

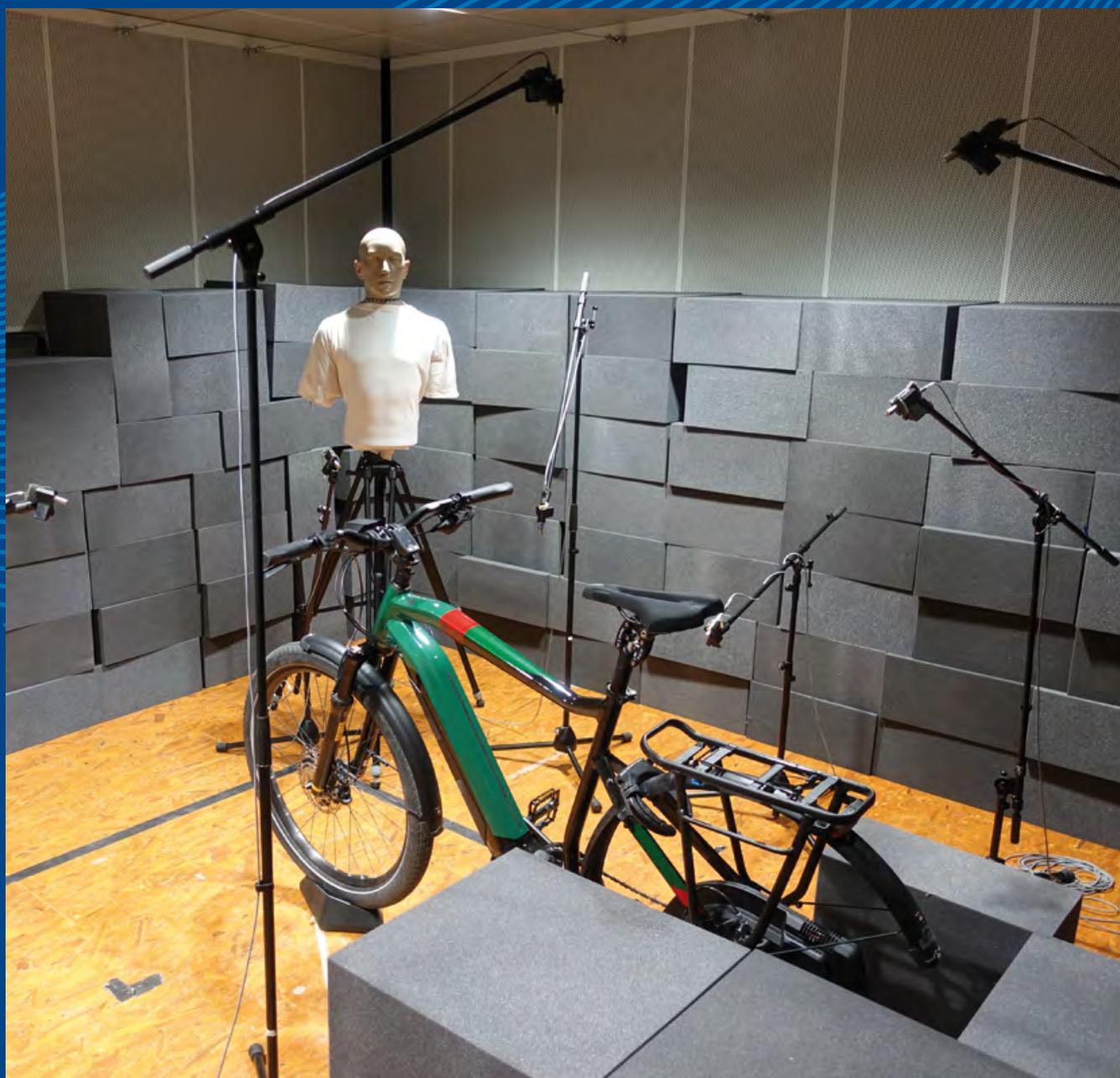
Nr. 02 / Juni 2020

AKUSTIK JOURNAL



Akustisches Charisma Profiling – Auf dem Weg zur digitalen Rhetorik ■ Von der Strömung zum Druck – Schall von Windenergieanlagen ■ Akustik von E-Bikes ■

YouTube-Video: „Faszination Akustik – Eine Reise durch die Welt des Schalls“ ■ International Year of Sound 2020/2021 ■ 13. DEGA-Symposium ■ DEGA-Akademie: Kurs „Raumakustik kompakt“ und Kurs „DEGA-Schallschutzausweis“ ■ Vorschau: DAGA 2021 ■ DEGA-Mitgliederversammlung ■

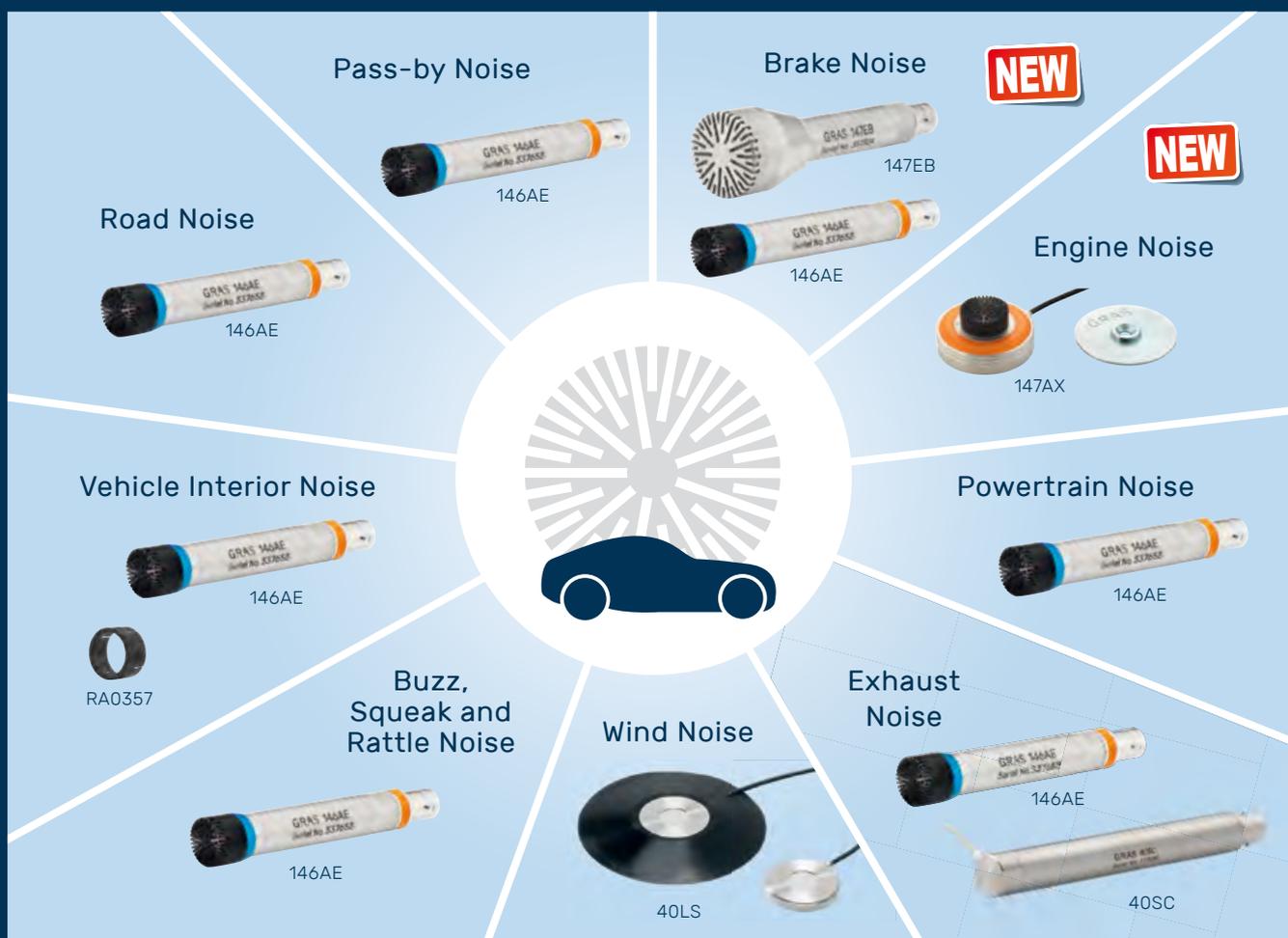


World-leading provider of acoustic sensors

High-performance NVH microphones that cover all your needs!

As the strongest and most comprehensive provider of measurement microphones to the global automotive industry, GRAS is proud to present new solutions for engine and brake noise testing.

A GRAS microphone always ensures efficient and reliable NVH testing.



Editorial

Die DEGA in der Corona-Krise

Liebe Leserinnen und Leser,

das Jahr 2020 stellt an alle Bereiche des öffentlichen Lebens besondere Herausforderungen. Auch die DEGA ist von den Auswirkungen der Corona-Krise stark betroffen – vor allem unsere Jahrestagung DAGA 2020 in Hannover, die als Jubiläumsveranstaltung („50 Jahre DAGA“) Mitte März geplant war. Wir bedauern sehr, dass wir dieses schöne Ereignis nicht mit Ihnen zusammen feiern konnten!

Der sprunghafte Anstieg der Infektionen Anfang März hatte zur Folge, dass wir die DAGA kurz vor dem geplanten Tagungsbeginn absagen mussten. Zu diesem Zeitpunkt war das Programm bereits ausgearbeitet und die zahlreichen Jubiläums-Feierlichkeiten fertig vorbereitet. Ein ganz besonderer Dank gilt in diesem Zusammenhang dem Organisationsteam und dem Programm-ausschuss für die umfangreichen Vorbereitungen (u. a. Programm, Eröffnungsveranstaltung, Jubiläumsfestveranstaltung, Abendveranstaltungen, Fach-Exkursionen etc.).

Dennoch war die Mühe nicht ganz umsonst. Vor kurzem ist der Tagungsband zur DAGA 2020 erschienen. Mit über 300 Manuskripten und besonderen Perspektiven auf das DAGA-Jubiläum steht Ihnen eine umfangreiche Publikation zur Verfügung. Ganz besonders freuen wir uns, dass im Tagungsband auch ein Film als einer unserer Beiträge zum International Year of Sound enthalten ist; hierzu gilt unser Dank auch den Sponsoren.

Natürlich ist mit der Absage der DAGA auch ein finanzieller Verlust verbunden. Vor allem danken wir hier allen denjenigen Angemeldeten, die ihre Tagungsgebühren nicht zurückgefordert haben und somit durch ihre Spende einen großen Beitrag zur Stabilisierung der DEGA-Finzen geleistet haben. Ebenso gilt unser Dank auch allen Autorinnen und Autoren, die ihr Manuskript gegen Zahlung der Tagungsgebühr im Tagungsband veröffentlicht haben. Zudem konnten durch umfangreiche Verhandlungen mit den Dienstleistern für die geplante DAGA die Verluste in Grenzen gehalten werden. Ein besonders herzliches Dankeschön möchten wir in diesem Zusammenhang an die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Geschäftsstelle richten. Sie haben nicht nur in der Vorbereitung der Jubiläums-DAGA, sondern insbesondere auch nach der erforderlichen Absage Herausragendes geleistet.

Ein Blick in die nahe Zukunft zeigt, dass weitere Veranstaltungen im Jahr 2020 vorwiegend im Online-Format geplant werden müssen, da heute noch niemand die Durchführbarkeit von Präsenzveranstaltungen vorhersagen kann. So laden wir Sie herz-



*Jesko L. Verhey
Präsident der DEGA*

lich dazu ein, an unserem DEGA-Symposium am 25. September 2020 über das Internet teilzunehmen, welches auch die Preisverleihungen und die Mitgliederversammlung umfassen wird. Einzelheiten finden Sie in diesem Heft – sowie Hinweise auf weitere Veranstaltungen der Fachausschüsse und Fachgruppen.

Gleichwohl wird die DEGA auch in 2020 ihre sonstigen Aufgaben fortsetzen, u. a. die Herausgabe von Publikationen, den Einsatz für den Lärmschutz und für den baulichen Schallschutz sowie die Planung kommender Tagungen. Und nach hoffentlich nicht allzu langer Zeit wird die Krise irgendwann überstanden sein. Dann freuen wir uns umso mehr, dass wir Sie wieder auf den DAGA-Tagungen und sonstigen Veranstaltungen persönlich begrüßen können.

So wünschen wir Ihnen allen für die kommenden Wochen weiterhin Gesundheit – und ebenso allen Unternehmen vor allem ein gutes wirtschaftliches Durchhaltevermögen.

Ihr
Jesko L. Verhey
(für den Vorstand der DEGA)

Inhalt

Akustik Journal Nr. 02 / Juni 2020

- **5 Aktuelles**
- **7 Fachartikel**
 - 7 **Akustisches Charisma Profiling – Auf dem Weg zur digitalen Rhetorik**
Oliver Niebuhr, Jana Neitsch, Jan Michalsky
 - 23 **Von der Strömung zum Druck – Schall von Windenergieanlagen**
Johannes Baumgart
 - 41 **Akustik von E-Bikes**
Stefan Becker, Benedikt Berchtenbreiter, Florian Krömer, Alexander Lodermeier, Jörg Riedel, Andreas Renz
- **50 Ehrungen der DEGA**
 - 50 **Verschiebung der Preisverleihungen**
- **50 Menschen**
 - 50 **Gratulationen, Personalien und Nachruf**
- **52 Veranstaltungen**
 - 52 **Veranstaltungshinweise**
 - 52 13. DEGA-Symposium „Akustik verbindet“
 - 52 DEGA-Akademie: Kurs „Raumakustik kompakt“
 - 53 DEGA-Akademie: Kurs „DEGA-Schallschutzausweis“
 - 53 Forum Acusticum 2020
 - 54 **Vorschau**
 - 54 DAGA 2021
 - 56 **Veranstaltungsrückblick**
 - 56 Der Tag gegen Lärm ohne den Tag gegen Lärm am 29. April 2020
 - 56 **Veranstaltungskalender**
- **58 DEGA**
 - 58 **Nachrichten und Mitteilungen aus der Fachgesellschaft**
 - 58 Einladung DEGA-Mitgliederversammlung (verschoben, online)
 - 59 YouTube-Video: „Faszination Akustik – Eine Reise durch die Welt des Schalls“
 - 59 Fachausschüsse und Fachgruppen der DEGA stellen sich vor: FA Fahrzeugakustik
 - 60 **Fachausschüsse / Fachgruppen**
 - 65 **Mitglieder / Fördermitglieder**
- **66 Normen / Richtlinien**
 - 66 **Neue Regelwerke zu den Themen Akustik und Lärminderung (Feb. – Mai 2020)**
- **68 Publikationen**
 - 68 **Zeitschriften, Tagungsbände, Empfehlungen und Memoranden, Broschüren etc.**
 - 70 **Buchvorstellung**
- **74 Impressum**

Aktuelles

Nachrichten aus der Akustik

■ Tagung DAGA 2020: Jubiläums-Tagungsband erschienen



Auf Grund der Corona-Krise musste die Jahrestagung DAGA 2020 vom 16.–19.03.2020 in Hannover zwar abgesagt werden; dennoch hat die DEGA kürzlich einen umfassenden Tagungsband zur DAGA 2020 veröffentlicht (<https://www.dega-akustik.de/publikationen/online-proceedings>).

Er enthält neben mehr als 300 Manuskripten auch einen Sonderteil zum DAGA-Jubiläum (<https://50jahre.daga-tagung.de/index.html>). Hierin finden Sie viele interessante Einblicke in die letzten 50 Jahre DAGA-Geschichte mit einer umfangreichen Foto-Sammlung. Ebenso laden wir Sie dazu ein, sich am DAGA-Quiz zu beteiligen (Einsendeschluss: 31.07.2020). ■

■ YouTube-Video: „Faszination Akustik – Eine Reise durch die Welt des Schalls“

Im Rahmen des „International Year of Sound 2020–2021“ und des 50-jährigen Jubiläums der DAGA-Tagung hat die DEGA einen Kurzfilm produziert und im Mai 2020 auf YouTube veröffentlicht: „Faszination Akustik – Eine Reise durch die Welt des Schalls“; siehe <https://www.youtube.com/watch?v=f9KGNy2WS60> oder <https://50jahre.daga-tagung.de/>.

Detailliertere Informationen dazu finden Sie auf S. 59. ■

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

Alle Mitglieder der DEGA sind eingeladen, Kandidatinnen und Kandidaten für den Lothar-Cremer-Preis vorzuschlagen, der vsl. während der DAGA 2021 in Wien verliehen wird. Bitte senden Sie Ihren Vorschlag mit Würdigung, Lebenslauf, Publikationsliste und Veröffentlichungen bis spätestens 31. August 2020 in dreifacher Ausfertigung in Papierform an die Geschäftsstelle der DEGA. Es sollten solche schriftlichen Arbeiten beigefügt werden, auf die sich der Auszeichnungsvorschlag inhaltlich begründet (z. B. Dissertation, ausgewählte Zeitschriftenaufsätze), siehe auch <http://www.dega-akustik.de/preise-grants/lothar-cremer-preis>.

Ebenso können alle Hochschullehrenden Kandidatinnen und Kandidaten für den DEGA-Studienpreis bis zum 15. September 2020 vorschlagen, der ebenfalls vsl. während der DAGA 2021 in Wien verliehen wird. Bitte fügen Sie Ihrer Begründung einen tabellarischen Lebenslauf, die Abschlussarbeit (Master, Bachelor, Diplom o. ä.) und eine Würdigung durch einen weiteren Fachmann bei. Alle Dokumente sollen ausschließlich elektronisch an dega@dega-akustik.de eingereicht werden. Die Arbeit muss bereits benotet worden sein; andererseits darf die Abgabe nicht mehr als ein Jahr zurückliegen (Benotung und Abgabedatum bitte angeben). Weitere Details stehen auf <http://www.dega-akustik.de/preise-grants/dega-studienpreis>. ■

■ International Year of Sound 2020–2021



Das „International Year of Sound“ ist auf das Jahr 2021 ausgeweitet worden, da Veranstaltungen aufgrund der Corona-Krise derzeit nur eingeschränkt geplant werden können. Eine Übersicht über Motivation, Initiativen und Termine finden Sie auf der Seite <http://sound2020.org>.

