistungspegel nach [1] Teil 15 ermittelt. Für Drohnen mit einem Gewicht über 4 kg (Klassen C3, C5 und C6) sind in der Verordnung leider keine Werte angegeben, so dass lediglich die möglichen Werte der „kleineren/leichteren“ Drohnen ersichtlich sind.

## 4 Anwendungsprobleme

Die Ergebnisse können nicht als absolut Normenkornform angesehen werden, da während der Messungen und der Auswertung mit einigen Kompromissen oder Annahmen gearbeitet werden musste. Der Grund dafür ist, dass bisher zu wenig Erfahrung bzw. keine Erprobung der Messmethode mit Drohnen verfügbar ist und somit auch eine geeignete Datenbasis fehlt.

Gemäß [3] soll die Messdauer mögliche 20 s, aber muss mindestens 10 s betragen. Nach den Erfahrungen aus den praktischen Testflügen ist jedoch eine Messdauer von 20 s kaum umsetzbar. Selbst bei optimalen Bedingungen driftet die Drohne von ihrem Ausgangspunkt ab und die Fluglage muss korrigiert werden. Ebenso ist das GPS-Signal meist nicht in dem Maße genau genug, um die geforderte Position (0,05 m) [5] exakt einzuhalten. Folglich kann die Messung erheblich beeinflusst werden. Daher wurde bei einigen Modell die Messdauer auf 5 s reduziert, sofern es nicht anders möglich war. Für den Zweck der Messungen war diese Einschränkung jedoch vertretbar.

Nach [5] soll die Drohne für den Fall, dass sie Flugposition nicht stabil gehalten werden kann, auf ein Stativ montiert oder angebunden werden, um horizontale Bewegungen zu begrenzen. Dies ist für Anwender, die softwaretechnisch nicht in das Drohnensystem eingreifen können, um z.B. spezielle Rotordrehzahlen festzulegen, kaum möglich. Bei der Montage auf einem Stativ

**Tabelle 3** berechneter vs. garantierter vs. maximaler Schallleistungspegel.

|  | Drohne 1 | Drohne 2 | Drohne 3 | Drohne 4 | Drohne 5 | Drohne 6 | Drohne 7 | Drohne 8 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| berechneter $L_{WA}$ in dB (A)                   | 98,6     | 98,0     | 97,8     | 85,5     | 80,3     | 96,0     | 87,3     | 86,9     |
| $U$ mit $k = 2$ und $\sigma_{R0} = 1,5$ dB in dB | 3,0      | 3,1      | 3,0      | 3,3      | 3,3      | 3,0      | 3,1      | 3,1      |
| garantierter $L_{WA}$ in dB(A)*                  | 102      | 101      | 101      | 89       | 84       | 99       | 90       | 90       |
| Grenzwert in dB(A)                               |          |          |          | 88,1     | 85,0     |          | 92,7     | 90,1     |

\* nach [1] muss der garantierte Schallleistungspegel auf ganzzahlige Werte gerundet werden

würden die Motoren der Drohne beim Start sofort unter Vollast arbeiten, da das Fluggerät am Abheben behindert wird, und die Regler den Widerstand durch das Stativ zu kompensieren versuchen. Es ist davon auszugehen, dass hierdurch die Messergebnisse maßgeblich verfälscht werden.

Eine weitere Unklarheit bestand in der Höhenangabe des Schwebefluges von 0,5 m über dem Boden. Vor der Änderung von [1] wurden keine weiteren Angaben darüber gemacht, auf welchen Bezugspunkt sich die Höhenangabe bezieht (Drohnenmittelpunkt, Rotorebene, Fußebene). Bei Annahme des Mittelpunkts, ergab sich bei den Drohnen mit einem Gewicht von über 4 kg und größeren Abmessungen (z.B. UA 1-3, Tabelle 1) das Problem, dass diese gemäß den Forderungen nur wenige Zentimeter vom Boden abheben durften. Ein sicheres Hovern war so kaum möglich, da sich die Drohne immer noch im Bodeneffekt befand. Durch Änderung von [1] (siehe Kapitel 2) ist die Höhenangabe entfallen, wurde aber dafür in den Entwurf der konkretisierenden Norm [5] aufgenommen. Dort wird nun die Fußebene als Referenz angenommen. Es bleibt zu klären, inwieweit sich die daraus resultierenden unterschiedlichen Höhen der Rotorebenen der verschiedenen Drohnenmodelle auf die gemessenen Werte auswirken.

## 5 Auswertungsprobleme

Für die Auswertung sind die Korrekturfaktoren  $K_1$  und  $K_2$  zu bestimmen.  $K_1$  wird aus dem Abstand des Fremdgeräuschpegels zum Produktgeräusch ermittelt. Hier ergibt sich das Problem, dass vor allem bei den kleineren Drohnenmodellen der Abstand nicht groß genug ist. Hintergrund ist der vorgegebene Radius in [3] Anhang F. Dieser Anhang wurde ursprünglich zur Messung von Baumaschinen entwickelt. Die kleinste Option von  $r = 4$  m ist für Drohnen unter 4 kg meist zu groß gewählt und verursacht ein ungünstiges  $K_1$ . Folglich unterscheidet sich das Drohnengeräusch dann zu wenig vom Hintergrundgeräusch.

Der Korrekturfaktor  $K_2$  kann in unserem Fall vernachlässigt werden. Wie die Ermittlung bei Messungen im Raum erfolgen soll, bleibt nach [1] freigestellt. [3] gibt im Anhang A verschiedene Möglichkeiten zur Bestimmung der Umgebungskorrektur an.

Um die für den garantierten Schallleistungspegel geforderten Unsicherheiten zu bestimmen, sind ein Erweiterungsfaktor  $k$  und weitere Unsicherheiten anzugeben. Diesbezüglich gibt es derzeit einen großen Spielraum, da in [1] keinerlei Angaben dazu gemacht werden. Nach bisherigen Erkenntnissen fehlt es an Voruntersuchungen, um geeignete Werte zu ermitteln. Es wäre denkbar, dass der Erweiterungsfaktor  $k$  durch den jeweiligen Hersteller mittels einer definierten Testreihe für Drohnen gleichen Bautyps bestimmt werden müsste und anschließend im Messprotokoll an-

gegeben wird. Eine Verpflichtung hierfür besteht bis dato jedoch nicht. In [3] Abschnitt 9.1 wird darauf hingewiesen, dass bei einem Vergleich des Schallleistungspegels mit einem Grenzwert ein Erweiterungsfaktor  $k = 1,6$  dB zweckmäßiger wäre. Da aber noch keinerlei Datenbasis existiert, ist diese Annahme nicht unterstützenswert. Ebenso verhält es sich mit der Unsicherheit  $\sigma_{R0}$ . Hier müssten große angelegte Ringversuche von verschiedenen Herstellern, Drohnenmodellen und Messinstituten durchgeführt werden um valide Ergebnisse zu erzeugen.

Durch die fehlenden eindeutigen Angaben dieser beiden Werte, haben die Hersteller die Freiheit, die gemessenen garantierten oder maximalen Schallleistungspegel in eine gewünschte Richtung zu korrigieren.

Eine weitere Diskontinuität in [1] besteht darin, dass der Begriff „maximaler Schallleistungspegel“ definitorisch nicht präzisiert wird. Hieraus ergeben sich zwei elementare Fragen: Soll der maximal erlaubte garantierte Schallleistungspegel, oder der maximal gemessene Schallleistungspegel angegeben werden und welcher Schallleistungspegel ist in den Messbereich aufzunehmen?

Weiterhin ist nicht ersichtlich, wie der angegebene maximale Schallleistungspegel ermittelt wurde oder welche Datenbasis ihm zugrunde liegt. Es ist bisher nicht bekannt, ob es diesbezüglich eine Analyse der existierenden Produkte gibt. Als Vorbild für die Teile 13 bis 15 von [1] galt die Outdoor-Richtlinie 2000/14/EG [2]. Die dort angegebenen Geräuschgrenzwerte basieren aber auf vielfältigen Voruntersuchungen [6,7]. Diese Untersuchungen wurden im Vorhinein von der Europäischen Kommission finanziert, um dessen Ergebnisse als Grundlage zur Setzung von Maximalpegeln heranzuziehen.

## 6 Fazit

Obwohl die gemessenen Drohnenmodelle die definierten Grenzwerte (soweit möglich) einhalten, gibt es dennoch einige offene Fragen, die einer Klärung bedürfen.

Allgemein lässt sich betonen, dass es bisher zu wenige Untersuchungen gibt, die sich mit Drohnengeräuschen und deren Minderung beschäftigen. Die EU-Verordnung 2019/945 [1] kann daher als ein erster Schritt zur Verringerung der physikalischen Lärmbelastung durch Drohnen angesehen werden. Dazu sollte sie jedoch in den angesprochenen Punkten optimiert und eine Datenbasis evaluiert werden. Darüber hinaus ist das Verfahren aus dieser Verordnung nicht ausreichend, um das volle Ausmaß der Lärmwirkungen von Drohnen, wie zum Beispiel die Belästigung, zu bewerten. Diese wird durch verschiedene akustische und nicht-akustische Faktoren beeinflusst, die weiterhin zu untersuchen sind.

Meist beziehen sich die Angaben aus den Literaturquellen nur auf Drohnen der Bauform Multikopter. Erforderlich wäre jedoch eine breiter aufgestellte Datenbasis und eine standardisierte Messpraxis, die auch andere Bauformen und Konfigurationen miteinbezieht. Das Emissionsmodell sollte zudem zwischen unterschiedlichen Betriebszuständen, wie z. B. Schweben, Steigen, Sinken und Horizontalflug mit „typischer“ Vorwärtsgeschwindigkeit, unterscheiden. Gerade die unterschiedlichen Betriebszustände weisen in der Praxis verschiedene Geräuschcharakteristiken auf, die nicht miteinander vergleichbar sind. Der Schwebeflug ist im Vergleich zu anderen Betriebszuständen leiser [8] und für die meisten Anwendungen realitätsfern. Jedoch widerspricht diese Tatsache Abschnitt 6.6 aus [3]. Dort wird vorgegeben, dass das Messobjekt unter Bedingungen gemessen werden muss, die für die lauteste Betriebsart bei normaler Verwendung repräsentativ sind.

So wie die Entwicklung der Drohnen noch lange nicht abgeschlossen ist, muss auch der Standardisierungs- sowie Rechtsrahmen weiterentwickelt, angepasst und erprobt werden, um angemessene Vorgaben und Richtlinien für den Betrieb von Drohnen zu schaffen. Umwelt- und Lärmschutz spielen (noch) eine untergeordnete Rolle, sollten aber zukünftig stärker berücksichtigt werden. ■

#### Literatur

- [1] Delegierte Verordnung (EU) 2019/945 der Kommission vom 12. März 2019 über unbemannte Luftfahrzeugsysteme und Drittlandbetreiber unbemannter Luftfahrzeugsysteme. OJ L 152, 11.6.2019, p. 1-40. ISSN 1977-0677.
- [2] Richtlinie 2000/14/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Mai 2000 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über umweltbelastende Geräuschemissionen von zur Verwendung im Freien vorgesehenen Geräten und Maschinen. OJ L 162, 3.7.2000, p. 1-78. ISSN 0378-6988.
- [3] ISO 3744:2010:2010-10. Acoustics – Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure – Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane. ICS 17.140.01.
- [4] Delegierte Verordnung (EU) 2020/1058 der Kommission vom 27. April 2020 zur Änderung der Delegierten Verordnung (EU) 2019/945 hinsichtlich der Einführung von zwei neuen Klassen unbemannter Luftfahrzeugsysteme. OJ L 232, 20.7.2020, p. 1-27. ISSN 1977-0677
- [5] DIN EN 4709-001:2021-08. Entwurf, Luft- und Raumfahrt – Unbemannte Luftfahrzeugsysteme – Teil 001: Anforderungen und Prüfverfahren; Englische Fassung prEN 4709-001:2021. ICS 49.020.
- [6] ODELIA (OutDoor Equipment Noise Limit Assessment). Final Study Report for European Commission Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs Tender No 414/PP/ENT/119427. link: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/18281/attachments/1/translations/>
- [7] Preparatory study on the environmental performance of residential room conditioning appliances (aircon and ventilation). Draft report of Technical Analysis of existing Products. TREN/D1/40-2005/LOT10/S07.56606. link: [https://circabc.europa.eu/sd/a/773b634f-9e34-444c-9406-3693982e00b3/v%20\\_%20final%20report.pdf](https://circabc.europa.eu/sd/a/773b634f-9e34-444c-9406-3693982e00b3/v%20_%20final%20report.pdf)
- [8] Treichel, J.; Körper, S.: Untersuchung der Geräuschemission von Drohnen. Lärmbek.: Zeitschr. f. Akustik, Schallschutz und Schwingungstechnik, Springer VDI, Jahrgang 2019, Heft 4, pp. 108-114, ISSN 1863-4672



**Julia Treichel**

FG I 2.4 „Lärminderung bei Anlagen und Produkten, Lärmwirkungen“ Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

Foto: Autorin



**Jan Foerster**

Fachgebiet Flugführung und Luftverkehr, Technische Universität Berlin.