Auch die DEGA beteiligt sich am International Year of Sound 2020-2021 mit eigenen Veranstaltungen und Publikationen; bitte beachten Sie vor allem:

- Zur Jahrestagung DAGA 2020 ist (trotz der Tagungs-Absage) ein umfangreicher Tagungsband erschienen, inklusive eines Sonderteils zum 50-jährigen Tagungs-Jubiläum, siehe www.daga2020.de.

- Die DEGA hat anlässlich des 50-jährigen DAGA-Jubiläums einen Kurzfilm produziert und ihn auf YouTube veröffentlicht: „Faszination Akustik – eine Reise durch die Welt des Schalls“; siehe <https://www.youtube.com/watch?v=f9KGNy2WS60>.

- Das 13. DEGA-Symposium am 25.09.2020 wird unter dem Motto „Akustik verbindet“ stattfinden, siehe Seite 52 und <https://www.dega-akustik.de/dega/aktuelles>.

Weiterhin sei auf frühere Publikationen hingewiesen, siehe <https://www.dega-akustik.de/dega/aktuelles/sound2020/>:

- YouTube-Video „So klingt meine Welt“ aus den Einsendungen zum gleichnamigen Wettbewerb für Schülerinnen und Schüler im Jahr 2019
- Editorial „2020 – das Internationale Jahr des Sounds“ im Akustik Journal, Ausgabe 01/20
- Pressemitteilung der DEGA zum International Year of Sound ■



soundscape

Wie klingt unsere Umwelt?

Standardisierung (DIN ISO 12913), mobile Messsysteme, psychoakustische Analysen:
Als Soundscape-Pioniere stehen wir für eine ganzheitliche Bewertung der Geräuschqualität.

Akustisches Charisma Profiling

Auf dem Weg zur digitalen Rhetorik

Oliver Niebuhr, Jana Neitsch, Jan Michalsky

Das moderne Leben ist geprägt durch e-Learning, Home Office, sprechende Maschinen, virtuelle Meetings sowie durch eine privat wie beruflich möglichst einflussreiche Präsenz in den sozialen Medien. Kurz gesagt, das moderne Leben verlangt vielleicht mehr als jemals zuvor nach charismatischer Kommunikation. Entsprechend rangiert diese Fähigkeit auch stets unter den top-3 Wünschen jeder Personalabteilung. Doch während der Einfluss von Technik auf den Bedarf nach charismatischen Sprechern kaum zu übersehen ist, muss man den Einfluss von Technik auf das Training eben dieser Sprecher mit der Lupe suchen – bis jetzt jedenfalls. Auf der Basis eines historischen und empirischen Überblicks über die Elemente und Effekte von Sprechercharisma legt dieser Artikel dar, welche bedeutende Rolle die technisch aufgelösten akustischen Signale der Sprechstimme im Orchester der Charismasignale spielen und wie sich akustisches Charisma technisch untersuchen, messen und trainieren lässt. Abschließend weisen wir auf die interdisziplinäre Relevanz dieser Forschungs- und Entwicklungsarbeit hin, z. B. für Mensch-Maschine-Interaktion und industrielles Sound Design im Allgemeinen.

Charisma gestern und heute

Charisma ist ein komplexes und vielseitiges Phänomen. Einerseits ist es alltäglich und intuitiv für jeden erlebbar. Andererseits ist es aber auch schwer zu greifen und präzise einer bestimmten Ursache zuzuordnen. Mit den Worten von Heide [1: 305]: Charisma ist „easy to sense but hard to define“. Dies führt häufig zu der Fehlannahme, Charisma sei kein der Wissenschaft zugängliches Konzept, ja nicht einmal untersuchenswert. Bevor wir uns daher damit beschäftigen können, wie erstaunlich mächtig akustisches Charisma über uns herrschen kann und woraus sich der „akustische Fingerabdruck“ charismatischer Stimmen konstituiert, ist es notwendig, Charisma als wissenschaftlich untersuchbares Konzept zu etablieren und einen Blick auf den dazugehörigen Forschungshintergrund zu werfen, vgl. hierzu auch den Überblick in Antonakis et al. [2].

Bereits bei Aristoteles finden sich Aspekte des modernen Charisma-Konzepts, wie das Demonstrieren von Werten, das Entfachen von Emotionen oder eine starke Argumentation mit symbolischer Sprache. Der eigentliche Impetus für die wissenschaft-

Acoustic Charisma Profiling – Towards the Digitization of Rhetoric

Modern life is shaped by e-learning, home office, talking machines, virtual meetings and job interviews as well as by a social-media presence that is as influential as possible, both privately and professionally. In short, modern life requires, perhaps more than ever before, charismatic communication skills from all of us. Accordingly, this ability constantly ranks among the top-3 desires of every HR department. But, while the influence of technology on the desire for charismatic speakers can hardly be overlooked, the influence of technology on the training of these speakers has to be searched for with a magnifying glass - at least until now. On the basis of a historical and empirical overview of the elements and effects of speaker charisma, this article explains the important role of technically resolved acoustic voice signals in the orchestra of charisma signals and shows how acoustic charisma can be technically analyzed, measured, and trained. Finally, we point out the interdisciplinary relevance of this research and development work, e.g., for human-machine interaction and industrial sound design in general.

liche Fundierung von Charisma geht jedoch maßgeblich auf die Nachkriegsarbeiten von Weber [3] zurück, der in Charisma allerdings noch eine außergewöhnliche, fast magische Gabe sah, die einer Person angeboren ist. Damit war Charisma gleichzeitig ein kategoriales Konzept. Man(n) hatte es entweder – oder eben nicht.

Im Anschluss an Weber ist das Konzept von verschiedenen Forschungsdisziplinen substantiell erweitert worden. Die Politikwissenschaften heben die außerordentliche Bedeutung von Charisma für das Verhältnis von Leadern und Followern hervor. Tucker [4] rückt hierbei die Funktion kommunikativer Fähigkeiten in den Fokus, im Speziellen das Vermitteln von Idealen und Überzeugungen. Die angewandte Psychologie betont – vor allem vertreten durch House [5] – die Funktion von Charisma für die emotionale Interaktion zwischen Leadern und Followern und weist auf die Vorbildfunktion charismatischer Leader hin. Dies kann als Grundlage für die zunehmend stärker werdende Bedeutung der sogenannten emotional contagion als Kernkonzept von Charisma gesehen werden [6]. Das Phänomen

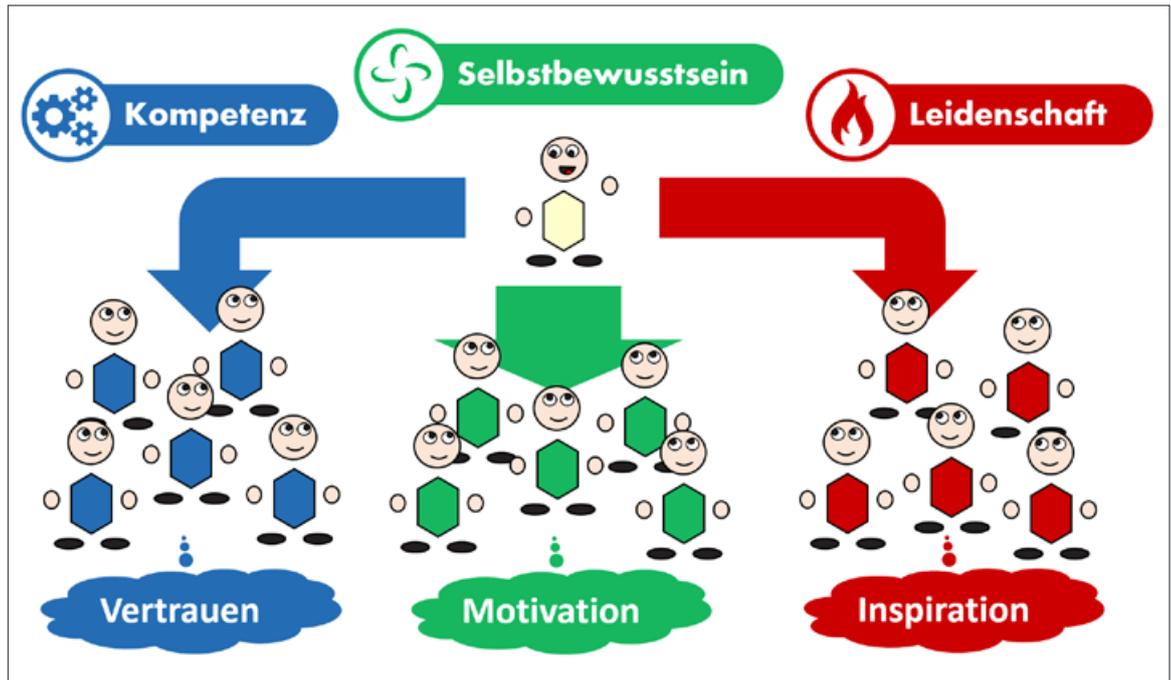


Abb. 1: Illustration der Charisma-Definition

der emotional contagion bezeichnet die Fähigkeit eines Menschen, durch dessen Ausstrahlung seine Emotionen von sich auf andere zu übertragen. Zuletzt findet sich ein wichtiger Bestandteil des modernen Charisma-Konzepts im Ansatz von Etzioni [7], der sich mit der Rolle von Charisma in Unternehmensstrukturen beschäftigte und die außerordentliche Bedeutung einer charismatischen Führung auf die intrinsische Motivation von Mitarbeitern hervorhebt. Jüngere Untersuchungen zeigen, dass dieser Effekt von Führungskräfte-Charisma auf die Motivation – und damit auf die Produktivität und Effizienz von Mitarbeitern – mindestens auf Augenhöhe mit dem Effekt finanzieller Anreize anzusiedeln ist [8]. Entsprechend basiert auch ein essenzieller Teil des als transformational leaderships bekannten Führungsstils, der das Verhalten und die Einstellungen von Mitarbeitern nachhaltig zu verändern sucht [9], auf der Wirkung von Führungskräfte-Charisma.

Widmen wir uns einer modernen Definition von Charisma, stellen wir zuerst fest, dass sich durch die jahrzehntelange Untersuchung charismatischer Effekte seitens der Politik, Psychologie und Wirtschaftswissenschaft inzwischen ein Konsens darüber gebildet hat, dass Charisma weder angeboren noch gottgegeben oder magisch ist. Vielmehr ist es eine auf Signalen basierte Kompetenz, die, wie jede andere Kompetenz auch, erlernt und verbessert werden kann und die über Individuen hinweg in unterschiedlich ausgeprägten Graden vorliegt [2]. Wenn es auf dieser Basis nun an eine konkrete Definition geht, finden wir zwei grundsätzlich unterschiedliche Denkrichtungen: den persönlichkeitsbezogenen Ansatz und den attributi-

onalen Ansatz. Wir wollen hier Charisma gemäß des attributionalen Ansatzes definieren.

Innerhalb des attributionalen Ansatzes können wir grundsätzlich drei Perspektiven unterscheiden: Charisma als Kommunikationsmittel, als Ausstrahlung und als Effekt. Gemäß Antonakis et al. [2] lässt sich ein wissenschaftlich handfestes Konzept von Charisma weder über die Wirkung einer Person noch über deren Effekte auf Follower definieren, da diese Effekte in Abhängigkeit kontextueller Faktoren stark variieren können. Entsprechend definieren Antonakis et al. Charisma als Kommunikationsstil, der symbolisch, emotional und wertebasiert Führungskraft signalisiert.

Der Abstraktionsgrad dieser Definition bringt den Nachteil mit sich, dass Führungskraft selbst wieder eine zu definierende Leerstelle öffnet. Entsprechend ist es für eine greifbare und anwendbare Definition hilfreich, eine spezifische Idee von Führungskraft mitzuliefern. Hierfür zeichnen sich in der Forschungsliteratur drei wesentliche Kerneigenschaften von Charisma ab. Erstens kann die Ausstrahlung von Leidenschaft und emotionaler Involvierung nach dem emotional-contagion-Prinzip [6] auf Hörer überspringen und diese inspirieren und ihre Kreativität anfachen. Zweitens können Selbstbewusstsein und Selbstsicherheit des Sprechers beim Hörer intrinsische Motivation auslösen und verstärken. Drittens schaffen Selbstbewusstsein und Selbstsicherheit in Verbindung mit der Signalisierung von Kompetenz Vertrauen in die Fähigkeiten des Sprechers. Selbstbewusstsein und Selbstsicherheit zu vermitteln heißt übrigens nicht, dominant oder au-

toritär zu wirken. Hierarchien und Macht für sich zu nutzen, ist kein Zeichen von Charisma. Im Gegenteil, der Charisma-Begriff ersetzt Hierarchien und Macht durch Überzeugungskraft. Charismatisch ist also, wer andere dazu bringt, den eigenen Ideen, Aktionen und Zielen aus freien Stücken statt aufgrund von Zwängen zu folgen.

Zusammenfassend definieren wir Charisma daher als einen Kommunikationsstil, der über symbolische, emotionale und wertebasierte Ausdrucksformen die drei essenziellen Führungseigenschaften Leidenschaft, Selbstbewusstsein und Kompetenz signalisiert. Diese Signale können dann Motivation, Inspiration und Vertrauen von Zuhörern beeinflussen und, als Folge davon, deren Verhalten und Einstellungen verändern. Abbildung 1 fasst die Definition von Charisma in Form eines Schaubildes zusammen.

Zur relativen Bedeutung des akustischen Charismas

Wenn Charisma sich in erster Linie als eine Art zu kommunizieren beschreiben lässt, welche Rolle spielen dann die non-verbale und die akustisch-phonetischen Elemente darin? Dieser Frage liegt eine andere Frage zugrunde, die sich schon seit Jahrzehnten durch die Charismaforschung zieht, nämlich die Frage nach der Gewichtung von dem was gesagt wird, also dem Inhalt der Rede oder content, und der Art und Weise wie etwas gesagt wird, also der Präsentation der Rede oder delivery [10]. Dabei besteht bereits Uneinigkeit darüber, wo genau die Grenze zwischen Inhalt und Präsentation eigentlich zu ziehen ist.

Die Unterscheidung gemäß der klassischen Rhetorik, der auch Antonakis et al. [2] folgen, rechnet einzig den propositionalen Gehalt zum Inhalt. Neben nonverbalen Kommunikationsmitteln wie Stimme und Körpersprache werden damit auch sprachliche Mittel wie Metaphern und Analogien, rhetorische Fragen, Listen, Kontraste oder auch Storytelling dem Bereich der Präsentation zugerechnet. Eine alternative Trennung von Inhalt und Präsentation findet sich in der Abgrenzung von verbalen und nonverbalen Strategien [11]. Diese Trennung schreibt explizit auch alle rhetorischen Mittel der Inhaltsseite zu und grenzt sie von den beiden nonverbalen Mitteln Stimme und Körpersprache als Vertreter der Präsentationsseite ab. Diese Trennung prägt auch die linguistische Forschungsliteratur sowie die moderne Ratgeberliteratur, die einen zunehmenden Fokus auf die nonverbale Präsentation legt, vgl. Soorjoo [12: 20] und Fox Cabane [13: 89].

In ihren Untersuchungen zur Rolle nonverbaler Kommunikation stellen Holladay und Coombs [10] heraus, dass bei einem Widerspruch von verbaler und nonverbaler Information die Interpretation

maßgeblich von der nonverbalen Ebene bestimmt wird. Diese Dominanz des Nonverbalen über das Verbale findet sich mit Bezug auf die Wahrnehmung von Sprechercharisma auch bei Awamleh und Gardner [14] sowie Caspi et al. [15] bestätigt.

Vor diesem Hintergrund richtete sich im vergangenen Jahrzehnt der Fokus über Forschungsdisziplinen hinweg zunehmend auf das akustische Charisma – nicht nur in Abgrenzung zum Inhalt, sondern auch unter Ausschluss visueller Parameter. In ihrer Untersuchung zur charismatischen Kommunikation stellt Towler [16] in einer Principal-Component-Analyse (PCA) fest, dass die akustischen Faktoren einen von Körpersprache und Inhalt unabhängigen Einfluss ausüben. Ein expliziter Vergleich zwischen Inhalt und stimmlicher Präsentation findet sich bei Caspi et al. [15], die zeigen können, dass der Unterschied zwischen einem starken und einem schwachen Inhalt einer Rede nicht annähernd so gewichtig für die Bewertung von Sprechercharisma ausfällt wie der Unterschied zwischen einer starken und einer schwachen stimmlichen Präsentation einer Rede. Diese dominierende Rolle behält die Stimme überdies auch für die Dauer der Rede bei. Die Stimme bestimmt somit also nicht nur den berühmten ersten Eindruck.

Einen direkten Vergleich zwischen auditiven und visuellen Merkmalen von Charisma finden wir abschließend unter anderem bei Scherer et al. [17], die zeigen, dass die auditive Ebene nicht nur bei der Wahrnehmung von public speaking skills überwiegt, sondern überdies auch die Interpretation visueller Merkmale steuern und bestimmen kann. Dies findet sich auch bei Chen et al. [18], die zu dem Ergebnis kommen, dass die akustische Ebene bessere Prädiktoren für Charisma liefert als visuelle Faktoren. Zu einem ähnlichen Schluss gelangen auch Wörtwein et al [19]. Um es mit den Worten von Amon [20: 19-20] zusammenzufassen: „Es gibt eine Überlegenheit des hörbaren Eindrucks gegenüber dem Sichtbaren. [...] In dem Moment, in dem Sie den Mund öffnen, werden alle sichtbaren Elemente zur Dekoration und treten in den Hintergrund, von den Manschettenknöpfen bis zum Flipchart“.

Was kann akustisches Charisma?

In Übereinstimmung mit der zentralen Rolle, die der Präsentation einer Rede (delivery) zugeschrieben wird, haben eine Reihe insbesondere jüngere Studien die verblüffenden Effekte akustischen Charismas enthüllt. Gregory und Gallagher [21] etwa untersuchten rein akustische Merkmale der US-Präsidentschaftskandidaten zwischen 1960 und 2000. Sie analysierten und tiefpassfilterten die vielbeachteten TV-Debatten, die zwischen den beiden verbleibenden Kontrahenten der republikanischen

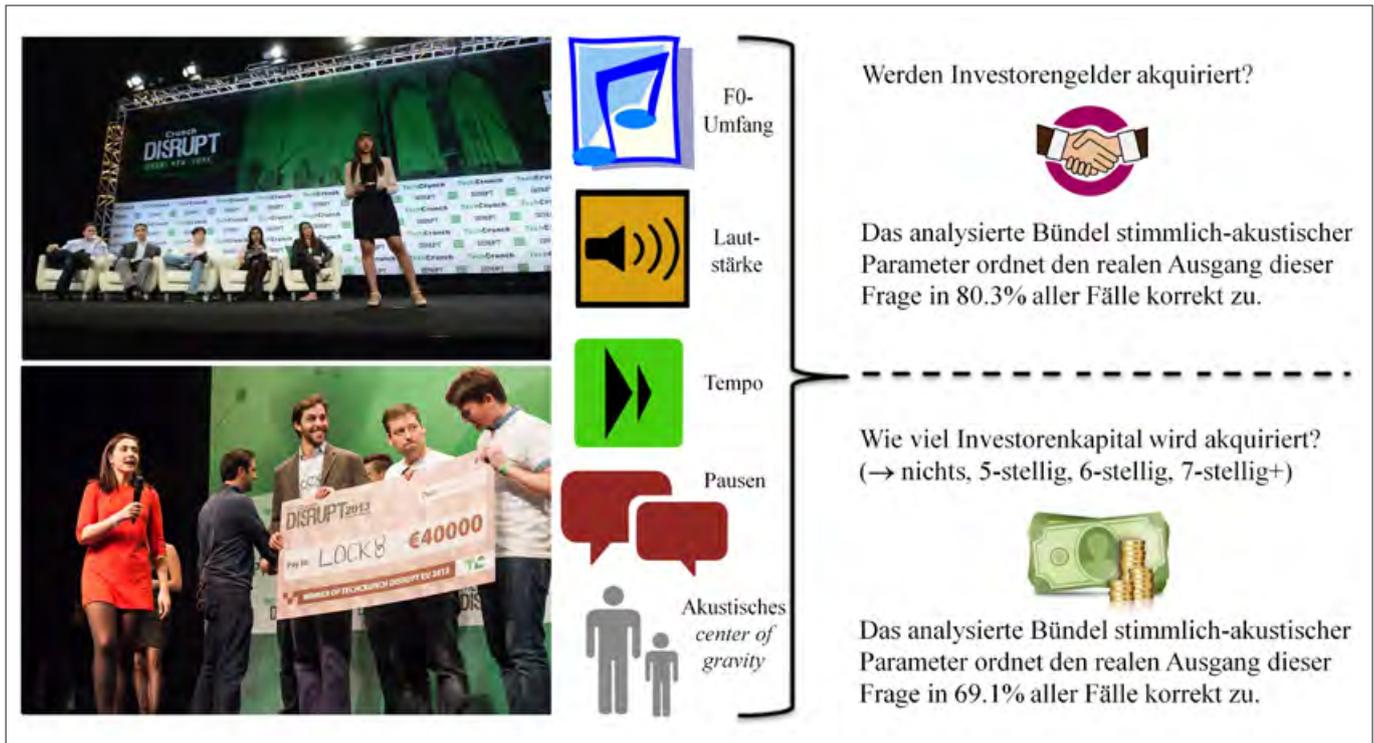


Abb. 2: Die Bedeutung stimmlich-akustischer Parameter für den Investment-Erfolg bei Startups.

und demokratischen Partei stets kurz vor der eigentlichen Wahl stattfinden und bundesweit ausgestrahlt werden. Aus den extrahierten und tiefpassgefilterten Sprachsignalen, die den Bereich von der Grundfrequenz (f_0) bis etwa zum ersten Formanten (F_1) abdecken, berechneten sie dann ein Maß der spektralen Energieverteilung – das, wie sich herausstellt, in der Lage ist, zu 100 % korrekt die Ausgänge aller acht Präsidentschaftswahlen in den USA über den analysierten vierzigjährigen Zeitraum nachzuvollziehen. In einer ähnlichen Weise haben Tegtmeier et al. [22] die Stimmprofile von 175 Gründerinnen und Gründern analysiert, die ihre Startups zwischen 2012 und 2018 auf den namenhaften TechCrunch Disrupt Events in San Francisco präsentiert und um Investorengelder geworben haben. Es zeigt sich auf der Basis statistischer Regressionsmodelle, dass allein die akustischen Stimmprofile zu über 80 % erklären konnten, ob die jeweiligen Gründerinnen und Gründer erfolgreich Investments akquirieren konnten und sogar in welcher Höhe es ihnen gelang (d. h. fünf-, sechs- oder siebenstellige Dollarbeträge). Gleichzeitig gab es auf verbaler Ebene keinen einzigen Parameter mit vergleichbarem, signifikantem Stellenwert. Die stimmlichen Parameter, die hierbei am stärksten herausgestochen sind, waren die Größe des f_0 -Umfangs, die Höhe der mittleren Sprechlautstärke, die Länge (oder vielmehr die Kürze) der Pausen und die Schnelligkeit des Sprechtempos. Hinzu kam die (möglichst tiefe) Lage des mittleren akustischen Energiemaximums im Frequenzspektrum des

Sprachsignals (Center of Gravity), die u. a. mit der perzipierten Körpergröße eines Sprechers korreliert ist, siehe Abbildung 2.

Wie unmittelbar der Effekt akustischen Charismas auf das Denken und Verhalten von Menschen ist, lässt sich gut in experimentellen Studien mit sprechenden Robotern bzw. Maschinen demonstrieren. Der Vorteil an sprechenden Robotern bzw. Maschinen ist, dass sie einerseits physische Körper besitzen, durch die sie im Vergleich zu vollständig virtuellen Agenten in einem gewissen Maß als personalisierte Interaktionspartner erlebt und behandelt werden. Gleichzeitig lässt sich aber, anders als bei einem Menschen, die Sprachausgabe des Roboters bzw. der Maschine präzise kontrollieren und variieren; und weil den sprechenden Robotern und Maschinen überdies Aspekte wie Geschlecht, Kleidung, Alter, ethnische Merkmale etc. fehlen, kann ein und dieselbe künstliche Entität mal männliche, mal weibliche, mal alte und mal junge Stimmen verkörpern.

In den Experimenten von Fischer et al. [23] sowie Niebuhr & Michalsky [24] wurden zum Beispiel zwei parallele Sets aus Sprachsynthese-Stimuli mit identischem Wortlaut generiert. Auf das eine Stimulus-Set wurde das akustische Charisma von Steve Jobs aufgeprägt, das heißt u. a. seine Durchschnittswerte hinsichtlich f_0 -Niveau, f_0 -Umfang, Sprechgeschwindigkeit, Pausenhäufigkeit, Pausendauer, akustischem Energieniveau sowie der Häufigkeit expressiver Betonungen, die etwa durch stark in die „LLLLLänge“ gezogene Konsonanten am Beginn der Akzentsilbe

des Wortes charakterisiert sind. Im anderen Set der Sprachsynthese-Stimuli wurden die gleichen Parameter variiert, aber auf die Durchschnittswerte von Mark Zuckerberg eingestellt, einem im Vergleich zu Steve Jobs nachweislich deutlich weniger charismatischen Sprecher [23], siehe Abbildung 3. Fischer et al. haben auf dieser Basis u. a. den humanoiden Pflegeroboter „Care-o-Bot“ bei über einhundert zufällig ausgewählten Probanden eine fingierte Blutdruckmessung durchführen und nebenbei Tipps für einen gesunden Lebensstil geben lassen – mal mit Jobs und mal mit Zuckerbergs akustischem Charismaprofil. Anschließend durften sich die Probanden für ihre Teilnahme am Blutdrucktest eine kleine Belohnung aus einer Schüssel aussuchen, die zu volumenmäßig gleichen Anteilen mit Obst und Schokolade gefüllt war. Was die Probanden nicht wussten: Das eigentliche Experiment bestand aus den Gesundheitstipps und der am Ende angebotenen Belohnung. Tatsächlich konnten Fischer et al. so zeigen, dass diejenigen Probanden, die die Gesundheitstipps im Rahmen der fingierten Blutdruckmessung mit dem akustischem Charismaprofil von Steve Jobs hörten, am Ende signifikant häufiger zum Obst als zur Schokolade gegriffen haben als diejenigen Probanden, die die Gesundheitstipps mit Mark Zuckerbergs akustischem Charismaprofil präsentiert bekamen. Auf ähnliche Weise haben andere Roboter, ausgestattet mit dem Jobs'schen Charismaprofil, Probanden auch zum Ausfüllen längerer Fragebögen und zum Buchen anderer Sightseeing-Trips bewegen können.

Niebuhr & Michalsky [24] haben diese Experimentserie noch weiter zugespitzt und sind der Frage nachgegangen, was passiert, wenn man die akustischen Charismaprofile von Jobs und Zuckerberg in die Sprachausgabe eines Navigationsgeräts im Auto implementiert – und dann dieses Navigationsgerät im Rahmen einer fingierten Testfahrt mit ortskundigen Probanden absichtlich falsche Routenanweisungen geben lässt; Routenanweisungen, die obendrein stufenweise immer stärker von der zuvor vereinbarten Zielroute abwichen. Würden sich die ortskundigen Probanden nicht nur wie bei Fischer et al. [23] durch akustisches Charisma zu bestimmten Handlungen verleiten lassen, sondern würden sie auch wider besseren Wissens handeln und dem Navigationsgerät auf der falschen Route folgen? Und wenn ja, wie lange? Der akustische Charisma-Effekt war tatsächlich auch beim Handeln wider besseren Wissens signifikant nachweisbar – und sogar stärker ausgeprägt als erwartet. Während fast ein Drittel der Testfahrerinnen und Testfahrer in der Zuckerberg-Bedingung kurz nach den ersten falschen Routenanweisungen bereits die Testfahrt abgebrochen oder die Kommandos des Navigationsgeräts fortan ignoriert hat, nahm mehr als die Hälfte der Probanden in der Jobs-Bedingung einen mindestens doppelt so langen Umweg in Kauf, und zirka ein Viertel brach die Testfahrt gar nicht ab. Nebenbei zeigen diese Experimente auch, dass sich die Effekte akustischen Charismas von Menschen auf Maschinen übertragen lassen, woraus sich weitreichende Implikationen ergeben; sowohl für die

Abb. 3: Wie Sprachsynthese in Robotern und Maschinen die Effekte der charismatischen Stimme sichtbar und untersuchbar macht.

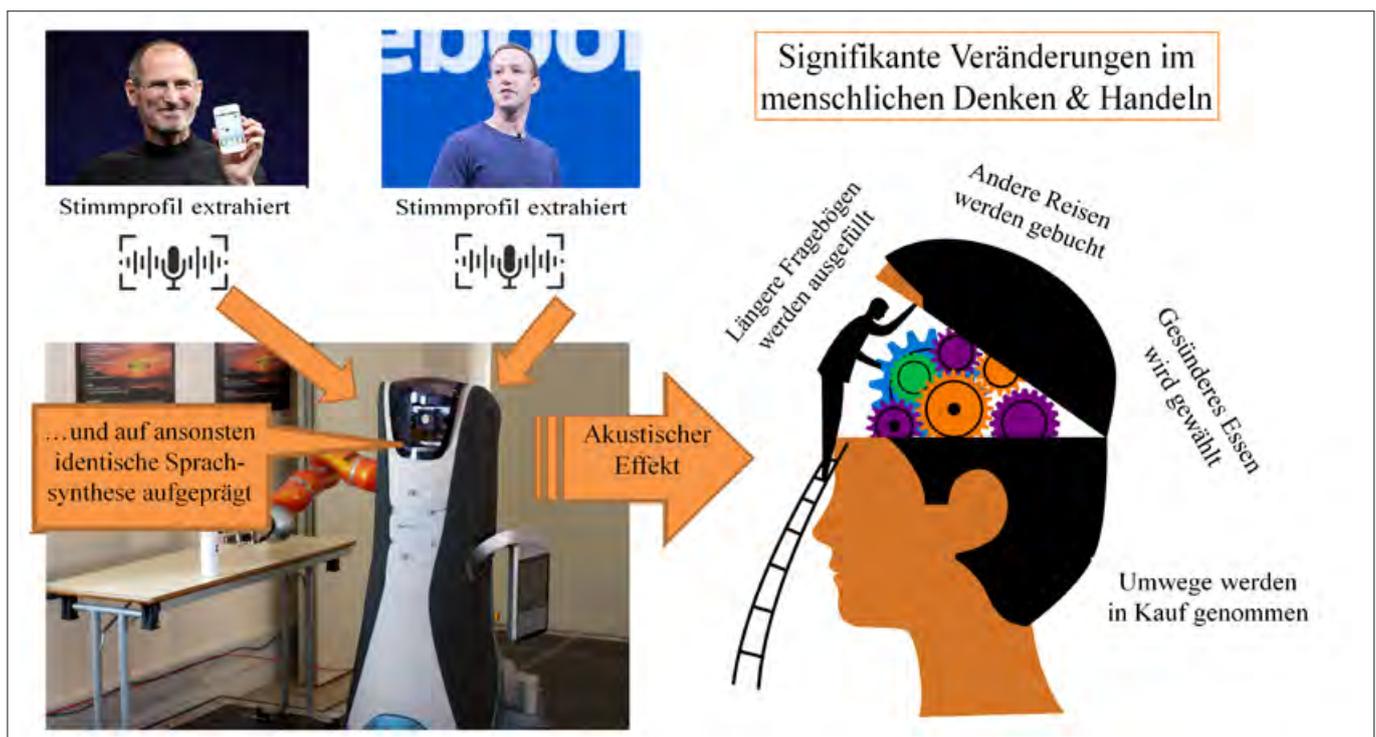




Abb. 4: Ein „Egg-drop Competition“ im Rahmen der SECME Olympiade an der Universität von Florida im April 2008 (Foto: WillMcC).

noch immer unterschätzte Bedeutung einer stimmlich gut designten Sprachausgabe bei Robotern und Autos als auch für das Sound-Design von Maschinen insgesamt. Insbesondere bei Autos sehen die Autoren ein erhebliches Missverhältnis im finanziellen und technischen Aufwand, der einerseits in den mechanischen und andererseits in den stimmlichen Klang des Produktes investiert wird. Wie die Haptik von beispielsweise Lenkrad und Schaltung, so steht auch die Stimme des Autos in unmittelbarem Kontakt zum Fahrer und hat wichtige Auswirkungen auf die erlebte Qualität des Autos und die Intensität der Beziehung zwischen Mensch und Maschine.

Auch zu den Effekten akustischen Charismas in der Mensch-Mensch-Interaktion gibt es einige experimentelle Studien. Hierzu zählt beispielsweise die Arbeit von Bachsleitner [25], in deren Zentrum die Moderation von Kreativitätsworkshops stand. Dabei erhielten Probanden die Aufgabe, binnen einer Stunde die etablierte Egg-Drop-Challenge [26] zu lösen. Hierbei werden Bastel- und Handwerksmaterialien zur Verfügung gestellt, mit denen die Workshop-Gruppen ein rohes Ei so präparieren sollen, dass es einen Fall aus 10 Metern Höhe heil übersteht (was anschließend getestet wird), siehe Abbildung 4. Im Falle von Bachsleitner bestand das Experiment aus zehn Workshop-Gruppen à fünf Personen. Moderiert wurden diese Gruppen mittels vorbereiteter Videosequenzen, die mit einer trainierten Spreche-

rin aufgenommen wurden; einmal mit einer stimmlich sehr charismatischen Moderation und einmal im gleichen Wortlaut mit einer stimmlich neutral-sachlichen, weniger charismatischen Moderation. Nach dem Zufallsprinzip erhielt die eine Hälfte der Gruppen die sehr charismatische und die andere Hälfte die weniger charismatische Moderation. Im Ergebnis zeigte sich, dass die jeweilige Moderation das Verhalten der Gruppen über die gesamte Stunde des Kreativitätsworkshops hinweg entscheidend geprägt hat – und dass obwohl alle gezeigten Videosequenzen insgesamt kaum mehr als fünf Minuten des einstündigen Workshops ausgemacht haben. In den Gruppen mit der stimmlich sehr charismatischen Moderation fand, gegenüber den anderen Gruppen, über den Workshop hinweg sehr viel mehr Interaktion statt – im Sinne eines geringeren Stille-zu-Rede-Verhältnisses. Auch das Risiko eines unterdurchschnittlichen Ideen- und Lösungoutputs wurde um 44 % reduziert. Letztlich wurden in Bachsleitners Studie die konstruierten Egg-Drop-Lösungen aller Gruppen (im double-blind-Verfahren) von einem Expertenpanel aus Innovations- und KreativitätsforscherInnen bewertet. Hierbei schnitten die Lösungen der sehr charismatisch moderierten Gruppen um 21 % kreativer und innovativer ab als die der weniger charismatisch moderierten Gruppen.

Exemplarisch für den Bereich der Pädagogik berichtet Fox Cabane [13:139] von einem Professor der Cornell Universität, der in zwei Semestern hintereinander vor jeweils etwa 300 Studierenden mit einem vorgefertigten Skript die exakt gleiche Vorlesung hielt, jedoch einmal weniger und (nach Präsentationstraining) einmal mehr charismatisch. Für die letztere Bedingung, die sich ausschließlich in charismatischerer Akustik und Körpersprache von der ersteren Bedingung unterschied, berichteten die Studierenden von einem signifikant größeren Lernerfolg und waren überdies auch noch zufriedener, fleißiger, und engagierter bei Vorlesungstexten, Prüfungen und Sprechstunden. Auch der Professor selbst wurde in der Semesterevaluation als kenntnisreicher, offener und organisierter bewertet.