Foto: Autor



**Joonas Lieb**

**Andreas Volkert**

Institut für Flugführung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V., Braunschweig.

Foto: Autor



Beim Dega-Symposium erneuerbare Energien versammelten sich viele Lärmschützer. Foto (Beispielbild): PantherMedia / kasto

# Bericht vom DEGA-Symposium Erneuerbare Energien und Lärmschutz

*Christian Beckert, Christian Popp, Dirk Schreckenberg*

**D**as 15. DEGA-Symposium fand am 14. und 15. November 2022 in der Hessischen Landesvertretung in Berlin statt. Das ansprechende Tagungsambiente und die perfekte Organisation durch die DEGA-Geschäftsstelle sorgten für einen reibungslosen Verlauf dieser Präsenzveranstaltung mit insgesamt ca.

150 Teilnehmerinnen und Teilnehmern aus Forschung, Industrie, Verwaltung und dem Kreis der Betroffenen. Inhalt des ersten Tages war die Akustik von Energieanlagen in der Gebäudetechnik. Der zweite Tag richtete den Fokus auf Windenergieanlagen. Die inhaltliche Koordination lag in den Händen des Vizepräsidenten Stefan Becker, der dabei vom Arbeitsring Lärm sowie auch von den Fachausschüssen

„Bau- und Raumakustik“, „Fahrzeugakustik“ und „Lärm: Wirkungen und Schutz“ unterstützt wurde.

## **Tag 1: Akustik von Energieanlagen**

Eröffnet wurde das Symposium vom Mitglied des DEGA-Vorstandes *Christian Koch*, da *Stefan Becker* an der Teilnahme

gehindert war. Die Leiterin der Hessischen Landesvertretung, Frau *Bernadette Droste*, betonte in ihrem Grußwort die Notwendigkeit, dass die Transformation der Energiebereitstellung weg von fossilen Brennstoffen gelingen muss, was nur gelingen kann, wenn die Politik die Bürgerinnen und Bürger mitnimmt. Daher sind die Vorbehalte gegen Nebenwirkungen, wie die Geräuschbelastung durch Luft-Wärme-Pumpen oder Windenergieanlagen sehr ernst zu nehmen, und die technischen Möglichkeiten zur Geräuschminderung auszuschöpfen. Sie wünschte der Tagung ein erfolgreiches Voranschreiten in dieser Richtung.

In seinem Beitrag **„Strömungsinduzierte Schallentstehung im Betrieb von Wärmepumpen“** beschrieb *Felix Czwiolong* (Friedrich-Alexander-Universität, Erlangen) sehr anschaulich seine Erfahrungen mit Strömungsschall aus Klimaanlage, Kälteaggregaten, Lüftungen und Luft-Wärmepumpen. Als Quelle der Schallentstehung muss die Kombination aus Ventilator und Wärmetauscher betrachtet werden, da sowohl am Axialventilator (hier an der Vorderkante, der Hinterkante, der Blattspitze und durch instationäre Schaufelkräfte) als auch der durchströmte Wärmetauscher zur Geräuschemission beitragen. Der Beitrag von Axialventilatoren lässt sich gut in Frequenzspektren erkennen. Die Schallabstrahlung ändert sich im Zusammenwirken mit dem Wärmetauscher (sogenannter Installationseffekt). Dabei bestimmt das induzierte Strömungsfeld von Wärmeüberträgern die Schallabstrahlung des Systems, d.h. über eine Optimierung der Zuströmbedingungen lässt sich die Schallabstrahlung mindern. Die Auswirkungen der Änderung verschiedener Größen (Geometrie des Wärmeübertragers, Übergang zum Ventilator, Durchmesser und Anzahl der Kühlmittelrohre, Lamellengeometrie und -abstand) wurden experimentell und numerisch untersucht. In der Diskussion der Ergebnisse wurde deutlich, dass theoretisch eine Reihe von Möglichkeiten zur Geräuschminderung bestehen, denen jedoch andere Anforderungen an die Luftwärmepumpen (Baugröße, fertigungstechnischem Aufwand) entgegenstehen.

In dem Vortrag **„Wärmepumpen aus industrieller Sicht“** zeigte *Jürgen Herbst* (Bosch Thermotechnik GmbH, Wernau) eindrucksvoll, wie weit in den vergangenen 15 Jahren die Geräuschemission von

auf dem Markt verfügbaren Luft-Wärmepumpen gesenkt werden konnte. Zugleich vervierfachte sich der Absatz von Luft/Wasser-Wärmepumpen in Deutschland von 2015 bis 2021 auf rund 120 000 Geräte. Aktuell stellen Geräte mit einem Schalleistungspegel bis zu 50 dB(A) den Stand der Technik dar. Vier Trends dominieren dabei das Marktgeschehen in Deutschland bzw. Europa. Das sind neben der Minderung der Geräuschemission die Nutzung alternativer Flüssigkeiten für die Wärmeübertragung, die Einbindung der Geräte in ein Energiemanagementsystem für Gebäude und die Erhöhung der Vorlauftemperatur. Im Vortrag wurden die heterogenen rechtlichen Anforderungen an technische Geräte in Europa als Problem genannt, wobei in Deutschland, Österreich, der Schweiz und Dänemark die strengsten Anforderungen bestünden. Daran schloss der Vortragende eine Kritik an der TA Lärm an. Nach seinen Vorstellungen solle die Psychoakustik zur Bewertung von Wärmepumpengeräuschen herangezogen werden (Lästigkeitsmodell). Leider verwies der Vortragende lediglich auf den Schallrechner des Bundesverbandes Wärmepumpen, aber nicht auf den LAI-Leitfaden zur Verbesserung des Schutzes gegen Lärm bei stationären Geräten (siehe auch <http://lwppapp.webyte.de/#/einfuehrung>).

Unter dem Titel **„Akustische Optimierung und Bewertung von Wärmepumpen“** stellte *Hark Braren* (Institut für Hörtechnik und Akustik der RWTH Aachen) mit der Koautorin *Lara Stürenburg* das LowNoise Verbundprojekt zwischen Forschung und Industrie vor. Ziel ist eine ganzheitliche Betrachtung der Akustik einer Luft-Wasser-Wärmepumpe, wobei von der akustischen Vermessung einer typischen Luft-Wärme-Pumpe (hier wurde allerdings ein recht lautes Gerät mit einem Schalleistungspegel von 60 dB(A) gewählt) über die Simulation des Aufstellungsortes zur Auralisierung zur Verwendung in Hörexperimenten (perzeptive Evaluierung) gegangen wird. Untersucht wurde die Wechselbeziehung zwischen dem physikalischen Schallereignis, beschrieben durch physikalische Parameter (Lautstärkepegel, Frequenz, Zeitdauer etc.), und dem subjektiven Hörereignis, beschrieben durch psychoakustische Parameter (Lautheit, Schärfe, Tonhaltigkeit, Rauigkeit, Schwankungsstärke etc.), wobei sich Rauigkeit und Tonhaltigkeit als interessante Parameter herausstellten.

Nächste Schritte sind nun eine Transferpfad-Analyse zur Analyse auf Geräteebene sowie eine Simulation des Aufstellungsortes zur perzeptiven Evaluation in Hörversuchen.

In seinem Vortrag **„Auditive Wahrnehmung und Beurteilung von Wärmepumpengeräuschen“** kam *Ercan Altinsoy* (Technische Universität Dresden) zu folgenden Feststellungen:

- Die geringste Lästigkeit geht von quasi-stationären relativ leisen Geräuschkomponenten aus.
- Zeitlich veränderliche Geräuschkomponenten werden als lästiger wahrgenommen.
- Lautheit und Tonhaltigkeit sind wichtige psychoakustische Parameter.
- Der Relative Approach ist eine geeignete Analyse für die zeitlich veränderlichen Signale.

Er bestätigte damit Ergebnisse der Lärmwirkungsforschung. Unter dem Titel **„Lärmwirkung von Wärmepumpen“** berichtete *Sarah Leona Benz* (ZEUS GmbH, Hagen) über die vom UBA vergebene Laborstudie, die ein Forschungskonsortium aus ZEUS GmbH, Möhler + Partner Ingenieure AG und Advanced Sleep Research GmbH ausführte. Durchgeführt wurden eine Schlafstudie (drei Untersuchungs-nächte mit verschiedenen Geräuschbedingungen, Polysomnographie) im Labor und eine Tagesstudie (zwei Geräuschbedingungen) mit 40 Probandinnen und Probanden. Simuliert wurden charakteristische Geräuschsituationen im Innenraum als Geräuschszenarien aus realen LWP-Geräuschaufnahmen mit unterschiedlichen Betriebszuständen.

Die Schlafstudie ergab zwischen den Untersuchungs-nächten keine signifikanten Unterschiede der Schlafparameter bezogen auf eine ganze Nacht, jedoch signifikante Unterschiede in der Häufigkeit lärmassoziierter Arousals (im Sinne von kurzzeitigen Weckreaktionen unter 5 Sekunden) zwischen den Geräusch-nächten mit (simulierter) gekippter vs. geschlossener Fensterstellung: Höhere Anzahl lärmassoziierter Arousals bei simulierter gekippter Fensterstellung (und damit „lauteren“ Pegeln). Die Tagesstudie zeigte signifikante Unterschiede zwischen der Ruhebedingung und der Geräuschbedingung hinsichtlich Lärmbelästigung, Konzentrationsschwierigkeiten und Stimmung (→ höhere Beeinträchtigungen bei der Geräuschbedingung), aber keine signifikanten Unterschiede für die physiologi-

schen Parameter (Blutdruck und Herzfrequenz). Bestimmte Aspekte der Geräusche (ausblendbar, dröhnend, pfeifend, röhrend, tonhaltig) spielten eine wesentliche Rolle für die Lärmbelästigung.

In der Präsentation „**Geräuschkonflikte mit genehmigungsfreien Anlagen**“ stellte *Christian Eulitz* (Möhlner + Partner Ingenieure AG, München) an drei Beispielen dar, dass der Betrieb von nicht nach Bundesimmissionsschutzgesetz genehmigungsbedürftigen Geräten (Betrieb genehmigungsfreier stationärer Anlagen (Luftwärmepumpen, Klimaanlage, Heizungen)) trotz Einhaltung der Anforderungen der TA Lärm zu Lärmkonflikten führte. Derartige Konflikte beschäftigen zunehmend die Sachverständigen. Sie sind erfahrungsgemäß zeit- und kostenintensiv (Quellortung, Handlungsoptionen, Maßnahmen, Rechtsstreitigkeiten usw.) und verlaufen häufig ohne ein von den Lärmbetroffenen gewünschtes Ergebnis. Leider wurde in der Diskussion nicht vertieft, ob – wie vom Vortragenden genannt – rechtliche Regelungen zur Konfliktvermeidung möglich bzw. zielführend sind.

## Tag 2: Windenergieanlagen (WEA)

*Felix Czwielong* (in Vertretung von *Stefan Becker*) von der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen stellte in einem **Übersichtsvortrag** die grundlegenden technischen und akustischen Emissions-eigenschaften (akustische Quellterme und Strömungsschall) von horizontal- und vertikalachsigen WEA mit entsprechenden Schallminderungsmaßnahmen vor. Detaillierte numerische Aeroakustik-Untersuchung (CAA – Computational Aeroacoustics) mit hoher und räumlicher Auflösung an einer realen WEA sind derzeit nicht möglich, so dass auf segmentierte Ansätze zurückgegriffen werden muss. Entsprechende Untersuchungsmethoden mit ihren Vor- und Nachteilen wurden erläutert.

*Ralf Schelenz* von der RWTH Aachen zeigte in seinem Vortrag „**Maschinenakustische Anregungen bei WEA**“ Möglichkeiten der Schallminderung im Rahmen einer dynamischen Quellenanalyse der aerodynamischen, mechanischen und elektrischen Systeme von WEA auf. An einem Beispiel stellte er die akustischen Vorteile der 4/P-Lagerung gegenüber der 3/P- und Integrierten Lagerung beim Antriebstrangdesign vor. Minde-

rungserfolge können am Windenergieprüfstand seiner Einrichtung messtechnisch nachgewiesen werden.

Unter dem Titel „**Genaue Berechnungsverfahren vs. Abschätzungsverfahren für die Schallausbreitung von WEA**“ präsentierte *Tobias Bohne* von der Universität Hannover anhand von Kriterien hinsichtlich der atmosphärischen Schallausbreitung den Vergleich von analytischem Verfahren (am Beispiel der Norm DIN 9613-2) zu numerischen Verfahren (parabolische Gleichungen). Die Verfahren erfüllen unterschiedliche Kriterien und haben je nach Aufgabenstellung ihre Berechtigung. Hinsichtlich des behördlichen Handelns ist die Norm DIN 9613-2 derzeit alternativlos. Für die Wissenschaft und die WEA-Entwicklung sind die numerischen Verfahren – trotz geringer Transparenz und hoher Anforderungen bei der korrekten Handhabung geeigneter Eingangsparameter zur Simulierung topografischer und meteorologischer Bedingungen bei der Schallausbreitung – besser geeignet. Die Validierung der Berechnungsergebnisse, deren Auswertung noch aussteht, erfolgte im Rahmen von fünf Messkampagnen an drei WEA-Standorten in Norddeutschland.

Im Rahmen seines Vortrages „**Vermessung der Emission von WEA**“ stellte *Christian Koch* von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt Messungen von Infraschall an zwei sehr unterschiedlichen WEA mittels einer zur Minimierung des Windeinflusses eigens entwickelten Zwei-Mikrofonmethode mit Mikrofonen und Mikrobarometern vor. An die Messtechnik von Infraschall sollten zukünftig besondere Anforderungen gestellt werden, wie z. B. die Messung mit vor Ort kalibrierbaren Sensoren und Geräten. Die Kalibrierung muss „rückführbar“ auf ein primäres (nationales) Normal sein. Der Vortragende betont, dass Defekte wie kleinste Löcher in der Membran von Mikrofonen für Infraschallmessungen sehr leicht übersehen werden, sie jedoch zu großen Messfehlern im Infraschallbereich führen. Ein normaler Kalibrator hilft nicht bei der Fehlererkennung.

Zur Thematik „**Infraschall und tieffrequenter Schall bei WEA**“ im Rahmen des Projektes „InterWind“ berichtet *Esther Blumendeller* von der Universität Stuttgart über Untersuchungen der Bodenbewegungen- (Seismik) und

Schall-Immissionen am Windpark Tegelberg. An vier Immissionsorten in der Stadt Kuchen wurden Messungen durchgeführt. Hinweise auf Belastungen durch hörbaren WEA-Schall konnten zwar gefunden werden, jedoch nicht durch nicht-hörbaren Schall (Infraschall). Die Pegel der Bodenbewegungen, die sich von den WEA ausbreiten, lagen deutlich unterhalb der Spürbarkeitsschwelle. Die durch den Zugverkehr verursachten Bodenbewegungen sind im Ort bei den Anwohnenden stärker als die, die mit den WEA in Zusammenhang stehen. Auch der außerhalb und in den Häusern gemessene tieffrequente und Infraschall lag sehr deutlich unterhalb der Wahrnehmungsschwelle (gemäß Entwurf DIN 45680-2013). Im hörbaren Frequenzbereich lassen sich Schallimmissionen nachweisen. Im geschlossenen Innenraum lassen sich kaum Unterschiede in den Schallimmissionen zwischen laufenden und stillstehenden WEA feststellen.

Im Außenbereich kommen diese Unterschiede etwas deutlicher zum Tragen und die Immissionen fallen insgesamt höher aus als im Innenraum. Die Umgebungsgeräusche machen einen Großteil der messbaren Immissionen im Außenbereich aus, insbesondere Zugsignale lassen sich sehr deutlich feststellen. Bei den Befragungen der Einwohner kam eine App zum Einsatz. Eine weitere Messkampagne läuft derzeit an.

Die interdisziplinären Untersuchungen hinsichtlich der **Lärmwirkungen von WEA auf Anwohner** im Rahmen des Projektes „Inter-Wind“ wurden durch *Florian Müller* von der MSH Medical School Hamburg vorgestellt. In Ergänzung bereits vorgestellter Messungen (s. Präsentation von *Esther Blumendeller*) wurden u.a. Befragungen auf Basis vorheriger Studien zu Stresseffekten von WEA und Telefoninterviews (~ 45 min; 311 Items; n = 148) durchgeführt. Eine WEA-Lärm-Melde-App (46 Nutzer) mit zeitgleichen objektiven Messungen kam zur Anwendung. Die Auswertung der bisherigen Ergebnisse lässt darauf schließen, dass auch ohne besonders hohe Schalldruckpegel eine Belästigung durch hörbaren Schall möglich ist. Schalldruckpegel und Distanz zu den WEA alleine geben keine ausreichende Erklärung für eine Belästigung ab. Die interdisziplinäre Analyse zeigt, dass eine Belästigung in Abhängigkeit

vom Drehzahlmuster der WEA (konstant hoch bzw. mit hoher Variabilität) auftritt. Die Kombination subjektiver & objektiver Daten ermöglicht ein umfassendes Verständnis der Belästigungssituation. Die Validierung durch Minderungsmaßnahmen soll sich anschließen. Die Ergebnisse von **Immissionsuntersuchungen von WEA auf der Basis von Langzeitmessungen** stellte *Sebastian Schmitter* von der Firma deBAKOM GmbH aus Odenthal vor. Die Firma deBAKOM kann auf eine große Erfahrung im Bereich von akustischen Langzeitmessungen zurückgreifen. Der Anteil an Immissionsmessungen an WEA nimmt seit Jahren aufgrund von messtechnischen Schwierigkeiten stetig ab (Windflanke, Windrichtung, Regen, Vorhersehbarkeit). Langzeitmessungen sind von den Problemen der Stichprobenmessungen größtenteils nicht betroffen und stellen daher ein ideales Mittel für die Erfassung der Immissionen dar. Unter Berücksichtigung von Nächten mit stabiler thermischer Schichtung und den damit einhergehenden geringen bodennahen Windgeschwindigkeiten, konnte in der Vergangenheit konservativ auch bei Nenndrehzahl der Anlagen immer auf eine Fremdgeräuschkorrektur verzichtet werden. Die Messungen zeigen die bereits hinlänglich bekannte Richtcharakteristik von WEA (Uppenkamp-Studie 2014) auf. Hierdurch lagen, wie es zu erwarten ist, alle bis dato durchgeführten Messungen unterhalb der Prognose nach Interimsverfahren, da eine Langzeitmessung entsprechend TA Lärm alle Windrichtungen berücksichtigen kann. Ein Vergleich von zwei Messungen einer Langzeitmesskampagne weist zudem auf die Unsicherheit einer Stichprobenmessung hin. Bei nahezu identischen Bedingungen konnte mit Abstand von weniger als 14 Tagen ein Unterschied im Beurteilungspegel von 2,0 dB festgestellt werden, der auf meteorologische Einflüsse zurückzuführen ist. Dies begründet auch, warum eine Langzeitmessung bei den Anwohnenden auf eine deutlich erhöhte Akzeptanz trifft als eine einmalige Stichprobenmessung.

Einen aktuellen Überblick zum **Vollzug des Immissionsschutzrechts bei der Planung und Standortwahl von Anlagen der erneuerbaren Energien**, insbesondere von Wärmepumpen und WEA, gab *Sven-Oliver Wessolowski* vom

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität des Landes Rheinland-Pfalz. Für lärmrelevante stationäre Anlagen und Geräte in Wohngebieten, wie z. B. Wärmepumpen, gibt es in der Regel kein Zulassungsverfahren und die TA Lärm als Regelungs- und Beurteilungsinstrument zeigt sich in der Praxis als nur bedingt geeignet, Lärmkonflikte zu lösen oder zu vermeiden. Mit dem geplanten Zubau von Wärmepumpen im Zuge der Wärmewende ist mit einer entsprechenden Zunahme von Lärmkonflikten zu rechnen. Beim Schallimmissionsschutz in Zusammenhang mit WEA hat sich die TALärm grundsätzlich bewährt. Der geplante Zubau in Verbindung mit Verfahrenserleichterungen und die Abschwächung der materiellen Genehmigungsvoraussetzungen, wie z. B. durch den § 16b BImSchG, werden zwangsläufig das Konfliktpotential erhöhen und die Vollzugsbehörden vor große Herausforderungen stellen. Maßnahmen zur Bewältigung der Energiekrise, wie z. B. § 31k BImSchG, bergen die Gefahr, die Akzeptanz für erneuerbare Energien und Vertrauen nachhaltig zu schädigen. Sie sollten keinesfalls über den mit der Gesetzesnovelle festgeschriebenen Termin (15. April 2023) bestehen bleiben.

Über die **Umsetzung des Schallimmissionsschutzes bei WEA in der Behördenpraxis** referierte *Monika Agatz* vom Kreis Borken/NRW. Mit Anwendung der DIN 61400-11 ed. 3.1 und mit der Novellierung der Technischen Richtlinie TR1 – Bestimmung der Schallemissionswerte – der Fördergesellschaft Windenergie und andere Dezentrale Energie (FGW e.V.) als Revision 19 ist eine gute Anpassung an die Gegebenheiten und Erfordernisse moderner WEA gelungen. Sie merkte kritisch an, dass Ausbreitungsrechnungen nach dem Interimsverfahrens für moderne WEA keine wesentliche Verbesserung für den Immissionsschutz brächten. Für WEA z. B. mit Nabenhöhe von 130-160 m der Beurteilungspegel im interessierenden Entfernungsbereich bis 700 m nach Interimsverfahren kleiner oder ungefähr gleich dem Beurteilungspegel des Alternativen Verfahrens der DIN ISO 9613-2 mit Einzahlkenngröße. Bei einer Nabenhöhe von 200 m wächst dieser Abstand auf 1000 m an. Die frequenzselektive Berechnung ist bei WEA extrem aufwendig und unpraktikabel, da z. B. der Betriebszu-

stand, der die höchsten Beurteilungspegel erzeugt, aufgrund der Datenlage nicht unmittelbar zu erkennen ist. Die Vortragende plädiert für eine Rückkehr zur Berechnung mit einer Einzahlkenngröße (unter Beibehaltung des Entfallens der Bodendämpfung).

Dies wäre für alle Beteiligten eine Entlastung ohne Schutzniveauperlust. Die Berechnung bei 500 Hz ist für WEA konservativ und damit immissionsschutzrechtlich vorteilhaft. Wird ein konservativer Ansatz als unverhältnismäßig angesehen, lässt sich dies, z. B. durch die Definition einer WEA-spezifischen Einzahlkenngröße für den Luftabsorptionskoeffizienten, lösen. Bei der Überarbeitung der ISO 9613-2 und der Erstellung von VDI 4101/Bl. 2 müssen die Anforderungen bei deren Anwendung in Verwaltungsverfahren beachtet werden. Im Fazit kam sie dennoch zu dem Ergebnis, dass sich das Bewertungssystem der LAI-Hinweise bisher bewährt habe. Im Vergleich zur Verwaltungspraxis bei anderen BImSchG-Anlagen gewährleiste es für WEA einen deutlich höheren Standardisierungsgrad und ein deutlich höheres Schutzniveau.