Jenseits rein phonetisch ausgerichteter Studien zeigen Howell & Frost [47], dass Probanden organisatorische Aufgaben hochwertiger und schneller erledigten, wenn sie in einem charismatischeren Führungsstil angeleitet wurden. Zudem waren die Probanden zufriedener und resistenter gegen den Einfluss unmotivierter Mitarbeiter. In einer Studie von Towler [16] arbeiteten HR-Angestellte mit höherer Zufriedenheit, nahmen ihren Vorgesetzten als effizienter und kompetenter wahr, erledigten Aufgaben mit höherer Qualität und übernahmen sogar die Unternehmensvision zuverlässiger, wenn ent-

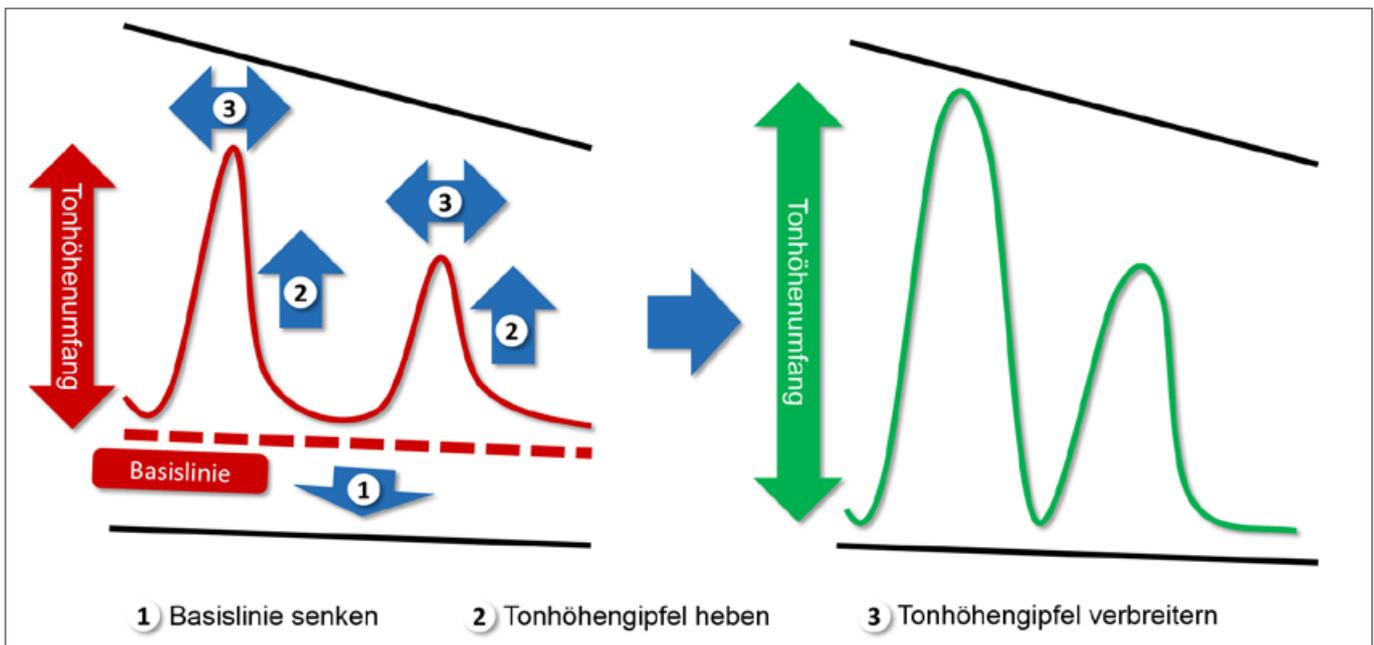


Abb. 5: Darstellung des Zusammenhangs zwischen f_0 und Sprechercharisma in Form dreier charismasteigernder Strategien.

sprechende Instruktionvideos von Sprechern mit vorherigem Charisma-Training aufgenommen wurden. In einem letzten Beispiel schulten Antonakis et al. [2, 8] Schauspieler im Umgang mit rhetorischen Mitteln charismatischer Kommunikation und fanden, dass die Angestellten entsprechend geschulter Sprecher bei gleicher Bezahlung zu Mehrarbeit in einer Größenordnung motiviert wurden, die gleichwertig mit dem Effekt von Bonuszahlungen war.

Was ist akustisches Charisma?

Insbesondere die phonetische Forschung hat in den vergangenen zehn Jahren gezeigt, dass die Vernetzung von akustischen Parametern des Sprachsignals mit wahrgenommenem Sprechercharisma überaus umfangreich und engmaschig ist. Sehr viele Parameter aus der Sprachakustik sind also mit Charisma assoziiert, jedoch nicht alle im gleichen Umfang und mit gleichem Stellenwert für die Sprecherwirkung. Zu den wirkungsvolleren Parametern gehören mindestens zwei Aspekte der Sprechmelodie, nämlich einerseits f_0 -Umfang und andererseits der f_0 -Wert, der von einem Sprecher u. a. am Ende von Äußerungen erreicht wird. Letzterer f_0 -Wert muss möglichst tief liegen. Das heißt, aus Charisma-Sicht ist es für den Sprecher vorteilhaft, Äußerungen, insbesondere Feststellungen, besonders tieftönig enden zu lassen. Wenn man dieses melodische Kriterium gut umsetzt und damit kombiniert, auf betonten Wörtern ausgedehnt hochtonige Melodiegipfel zu produzieren, dann ergibt sich in der Folge praktisch von selbst ein größerer f_0 -Umfang. Abbildung 5 zeigt das Zusammenwirken der drei Strategien (1) tiefer enden, (2) höher betonen, (3) länger betonen, die insgesamt in

den Ohren des Hörers das Gegenteil dessen entstehen lassen, was man unter dumpfem, monotonem Sprechen versteht. Steve Jobs etwa erreichte im Mittel in seinen zum Teil legendären Apple-Produktpräsentationen einen durchschnittlichen f_0 -Umfang von fast 2 Oktaven. Dieser Wert ist nahezu doppelt so hoch wie der, der sich für „normale“ Sprecher, einschließlich Mark Zuckerberg, beim Vorlesen und selbst beim Präsentieren findet. Der f_0 -Umfang ist der vielleicht wichtigste akustische Parameter in der Wahrnehmung von Sprechercharisma.

Auf der Zeitachse des Sprachsignals haben zum Beispiel das Sprechtempo und die Pausenhäufigkeit eine besondere Relevanz für Sprechercharisma. Ideal ist ein Tempo, das zum Thetawellen-Takt der neuronalen Aktivität im auditiven Cortex passt, also 5–6 Silben pro Sekunde zirka [27]. Die ideale Pausenhäufigkeit oder, aus umgekehrter Perspektive betrachtet, die ideale Dauer eines Äußerungselements zwischen zwei Pausen, lässt sich ebenfalls mit kognitiven Kennzahlen in Verbindung bringen. Die größte charismatische Wirkung entfaltet sich dann, wenn es dem Redner gelingt, die Inhalte beim Sprechen so zu gliedern, dass daraus kleine Informationshäppchen von maximal 3 Sekunden Länge entstehen, die damit gut in die Kapazität des auditiven Kurzzeitgedächtnisses passen [28]. Steve Jobs spricht zwischen Pausen im Schnitt etwa 1,4 Sekunden lang und pausiert damit mehr als doppelt so oft wie die meisten anderen Sprecher, die 5–6 Sekunden oder länger reden, bevor sie sich selbst durch eine kurze Pause unterbrechen. Elon Musk gehört dieser Kategorie der Pausenmeider an. Mark Zuckerberg liegt mit im Mittel knapp 2 Sekunden zwischen Jobs und Musk.

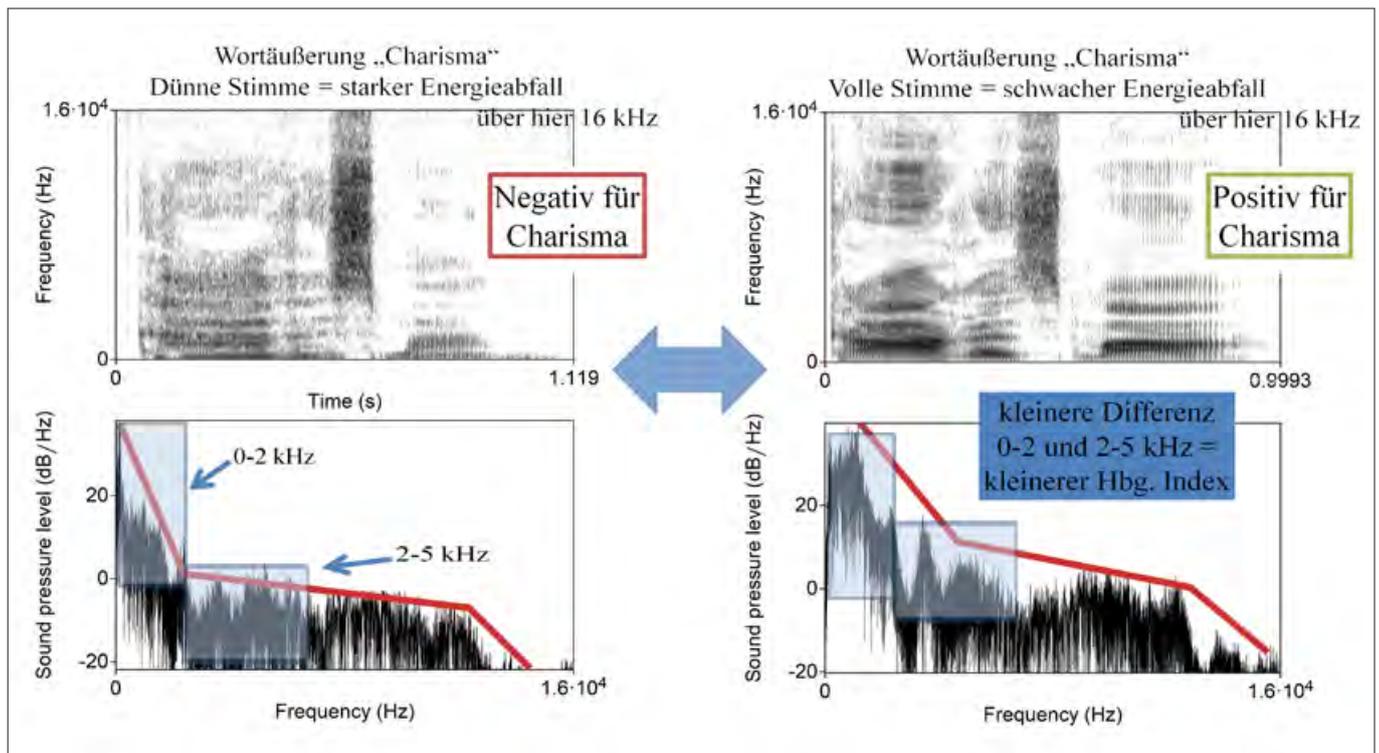


Abb. 6: Spektrale Energieverteilung in mehr und weniger charismatischen Stimmen und die Berechnung von Verteilungsmaßen wie dem Hammarberg-Index

Der Bereich spektraler akustischer Parameter ist besonders umfassend in die Charismawahrnehmung eingebunden, wenngleich wohl nur die wenigsten Parameter hierbei eine gewichtige Rolle spielen. Besonders zentral unter den spektralen akustischen Parametern sind Maße der spektralen Energieverteilung, gemittelt über einen bestimmten Zeitraum, wie etwa der Hammarberg-Index (benannt nach der schwedischen Medizinerin Britta Hammarberg), der das Energiemaximum im Frequenzbereich von 0–2 kHz ins Verhältnis setzt zum Energiemaximum im Frequenzbereich von 2–5 kHz [29], siehe Abbildung 6. Ist der Energieabfall vom niedrigeren in den höheren Frequenzbereich geringer, dann wirkt eine Person charismatischer. Für ein verwandtes Maß, nämlich das Energieverhältnis zwischen den Frequenzbereichen 1–5 und 5–8 kHz [30], haben Niebuhr et al. [31] beispielsweise gefunden, dass die Wahrscheinlichkeit, einem Sprecher sein Geld anzuvertrauen (z. B. um es in dessen Firma zu investieren) jedes Mal um 70 % steigt, wenn sich der Energieabfall vom niedrigeren in den höheren Frequenzbereich der Sprecherstimme um 25 % abflacht (Abb. 6). Gleichzeitig wird dem Sprecher pro 25 % flacherem Energieabfall eine zwei Mal höhere Management- und Führungserfahrung zugeschrieben. Interessanterweise hängen derartige spektrale Energieverteilungsmaße mit der Emotionalität eines Sprechers zusammen sowie mit der Sprechlautstärke und dem, was in der Rhetorik gern als eine volle, volumenreiche Stimme bezeichnet wird.

Ein zweiter Typ spektraler akustischer Charismaparameter misst die Lage von Energiemaxima im Frequenzbereich der Sprache. Darunter fallen als ganz offensichtliche Vertreter die Formanten, also die Resonanzfrequenzen des Sprachtraktes zu einem gegebenen Artikulationszeitpunkt. Niebuhr et al. [31] zeigen deutlich, dass die durchschnittlichen Lagen der ersten drei Formanten F1–F3 eines Sprechers negativ mit der Charismawahrnehmung korreliert sind. Das heißt, je tiefer die Formantfrequenzen liegen, die ein Sprecher durchschnittlich generiert, desto charismatischer wirkt er oder sie auf den Hörer. Für die Interpretation dieses Zusammenhangs ist es wichtig zu sehen, dass tiefere Formanten akustische Hinweise auf einen größeren (längeren) Sprachtrakt sind – und ein längerer Sprachtrakt wiederum in der Regel mit einem größeren Sprecher einhergeht. Tiefere Formantlagen lassen also auf ein Mehr an Körpergröße schließen, und dass größere Menschen inhärent charismatischer sind, wurde bereits in früheren Studien nachgewiesen. Aus dem gleichen Grund ist auch das oben bereits genannte, über die Zeit gemittelte spektrale Center of Gravity der akustischen Energie des Sprachsignals negativ mit Sprechercharisma korreliert, siehe hierzu auch Abbildung 7 in Anlehnung an die Forschung von Fletcher [46]. Der letzte Bereich charismarelevanter akustischer Parameter betrifft die artikulatorische Präzision eines Sprechers bzw., mit anderen Worten, die akustischen Abstände, mit denen er oder sie Sprachlaute

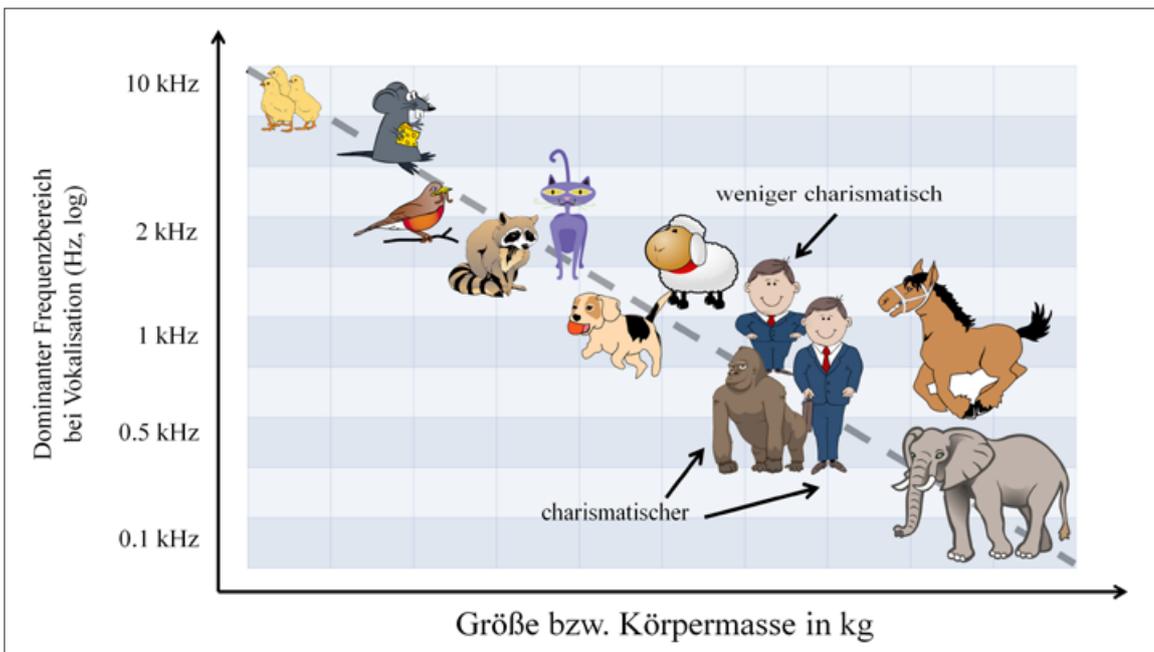


Abb. 7: Empirisch-statistischer Zusammenhang zwischen der Größe bzw. Körpermasse eines Organismus und der prominentesten Frequenzspanne seiner Vokalisation (adaptiert nach Fletcher 2009, [46]).

differenziert. Auf den Vergleich von Steve Jobs und Mark Zuckerberg zurückkommend, haben akustische Analysen von Niebuhr et al. [32] und Niebuhr & Gonzalez [33] zum Beispiel gezeigt, dass Jobs als

der charismatischere der beiden Sprecher stimmhafte Plosive /bdg/ und stimmlose Plosive /ptk/ hinsichtlich ihrer Kernmerkmale (i) Verschlussdauer, (ii) Phonation im Verschluss und (iii) Dauer der



WIE SCHAFFEN WIR NEUE LEBENSÄRÄUME? GEMEINSAM.

Erhöhter Trittschallschutz

Mixed-use in Perfektion heißt Vielseitigkeit ohne Kompromisse. Mit **REGUPOL** sind der gemischten Nutzung von Gebäuden so gut wie keine Grenzen gesetzt.