Bei der aktuell laufenden Überarbeitung der ALD-Veröffentlichung **Energiewende & Lärmschutz** (ALD Schriftenreihe Band 2/2016) werden die durch die Vortragenden präsentierten vielschichtigen Erkenntnisse Berücksichtigung finden. Die Präsentationen des Symposiums sind unter [www.dega-akustik.de/15-symposium](http://www.dega-akustik.de/15-symposium) verfügbar. Das Passwort zum Öffnen der Folien kann jederzeit bei der DEGA-Geschäftsstelle angefragt werden. ■

---

**Dr. Christian Beckert**  
ALD-Vorsitzender, Magdeburg  
[c.beckert@ald-laerm.de](mailto:c.beckert@ald-laerm.de)

**Hermann Lewke**  
ALD-Mitglied  
[ald@ald-laerm.de](mailto:ald@ald-laerm.de),

**Christian Popp**,  
Vorsitzender des Beirats der LÄRMKONTOR GmbH, Hamburg  
[c.popp@ald-laerm.de](mailto:c.popp@ald-laerm.de)

**Dr. Dirk Schreckenber**  
ZEUS GmbH, Hagen  
[d.schreckenber@ald-laerm.de](mailto:d.schreckenber@ald-laerm.de)



**Bild 1** Kleinstes RIC-Akku-Hörsystem für bestes Verstehen in lauter Umgebung – GN erweitert Hörsystem-Familie ReSound OMNIA um attraktive Bauformen. Foto: GN Hearing

## Kleinstes RIC-Akku-Hörsystem für besseres Verstehen in lauter Umgebung

Die „Königsdisziplin“ des guten Hörens, das Verstehen von Sprache in lauter Umgebung, meistert es in zuvor unerreichter Weise: Zu den jetzt vorgestellten Modellen gehören sowohl Lösungen, die hinter dem Ohr getragen werden, als auch maßgefertigte Im-Ohr-Systeme. Ein Highlight der Neuheiten ist das ReSound OMNIA im miniRIE-Gehäuse. Mit ihm präsentiert der weltweite Innovationstreiber für audiologische Technik sein bislang kleinstes wiederaufladbares Receiver-in-Canal-Hörsystem (RIC). Hörsysteme nutzen und dennoch nicht gut verstehen? Das ist keinesfalls die Ausnahme. Laut aktueller Studie berichten 86 Prozent aller Hörgeräteträger von Schwierigkeiten beim Sprachverstehen in lauter Umgebung. Ein deutliches Plus beim Verstehen im Störlärm wird hingegen der neuartigen Technologie des ReSound OMNIA bescheinigt. Bei ihm ist es Hersteller GN Hearing gelungen, zwei entscheidende Vorteile miteinander zu verbinden: einerseits eine enge, auf den Gesprächspartner ausgerichtete Wirkung beim Hören in lauter Umgebung; andererseits omnidirektionales Hören. „Der Träger kann sich jederzeit auf das konzentrieren, was ihn interessiert, zugleich jedoch erlebt er den akustischen Raum; er fühlt sich nicht wie abgeschnitten“, erläutert Christian Lücke, Geschäftsführer der Fa. GN Hearing für Deutschland, Österreich und die Schweiz. „Ob Party, Meeting oder Restaurant – verglichen mit unseren anderen aktuellen Lösungen wird beim ReSound OMNIA in anspruchsvollen Hörsituationen bis zu 150 Prozent mehr Sprachverstehen erreicht; dieses Plus wird von Nutzern vielfältig bestätigt.“ Zur jetzt vorgestellten Erweiterung zählen attraktive Im-Ohr- und Hinter-dem-Ohr-Bauformen für unterschiedlichste Kundenwünsche. Eine herausragende Neuheit ist das bislang kleinste wiederaufladbare Ex-Hörer-System des Herstellers: Das ReSound OMNIA miniRIE besticht durch sein dezentes, elegantes Design, das mit keinerlei Abstriche in der Klangqualität einhergeht. Die abgerundete Gehäuseform sichert besten Tragekomfort. Eine Akkulaufzeit hält zuverlässig den ganzen Tag. Telefonate, Musik und jeder andere Sound werden in bester Qualität auf die Ohren gestreamt. Ab iPhone 11 kann Hands-Free-Telefonie genutzt werden. „Mit den zusätzlichen Bauformen bieten wir dem Hörakustik-Fachhandel die Chance, noch mehr Kunden mit unserer wegweisenden Technologie zu versorgen“, so Christian Lücke abschließend. „Und das mit einem Hörsystem, das auch mit Blick auf Akku-Technik und Konnektivität Maßstäbe setzt, und das sich jetzt mehr denn je auf individuelle Wünsche anpassen lässt.“ Zeitgleich zu den neuen Bauformen stellt die GN Hearing entsprechende zusätzliche Modelle der Produktfamilie Beltone Achieve vor. In Deutschland bietet GN regionalen Hörakustik-Partnern das komplette Beltone Sortiment als exklusive Fachhandelsmarke an.

<https://www.resound.com>

## Güterbahnen sind deutlich leiser geworden

Dröhnende Motoren, Hupen, Rattern – Lärm nervt, egal von welchem Verkehrsmittel er ausgeht. Auch ein Güterzug gleitet nicht gerade elfengleich übers Gleis. Das lässt sich ändern. Die gute Nachricht ist: Der Lärm von Güterzügen geht zurück – und das, obwohl die Züge im Schnitt immer länger werden! Das ist nicht etwa die subjektive Wahrnehmung von Allianz pro Schiene-Ohren, sondern das belegen Messwerte des Eisenbahn-Bundesamtes. Von 2019 bis 2021 ist der gemittelte Lärmpegel von 72,6 auf 68,5 dB gesunken. Zu verdanken haben wir das einem Gesetz, das es verbietet, laute Güterwaggons in Deutschland einzusetzen. Es gilt seit Dezember 2020 und wird weitestgehend eingehalten. Nur 0,3 Prozent der vom Eisenbahnbundesamt überprüften Güterzüge waren nicht so leise wie nötig unterwegs. Wir freuen uns sehr, denn wir haben jahrelang mit Betroffenen und Verursachern des Lärms Wege gesucht, wie man Güterzüge leiser machen kann. Ein schöner Teilerfolg, aber bis zum Flüsterzug bleibt noch ein bisschen was zu tun.

[www.allianz-pro-schiene.de](http://www.allianz-pro-schiene.de)

# Herausforderungen bei der Planung von Eingangsbereichen: Personenfluss, Nutzerverhalten und Vorgaben beachten

Soll ein neues Gebäude entstehen, müssen Planer und Architekten einiges bedenken. Allein der Eingangsbereich erfordert eine gründliche Planung, die nicht nur die Vorstellungen und Wünsche des Auftraggebers berücksichtigt, sondern auch allen Anforderungen des Gesetzgebers hinsichtlich Brandschutz, Fluchtwegen oder Barrierefreiheit gerecht werden muss. Welche Herausforderungen es zu bewältigen gilt und wie Lösungen dafür aussehen können, erläutern Dipl.-Ing. (FH) und Freier Architekt Erik Schaufelberger von Schaufelberger Architekten und Thomas Lehnert, Business Solutions Manager bei GEZE, im Interview.

## Was sind typische Herausforderungen bei der Planung von Eingangsbereichen?

*Erik Schaufelberger:* Zuerst einmal müssen wir uns bei der Planung immer fragen: Wie wird das Gebäude genutzt? Ist es rund um die Uhr geöffnet oder nur zu begrenzten Zeiten? Wie viele Personen nutzen täglich den Eingangsbereich? Und kommen diese Personen alle auf einmal oder über den Tag verteilt?

*Thomas Lehnert:* Richtig, denn je nach Personenanzahl und -strömen entscheidet sich, welche Art von Tür geeignet ist. Wenn beispielsweise 500 Leute auf einmal aus einer Bahn aussteigen und durch eine Karusselltür ins Freie strömen wollen, funktioniert das nicht. Hier braucht es eine Schiebetür oder wenigstens eine automatische Drehtür. Außerdem ist es wichtig zu wissen, welche Menschen das Gebäude einmal nutzen werden. Menschen mit Rollatoren, Rollstühlen oder anderen körperlichen Einschränkungen haben spezielle Bedürfnisse. Wird die Tür auch als Wareneingang genutzt, durch den der Paketdienst große Pakete bringt, braucht die Tür eine gewisse Größe. Weitere Aspekte sind Fluchtwege und das Thema Barrierefreiheit.

## Letztere sind durch gesetzliche Vorgaben geregelt und oft sehr komplex. Welche Lösungen gibt es dafür?

*Thomas Lehnert:* Grundsätzlich entsprechen alle unsere Türen – Drehtür, Schiebetür oder Karusselltür – den gesetzlichen Vorgaben. Allerdings gibt es Türen und Türsysteme, die geeigneter oder weniger geeignet sind. Neben den Nutzergruppen und dem voraussichtlichen Personenstrom



**Thomas Lehnert (links) und Erik Schaufelberger (rechts)** Foto: Jens Willebrand, GEZE GmbH

müssen Planer auch die jeweiligen Vorgaben vom Gesetzgeber und der lokalen Baubehörden betrachten. Unsere Karusselltüren beispielsweise bedienen mit der Variante Breakout die Anforderungen an den Fluchtweg. Trotzdem haben sie dafür nur die allgemeine Eignung, die Zulassung im Gebäude muss von der jeweiligen Baubehörde vor Ort eingeholt werden.

*Erik Schaufelberger:* Barrierefreiheit ist bei unseren Auftraggebern, die oft aus dem öffentlichen Bereich kommen, ein ganz großes Thema. Wir müssen also fast immer bedenken, dass genug Bewegungsflächen und Möglichkeiten geschaffen werden, damit Personen mit körperlichen Einschränkungen und deren Hilfsmittel wie einem Rollstuhl oder einem Rollator die Türen bedienen beziehungsweise nutzen können. Eine Karusselltür erspart den Windfang und kann mit einer Drehtür kombiniert werden, um den Anforderungen der barrierefreien Nutzbarkeit gerecht zu werden.

## Bringen Karusselltüren denn Vorteile hinsichtlich Nachhaltigkeit und Energieeffizienz von Gebäuden?

*Thomas Lehnert:* Auf jeden Fall. Unsere Revo.PRIME beispielsweise ist durch die neuste Antriebstechnik besonders energiesparend. Sie verbraucht im Vergleich zum Vorgängermodell rund 30 Prozent weniger Energie. Aber auch ganz allgemein kann man sagen, dass Karusselltüren ein Plus an Nachhaltigkeit bringen. Sie halten den direkten Zugang zwischen innen und außen immer geschlossen. Es findet also kein Wärmeaustausch statt, wenn Nutzer das Gebäude betreten oder verlassen. Im Gegensatz zu anderen Türen ist dafür auch kein Windfang nötig. Zugluft ist ausgeschlossen, Schmutz, Wind, Lärm und dergleichen bleiben draußen. Gleichzeitig schaffen diese Aspekte mehr Komfort für den Eingangsbereich. Allerdings haben sie aufgrund der gebogenen Gläser einen eher ungünstigen U-Wert, der aber wiederum in der Gesamtbetrachtung der Fassade von größeren Gebäuden eher nicht ins Gewicht fällt. Der Flächenanteil einer Karusselltür im Vergleich zur Fläche der Gesamtfassade ist relativ klein, vielleicht ein oder zwei Prozent. Der vergleichsweise schlechte U-Wert des Bauteils Tür fällt also kaum ins Gewicht, die Auswirkung der Tür auf den U-Wert insgesamt ist verschwindend gering.

*Erik Schaufelberger:* Das stimmt. Der Gesetzgeber gibt Grenzwerte vor, die für die geschlossene Gebäudehülle gelten. Aber Türen sind nun mal dazu da, hindurchzugehen, insofern macht die ganze U-Wert-Thematik für Türen nach meinem Dafürhalten nur begrenzt Sinn. Trotzdem: Den Wärmeverlust von innen nach außen kann eine Karusselltür besser abfangen als eine Drehtür oder auch eine Schiebetür mit Windfang.

## Wenn Planer nun also vor allem energieeffiziente Gebäude bauen wollen oder müssen: Ist eine Karusselltür wie die Revo.PRIME dann zu empfehlen? Oder ist eher ein anderes Türsystem sinnvoll?

*Thomas Lehnert:* Das lässt sich nicht pauschal beantworten, sondern man muss immer die jeweilige Gebäudenutzung betrachten. Eine Karusselltür ist für eine hohe Besucherfrequenz immer sinnvoll, weil sich durch die Drehbewegung und Abschottung zwischen innen und außen der Energieverlust im Eingangsbereich deutlich reduzieren lässt. Da kann kein anderes Türsystem mithalten, das ist einfach der große Vorteil einer Karusselltür. Allerdings macht sie beispielsweise bei fünf Nutzungen am Tag keinen Sinn, dann empfehlen wir eine schlichte – und günstigere – Drehtür. Aber für ein Einkaufszentrum, Hotel oder für Geschäftsgebäude mit hoher Frequenz ist eine Karusselltür deutlich energieeffizienter. Nachhaltig ist gerade die Revo.PRIME auch beim Energieaufwand der Tür selbst: Dank ihrer neuen Antriebstechnik bewegt sie sich auf dem Niveau einer Schiebetür, und das trotz ihrer Größe und des schweren Drehkreuzes.

## Stichwort Personenfluss: Welche Faktoren spielen hier typischerweise eine Rolle?

*Thomas Lehnert:* Je nach Fokus muss dann die richtige Art von Tür ausgesucht werden. Wenn beispielsweise Leute von der Seite kommen, sollte eine Karusselltür etwas gedreht werden, damit ihre Öffnung zum Laufweg passt und nicht ständig die Sicherheitssensoren auslösen. Ist eine Tür bereits eingebaut, aber eben nicht optimal – zum Beispiel nicht im besten Winkel, gibt es Maßnahmen zur Problemlösung: Man muss gegebenenfalls die Sensoren neu einstellen. Alternativ könnte man, wenn es die Situation vor Ort zulässt, auch neben der Karusselltür noch eine Drehtür einbauen, um Engstellen aufzulösen.

## Sicherheitssensoren sind ja eine sinnvolle und notwendige Einrichtung. Aber mal ehrlich, es kann schon nerven, wenn die Tür ständig ungewollt stehen bleibt...

*Thomas Lehnert:* Stimmt! Das passiert leider oft, weil die Sensoren nicht richtig beziehungsweise nicht passend zur Nutzungssituation eingestellt sind. Auch

hier ist unsere neue Revo.PRIME der Problemlöser: Sie hat mit 1 000 Nm ein hohes Drehmoment. Das sorgt dafür, dass die Tür schnell und stark stoppt – aber auch schnell wieder anfährt. Der Vorteil: Dadurch sind die Sensoren so einstellbar, dass sie einen kleinen Erfassungsbereich haben. Gerade, wenn größere Personengruppen durch die Tür gehen, ist das von Vorteil, da die Sensoren nicht so schnell auslösen. Stoppt die Tür doch einmal, dreht sich die Revo.PRIME weiter, um den Personenfluss nicht zu behindern, sobald die Person wieder den Sensorbereich verlassen hat. Die Tür läuft also flüssiger, schneller und macht tendenziell weniger unbeabsichtigte Stopps. Zudem ist sie mit neueren laserbasierten Sensoren ausgestattet, die von der Technik her weniger störanfällig sind, weil sie sich nicht von Nässe, Sonneneinstrahlung oder Untergründen beeinflussen lassen. Das macht den Betrieb also insgesamt weniger störanfällig.

## Wie läuft denn der Prozess der Produktauswahl ab? Und ab wann sollten Experten für Eingangssituationen mit einbezogen werden?

*Erik Schaufelberger:* Welches Produkt und in welcher Größe, das entscheidet sich erst relativ spät nach der Baugenehmigung. Eingebaut wird außerdem nur, was wir schon in Leistungsphase 2 oder 3 im Plan haben. Das schafft es dann meist in Phase 5, die Ausführungsplanung und in die Ausführung. Tatsächlich hängt die Entscheidung, was eingebaut wird, daran, was wir entwerfen: Wenn wir eine Karusselltür an einer Stelle für richtig halten, ist es wichtig, diese Empfehlung schon in der Entwurfsplanung dem Bauherrn vorzustellen.

*Thomas Lehnert:* Das wäre dann auch der geeignete Zeitpunkt, um Experten wie uns von GEZE hinzuzuziehen: Sobald der erste Entwurf, die erste Idee des Gebäudes existiert. Leider kommen wir oft erst am Ende ins Spiel, wenn über das Türsystem bereits entschieden wurde. Da können wir dann nicht mehr viel beraten, sondern nur noch die Einbausituation und Einstellung der Sensoren optimieren. Am besten ist daher, uns zu involvieren, noch ehe die Ausschreibung erstellt beziehungsweise veröffentlicht wird. Ich kann Planern und Architekten nur empfehlen, frühzeitig die Beratung durch Experten zu suchen und unsere Erfahrung und Kompetenz nutzen! ■

[www.geze.de](http://www.geze.de)

## Neue Farbvielfalt

Um neben dem akustischen Effekt auch einen optischen Mehrwert zu bieten, hat die Firma SONATECH® aus Ungerhausen die Farbpalette ihrer ConceptLine- und Sky-Line-Serie erweitert. Zu den Akustikelementen der ConceptLine- und Sky-Line-Serie zählen stoffbezogene Wandelemente, Tischabtrennungen, Stellwände und Akustiksäulen. Für die handgefertigten Schallabsorber stehen nun 34 unterschiedliche Farbtöne zur Auswahl, wie beispielsweise Elfenbein, Goldbraun und Rubinrot. Durch die neue Farbvielfalt fügen sich die Absorber nahtlos in Räume ein oder sorgen sogar für Farbakzente in Firmenfarbe. Zusätzlich können diese als Pinnfläche genutzt werden.

[www.sonatech.de](http://www.sonatech.de)



Foto: SONATECH®

## Lebendiges Quartier Schillerpromenade in Berlin

Der Schillerkiez in Berlin liegt östlich des Tempelhofer Felds. Das Quartier ist ein Fördergebiet im Bundesländer-Förderprogramm „Lebendige Zentren und Quartiere“. Das Gutachten wurde auf einer Informationsveranstaltung im Bezirk Neukölln im Dezember präsentiert. Es basiert sowohl auf Messungen der Immissionspegel als auch auf der rechnerischen Prognose für zwei unterschiedliche Szenarien der Nutzung (Szenario A: Vollauslastung der Schankvorgärten und der Freiflächen, Szenario B: Schankvorgärten: 1/3 der Vollauslastung, Freiflächen: 1/10 der Vollauslastung). Im Einzelnen ergeben sich selbst für das Szenario B mit seinem geringen Personenaufkommen Überschreitungen der nächtlichen Immissionsrichtwerte (Allgemeines Wohngebiet: Beurteilungspegel 40 dB(A), Spitzenpegel 60 dB(A)) bis zu 25 dB(A) und der zulässigen Spitzenpegel bis zu 25,8 dB(A). Die Immissionsprognose wurde in einem Berechnungsmodell in der Software SoundPlan gemäß TA Lärm durchgeführt.

[www.ald-laerm.de](http://www.ald-laerm.de)



Hochspezialisierten Miniaturschwingungsanreger lassen sich in Bereichen realisieren, die das Anbringen eines Standardschwingungsanregers erschweren. Foto: Head acoustics / Qsources

## Neue strukturdynamische Analyse: Qsources Structural Excitation Solution Qlws

HEAD acoustics verbessert strukturdynamische Analysen durch die gezielte Kooperation mit dem belgischen Unternehmen Qsources: Mit einem hochspezialisierten Miniaturschwingungsanreger lassen sich Schwingungsanregungen in modalen und Transferpfadanalysen beispielsweise mühelos in Bereichen realisieren, die das Anbringen eines Standardschwingungsanregers erschweren. „Wir entwickeln unsere Hard- und Software kontinuierlich weiter, daher ist die Erweiterung unseres Portfolios um einen Qsources-Schwingungsanreger ein natürlicher Schritt. Dieser ermöglicht die effiziente und genaue Erfassung von Übertragungsfunktionen und unterstützt sowohl Modal- als auch Übertragungspfadanalysen. Dieses tiefere Verständnis der Schwingungseigenschaften ist die Grundlage für die Optimierung der Klangqualität der Produkte unserer Kunden“, sagt Dr.-Ing. Aulis Telle, Geschäftsführer Sound, Vibration und Perception bei HEAD acoustics. „In Zusammenarbeit mit HEAD acoustics kann Qsources eine genaue und effiziente Schwingungsanregung als Teil der Lösung einbringen“, fügt Peter van der Linden, Gründer und Geschäftsführer von Qsources, hinzu. Der Qlws deckt mit seinen geringen Abmessungen von etwa 25 mm einen weiten Frequenzbereich von 250 bis 13 000 Hz ab. Es ermöglicht eine dynamische Anregung, wenn alternative Schwingungsanreger baulich nicht integriert oder Impulshämmer nicht eingesetzt werden können. Da der Schwingungsanreger direkt auf dem Testaufbau montiert wird, benötigt er keine zusätzliche externe Halterung und muss nicht ausgerichtet werden. Die interne, patentierte Entkopplung des Qlws-Schwingungsanregers führt zu einer geringen Masse- und Impedanzbelastung des Prüflings. Dadurch sind Einflüsse auf die Probe minimal, sodass Messungen an Leichtbaustrukturen problemlos möglich sind. Die sogenannten Force Cups werden auf die Struktur geklebt und die Shakerkörper mit einer Schnappverbindung daran befestigt. In Kombination mit dem integrierten Kraftsensor ermöglicht dies einen schnellen Wechsel der Anregungsposition und -richtung bei sehr hoher Wiederholungsgenauigkeit der Messungen, insbesondere im Vergleich zur Anregung mit einem Impulshämmer. Die Eigenschaften des Qlws verbessern somit die Effizienz der strukturdynamischen Prüfung erheblich, indem die bei Standardschwingungsanregern erforderlichen Stütz- und Ausrichtungsarbeiten entfallen. Dank hoher Kraftdichte und kompakter Bauweise ermöglicht der Schwingungsanreger den Einsatz in beengten Platzverhältnissen wie Motorräumen, Getrieben, Autokarosserien, Kompressoren, Haushalts- und Gartengeräten, Klima- und Lüftungsanlagen, Computern, Druckern, mechatronischen und medizinischen Geräten.

[www.head-acoustics.com](http://www.head-acoustics.com)

LärmKongress  
2023

## „Gesundheit konsequent schützen“

Der Schutz vor Lärm ist für das baden-württembergische Ministerium für Verkehr – insbesondere mit Blick auf eine umweltverträgliche und nachhaltige Mobilität – seit Jahren ein zentrales Thema. Erklärtes Ziel ist dabei, eine flächendeckende Verringerung der von den unterschiedlichen Verkehrsträgern hervorgerufenen Lärmbelastung auf ein für die Menschen verträgliches Maß zu erreichen. Das Ministerium arbeitet daher intensiv an Programmen, Maßnahmenkonzepten und Projekten zur Minderung des Lärms im Verkehrsbereich. Ergänzend werden Entscheidungstragende auf regionaler und lokaler Ebene fachlich durch Praxisleitfäden und Informationsveranstaltungen – wie etwa die bisherigen drei LärmKongresse, an denen jeweils bis zu 400 Interessierte teilnahmen – unterstützt. Diese Veranstaltungsreihe setzt das Verkehrsministerium in diesem Jahr mit dem LärmKongress 2023 in Stuttgart am 22. und 23. Juni im Evangelischen Bildungszentrum Hospitalhof unter dem Leitgedanken „Gesundheit konsequent schützen“ fort.

Der LärmKongress 2023 bietet mit zahlreichen renommierten Vortragenden aus Hochschulen, Verwaltung und beratenden Berufen ein abwechslungsreiches Programm für Mitarbeitende der verschiedenen Verwaltungsebenen, Planungs- und Gutachterbüros insbesondere aus den Bereichen Schutz vor Lärm, Lärmaktionsplanung sowie Stadt- und Verkehrsplanung.