Ein L'_{nw} von 27dB und somit die sichere Einhaltung der TA-Lärm gewährleistet in den Gravensteiner Arkaden Frankfurt ein konfliktfreies Miteinander von Wohnen und Arbeiten.

akustik@regupol.de
www.regupol.com

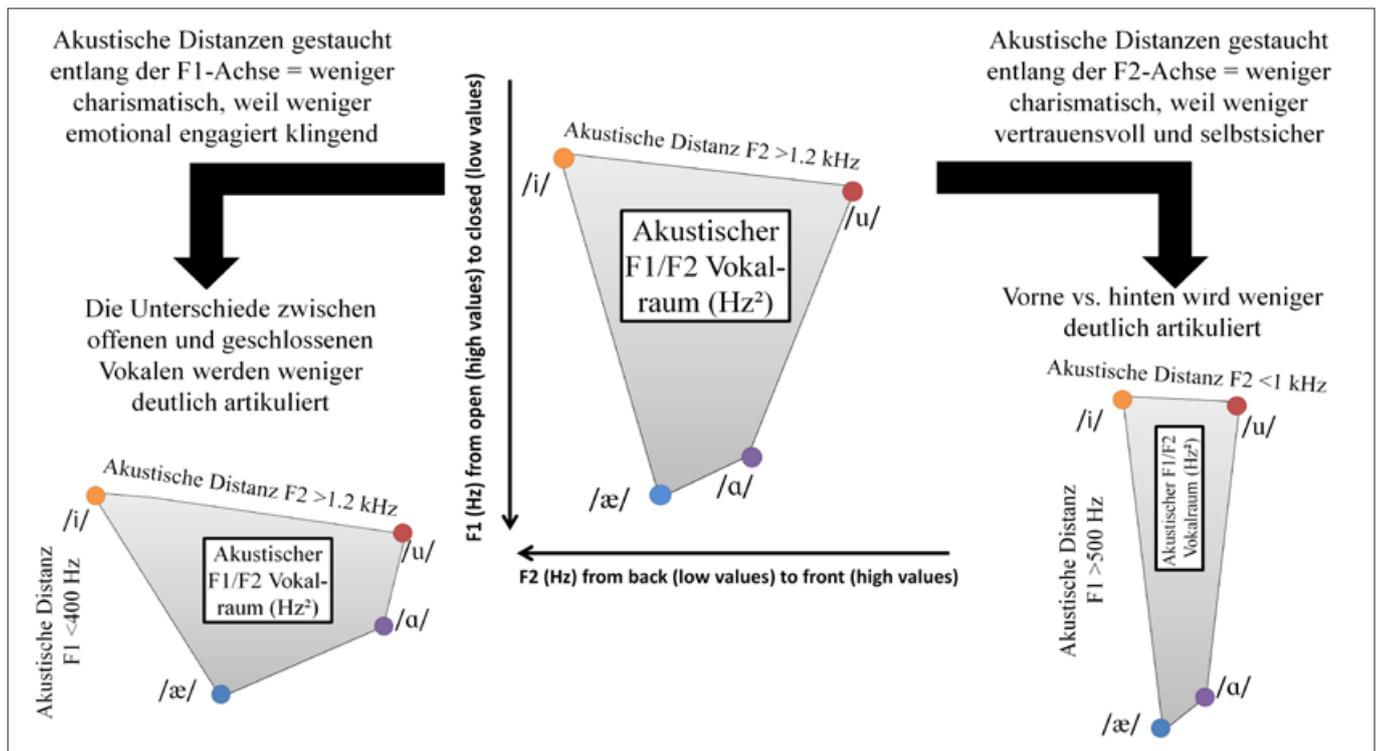


Abb. 8: Akustische Vokalraumgrößen und -formen entlang der ersten beiden Vokalformanten F1 und F2 und deren Hörerassoziationen mit charisma-relevanten Sprecherattributen.

Postaspiration akustisch signifikant deutlicher voneinander trennt als Zuckerberg. Für Jobs finden sich auch signifikant weniger kontextuelle Abweichungen vom Artikulationsort der Plosive (wie etwa von /t/ zu [p] im Umfeld eines labialen Lautes – wir kennen das vom deutschen Wort „Mettwurst“, das gern zu „Meppwurst“ wird). Letztlich bringt es Jobs im Vergleich zu Zuckerberg auf einen 18 kHz^2 größeren akustischen Vokalraum und damit insgesamt auf eine 48 % bessere akustische Vokaldistinktion entlang der beiden Dimensionen Öffnungsgrad (von /i/ zu /a/, akustischen vor allem durch F1 repräsentiert) und horizontale Zungenlage (von /i/ zu /u/, akustisch vor allem durch F2 repräsentiert). In Kombination spannen die beiden genannten Dimensionen quasi eine 2D akustische Resonanzfläche auf, die sich ähnlich wie die Fläche einer Wand (vertikal x horizontal) messen lässt, nur statt in m^2 in Hz^2 .

Dass eine bessere akustische Vokaldistinktion tatsächlich auch eine gesteigerte Charismawirkung bedeutet, dafür liefert die Studie von Niebuhr [34] direkte Belege, verbunden mit einer bemerkenswerten zusätzlichen Erkenntnis: Wie zuvor schon erwähnt, ist Charisma ein vielschichtiges Phänomen, das auf der Signalisierung von emotionaler Hingabe, Selbstsicherheit und Vertrauen basiert. Vor diesem Hintergrund zeigt sich nun, dass die Vokaldistinktion entlang der F1-Dimension des Öffnungsgrades (/i-/a/) primär mit der Wahrnehmung emotionaler Hingabe korreliert, wohingegen die Vokaldistinktion ent-

lang der F2-Dimension der horizontalen Zungenlage (/i-/u/) primär mit Vertrauen und Selbstsicherheit korreliert. Wie Abbildung 8 illustriert, führt somit nur ein symmetrisch größerer/kleinerer Vokalraum zu mehr/weniger Charisma entlang aller Facetten dieses Konzeptes. Zwischen den meisten Sprechern bestehen jedoch asymmetrische Vokalraumunterschiede. Zuckerbergs Vokalraum etwa ist vor allem entlang der F2-Dimension kleiner als der von Jobs, weswegen Zuckerbergs Charismadefizit gegenüber Jobs im Bereich der Vokale weniger der Wahrnehmung mangelnder emotionaler Hingabe geschuldet ist. Vielmehr lässt ihn sein Vokalraum weniger selbstsicher und vertrauenswürdig klingen als Jobs.

Charisma messen und lernen

Obwohl durch Jahre intensiver, insbesondere akustisch-phonetischer Forschung die Bandbreite charisma-relevanter akustischer Parameter weitgehend bekannt ist – und Studien obendrein zeigen, dass akustisches Charisma tatsächlich einen Schlüsselaspekt in der charismatischen Gesamtwirkung eines Sprechers darstellt – ist die Messung von akustischem Sprechercharisma dennoch alles andere als eine triviale Aufgabe. Bereits die Pioniere der akustischen Charisma-Forschung, Andrew Rosenberg und Julia Hirschberg wiesen 2009 darauf hin, dass ein Zusammenhang akustischer Parameter mit Sprechercharisma kaum linearer Natur sein dürfte, und falls doch, dann nur über einen relativ engen Werte-

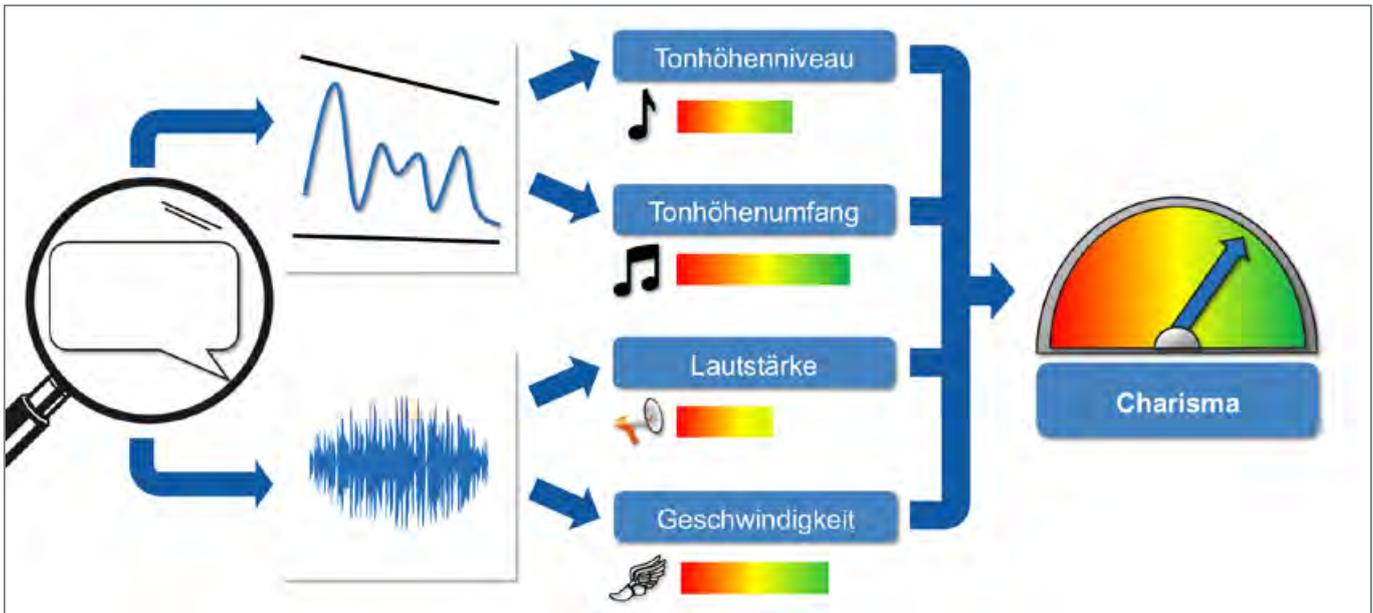


Abb. 9: Vereinfachte schematische Darstellung der stimmlichen Charismamessungen nach dem PICSA-Prinzip.

bereich [35]. Wenn lauterer Sprechen zum Beispiel charismatischer wirkt, dürfte dennoch irgendwann ein Punkt erreicht sein, an dem eine angemessene Sprechlautstärke überschritten wird und der positive Effekt gesteigerter Lautstärke wieder zurückgeht bzw. sogar abrupt ins Gegenteil kippt, spätestens wenn der Sprecher zu schreien beginnt. Analog dazu ist ein größerer f_0 -Umfang zwar positiv fürs Charisma; eine immer weitere Ausdehnung dieses Umfangs würde aber irgendwann unweigerlich in einer wenig charismatischen Singsang-Intonation enden. Aber kann man diese Schwellen bestimmen, und wo liegen sie genau?

Wie Niebuhr et al. [32] sowie Niebuhr & Skarnitzl [36, 37] außerdem betonen, besteht ein weiteres Problem darin, dass sich einzelne Aspekte der Stimme, wie etwa das Lautstärke-Niveau und der Melodieumfang, akustisch in einer Vielzahl an Parametern manifestieren. Welcher davon ist dann aber am geeignetsten für die Messung akustischen Charisma? Die Autoren dieses Artikels haben sich, zusammen mit Kollegen an den Universitäten Magdeburg, Nürnberg, Stuttgart, Prag, Rom, Nanjing, Campinas und Connecticut/Yale seit vielen Jahren intensiv mit diesen Fragen auseinandergesetzt – auf Basis einer komplementären Herangehensweise aus Analysen des akustischen Sprachsignals vieler hundert Sprecher einerseits und groß angelegten Wahrnehmungsexperimenten mit parametrisch kontrolliert variierten Stimulusäußerungen andererseits. Fast eine halbe Million Wahrnehmungsurteile wurden von Probanden abgegeben. Das Resultat dieses von der Süddänischen Universität (Centre for Industrial Electronics) geleiteten Großprojektes ist der PICSA-Algorithmus (Perception-Integrated Charismatic Speech Analy-

sis), siehe auch die Illustration in Abbildung 9.

Die Kernelemente des PICSA-Algorithmus sind die Effectiveness Windows, die sich entlang eines jeden Parameters aufspannen und definieren, ob und wie positiv sich ein bestimmter Parameterwert für das Charisma eines Sprechers auswirkt. Jedes Effectiveness Window weist einen Sweetspot auf, also einen engen Wertebereich, der sich maximal positiv für den Sprecher auswirkt. Kombiniert werden diese Effectiveness Windows mit dem Wissen darüber, wie sehr jeder einzelne Parameter im Zusammenspiel aller Parameter für die Charismawirkung ins Gewicht fällt. Wenn ein Sprecher also zum Beispiel in sehr gewichtigen, d. h. wirkungsstarken Parametern fast oder exakt den Sweetspot trifft, dann kann er oder sie es sich in gewissem Maße leisten, die Sweetspots weniger gewichtiger Parameter weit zu verfehlen – und ist damit insgesamt noch immer charismatischer als ein Sprecher, der nur bei weniger gewichtigen Parametern die Sweetspots zu treffen imstande ist.

Die Messung von Sprechercharisma mittels PICSA ist erstaunlich präzise. PICSA sagt das Ranking von Sprechern durch Hörer vorher [38], ja in gewissem Maße sogar die Noten, die Studierende bei mündlichen Prüfungen an der Süddänischen Universität erzielen [39].

Zu betonen ist, dass die Effectiveness Windows von PICSA sehr parameterspezifische Formen aufweisen und sich, zusammen mit der relativen Lage der Sweetspots, obendrein für männliche und weibliche Sprecher unterscheiden. Darüber hinaus gibt es natürlich auch sprachspezifische Unterschiede, insbesondere jenseits westgermanischer Sprachen wie Deutsch und Englisch [40]. Forschungen weisen ferner darauf hin, dass PICSA-Messungen nicht

vollständig losgelöst von außersprachlichen Charismafaktoren betrachtet werden können, wie etwa der Kleidung und der äußeren Attraktivität eines Sprechers sowie der Körpersprache [41].

Lässt sich akustisches Sprechercharisma mit PICSA trainieren und gezielt verbessern? Nun, lernen wir nicht auch bei Fremdsprachen, andere Parameterwerte zu treffen, und ist akustisches Charisma-Training dann letztlich nicht dem Erlernen einer Fremdsprache sehr ähnlich? So ist es tatsächlich! Die Autoren nennen das auf der Basis von PICSA entwickelte Lernverfahren Acoustic Voice Profiling® (AVP). Bei AVP handelt es sich um eine spiralförmige Lernprogression. Sie alterniert zwischen der PICSA-Bewertung von Stimmproben (z. B. Kurzpräsentationen) und dem sukzessiven Training derjenigen Stimmparameter, die für die Steigerung der charismatischen Wirkung des Sprechers relevant sind. Welche Parameter in welcher Reihenfolge und mit welcher Intensität trainiert werden, hängt davon ab, wie gewichtig sie für die Charismawirkung sind, wie weit der Sprecher außerhalb des Sweetspots bzw. Effectiveness Windows liegt und welche synergistischen oder antagonistischen Interaktionen zwischen Parametern im Training berücksichtigt werden müssen. Unterstützt wird das AVP durch eigens für PICSA entwickelte Software-Tools, die beim Sprechen zum Beispiel Sprechtempo, Melodieumfang, Sprechlautstärke und Pausenhäufigkeit, aber auch Vokalraumgröße und artikulatorische Präzision in für den Lerner einstellbaren Kombinationen auf dem Bildschirm in Echtzeit visualisieren und bewerten. Darüber hinaus sind Präsentationsübungen vor virtuellem Publikum mittels VR-Brillen ins AVP-Training eingebunden [42] – ebenso wie ein wenig Gamification, in dessen Rahmen sich Sprecher mit anderen bekannten Politiker- und Wirtschaftspersönlichkeiten im Hinblick auf charismatisches Präsentieren messen können.

Das Acoustic Voice Profiling®, das eine ganz neue Generation stimmfokussierter digitaler Rhetorik begründet, kann binnen eines halben Tages bereits eine Verbesserung der PICSA-Bewertung von durchschnittlich 30 % bei Sprechern erzielen [43]. Bei weiblichen Sprechern ist dieser Wert im Mittel sogar noch etwas höher, was nicht zuletzt deswegen relevant ist, weil es Hinweise darauf gibt, dass die charismatische Wirkung von Frauen noch stärker anhand akustischer Parameter bewertet wird als die von Männern [44]. Daher sollten Frauen in jedem Fall die Chance auf ein Charisma-Training wahrnehmen, ob es nun AVP ist oder ein anderes Verfahren.

Charisma-Mythen unter der PICSA-Lupe

Im Gegensatz zu dem einen oder anderen Ratgeber, basieren die Ratschläge rund um PICSA und das

Acoustic Voice Profiling® nicht auf den individuellen Erfahrungen und Einsichten einzelner Trainer oder auf schriftlich tradierten Thesen, sondern auf strikter empirischer Forschung. Aufmerksame Leser rhetorischer Ratgeberliteratur wissen zudem, dass sich einige dieser tradierten Thesen auch über Bücher oder Videos hinweg widersprechen. Was ergibt sich also, wenn besonders allgegenwärtige und seit langer Zeit vertretene Thesen wissenschaftlich hinterfragt werden? Halten all diese „Charisma-Mythen“ einer empirischen Überprüfung stand? Das Bild ist gemischt, wie Michalsky & Niebuhr [45] für zehn Mythen zeigen.

Mythen #1–3: „Charisma ist ein angeborenes Talent einiger weniger begabter Menschen, das vornehmlich während Krisenzeiten präsent ist“. „Charismatisches Sprechen und Kommunizieren ist Ausdruck einer charismatischen Persönlichkeit“. „Die Leistungsfähigkeit in Bezug auf Charisma erfordert intensives Üben“.

Diese drei Aussagen wurden im strikten Sinne widerlegt. Studien zeigen, dass Charisma generell erlernt und unabhängig von bestimmten Persönlichkeitsmerkmalen verbessert werden kann, allerdings nicht von allen Lernwilligen gleichermaßen erfolgreich. Es gibt Gründe anzunehmen, dass spezifische Persönlichkeitsmerkmale charismatisches Sprechen zusätzlich unterstützen können, ohne dass es dabei jedoch einen bestimmten charismatischen Persönlichkeitstyp gibt. Intensives Üben, so wird angenommen, kann sich positiv auf das Charisma in einer Rede auswirken (siehe AVP oben). Wird jedoch zu viel geübt, kann eine Rede schnell an Expressivität verlieren und auswendig gelernt wirken, was sich wiederum negativ auf die Charismawirkung eines Sprechers niederschlägt.

Mythos #4: „Tiefere Stimmen, also Stimmen mit einem im Mittel tieferen f0-Niveau, sind charismatischer als höhere Stimmen“.

Im Gegenteil! Aus akustisch-phonetischer Perspektive sollten Sprecher eher ein höheres globales f0-Niveau aufweisen. Dass sich dieser Mythos der tiefen Stimme so hartnäckig hält, obwohl die Forschung bereits vor Jahren Gegenevidenzen präsentiert hat [35], ist vermutlich dreierlei Umständen geschuldet. Erstens sollen in der Tat nicht alle Strukturelemente der f0-Kontur einer Äußerung angehoben werden. Lokale f0-Werte am Äußerungsende und zwischen betonten Wörtern müssen abgesenkt werden, um charismatischer zu wirken. Nur die Bereiche dazwischen und insbesondere die f0-Gipfel über betonten Wörtern gilt es anzuheben. Zweitens schießen populärwissenschaftliche Demonstrationen, die sich gegen ein höheres f0-Niveau aussprechen, so weit nach oben über den Sweetspot für das mittlere f0-Niveau hinaus, dass sich auch nach PICSA-Maßstäben ein negativer Effekt auf das Sprechercharisma ergeben würde. Das heißt, der Demonstrationsrahmen ist falsch gewählt.

Das tiefe f₀-Niveau wird nicht mit einem erhöhten (besseren), sondern mit einem überhöhten (noch schlechteren) Niveau verglichen. Drittens fußen manche Studien auf einer anderen Definition von Charisma und erforschen, nach der hier gegebenen Definition, nicht etwa charismatisches Sprechen, sondern ein Sprechen, das dominant oder „sexy“ ist – und das tatsächlich mit einem tieferen f₀-Niveau einhergeht.