Eingeleitet wird die Veranstaltung am 22. Juni vom baden-württembergischen Verkehrsminister *Winfried Hermann* MdL. Ihm folgt die Vorsitzende des Sachverständigenrats für Umweltfragen (SRU) Univ.-Prof.'in Dr. med. *Claudia Hornberg*, die sich in ihrem Vortrag mit der Verteilung von Lärm und Ruhe sowie der damit verbundenen Frage der Umweltgerechtigkeit auseinandersetzt. Anschließend geht es in drei parallelen Vortragsreihen wie folgt weiter:

### 22. Juni 2023

- „Schutz vor Verkehrslärm“ mit den Unterthemen „Langsamer ist leiser“ und „Aktivitäten des Bundes“
- „Die Stadt von morgen planen“ mit den Unterthemen „Stadt von morgen – (k)eine Vision“ und „Straßenräume mal anders“
- „Mobilität: Mit Ruhe ans Ziel“ mit den Unterthemen „Mobilität in der Stadt“ sowie „Laufen und Radfahren“

### 23. Juni 2023

- „Motorradlärm“ u. a. mit der Vorstellung der Ergebnisse der „Motorradlärmstudie Baden-Württemberg“
- „Lärmaktionsplanung“ u. a. mit den Schritten Baden-Württembergs zu einem leiseren Land
- „Lärm und Gesundheit“ u. a. mit der Vorstellung der neuen Verkehrslärmgrenzwerte der Schweiz

Am Abend des ersten Tages spricht der Hamburger Stadtforscher Prof. Dr. *Dieter Lämpel* über „Die Produktive Stadt – über schwarze Schwäne, graue Nashörner und den Elefanten im Raum“.

Anschließend gibt die *Koordinierungsstelle Nachtleben Stuttgart* Einblicke in ihre tägliche Arbeit im Zusammenspiel mit Politik, Verwaltung, Kultur und Wirtschaft sowie Lärmbetroffenen. Dabei besteht die Möglichkeit, mit dem Stuttgarter Nachtmanager *Nils Runge* drei Stationen in der Nähe des Tagungsortes anzulaufen, bevor der Ausklang mit vertiefenden Gesprächen stattfindet. Den Abschluss des Vortragsteils des LärmKongress 2023 wird eine durch die Freie Journalisten *Sabine Rheinhold* moderierte, politisch hochrangig besetzte Podiumsdiskussion unter dem Motto „Mehr Schutz vor Lärm durch konsequentes Handeln“ bilden. Dieser Veranstaltungsteil wird mit dem Vortrag „Schutz vor Lärm – zur Handlungspflicht des Staates“ vom Juristen Prof. Dr. *Dominik Kupfer* eingeleitet.

Am Ende des Kongresses besteht Gelegenheit an der Baustellenführung „Neuer Hauptbahnhof: Bahnsteighalle“ teilzunehmen. Diese wird etwa drei Stunden in Anspruch nehmen.

Mehr Informationen zum LärmKongress 2023 und das Tagungsprogramm sowie die Möglichkeit, sich anzumelden, sind unter [www.laermkongress2023.de](http://www.laermkongress2023.de) zu finden.

[www.ald-laerm.de](http://www.ald-laerm.de)

## Neue BER-Entgeltordnung für Lärmentgelte

Der Verkehrsflughafen Berlin Brandenburg hat seit dem 1. September 2022 eine neue Entgeltordnung. „Die Änderung der Entgeltordnung betrifft die Regelungen zum lärmbezogenen Start- und Landeentgelt. Das lärmbezogene Entgelt wird für Luftfahrzeuge ab einer höchstzulässigen Startmasse von 2 000 kg erhoben. Bisher wurden die Flugzeuge dafür anhand ihres Typs in unterschiedliche Lärmklassen eingeteilt. Das Lärmentgelt wurde pauschal berechnet. Künftig wird diese Vorgehensweise durch eine einzelfallbezogene Berechnung der Lärmentgelte ersetzt. Diese bemisst sich nach dem tatsächlich bei jedem einzelnen Start und jeder einzelnen Landung gemessenen Lärmpegel. Lufthansa und Eurowings haben nach einem Bericht des Tagesspiegels vom 14.12.2022 gegen diese Entgeltordnung geklagt. Das Obergericht Berlin-Brandenburg (OVG) hat mit dem Urteil vom 8. Dezember 2022 die Klage in einem Eilverfahren abgewiesen.

[www.ald-laerm.de](http://www.ald-laerm.de)

[www.corporate.berlin-airport.de](http://www.corporate.berlin-airport.de)

**Neuerscheinungen Januar 2023 und Februar 2023 von Internationalen Europäischen und DIN-Normen sowie VDI-Richtlinien für das Fachgebiet Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik**

| Nummer                                | Ausgabe | Titel   | Einspruchsfrist | Preis   |
|---------------------------------------|---------|---|-----------------|---|
| E DIN EN ISO 3744                     | 2023-02 | Akustik – Bestimmung der Schalleistungs- und Schallenergiepegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen – Hüllflächenverfahren der Genauigkeitsklasse 2 für ein im Wesentlichen freies Schallfeld über einer reflektierenden Ebene (ISO/DIS 3744:2023); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 3744:2023          | 2023-03-13      | Original Version (DE/EN):<br>Download EUR 162,60  |
| DIN EN ISO 11202                      | 2023-02 | Akustik – Geräuschabstrahlung von Maschinen und Geräten – Bestimmung von Emissions-Schalldruckpegeln am Arbeitsplatz und an anderen festgelegten Orten unter Anwendung angenäherter Umgebungskorrekturen (ISO 11202:2010 + Amd.1:2020); Deutsche Fassung EN ISO 11202:2010 + A1:2021                                    |                 | Original Version (DE):<br>Download EUR 140,80*<br>Translations EN:<br>Download EUR 176,90 |
| E DIN ISO 10844                       | 2023-02 | Akustik – Anforderungen an Prüfstrecken zur Messung der Geräuschemission von Straßenfahrzeugen und ihren Reifen (ISO 10844:2021); Text Deutsch und Englisch   | 2023-03-06      | Original Version (DE/EN):<br>Download EUR 102,20  |
| E DIN EN ISO 5114-1                   | 2023-02 | Akustik – Bestimmung der Unsicherheiten von Schallemissionsmessgrößen – Teil 1: Bestimmung von Schalleistungspegeln aus Schalldruckmessungen (ISO/DIS 5114-1:2023); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 5114-1:2023   | 2023-03-13      | Original Version (DE/EN):<br>Download EUR 108,00  |
| E DIN EN ISO 26101-2                  | 2023-02 | Akustik – Prüfverfahren zur Qualifizierung der akustischen Umgebung – Teil 2: Bestimmung der Umgebungskorrektur (ISO/DIS 26101-2:2023); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 26101-2:2023  | 2023-03-13      | Original Version (DE/EN):<br>Download EUR 95,30   |
| E DIN ISO 13472-1                     | 2023-02 | Akustik – Messung der Schallabsorptionseigenschaften von Straßenoberflächen vor Ort – Teil 1: Freifeldverfahren (ISO 13472-1:2022); Text Deutsch und Englisch   | 2023-03-06      | Original Version (DE/EN):<br>Download EUR 108,00  |
| E DIN EN 17936                        | 2023-01 | Bahnanwendungen – Akustik – Messung der Quellterme für Umgebungslärmberechnungen; Deutsche und Englische Fassung prEN 17936:2022  | 2023-02-02      | Original Version (DE/EN):<br>Download EUR 157,10  |
| E DIN EN IEC 60268-23                 | 2023-01 | Elektroakustische Geräte – Teil 23: Fernsehgeräte und Monitore – Lautsprecher Systeme (IEC 100/3774/CDV:2022); Deutsche und Englische Fassung prEN IEC 60268-23:2022  | 2023-02-02      | Original Version (DE/EN):<br>Download EUR 179,40  |
| E DIN EN 61094-2/A1                   | 2023-02 | Elektroakustik – Messmikrofone – Teil 2: Primärverfahren zur Druckkammer-Kalibrierung von Laboratoriums-Normalmikrofonen nach der Reziprozitätsmethode (IEC 61094-2:2009/AMD1:2022); Deutsche und Englische Fassung EN 61094-2:2009/A1:2022   | 2023-05-13      | Original Version (DE/EN):<br>Download EUR 54,40   |
| DIN EN 62820-1-1*VDE 0830-91-1-1      | 2023-02 | Gebäude-Sprechanlagen – Teil 1-1: Generelle Systemanforderungen (IEC 62820-1-1:2016, modifiziert); Deutsche Fassung EN 62820-1-1:2016 + A11:2021  |                 | Original Version (DE):<br>Print EUR 97,67   |
| E DIN 15589-2                         | 2023-02 | Tonwiedergabe im digitalen Kino – Teil 2: Elektroakustische Ausstattung eines Kinosaals   | 2023-03-06      | Original Version (DE):<br>Download EUR 102,20   |
| E DIN EN IEC 60728-106*VDE 0855-106   | 2023-02 | Kabelnetze für Fernsehsignale, Tonsignale und interaktive Dienste – Teil 106: Optische Geräte für Systeme bei Vollbelegung mit digitalen Kanälen (IEC 100/3757/CDV:2022); Deutsche und Englische Fassung prEN IEC 60728-106:2022  | 2023-03-13      | Original Version (DE/EN):<br>Print EUR 43,66  |
| DIN EN 61010-031*VDE 0411-031         | 2023-02 | Sicherheitsbestimmungen für elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte – Teil 031: Sicherheitsbestimmungen für handgehaltenes und handbedientes Messzubehör zum elektrischen Prüfen und Messen (IEC 61010-031:2015, modifiziert + A1:2018 + COR1:2018); Deutsche Fassung EN 61010-031:2015 + A1:2021 + A11:2021 |                 | Original Version (DE):<br>Print EUR 161,51  |
| DIN EN IEC 61010-2-032*VDE 0411-2-032 | 2023-02 | Sicherheitsbestimmungen für elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte – Teil 2-032: Besondere Anforderungen für handgehaltene und handbediente Stromsonden für elektrische Prüfungen und Messungen (IEC 61010-2-032:2019, modifiziert + COR1:2020); Deutsche Fassung EN IEC 61010-2-032:2021 + A11:2021        |                 | Original Version (DE):<br>Print EUR 124,49  |
| E DIN 45672-3                         | 2023-02 | Schwingungsmessung an Schienenverkehrswegen – Teil 3: Prognoseverfahren auf Basis von Tertzpektren  | 2023-05-06      | Original Version (DE):<br>Download EUR 108,00   |
| E DIN 18040-1                         | 2023-02 | Barrierefreies Bauen – Planungsgrundlagen – Teil 1: Öffentlich zugängliche Gebäude  | 2023-03-06      | Original Version (DE):<br>Download EUR 108,00   |
| E DIN VDE 0833-4*VDE 0833-4           | 2023-02 | Gefahrenmeldeanlagen für Brand, Einbruch und Überfall – Teil 4: Festlegungen für Anlagen zur Sprachalarmierung im Brandfall   | 2023-05-13      | Original Version (DE):<br>Print EUR 50,76   |

Weitere Details unter [www.beuth.de/de/rubrik/rperinorm](http://www.beuth.de/de/rubrik/rperinorm)

Alle genannten Regelwerke können über die Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin, Tel.: (030) 2601-2260, Fax: (030) 2601-1260, Online-Bestellungen über <http://www.din.de/beuth>, bezogen werden.

Preisangaben ohne Gewähr; Stand: Dezember 2017.



## Ingenieur (m/w/d) – Schwerpunkt Schallimmissionsschutz

Für unseren Hauptsitz in Gilching bei München suchen wir einen Kollegen mit Charakter, der Lust hat Fragen zu stellen und nicht nur Antworten gibt. Jemand der mutig genug ist, den Status Quo in Frage zu stellen und Freude daran hat unsere Softwareplattform weiterzuentwickeln.

Wir sind ein Team von 15 Leuten und pflegen eine offene und interdisziplinäre Gesprächskultur. Unsere Ideen tauschen wir häufig auf ausgedehnten Spaziergängen oder bei einem mittäglichen BBQ auf der sonnigen Dachterrasse aus. Wir planen gemeinsam unsere Strategien, arbeiten selbständig an unseren jeweiligen Projekten und feiern zusammen unsere Erfolge. Dadurch sind wir zum Weltmarktführer für Software zur Berechnung von Umgebungslärm und Schall in Räumen geworden.