Mythos #5: „Gefüllte Pausen (z. B., „ähm“) wirken sich negativ auf Charisma aus“.

Auch dieser Mythos hält einer empirischen Überprüfung nicht uneingeschränkt stand. Charisma wird nicht per se gemindert, wenn ein Sprecher seine Pausen mit Varianten von „ähm“ füllt. Entscheidend ist vielmehr die Häufigkeit dieser Füllelemente. Erst in sehr hoher Dosierung (ab etwa > 8 x/min) wirken gefüllte Pausen schädlich aufs Charisma. Noch schädlicher ist es aber, wenn Sprecher praktisch gar keine gefüllten Pausen produzieren. Die Präsentation klingt dadurch auswendig gelernt sowie nicht authentisch und hörerorientiert.

Mythos #6: „Bauchatmung und eine aufrechte Körperhaltung unterstützen das Charisma eines Sprechers“.

Besonders die intensiv trainierte und propagierte Bauchatmung erweist sich als wirkungslos fürs Sprechercharisma (zumindest während des Sprechens; ob sich zur Beruhigung im Vorfeld einer Präsentation ein positiver Effekt der Bauchatmung ergibt, wurde nicht getestet). Der Denkfehler, auf dem dieser Mythos gründet, ist vermutlich die Annahme, dass das, was gut fürs Singen ist, auch gut fürs charismatische Präsentieren sein muss. Dabei findet beides unter ganz unterschiedlichen Bedingungen statt, zum Beispiel mit Blick auf die Pausenhäufigkeit. Beim charismatischen Sprechen kommt es eher auf kurze, starke Atemstöße an. Dementsprechend erweist sich die von Ratgebern und Coaches eher gering geschätzte Brustatmung als besonders charismaförderlich. Die Körperhaltung eines Sprechers spielt beim Charisma keine Rolle, zumindest nicht unter rein akustischen Gesichtspunkten.

Als valide stellen sich vier Mythen heraus:

Mythos #7: „Charisma macht den Unterschied“.

Das stimmt, und es zeichnet sich in empirischen Studien beispielsweise dadurch ab, dass charismatische Führungskräfte – im Vergleich zu weniger charismatischen, aber auch zu klassisch autoritären Führungskräften – ihre Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter derart motivieren und inspirieren können, dass diese nicht nur ein höheres Arbeitspensum bewältigen, sondern dass ihre Arbeit insgesamt auch eine höhere Qualität aufweist.

Mythos #8: „Wie wir etwas sagen ist wichtiger als das, was wir sagen“.

Dies wird empirisch insofern untermauert, als dass

gezeigt wurde, dass das Wie im positiven Sinne signifikant zum Charisma sowie zur wahrgenommenen Überzeugungskraft eines Sprechers beiträgt. Bei näherem Hinsehen kristallisiert sich zudem oft heraus, dass das Was dem Wie unterliegt.

Mythos #9: „Eine deutliche Aussprache unterstützt das wahrgenommene Charisma eines Sprechers“.

Auch dies kann empirisch belegt werden, allerdings gilt auch hier, dass eine übertriebene und überdeutliche Aussprache Charisma wieder mindert.

Mythos #10: „Ingenieure präsentieren weniger charismatisch“.

Für eine Stichprobe von insgesamt 466 im Rahmen von PICSA analysierten Sprechern zeigt sich, dass Ingenieure – hinsichtlich ihrer stimmlichen Merkmale – unter allen getesteten Berufsgruppen tatsächlich mit Abstand am uncharismatischsten sind. Ähnliches gilt übrigens auch für Physikerinnen und Physiker wie Albert Einstein und Angela Merkel, deren PICSA-Befunde sich erstaunlich ähneln, beispielsweise dahingehend, dass sie in mit kompetenz- und vertrauensbezogenen akustischen Charisma-Parametern exzellent abschneiden, während sie gleichzeitig klare Defizite im Bereich emotional-expressiver Charisma-Parameter ausweisen. Es scheint nach aktueller Datenlage also generell einen berufsspezifischen Förder- und Trainingsbedarf zu geben.

Fazit und Ausblick

Charisma ist binnen weniger Jahrzehnte von einer mystischen, wissenschaftlich weder fassbaren noch beachtenswerten Gabe weniger auserwählter Personen zu einem Gegenstand interdisziplinärer Forschung geworden, der physikalisch messbar und in seinen Effekten modellierbar ist und der eine kontinuierlich variierende Fähigkeit aller Menschen beschreibt; eine Fähigkeit, die überdies trainierbar und verbesserbar ist. Jeder spricht mal mehr, mal weniger charismatisch mit seinen Mitmenschen. Die Herausforderung besteht daher also nicht darin, überhaupt charismatisch zu sein, sondern darin, die charismarelevanten Faktoren zu kontrollieren und bewusst einsetzen zu können, damit bei wichtigen Interaktionen die charismatische Wirkung des Sprechers bestmöglich ausfällt, statt dem Zufall oder der Tagesform des Sprechers überlassen zu sein.

Aus akustisch-phonetischer Sicht ist Charisma ein komplexes Muster motorischer Abläufe, das ähnlich erlern- und automatisierbar ist, wie eine Fremdsprache oder Fahrradfahren. Charismatisch zu sprechen, das heißt akustisch unter anderem einen höheren f₀-Umfang, einen flacheren Energieabfall über das aufsteigende Frequenzspektrum des Signals, kürzere Sprechabschnitte zwischen stillen Pausen, global tiefere Formantlagen sowie einen möglichst symme-

trischen und großen akustischen Vokalraum zu produzieren. Über Vokale hinaus gilt es generell, möglichst ausgeprägte akustische Distanzen / Kontraste zwischen den im Signal enkodierten Sprachlauten herzustellen, insbesondere auf Inhaltswörtern; und dies bei einer leicht höheren Silbenrate als sie beispielsweise in der Lesesprache vorherrscht.

Aus gesellschaftlicher Sicht ist Charisma ein wichtiger Wirtschaftsfaktor. Die Forschung – innerhalb und außerhalb kontrollierter Laborexperimente – zeigt uns, dass Sprechercharisma Arbeitsleistungen steigert und effizienter gestaltet, dass Teams kreativer und besser zusammenarbeiten, dass mehr und innovativere Ideen entstehen und dass Startups eher und stärker gefördert werden. Charismatischere Lehrer erreichen außerdem einen größeren Lernerfolg bei ihren Schülern. Trotz der fraglos immensen Bedeutung, die der Nachkriegsarbeit von Weber [3] für das Konzept von Charisma zukommt, ist es vielleicht auch dem Erbe Webers geschuldet, dass dem Charismabegriff – insbesondere im deutschsprachigen Raum – immer noch etwas unseriöses, elitäres und mystisches anhaftet. Nicht zuletzt durch das Acoustic Voice Profiling® und den Beginn einer digitalen, software-unterstützten Rhetorik im Allgemeinen ist die Zeit für ein Umdenken gekommen. Charisma ist keine Fähigkeit mehr, die man sich nicht leisten kann, sondern eine, die nicht zu trainieren man sich leisten können muss. Das gilt umso mehr in den Zeiten sozialer Medien, mit denen jeder jederzeit große Menschenmengen erreichen und für sich gewinnen kann.

Aus Sicht von Ingenieuren ist Charisma vor allem eine Chance. Sprachinterfaces werden bald eine Selbstverständlichkeit im Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion sein. Eine unter Berücksichtigung akustischer Charisma-Forschung entwickelte maschinelle Sprachausgabe kann nicht nur in Bereichen wie Gesundheit und Sicherheit ein großer Fortschritt sein (indem die Menschen auf Anweisungen der Maschinen hören und ihnen Folge leisten). Auch für die empfundene Produktqualität und die Loyalität eines Konsumenten zu einem Produkt oder einer Marke sollte eine nach Charisma-Gesichtspunkten designte Sprachausgabe klare Vorteile bieten.

PICSA und das Acoustic Voice Profiling® zeigen exemplarisch, wie weit die akustische Charisma-Forschung bis heute schon gekommen ist. Welche Herausforderungen gibt es noch für die Zukunft? Dreierlei Entwicklungspfade scheinen vorgezeichnet. Der erste Pfad verläuft innerhalb des akustischen Charismas selbst. Hier gilt es, das Zusammenspiel und die Wechselwirkungen zwischen akustischen Parametern besser zu verstehen, insbesondere die zwischen den lautlichen und den stimmlichen Parametern. Innerhalb der stimmlichen Parameter müssen

zudem neben den globalen Signaleigenschaften verstärkt auch lokale Eigenschaften auf ihre charismarelevanten Effekte hin abgeklopft werden. Bestimmte Betonungsweisen scheinen zum Beispiel wirkungsvoller zu sein als andere, und wenn man die Sprechmelodien über Äußerungen in musikalische Intervalle aufbricht, so zeichnet sich ab, dass bei besonders charismatischen Sprechern bestimmte Intervallgrößen und, über diese hinweg, bestimmte Harmonien und Akkorde in der Sprechmelodie vorherrschen. Sind also charismatischere Menschen wortwörtlich auch harmonischer? Hier könnte ein genauere Blick auf die Details entlang der Frequenzdimension des f_0 -Verlaufs noch sehr lohnenswert sein.

Der zweite Entwicklungspfad verbindet das akustische Charisma zukünftig noch enger mit außerakustischen und außersprachlichen Charismafaktoren wie der Kleidung, dem Alter, der Körpersprache und der äußerlichen Attraktivität eines Sprechers. Bisher ist das Zusammenspiel all solcher Faktoren in der Gesamtwirkung eines Sprechers allenfalls in ersten Ansätzen untersucht und verstanden. Die wenigen existierenden Ansätze deuten u. a. auf additive Zusammenhänge zwischen akustischen und außerakustischen Faktoren hin. Sie können ergo in summa zu einer „Überdosierung“ führen, welche dann negativ auf den Sprecher zurückfällt, ähnlich wie es beim Überschießen eines Effectiveness Windows mit einem akustischen Parameter passiert. Um dieses möglicherweise additive Zusammenspiel besser zu verstehen, bedarf es einer stark interdisziplinären Herangehensweise sowie ggf. der Entwicklung oder Anwendung neuer Messverfahren, etwa für die Körpersprache.

Der dritte Entwicklungspfad zukünftiger Charismaforschung schließlich verläuft nicht zwischen Disziplinen, sondern zwischen Kulturen und deren Sprachen. Oben wurde bereits angedeutet, dass der aktuelle PICSA-Algorithmus auf Basis westgermanischer Sprachen entwickelt wurde und folglich auch für die betreffenden Sprachen die besten Bewertungsleistungen im Vergleich zu Hörerurteilen zeigt. Erste Untersuchungen außerhalb westgermanischer Sprachen zeigen, dass für jede Kultur und größere Sprachgruppe eigene Effectiveness Windows und Sweetspots in der akustischen Charisma-Analyse definiert werden müssen. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass der Stellenwert und das Normenverständnis von Alter, Kleidung, Attraktivität etc. sprach- und kulturspezifisch variiert – und damit dann natürlich auch das Zusammenspiel dieser Kontextfaktoren mit akustischem Charisma.

Der amerikanische Operntenor Robert Breault sagte einst: „Charisma is not just saying hello. It's dropping what you're doing to say hello“. Wenn nicht nur die charismatischen Sprecher, sondern auch die Charis-

ma-Forscher selbst dieses konsequente Vorgehen zu ihrem Leitmotiv machen, dann stehen den Lernenden und Trainern sowie den Entwicklern und Könnern von Charisma gleichermaßen neue, aufregende Zeiten bevor.

Literatur

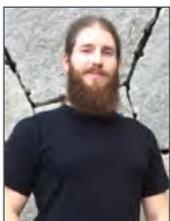
- [1] Heide, F.J.: Easy to sense but hard to define: Charismatic nonverbal communication and the psychotherapist. *Journal of Psychotherapy Integration* 23, 2013, S. 305–319.
- [2] Antonakis, J.; Bastardo, N.; Jacquart, P.; Shamir, B.: Charisma: An ill-defined and ill-measured gift. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior* 3, 2016, S. 293–319.
- [3] Weber, M.: *On charisma and institution building*. Chicago: University of Chicago Press, 1968.
- [4] Tucker, R.C.: The theory of charismatic leadership. *Daedalus* 97, 1968, S. 731–756.
- [5] House, R.J.: A 1976 theory of charismatic leadership. In *The Cutting Edge*, ed. J.G. Hunt, L.L. Larson. Carbondale: Ill. Univ. Press, 1977, S. 189–207.
- [6] Bono, J.E.; Ilies, R.: Charisma, positive emotions and mood contagion. *The Leadership Quarterly* 17, 2006, S. 317–334.
- [7] Etzioni, A.: *Modern Organizations*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1964.
- [8] Antonakis, J.; d’Adda, G.; Weber, R.; Zehnder, C.: „Just words? Just speeches?“ On the economic value of charismatic leadership. Working Paper. Department of Organizational Behavior, University of Lausanne, 2015.
- [9] Bass, B.M.: *Leadership and Performance Beyond Expectations*. New York: Free Press, 1985.
- [10] Holladay, S.J.; Coombs, W.T.: Speaking of visions and visions being spoken: An exploration of the effects of content and delivery on perceptions of leader charisma. *Management Communication Quarterly* 8, 1994, S. 165–189.
- [11] Shamir, B.; Arthur, M.B.; House, R.J.: The rhetoric of charismatic leadership: A theoretical extension, a case study, and implications for research. *The Leadership Quarterly* 5, 1994, S. 25–42.
- [12] Soorjoo, M.: *Here’s the Pitch: How to Pitch Your Business to Anyone, Get Funded, and Win Clients*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2012.
- [13] Fox Cabane, O.: *The Charisma Myth: How Anyone Can Master the Art and Science of Personal Magnetism*. New York: Penguin, 2012.
- [14] Awamleh, R.; Gardner, W.L.: Perceptions of leader charisma and effectiveness: The effects of vision content, delivery, and organizational performance. *The Leadership Quarterly* 10, 1999, S. 345–373.
- [15] Caspi, A.; Bogler, R.; Tzuman, O.: “Judging a Book by Its Cover”: The Dominance of Delivery Over Content When Perceiving Charisma. *Group & Organization Management*, 2019.
- [16] Towler, A.J.: Effects of charismatic influence training on attitudes, behavior, and performance. *Personnel Psychology* 56, 2003, S. 363–381.
- [17] Scherer, S.; Layher, G.; Kane, J.; Neumann, H.; Campbell, N.: An audiovisual political speech analysis incorporating eye-tracking and perception data. *Proc. 8th International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC’12)*, Istanbul, Turkey, 2012.
- [18] Chen, L.; Feng, G.; Joe, J.; Leong, C.W.; Kitchen, C.; Lee, C.M.: Towards automated assessment of public speaking skills using multimodal cues. *Proc. 16th International Conference on Multimodal Interaction*, Istanbul, Turkey, 2014.
- [19] Wörtwein, T.; Chollet, M.; Schauer, B.; Morency, L.P.; Stiefelhagen, R.; Scherer, S.: Multimodal public speaking performance assessment. *Proceedings 2015 ACM on International Conference on Multimodal Interaction*, Seattle, USA, 2015, S. 43–50.
- [20] Amon, I.: *Die Macht der Stimme*. Munich: Redline, 2016.
- [21] Gregory, S.W. Jr.; Gallagher, T.J.: Spectral analysis of candidates’ nonverbal vocal communication: predicting U.S. presidential election outcomes. *Soc. Psychol. Q.* 65, 2002, S. 298–308.
- [22] Tegtmeyer, S.; Schweisfurth, T.; Niebuhr, O.: Gatekeepers’ Biases and the Role of Voice in Start-up Pitches. *Proc. 1st International Conference on the Foundations of Speech (SEFOS)*, Sonderborg, Denmark, 2019.
- [23] Fischer, K.; Niebuhr, O.; Jensen, L.C.; Bodenhausen, L.: Speech Melody Matters – How Robots Profit from Using Charismatic Speech. *ACM Transactions on Human-Robot Interaction (THRI)* 9, 2019; S. 1–21.
- [24] Niebuhr, O.; Michalsky, J.: Computer-generated speaker charisma and its effects on human actions in a car-navigation system experiment – or how Steve Jobs’ tone of voice can take you anywhere. *Lecture Notes in Computer Science* 11620, 2019, S. 375–390.
- [25] Bachsleitner, N.: *The Role of Charismatic Moderators for the Success of Creativity Workshops – An Experimental Study*. MA thesis, Chair of Technology Management, University of Erlangen-Nuremberg, Germany, 2018.
- [26] Sridhara, B.S.: *Teaching engineering fundamentals with a project-based learning approach*.