### Ihr Profil:

- Gut abgeschlossenes technisches Studium
- Vertraut mit den einschlägigen Normen und Richtlinien des Immissionsschutzes
- Erfahren mit der Lärmprognose unter Anwendung von Software
- Sie sind weder im deutsch- noch im englischsprachigen Raum auf den Mund gefallen
- Sie sind mit Begeisterung dabei, abwechslungsreiche Projekte durchzuführen
- Qualitätsbewußt, kundenorientiert und technikbegeistert

### Ihre Aufgaben:

- Sie identifizieren technologische Trends und beraten unsere Softwareentwickler an der Schnittstelle zwischen Anwender und Entwicklung (für die Produkte CadnaA, CadnaR und CadnaB)
- Sie bringen Ideen für hilfreiche Funktionen und deren Umsetzung mit ein

- Sie helfen unseren Kunden bei komplexen technischen Problemstellungen
- Sie unterstützen bei der Softwareanwendung im Rahmen verschiedenster nationaler und internationaler Projekte
- Bei Interesse unterstützen Sie in diversen Fachgremien und bei der Normungstätigkeit
- Durch Produktdemonstrationen vermitteln Sie Ihr Expertenwissen (z. B. via Webpräsentation oder in Beratungsgesprächen)

### Unser Angebot:

- individuelle Weiterbildungsmöglichkeiten und die Chance, eigene Ideen in einem angenehmen Betriebsklima zu verwirklichen
- attraktives, leistungsgerechtes Gehalt, flexible Arbeitszeiten und 30 Tage Urlaub
- modernes Büro mit stilvollem Ambiente und lockerer Atmosphäre, z. B. gelegentlichem Feierabendbier
- ob Radfahrer (Duschmöglichkeit vorhanden), Hundebesitzer, Kaffee- oder Teetrinker – bei uns fühlt sich jeder wohl
- exklusive Events & Sportaktionen im Team

### Haben wir Sie neugierig gemacht?

Dann senden Sie uns bitte Ihre aussagekräftigen Bewerbungsunterlagen mit möglichem Eintrittstermin und Gehaltsvorstellungen ausschließlich per E-Mail an: [bewerbung@datakustik.com](mailto:bewerbung@datakustik.com)

Wenn Sie Rückfragen zu der Position haben, melden Sie sich gerne bei Frau Tina Hahn unter Tel. 08105/77467 0.

Alle personenbezogenen Formulierungen in dieser Stellenanzeige sind geschlechtsneutral zu betrachten.

## „Stille Stunde“ – Supermärkte werden ruhige Orte

Die Idee der „Stillen Stunde“ geht auf die Angestellte eines Supermarkts in Neuseeland zurück. Die Mutter eines autistischen Kindes beobachtete, dass es zu schreien anfing, sobald sie mit ihrem Kind einkaufen ging. Grund hierfür ist, dass Menschen mit Autismus durch zu viele auf sie einwirkende Reize schnell überfordert werden.

2018 wurde eine „Stille Stunde“ in dem Supermarkt eingeführt und sehr positiv von allen Kunden aufgenommen. In der Schweiz, wo diese Idee schon frühzeitig aufgegriffen wurde, wird die Ruhe beim Einkaufen von vielen Menschen einfach nur als wohltuend empfunden.

Nun kam die „Stille Stunde“ auch in Bergisch Gladbach an. Dort kann in Geschäften seit einigen Monaten dienstags zwischen 16 und 18 Uhr nicht nur leiser, sondern auch bei weniger grellem Licht als sonst, eingekauft werden.

[www.ald-laerm.de](http://www.ald-laerm.de)



**Bimodale Hör-Erlebnisse im Alltag mittels App erfassen** – das vom BMBF geförderte Forschungsprojekt HearDL von Cochlear und ReSound (FKZ: 13GW0266A) wurde erfolgreich abgeschlossen.  
Foto: Smart Hearing Alliance

## Erfolgreicher Abschluss des BMBF-geförderten Forschungsprojektes von Cochlear und ReSound

Wie kann es gelingen, die Zufriedenheit beim bimodalen Hören mit Cochlea-Implantat (CI) und Hörsystem in alltäglichen Situationen zu erfassen? Hier eine Lösung zu finden, war Anliegen des Forschungsprojektes Hearing in Daily Life (HearDL), das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wurde und das nun nach zweijähriger Laufzeit einen erfolgreichen Abschluss fand. Beim Verbundprojekt entwickelten die Cochlear Deutschland GmbH & Co. KG (Projektleitung), die GN Hearing GmbH, die Hörzentrum Oldenburg gGmbH und die Universitätsklinik für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde am Evangelischen Krankenhaus Oldenburg eine App, mit der hörgeschädigte Menschen aus alltäglichen Situationen heraus Rückmeldung zu ihrem Hör-Erleben geben können. Unterstützt wurde das Projekt vom Klinischen Innovationszentrum für Medizintechnik Oldenburg (KIZMO) sowie von der Jade Hochschule. Cochlear und ReSound sind seit Jahren strategische Partner im Rahmen der Smart Hearing Alliance. Gemeinsam entwickeln sie wegweisende bimodale Lösungen aus Hörgerät und Hörimplantat. Nach zweijähriger Zusammenarbeit präsentieren die Projektpartner nun ihre neuartigen Evaluationstools. Die vorgestellte App soll wertvolle Einblicke in den individuellen Höralltag von Nutzern audiologischer Technik ermöglichen. Nicht nur die generelle Zufriedenheit sowie die Höranstrengung können über die App erfasst werden. Anhand zahlreicher Kriterien können Träger von Cochlea-Implantaten, Hörgeräten und anderen technischen Hörhilfen auch die Hörqualität für jeweils typische Alltagssituationen zurückmelden; eventuelle Unterschiede beim Hör-Erleben auf linkem und rechtem Ohr werden gleichfalls erfasst. Zudem ist es möglich, unterschiedliche Produkteigenschaften oder Einstellungen in zuvor definierten Situationen zu vergleichen. Mit dem dazugehörigen Dashboard können Audiologe oder Hörakustiker Testläufe konfigurieren und deren Ergebnisse abbilden. Fertiggestellt wurde die App für iOS und Android. App und Dashboard sind modular aufgebaut und ermöglichen eine Verwendung mit verschiedenen Sprachen. Beide können für unterschiedlichste audiologische Lösungen und herstellerunabhängig genutzt werden; ihre Verwendung ist also keinesfalls auf bimodale Versorgungen mit Nucleus Cochlea-Implantaten und ReSound Hörsystemen begrenzt. In welcher Form die kommerzielle Nutzung der App erfolgen wird, ist bislang noch nicht geklärt. Sicher ist jedoch, dass die Evaluationstools für Studienzwecke zur Verfügung stehen. Aktuell plant Cochlear den Einsatz der App im Rahmen einer umfangreichen Studie zu Cochlea-Implantaten. Mit ihm will das Bundesministerium versorgungs- und zugleich industrieorientierte Innovationen voranbringen.

[www.cochlear.de](http://www.cochlear.de)  
[www.resound.com](http://www.resound.com)

# Moderne Bürowelt ohne Lärmbelästigung

Das KARL ist eine moderne Bürowelt im Zentrum Münchens – geprägt von zeitloser Architektur, einer Wertigkeit der gewählten Materialien. Bei den Verglasungen in der Außenfassade wurde die Sonnenschutzfunktion mit Schallschutz kombiniert. Zur Straße und zur nahe liegenden Brauerei hin waren hohe Schallschutzanforderungen von über 45 dB zu berücksichtigen. Zur Brauerei hin betragen die Schalldämmanforderungen sogar

50 dB, was einen speziellen Pilkington Optiphon™ Schalldämm-VSG-Glasaufbau erforderte: Außen wurde ein 12 mm VSG-TVG/SI Folie, mittig ein 6 mm ESG und innen ein 10 mm VSG-TVG/SI Folie eingebaut. Die diversen Schallschutzverglasungen im Gebäude sorgen nun für ungestörtes Arbeiten ohne Lärmbelästigung.  
[www.pilkington.de](http://www.pilkington.de)

Stellenanzeige

Die AKUS GmbH ist eine Beratungs- und Begutachtungsgesellschaft für Fragestellungen aus dem Bereich Immissionsschutz. Unsere Arbeitsschwerpunkte sind Lärmschutz und Umwelt-Meteorologie.

Wir sind Marktführer in Ostwestfalen, einer gesunden, vom Mittelstand geprägten Wirtschaftsregion.

Wir suchen:

- I. Gutachter (m/w/d) Immissionsschutz mit Perspektive Partnerschaft
- II. Gutachter (m/w/d) Immissionsschutz für die Projektbearbeitung



## Ihr Profil:

- Abgeschlossenes Hochschulstudium der Naturwissenschaften (Physik, Chemie, Meteorologie), Ingenieurwissenschaften (Maschinenbau, Verfahrenstechnik, Bauingenieurwesen, Umweltschutz etc.), Stadtplanung
- Erfahrung im Bereich Immissionsschutz (Lärm und/oder Luftschadstoffe, Gerüche) bzw. Erfahrung bei der Umsetzung von Immissionsschutzgutachten in Bauleitplanverfahren
- Kenntnis der relevanten Regelwerke und Gesetzesgrundlagen sowie in der Anwendung von prognostischen Modellen (Lärm und/oder Luftschadstoffe, Gerüche)
- Selbständige, strukturierte Arbeitsweise mit einem hohen Maß an Eigeninitiative und Eigenverantwortung
- Gute Ausdrucksfähigkeit in Wort und Schrift in deutscher Sprache
- Kommunikationsfähigkeit und Verbindlichkeit im Umgang mit Kunden und Behörden
- PKW-Führerschein

## Ihre Aufgaben:

- Beratung von Kunden im Rahmen von Genehmigungs- und Bauleitplanverfahren (Akquisition, Gutachtenerarbeitung, Vorstellung der Ergebnisse bei Auftraggebern, Genehmigungs- und Fachbehörden sowie in Erörterungsterminen)
- Modellierung von schalltechnischen Ausbreitungs- (Lärm) und/oder atmosphärischen Strömungs- und Ausbreitungsvorgängen (Luftschadstoffe, Gerüche)
- Messtechnische Ermittlung von Emissions- und Immissionspegeln (Lärm)
- Aufbereitung von anlagenspezifischen (Lärm, Luftschadstoffe, Gerüche) und meteorologischen (Luftschadstoffe, Gerüche) Eingangsdaten
- Abfassung von Stellungnahmen, Berichten, Gutachten

AKUS Akustik und Schalltechnik GmbH  
Jöllenecker Straße 536,  
33739 Bielefeld-Jöllenecke  
E-Mail: [info@akus-online.de](mailto:info@akus-online.de)  
Tel. +49 5206 / 7055-0  
[www.akus-online.de](http://www.akus-online.de)

## Wir bieten:

- Ein familienfreundliches Arbeitsumfeld (flexible Zeiten, mobiles Arbeiten, Teilzeit)
- Einarbeitung in unsere Arbeits- und Teamstruktur
- Fachliche Entwicklungsmöglichkeiten mit interner und externer Weiterbildung
- Eine wertschätzende Arbeitsatmosphäre
- Einen namhaften Kundenstamm
- Eine leistungsgerechte Bezahlung
- Vielschichtige, verantwortungsvolle Projekte

Richten Sie Ihre Bewerbung gerne per E-Mail an uns. Für eine erste Kontaktaufnahme stehen wir Ihnen gerne auch telefonisch zu Verfügung.



# 18. Jenaer Akustik-Tag am 26. April 2023

Der Jenaer Akustik-Tag ist eine regionale Konferenz für Fachleute aus Wissenschaft, Industrie und Verwaltung. Ebenso willkommen sind Studierende, auch anderer Hochschulen sowie eine interessierte Öffentlichkeit. Nach einer sehr guten Resonanz im Jahr 2022 wird nun zur **18. Ausgabe der Tagung für den 26. April 2023, ab 13.00 Uhr** in die Aula der Ernst-Abbe-Hochschule Jena eingeladen. Die Veranstaltung wird vom Fachbereich Maschi-

nenbau der EAH Jena in Kooperation mit dem Universitätsklinikum Jena organisiert.

Die Teilnahme ist kostenfrei. In mehreren Vorträgen werden die Schwerpunkte Schallemission, Schallausbreitung, Lärmwirkung und Geräuschminderung in konkreten praktischen Zusammenhängen betrachtet. Eine lange Tradition hat das Thema Hören und dessen Beeinträchtigungen. Herr Prof. Christian Dobel von der

HNO-Klinik der Friedrich-Schiller-Universität Jena wird aus seinem Arbeitsumfeld über „Die Messung des Tinnitus als Verhaltensphänomen,“ berichten.

Für die Entwicklung von Maßnahmen zur Lärmreduktion ist die Lokalisierung von Schallquellen eine wichtige Grundlage. Herr Dr. Thomas Rittenschöber von der Firma Seven Bel wird dazu eine effektive Methode mit bewegten Mikrofonen vorstellen.