Prof. Dr. Oliver Niebuhr
Centre for Industrial Electronics,
University of Southern Denmark,
Sønderborg, DK



Dr. Jana Neitsch
Centre for Industrial Electronics,
University of Southern Denmark,
Sønderborg, DK



Dr. Jan Michalsky
Saphire Solutions
& Institut für Germanistik,
Carl von Ossietzky Universität
Oldenburg

- Proc. American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition 10, 2005.
- [27] Hyafil, A.; Fontolan, L.; Kabdebon, C.; Gutkin, B.; Giraud, A.-L.: Speech encoding by coupled cortical theta and gamma oscillations. *Elife* 2015, S. 1–44.
- [28] Radvansky, G.: *Human Memory*. Boston: Allyn and Bacon, 2005, S. 65–75.
- [29] Hammarberg, B.; Fritzell, B.; Gauffin, J.; Sundberg, J.; Wedin, L.: Perceptual and acoustic correlates of abnormal voice qualities. *Acta Otolaryngol* 90, 1980, S. 441–451.
- [30] Guzman, M.; Correa, S.; Munoz, D.; Mayerhoff, R.: Influence on spectral energy distribution of emotional expression. *Journal of Voice* 27, 2013, S. 129.e1–e10.
- [31] Niebuhr, O.; Skarnitzl, R.; Tylečková, L.: The acoustic fingerprint of a charismatic voice – Initial evidence from correlations between long-term spectral features and listener ratings. Proc. 9th International Conference of Speech Prosody, Poznań, Poland, 2018. doi: 10.21437/SpeechProsody.2018-73.
- [32] Niebuhr, O.; Thumm, J.; Michalsky, J.: Shapes and timing in charismatic speech – Evidence from sounds and melodies. Proc. 9th International Conference of Speech Prosody, Poznań, Poland, 2018, S. 1–5.
- [33] Niebuhr, O.; Gonzalez, S.: Do sound segments contribute to sounding charismatic? Evidence from acoustic vowel space analyses of Steve Jobs and Mark Zuckerberg. *International Journal of Acoustics and Vibration* 24, 2019, S. 343–355.
- [34] Niebuhr, O.: „Space fighters“ on stage – How F1 and F2 vowel-space dimensions contribute to perceived speaker charisma. *Studientexte zur Sprachkommunikation* 95, 2020, S. 265–277.
- [35] Rosenberg, A.; Hirschberg, J.: Charisma perception from text and speech. *Speech Communication* 51, 2009, S. 640–655.
- [36] Niebuhr, O.; Skarnitzl, R.: Measuring a speaker’s acoustic correlates of pitch – but which? A contrastive analysis based on perceived speaker charisma. Proc. 19th International Congress of Phonetic Sciences, Melbourne, Australia, 2019, S. 1–5.
- [37] Niebuhr, O.; Skarnitzl, R.: Those who shout the loudest – Do they sound more charismatic? Proc. 1st International Conference on Tone and Intonation (TAI), Sønderborg, Denmark, 2021 (postponed).
- [38] W-wie-Wissen, ARD: <https://www.daserste.de/information/wissen-kultur/w-wie-wissen/charismatische-Stimme-100.html>.
- [39] Niebuhr, O.; Michalsky, J.: PASCAL and DPA: A pilot study on using prosodic competence scores to predict communicative skills for team working and public speaking. Proc. 20th Annual Conference of the International Speech Communication Association, Graz, Austria, 2019, S. 306–310.
- [40] Biadys, F.; Hirschberg, J.; Rosenberg, A.; Dacka, W.: Comparing American and Palestinian perceptions of charisma using acoustic-prosodic and lexical analysis. Proc. 8th Annual Conference of the International Speech Communication Association, Antwerp, Belgium, 2008, S. 1–4.
- [41] Brem, A.; Niebuhr, O.: Dress to Impress? On the Interaction of Attire with Prosody and Gender in the Perception of Speaker Charisma. In: M. Barkat-Defradas, B. Weiss, J. Trouvain, & J.J. Ohala (eds), *Voice Attractiveness: Studies on Sexy, Likable and Charismatic Speakers*. New York: Springer Nature, 2020.
- [42] Niebuhr, O.; Tegtmeier, S.: Virtual Reality as a Digital Learning Tool in Entrepreneurship: How Virtual Environments Help Entrepreneurs Give More Charismatic Investor Pitches. In *Digital Entrepreneurship*. Springer, Cham, 2019, S. 123–158.
- [43] Niebuhr, O.; Tegtmeier, S.; Schweisfurth, T.: Female Speakers Benefit More Than Male Speakers From Prosodic Charisma Training – A Before-After Analysis of 12-Weeks and 4-h Courses. *Front. Commun.* 4:12, 2019. doi: 10.3389/fcomm.2019.00012.
- [44] Niebuhr, O.; Wrzeszcz, S.: A woman’s gotta do what a woman’s gotta do, and a man’s gotta say what a man’s gotta say – Sex-specific differences in the production and perception of persuasive power. Proc. 13th International Pragmatics Association Conference, Hong Kong, China, 2019.
- [45] Michalsky, J.; Niebuhr, O.: Myth busted? Challenging what we think we know about charismatic speech. *Acta Universitatis Carolinae Philologica* 2019/2, 2019, S. 27–56.
- [46] Fletcher, N. H.: The variety of information transfer in animal sonic communication: review from a physics perspective. *Entropy* 11, 2009, S. 888–906.
- [47] Howell, J. M., Frost, P. J.: A laboratory study of charismatic leadership. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 43(2), 243–269, 1989. ■

Von der Strömung zum Druck – Schall von Windenergieanlagen

Entstehung, Ausbreitung, Wirkung auf den Menschen und Beurteilung

Johannes Baumgart

Schall von Windenergieanlagen (WEA) wirkt auf den Menschen. Für das Verständnis der Ursachen sind die Zusammenhänge von Schallentstehung, Ausbreitung, Wahrnehmung und Beurteilung bedeutend. Die maßgeblichste Schallquelle bei modernen WEA ist die Bewegung des Rotorblattes in der Luft. Der Schall entsteht durch unterschiedliche Mechanismen und hat ein breitbandiges Rauschen. Dieses Signal unterliegt zeitlichen Schwankungen und ist mit einem Infraschallsignal überlagert. In der Umgebung erreicht das Geräusch die Anwohnerschaft und erfordert daher eine faire Beurteilung.

Einleitung

Bei der zunehmenden Umstellung von fossiler auf regenerative Energieproduktion spielt der Strom aus Wind eine wichtige Rolle. Windenergieanlagen (WEA) erzeugen aus der vorhandenen Luftbewegung elektrischen Strom (Abbildung 1). Um die Netzkapazitäten nicht zu überlasten, ist es ein Ziel, den Strom möglichst in räumlicher Nähe zum Ort des Bedarfs zu produzieren. Dies hat bei in der Fläche besiedelten Bereichen zur Konsequenz, dass Anlagen in der Umgebung von bewohnten Gebieten errichtet werden. Zwar arbeiten moderne WEA mit einem hohen Wirkungsgrad, jedoch sind Ertragsverluste unvermeidlich. So auch bei den Rotorblättern, die sich an ihrer Spitze im Volllastbetrieb mit mehreren hundert Stundenkilometern durch die Luft bewegen. Dies geht nicht geräuschlos vonstatten. Durch die hohen Geschwindigkeiten ist eine Schallentstehung nicht zu vermeiden. Der Schall ist in der Umgebung wahrnehmbar und macht an Grundstücksgrenzen nicht Halt. Von Anwohnern kann er zum Teil als belästigend wahrgenommen werden [1]. Ein gesundes Maß darf die Schallimmission für die Menschen im Einflussbereich von WEA nicht überschreiten. Mit dem Bundes-Immissionsschutzgesetz ist ein rechtlicher Rahmen für den Schutz der Bevölkerung in der Umgebung derartiger technischer Anlagen geschaffen.

Im folgenden Text wird ein kurzer Überblick über die Thematik von der Schallentstehung an der WEA bis hin zur Wirkung auf den Menschen gegeben. Es

From Flow to Pressure – Noise from Wind Turbines Generation, propagation, impact on people, and assessment

Noise from wind turbines (WTG) affects people. In order to understand how, knowledge of the relationships between sound generation, propagation, perception and assessment is essential. The key noise source of modern wind turbines is the motion of the rotor blades through the air. Different mechanisms generate the noise, which has a broadband character. This signal is subject to temporal fluctuations and is overlaid with an infrasound component. In the surrounding area, the noise reaches the local residents and therefore requires a fair assessment.

handelt sich dabei um keine umfassende Wiedergabe des aktuellen Forschungsstandes, wie es in Übersichtsartikeln [2–4] zur Thematik üblich ist. Schwerpunkt ist ein Überblick über den Ablauf von der Schallentstehung, Wirkung auf den Menschen bis zur Beurteilung der Schallimmission im Kontext der aktuellen Genehmigungsverfahren in Deutschland.

Energie des Windes

Grundlage für den Betrieb von WEA ist Wind. Die Kräfte des strömenden Windes zeigen sich in ihrer Wirkung an Bäumen und Schirmen; beim Radfahren und Laufen sind sie direkt spürbar, jedoch nur

Abb. 1: Windenergieanlagen (WEA) bei Biebersdorf, Brandenburg.





Abb. 2: Umströmung von Brückenpfeilern. Die von links kommende Strömung trifft auf die Pfeiler. Staut sich zunächst an und fließt dann beschleunigt herum, dabei fällt der Wasserspiegel ab. (Elbe in Dresden, Albertbrücke)

indirekt für das menschliche Auge sichtbar. Klarer erkennbar sind Strömungskräfte beispielsweise bei der Umströmung eines Hindernisses im Wasser. Betrachten wir einen Brückenpfeiler in einem Fluss (Abbildung 2): An der Stelle, wo die Strömung auf den Pfeiler trifft und abgebremst wird, hebt sich der Wasserspiegel an; dagegen bildet sich im Bereich der Flanke, wo das Hindernis umströmt wird, eine Senke. Die Höhe des Wasserspiegels und die Fließgeschwindigkeit hängen voneinander ab.

Zur Quantifizierung der Strömung greifen wir auf eine physikalische Beschreibung zurück. Die Ber-

noulli-Gleichung [5] beschreibt den Zusammenhang zwischen Wasserstandhöhe und Geschwindigkeit unter vereinfachenden Annahmen. Diese Energiebilanz entlang einer Stromlinie lautet:

$$\frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h + p = \text{const.} \quad (\text{Gl. 1})$$

Die Summe aller drei Terme bleibt in dieser Beschreibung entlang einer Stromlinie konstant. Der erste Term ist der dynamische Anteil und ergibt sich aus der Bewegung mit der Geschwindigkeit v und der Dichte ρ des Fluids. Der zweite Term stellt den Gewichtsdruck dar, der sich aus der Dichte, der Höhe h über der Bezugshöhe und der Erdbeschleunigung g ergibt. Der letzte Term ist der statische Druck p .

Mit der Bernoulli-Gleichung können wir einen Einblick bekommen, wie es zu den unterschiedlichen Wasserhöhen am Brückenpfeiler kommt. Auf der Wasseroberfläche lastet der konstante Luftdruck. Am Ort der Zuströmung verlangsamt sich das Wasser und entsprechend nimmt der hydrostatische Anteil zu, die Oberfläche wird angehoben. An der Flanke umströmt das Wasser das Hindernis, die so beschleunigte Strömung hat eine höhere Geschwindigkeit und so einen erhöhten dynamischen Anteil: Die Oberfläche sinkt ab.



Make better spaces

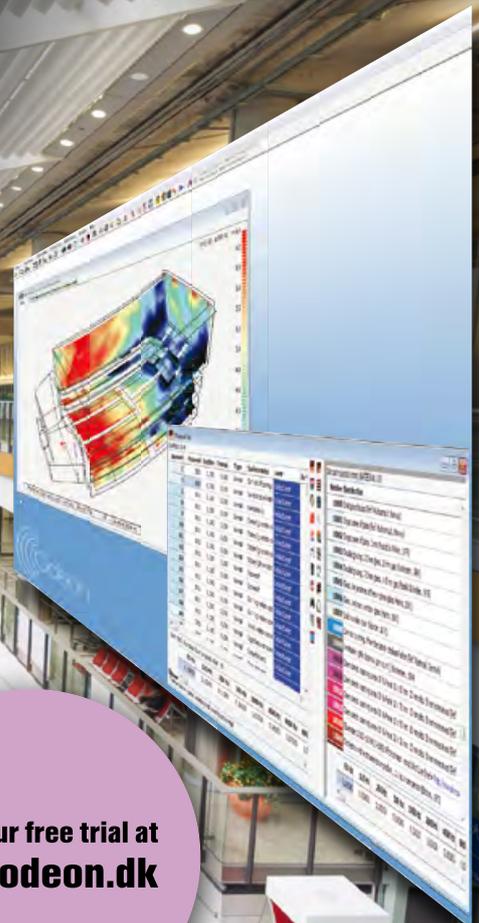
with the complete software solution for room acoustics

Elegant and user friendly interface

Fast and reliable simulations and measurements

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

Start your free trial at
www.odeon.dk



Für WEA wird diese Umwandlung von Bewegung in Druck genutzt. Die kinetische Energie der Luft kommt mit der Windgeschwindigkeit bei der WEA an und wird dort über der von den Rotorblättern überstrichenen Fläche abgebremst. Über die Rotorblattflächen wird der Strömung Impuls entzogen und sie verlangsamt sich. Die daraus resultierenden Kräfte erzeugen über den Hebelarm ein Moment an der Nabe, was letztendlich den Stromgenerator antreibt. Dazwischen ist bei manchen Anlagentypen ein Getriebe geschaltet, um die Drehzahl des Rotors für den Generator zu erhöhen.

Nur ein Teil des Energiestroms, der mit der Windgeschwindigkeit eine Fläche in der Größe der vom Rotor überstrichenen Fläche ungestört durchströmt, kann von der WEA genutzt werden. Selbst bei reibungsfreier Strömung ergibt sich ein Impuls- und damit ein Leistungsverlust. Ursache dieser Wirkung ist ein induzierter Widerstand infolge der Umströmung der Rotorblattspitzen von der Druckseite zur Saugseite. Dies erzeugt stromab der Rotorblattspitzen eine Wirbelschlepe, die dem Rotor einen Teil der eigentlich verfügbaren Energie, selbst bei Reibungsfreiheit, entzieht. Die Leistung P einer WEA beträgt

$$P = \frac{1}{2} \rho c_p v^3 A \quad (\text{Gl. 2})$$

mit der Luftdichte ρ , der Windgeschwindigkeit v in der ungestörten Zustromung, der vom Rotor überstrichenen Fläche A und dem Beiwert c_p zur Berücksichtigung von Verlusten der gesamten Übertragungskette. Neben aerodynamischen Verlusten, wie durch den oben erwähnten induzierten Widerstand, kommen mechanische und elektrische beispielsweise im Getriebe und dem Generator vor.

Mit dem Ziel, einen hohen Energieertrag zu erzielen [6], ergeben sich folgende Aufgaben: einen geeigneten Standort mit hoher und über das Jahr kontinuierlicher Windgeschwindigkeit zu finden, die überstrichene Fläche im Rahmen der technischen Möglichkeiten möglichst groß auszuführen, eine hohe Anzahl von WEA zu errichten und diese geräuscharm zu betreiben. Moderne leistungsstarke WEA mit mehreren Megawatt elektrischer Leistung emittieren zwar merklich weniger als ein Watt Leistung in Form von Schall [7] in die Umgebung, jedoch ist dieser im Umfeld deutlich wahrnehmbar.

Rotorblätter in der Strömung

Die Rotorblätter sind bei modernen WEA mit mehreren Megawatt Nennleistung die Hauptquelle der Schallemissionen. Das Rotorblatt bewegt sich mit hoher Geschwindigkeit durch die Luft und ist vom Anströmwinkel so gestellt, dass es die Kraft des Windes wirkungsvoll nutzt. Von anderen Bauteilen im Bereich

des Getriebes und des Generators sind keine wesentlichen Beiträge zum Gesamtschallpegel zu erwarten, oder lassen sich durch konstruktive Maßnahmen, wie eine Einhausung, spürbar reduzieren. Bei den Rotorblättern ist eine Umhausung nicht möglich.

Mit dem Wissen über die Mechanismen der Schallentstehung lassen sich Ansätze zur Schallminderung finden. Die Strömungsbedingungen um das Profil des Rotorblattes ähneln der Umströmung von Helikopterrotorblättern, wie auch Tragflügelprofilen von Flugzeugen. Diese werden seit vielen Jahrzehnten umfassend erforscht. Das dazugehörige Wissen, die Erfahrungen und die Messmethoden stehen dem eher jungen Feld der Strömungsmechanik von Rotorblättern der WEA zur Verfügung.

Das natürliche Windfeld ist bei Windgeschwindigkeiten, die für eine WEA nutzbar sind, immer turbulent. Es befinden sich Wirbel in der Strömung. Die damit einhergehenden Geschwindigkeitsschwankungen führen zu Druckschwankungen. Die sich bewegenden Rotorblätter verstärken die Geschwindigkeits- und Druckschwankungen.

Das Rotorblatt dreht sich bei modernen WEA bei guten Windverhältnissen mit etwa 12 Umdrehungen in der Minute. Was aus der Ferne wie ein ruhig drehendes Windrad aussieht, hat bei einem Rotorradius von rund 70 Metern eine Geschwindigkeit von etwa 300 Stundenkilometern an der Rotorblattspitze. Es bildet sich eine dünne und turbulente Grenzschicht zwischen der Luft und dem Rotorblatt aus, in der die Reibung dominiert. In der dünnen Grenzschicht selbst haftet die Luft am Rotorblatt, während sich die Luft direkt außerhalb dieser Schicht, relativ zum Rotorblatt, mit mehreren hundert Stundenkilometern bewegt. Unter diesen Bedingungen ist die Strömung am Rotorblatt stark verwirbelt. Einher gehen damit Geschwindigkeits- und Druckschwankungen.

Wirbel finden sich auch bei der Umströmung von Brückenpfeilern und sind dort direkt zu beobachten. Stromab, im Nachlauf der Umströmung zeigen sich diese bei ruhiger Oberfläche als Senken. Die Rotationsgeschwindigkeit im Wirbel selbst nimmt zum Zentrum hin zunächst zu, bis die hohen relativen Geschwindigkeiten durch Reibungskräfte abgebremst werden. Mit den schnellen Bewegungen im Zentrum des Wirbels ist dort der Gewichtsdruck geringer (siehe Gleichung 1) und die Wasserhöhe fällt entsprechend ab.

Wird ein Wirbel durch ein Hindernis, beispielsweise einen anderen Wirbel, der sich mit einer anderen Geschwindigkeit oder in eine andere Richtung bewegt, abrupt abgebremst, erhöht sich auch umgehend an diesem Ort der Druck und es kommt gegebenenfalls zu einem Wirbelzerfall oder einer Wirbelvereinigung. Auf diese Weise erzeugte Druckschwankun-

gen sind der Schall, der sich in der Luft mit Schallgeschwindigkeit ausbreitet.

Schall am Rotorblatt

Bei der Umströmung des Rotorblattes einer WEA werden die zahlreichen Wirbel unterschiedlichster Größe stromab transportiert [8]. Teilweise zerfallen sie wieder bereits am Rotorblatt selbst. Größere Wirbel werden weiter transportiert, lösen sich in der Strömung auf beziehungsweise treffen auf weitere WEA, Bewuchs und andere Objekte. Der Zerfall von Wirbeln löst Druckänderungen aus, welche sich als Schallwellen in die Umgebung ausbreiten. Ein bedeutender Teil der Geräusche von WEA wird durch die Bewegung der Rotorblätter bestimmt.

Hinterkantenschall

Die Strömung fließt über die Hinterkante des Rotorblattes ab. An dieser Kante ändert sich abrupt die Randbedingung: Anstelle der harten, undurchlässigen Wand tritt die umgebende Luft. Entlang des Weges um das Rotorblatt wachsen die Wirbel in der Rotorblatsumströmung an. Kommen sie in die Zone der Hinterkante, entsteht durch die abrupte Änderung vom harten Rotorblatt zur freien Strömung ein Bereich, in dem die Wirbel stark beeinflusst werden. Entsprechend dominant ist dieser Bereich für die Schallentstehung und ist Quelle für den sogenannten Hinterkantenschall [9].