Die Firma Liaver aus Ilmenau stellt schon seit einigen Jahren erfolgreich Ring- und Streifenabsorber zur materialsparenden und dennoch wirksamen Verbesserung der Raumakustik her.

Frau M. Eng. Lena Tschiersch hat aktuell untersucht, wie dieses Prinzip auch im Außenbereich zur Lärmreduktion an bzw. durch Fassaden genutzt werden kann. Dazu fanden unter anderem auch Messungen im Hallraum der EAH Jena statt.

Im Wohnumfeld steigen die akustischen Anforderungen an die Haustechnik. So ist bei der energiesparenden Klimatisierung von Innenräumen die Minimierung von Lüftungsgeräuschen ein zentrales Anliegen. Über entsprechende Anstrengungen und Erfolge der Firma inVENTer auf diesem Gebiet wird Herr M. Eng. Tom Holzapfel informieren.

Bei der Fahrzeugentwicklung spielt die Verbindung von Luft- und Körperschall eine wesentliche Rolle. Zu konkreten Anforderungen in diesem Bereich wird Dr. Martin Fischer von Thyssenkrupp Automotive in Eschen vortragen.

Die Veranstaltung wird von Anbieter akustischer Messtechnik wie Microtech Gefell, SINUS Messtechnik und Polytec sowie von der Firma inVENTer mit Informationsständen begleitet. Das aktuelle Programm befindet sich auf den Webseiten: [www.eah-jena.de/mb](http://www.eah-jena.de/mb) und [www.eah-jena.de/mb/studium/laborbereiche/akustik/jenaer-akustiktag](http://www.eah-jena.de/mb/studium/laborbereiche/akustik/jenaer-akustiktag)

Für Rückfragen stehen zur Verfügung: Prof. Jörg-Henry Schwabe, Bernhard Kühn. Gemeinsam mit mehreren europäischen Partnern wird der 24. „Tag gegen Lärm – International Noise Awareness Day“ ebenfalls am 26. April 2023 begangen. [www.eah-jena.de/mb](http://www.eah-jena.de/mb)

## IMPRESSUM

### Lärmbekämpfung

ISSN 1863-4672, 18. Jahrgang 2023

### Herausgeber

VDI Fachmedien GmbH & Co. KG, Düsseldorf

### Redaktion

Annika Hilse, M.Sc., verantwortlich

Telefon: +49 211 6103-343

[ahilse@vdi-fachmedien.de](mailto:ahilse@vdi-fachmedien.de)

Diana Charalampidis, Redaktionsassistenz

Telefon: +49 211 6103-164

Fax: +49 211 6103-148

[laermbekaempfung@vdi-fachmedien.de](mailto:laermbekaempfung@vdi-fachmedien.de)

Dipl.-Phys.-Ing. Udo Schnell

Redaktionsleitung VDI Fachmedien

Telefon: +49 211 6103-104

[uschnell@vdi-fachmedien.de](mailto:uschnell@vdi-fachmedien.de)

Autorenhinweise/Veröffentlichungsgrundlagen:

[www.laermbekaempfung.de](http://www.laermbekaempfung.de)

### Verlag

VDI Fachmedien GmbH & Co. KG

Unternehmen für Fachinformationen

VDI-Platz 1, 40468 Düsseldorf

Postfach 10 10 22, 40001 Düsseldorf

Commerzbank AG

SWIFT/BIC-Code: DRES DE FF 300

IBAN: DE69 3008 0212 1724 00

### Geschäftsführung

Ken Fouhy, B.Eng.

### Layout

Laura B. Gründel

### Leitung Media Sales

Sarah-Madeleine Simon

Telefon: +49 211 6103-166

[ssimon@vdi-fachmedien.de](mailto:ssimon@vdi-fachmedien.de)

### Anzeigenverkauf

CrossMediaConsulting

Wolfgang Ernd GmbH

Wichmannstraße 4 - Haus 1, 22607 Hamburg

Arnd Walgenbach

Telefon: +49 40 881449-370

Fax: +49 40 881449-11

[awalgenbach@cmc-web.de](mailto:awalgenbach@cmc-web.de)

Es gilt der Anzeigentarif Nr. 17 vom 1. Januar 2023.

### Vertrieb und Leserservice

Leserservice VDI Fachmedien

65341 Eltville

Telefon: +49 6123 9238-202

Fax: +49 6123 9238-244

[vdi-fachmedien@vuservice.de](mailto:vdi-fachmedien@vuservice.de)

### Bezugspreise

6 Ausgaben jährlich

Jahresabonnement: € 268,40 (E-Paper 230,60)

VDI-Mitglieder: € 241,56 (E-Paper 207,54)

nur für persönliche Mitglieder

Studenten: € 127,60 (E-Paper 109,60)

gegen Studienbescheinigung

Preise Inland inkl. MwSt., Ausland exkl. MwSt.

zzgl. Versandkosten (Inland: € 12,-, Ausland:

€ 21,30, Luftpost auf Anfrage)

Einzelheft: € 45,- Inland inkl. MwSt., Ausland

exkl. MwSt. zzgl. Versandkosten

Die Mindestlaufzeit beträgt 12 Monate.

Im Anschluss an die Mindestlaufzeit ist das

Abonnement jeweils zum Monatsende

kündbar.

### Satz

Medienpartner Mäurer GmbH

Auf dem Feldchen 14, 41849 Wassenberg

### Druck

KLIEMO AG, Hütte 53, 4700 Eupen, Belgien

### Copyright

Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen

Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich

geschützt. Jede Verwertung außerhalb der

engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist

ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und

strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen,

Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die

Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen

Systemen. Für unverlangt eingesandte

Manuskripte kann keine Gewähr übernommen

werden.

Weitere Informationen unter:

[www.laermbekaempfung.de](http://www.laermbekaempfung.de)

Auflage IVW-geprüft



Alle auch als E-Paper



10 Ausgaben pro Jahr  
Jahresabopreis: 528,95 EUR  
E-Paper-Abo: 441,30 EUR



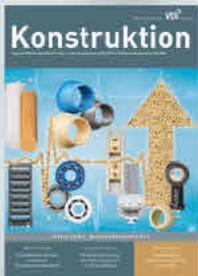
6 Ausgaben pro Jahr  
Jahresabopreis: 361,70 EUR  
E-Paper-Abo: 299,60 EUR



6 Ausgaben pro Jahr  
Jahresabopreis: 477,20 EUR  
E-Paper-Abo: 389,80 EUR



9 Ausgaben pro Jahr  
Jahresabopreis: 257,60 EUR  
E-Paper-Abo: 208,80 EUR



9 Ausgaben pro Jahr  
Jahresabopreis: 563,40 EUR  
E-Paper-Abo: 471,50 EUR



6 Ausgaben pro Jahr  
Jahresabopreis: 280,40 EUR  
E-Paper-Abo: 230,60 EUR

**Die erste Adresse für Technikwissen: VDI Fachmedien**



6 Ausgaben pro Jahr  
Jahresabopreis: 216,50 EUR  
E-Paper-Abo: 174,80 EUR



6 Ausgaben pro Jahr  
Jahresabopreis: 285,80 EUR  
E-Paper-Abo: 234,40 EUR



6 Ausgaben pro Jahr  
Jahresabopreis: 158,20 EUR  
E-Paper-Abo: 124,70 EUR



9 Ausgaben pro Jahr  
Jahresabopreis: 306,00 EUR  
E-Paper-Abo: 250,40 EUR

Die VDI Fachmedien bieten Ihnen eine breite Palette renommierter Fachzeitschriften aus den Bereichen **Bau, Konstruktion/Produktion, Logistik, Energie und Umwelt**. In direkter Anbindung an den VDI, das größte technisch-wissenschaftliche Netzwerk für Ingenieur\*innen Deutschlands. Unsere Autor\*innen berichten über Innovationen und Hintergrundwissen in ihrem jeweiligen Fachgebiet. Und das jederzeit praxisorientiert, ohne den wissenschaftlichen Background aus dem Blick zu verlieren.



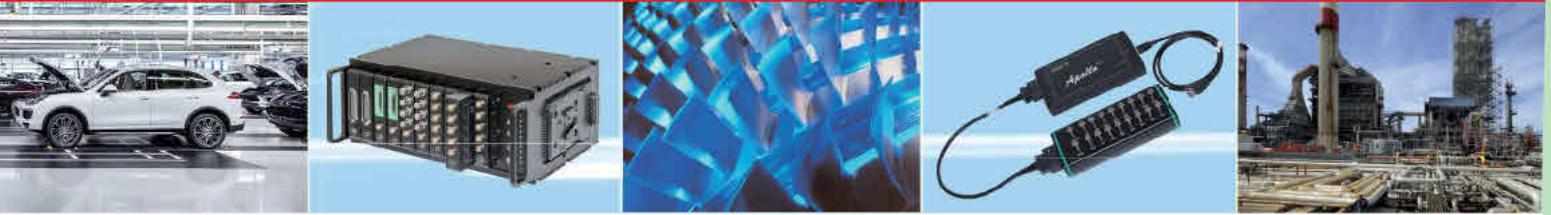
**Technikwissen für Ingenieur\*innen - jetzt auswählen und bestellen:**

T +49 6123 9238-202

E [vdi-fachmedien@vuservice.de](mailto:vdi-fachmedien@vuservice.de)

[vdi-fachmedien.de](http://vdi-fachmedien.de)

Inlandsbruttopreise – Ausland auf Anfrage



## Apollo\_PC mit integriertem PC für Monitoring- Anwendungen

Mit der Apollo\_It-Serie bieten wir vielkanalige VibroAkustik-Meßsysteme in kompakten Abmessungen.

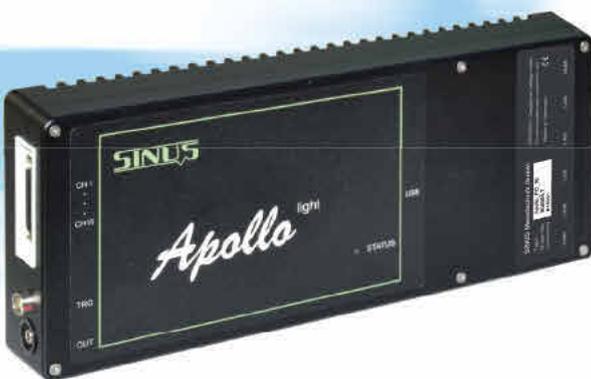
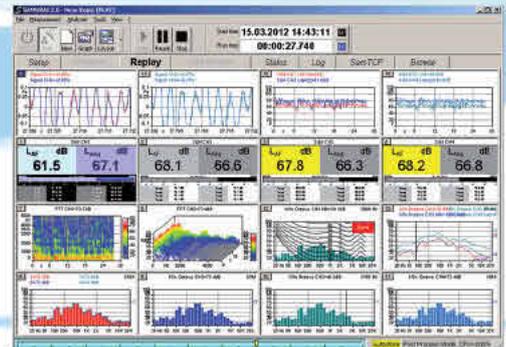
Apollo\_It macht Ihren PC zum mehrkanaligen Schallpegelmesser nach IEC 61672 / 61260 Klasse 1.

Apollo\_It hat zusätzlich zwei Trigger/Tacho-Eingänge, zwei Signalausgänge und ist synchron erweiterbar.

- Versionen:
- 2/4-Kanal Apollo\_It wahlweise mit BNC oder LEMO7 Eingangsbuchsen
  - 8-Kanal Apollo\_It wahlweise mit NIM-CAMAC, SMB oder DSUB25 Eingangsbuchsen
  - 16-Kanal Apollo\_It mit MDR Eingangsbuchse (Mini Delta Ribbon) und BNC-Splitterbox
  - Apollo\_Carrier mit 10 Steckplätzen für Apollo\_It 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), Treiber für Windows und Linux
- Support für Python und C++
- ARTeMIS Operational Modal Analysis
- LabVIEW Library für die individuelle Programmierung von Prüfsystemen
- Support für DASyLab in Vorbereitung

Apollo und SAMURAI sind Markenzeichen der SINUS Messtechnik GmbH, ARTeMIS ist eine Markenzeichen der SVS A/B, LabVIEW und DASyLAB sind Markenzeichen von National Instruments