Strömungsabriss

Das Rotorblatt wird schräg angeströmt, um dem Wind wirkungsvoll den Impuls zu entziehen. Auf der Druckseite trifft die Strömung direkt auf und die Stromlinien laufen eng an der Oberfläche. Anders verhält es sich auf der sogenannten Saugseite, die sich, mit Blick aus der Anströmung, auf der Rückseite des Rotorblatts befindet. Dort ist die Grenzschicht dicker und die Strömung löst sich leichter ab. Wenn der Anströmwinkel einen kritischen Wert überschreitet, kommt es zu einem Strömungsabriss. In diesem Fall bilden sich große Wirbel in kürzester Zeit am Rotorblatt, wobei die Strömung nicht mehr die Rückseite umfließt, sondern diese Wirbel. Die wirkenden Kräfte fluktuieren in diesem Falle stark und entsprechend hoch sind die damit verbundenen Schallpegel. Kommt es bei einem Flugzeug zu einem solchen Ereignis nimmt der Auftrieb mit zunehmendem Anstellwinkel zunächst weniger zu. Wird nicht gegengesteuert, kann ein Punkt erreicht werden, bei dem die notwendige Auftriebskraft verloren geht und die Maschine abstürzt. Eine WEA kann natürlich nicht abstürzen, jedoch wirken durch einen Strömungsabriss schlagartig andere Druckverteilungen [10] auf dem betroffenen Teil des Rotorblattes und

es breiten sich entsprechende Geräusche in der Atmosphäre aus.

Bei älteren WEA wurde der Strömungsabriss gezielt genutzt, um die dem Wind entnommene Leistung ab einer kritischen Windgeschwindigkeit zu begrenzen. Heute wird diese Leistungsregelung geräuschärmer durch verstellbare Rotorblätter erreicht.

Unruhe in der Anströmung

In der Umgebung von WEA befinden sich häufig Wälder, Gebäude und andere WEA. Durch diese beinhaltet die anströmende Luft Verwirbelungen, sogenannte Turbulenz. Trifft die verwirbelte Luft auf das Rotorblatt, zerfallen Wirbel und es kommt zu Druckschwankungen: Schall breitet sich aus.

Modulationen von WEA-Schall

Neben den genannten Schallentstehungsmechanismen an der Hinterkante, durch Strömungsabriss und Turbulenz in der Anströmung, gibt es weitere Charakteristika des Schalls von WEA. Dazu gehören Modulationen, die auf der Rotorblatffrequenz beruhen. Diese Frequenz ergibt sich aus der Drehzahl und der Anzahl der Rotorblätter. Durch das wiederkehrende Muster mit fester Frequenz ist der WEA-Schall als technisches Geräusch erkennbar und hebt sich von natürlichen Geräuschen ab.

Gerichteter Schall

Am Fuße einer WEA ist ein wiederkehrendes Geräusch hörbar, das lautmalerisch mit „Wusch – Wusch – Wusch – ...“ beschrieben werden kann. Mithilfe einer akustischen Kamera wurde diese Modulation im hörbaren Frequenzbereich vermessen und dem äußeren Bereich der Rotorblätter zugeordnet [11]. Ursache hierfür ist der Hinterkantenschall. Zeigt die Hinterkante von uns weg, strahlt der Schall der zerfallenden Wirbel aus diesem Bereich besonders zu uns. Mit dem visuellen Eindruck auf die WEA korreliert dies nicht ganz, da der Schall sich mit Schallgeschwindigkeit ausbreitet und so eine Laufzeitverzögerung von einigen Sekunden vorliegen kann.

Ungleichförmige Anströmung

In Bodennähe wird der Wind durch Hindernisse verwirbelt und abgebremst. Die Windgeschwindigkeit nimmt mit zunehmender Höhe über dem Grund zu. Durch über den Tagesgang unterschiedliche Temperaturschichtungen der Luft und die mittransportierten Turbulenzen kommt es zu weiteren Beeinflussungen des Geschwindigkeits- und des Turbulenzprofils. Das Rotorblatt überstreicht während der Umdrehung das Windprofil über den Bereich des Rotordurchmessers – vom Zenit zum unteren Durchgang – mit feststehendem Anströmwinkel. Da

der durch das Rotorblatt induzierte Schall vom Anströmwinkel abhängt, kommt es in der Folge zu Modulationen des Schalls über den Umfang, ebenfalls wird dadurch die Ausbreitung beeinflusst [12], [13].

Rotorblatt-Turm-Interaktion

Eine weitere wiederkehrende strömungsmechanische Modulation liegt durch die Interaktion der Rotorblätter mit dem Turm vor. Die heutigen geschlossenen Turmstrukturen sind für die Strömung ein undurchlässiges Hindernis, ähnlich einem Brückenpfeiler. Um den Turm bildet sich ein Druckprofil aus [14], [15]. Am Ort der Anströmung ist der Druck erhöht und zu den Flanken hin nimmt er ab. Auch die Rotorblätter sind von einem ähnlichen Druckprofil umgeben. Streicht nun ein Rotorblatt am Turm vorbei, wird durch die Schrägstellung die Strömung abgelenkt und die Druckfelder interagieren. Hierdurch entstehen Druckänderungen, welche in der Umgebung messtechnisch nachweisbar sind. Diese periodischen Druckimpulse sind in ihrer Dauer durch das Vorbeistreichen am Turm bestimmt, was bei etwa einer Zehntelsekunde liegt.

Die Intensität ist durch den kürzesten Abstand von Rotorblattspitze zur Turmwand charakterisiert. Die Druckschwankungen durch die Rotorblattbewegung vorbei am Turm sind mit der Grundfrequenz bei modernen WEA etwas unter einem Hertz. Durch die Interaktionsdauer von rund einer Zehntelsekunde

liegen höhere Harmonische bis etwa zehn Hertz vor. Der damit verbundene Schall wird als Infraschall bezeichnet, da seine Frequenz unterhalb des üblichen menschlichen Hörbereichs ist.

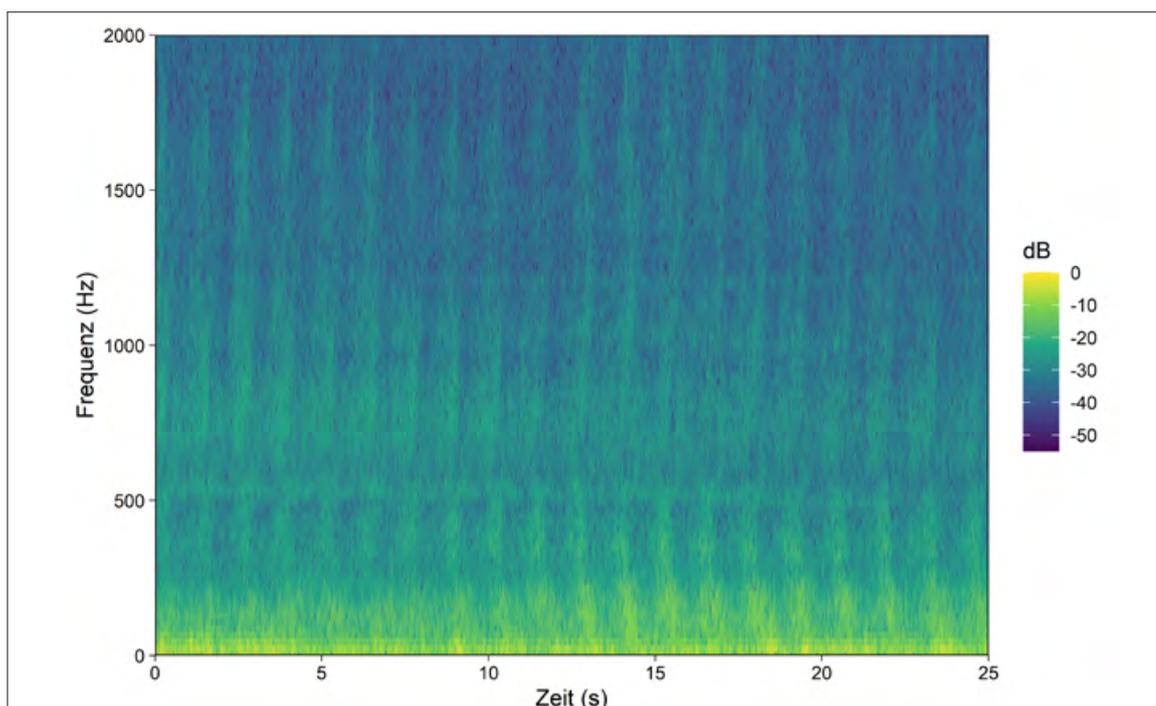
Beispiel für amplitudenmodulierten Schall einer WEA

Die unterschiedlichen Schallentstehungsmechanismen an WEA sorgen für ein rauschendes Schallsignal. Je nach Windbedingungen ist es in der weiteren Umgebung wahrnehmbar und in manchen Situationen unterliegt es zeitlichen Schwankungen. Diese Modulationen können unterschiedliche Ursachen haben, wodurch sich das entsprechende Schallsignal unterscheidet. Als Beispiel ist in Abbildung 3 das Spektrogramm einer akustischen Aufzeichnung von Bowdler [16] in der Nähe einer WEA dargestellt. Zunächst wurde ein periodisches Rauschen einer WEA aufgezeichnet. Nach der Hälfte schlägt dies um in ein dumpfes Schlagen. Durch die Audioaufnahmetechnik ist das mögliche Infraschallsignal nicht enthalten.

Schallreduzierungsmaßnahmen

Das Ziel, hohen Ertrag bei geringen Schallemissionen zu erzielen, ist eine herausfordernde Aufgabe. Die Schallentstehung ist ein unerwünschtes Nebenprodukt, was durch geeignete Maßnahmen geringgehalten wird. Zahlreiche technische Lösungen wurden in den letzten Jahren entwickelt. Schallmin-

Abb. 3: Spektrogramm eines an- und abschwelenden Schallsignals einer WEA von einer Audioaufnahme in der Nähe der Anlage [16]. Zwei unterschiedliche Modulationsarten sind erkennbar. In der ersten Hälfte ein periodisches Rauschen, in der zweiten ein dumpfes Schlagen mit Modulationen insbesondere unterhalb von etwa 300 Hz. Die periodischen Schwankungen mit etwa 0,8 Hz sind als vertikales Streifenmuster erkennbar.



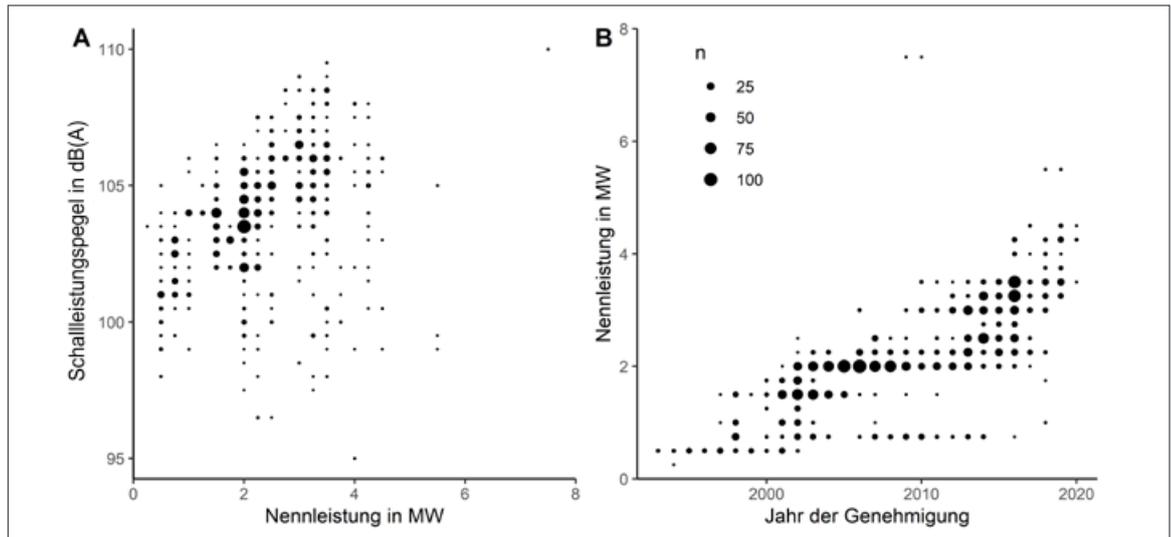


Abb. 4: (A) Genehmigte Schallleistungspegel von WEA in Brandenburg über elektrischer Nennleistung. Bis 3,5 MW Nennleistung nimmt der Schallleistungspegel zu, danach sind für die neueren und leistungsfähigeren WEA keine deutlichen Zunahmen im Schallleistungspegel zu verzeichnen. (B) Die installierte Nennleistung ist über die Jahre stetig angewachsen. Zwei Pilotanlagen mit an die 8 MW weichen von dem Trend ab. Die Punktgröße stellt jeweils die Anzahl der WEA, wie in der Legende von (B) angegeben, dar. Die Schallpegel sind auf halbe Dezibel und die Nennleistung auf viertel MW gerundet. Daten: Datenlizenz Deutschland – Landesamt für Umwelt Brandenburg – 2.0 [7].

derungsmaßnahmen setzen bei der Form und Ansteuerung sowie aktiven Bauteilen an.

Die technische Entwicklung der Schallminderungsmaßnahmen von WEA zeigt sich an deren zunehmender Nennleistung ohne deutliche Zunahme der Schallleistungspegel, welche wiederum ein akustisches Maß für die Quellstärke darstellen. Als Beispiel trägt Abbildung 4 die aktuell genehmigten Schallleistungspegel der WEA in Brandenburg bezüglich der installierten Nennleistung und dem Jahr der Genehmigung zusammen. Im Genehmigungsverfahren werden WEA als Punktquellen betrachtet und die Quellstärke mit dem Schallleistungspegel angegeben. Der entsprechende Schallpegel würde bei einer solchen gleichmäßig abstrahlenden idealisierten Punktquelle in einem Abstand von rund 28 cm vorliegen. Bei einer WEA ist der Quellbereich jedoch über die vom Rotor überstrichenen Fläche verteilt und lokal entsprechend geringer. Die Nennleistung des Generators ist die technische Obergrenze der elektrischen Leistung einer WEA. Bei modernen WEA wächst mit zunehmender Windgeschwindigkeit deswegen die Leistung ab etwa 10 m/s nicht mehr kubisch an (Gl. 2), sondern bleibt konstant.

Schalloptimierung steht nicht im Widerspruch zu mehr Ertrag: Eine dicke turbulente Grenzschicht und Ablösungen der Strömung sind Effekte, die nicht nur die Schallemissionen erhöhen, sondern sich auch nachteilig auf die aerodynamischen Eigenschaften des Rotorblattes auswirken. Primäre Aufgabe einer WEA ist es, dem Wind möglichst wirkungsvoll Energie zu entziehen und die Verluste, wie durch die

Turbulenz in der Strömung, dabei gering zu halten. Die Optimierung des Rotorblattes für hohe resultierende Kräfte geht somit in weiten Teilen mit dem Ziel einher, möglichst hohe resultierende Kräfte in Drehrichtung zu erzielen, welche den Generator der WEA antreiben.

Die geometrische Gestaltung der Rotorblattprofile erfolgt heutzutage mit Blick auf die gewünschten aerodynamischen wie akustischen Eigenschaften. Die Herausforderung ist die geeignete Form zu finden, welche unterschiedliche Anströmwinkel, Geschwindigkeiten und Oberflächeneigenschaften berücksichtigt [17], [18]. Letzteres verändert sich mit der Betriebszeit durch Ablagerungen auf den Rotorblättern. Kleinste Störungen der glatten Oberfläche können Verwirbelungen auslösen und somit den Umschlagpunkt zur turbulenten Strömung geometrisch zur Vorderkante hin verschieben und damit zum Ende die turbulente Grenzschicht dicker anwachsen lassen. Anreize für die Hersteller, die Optimierung der Rotorblattgeometrie voranzutreiben, sind gegeben, da sie sich positiv auf den Wirkungsgrad auswirken und leise WEA ein wichtiges Verkaufsargument sind.

Der Hinterkantenschall, die Hauptquelle für die Schallemissionen, lässt sich durch einen allmählichen Übergang vom harten Rotorblatt zur freien Strömung weiter reduzieren [9]. Heutzutage werden hierfür Sägezahn hinterkanten angebracht. Mit dem Sägezahnprofil verringert sich allmählich die wirksame harte Fläche von der komplett geschlossenen Fläche hin zur freien Strömung, wodurch die wirksame Impedanz in diesem Bereich mit einem

allmählichen Übergang ausgestaltet ist. Darüber hinaus werden durch die rechenförmige Geometrie die Wirbel kleiner gehalten, der höher frequente Anteil im Spektrum stärker betont, was wiederum in der Atmosphäre wirksamer gedämpft wird. Es ist Stand der Technik, WEA mit diesen Profilen auszustatten, und damit ohne merkliche Leistungseinbußen für den Ertrag die Schallemissionen einer WEA um einige Dezibel zu reduzieren.

In der turbulenten Grenzschicht bilden sich die Verwirbelungen, welche für den dominanten Hinterkantenschall verantwortlich sind. Ein weiterer Ansatz WEA leiser zu betreiben ist die Grenzschicht direkt zu beeinflussen. Eine Möglichkeit bietet die Absaugung der turbulenten Grenzschicht in das Rotorblatt hinein [19]. Dadurch wird die Grenzschicht dünner und das Geschwindigkeitsprofil stabiler. Es sind weniger Verwirbelungen in der Strömung, was zu geringeren Schallemissionen führt. Diese Technik ist soweit Gegenstand der Forschung. Ohne merkliche Ertragseinbußen sind einige Dezibel an Schallminderung möglich, erfordern jedoch den Einbau und Betrieb der Absaugeeinrichtung im Rotorblatt.

Darüber hinaus kann durch die Wahl des Anströmwinkels der Betrieb der WEA optimiert werden. Eine Möglichkeit ist es, mit einem flacheren Anströmwinkel die Schallentstehung zu reduzieren, indem das Rotorblatt weniger Widerstand bietet. Moderne WEA bieten hierfür sogenannte schallreduzierte Betriebsmodi, mit denen der Schallleistungspegel um mehrere Dezibel reduziert werden kann, der Ertrag jedoch entsprechend geringer ist.

Ausbreitung in die Umgebung

Die WEA werden mit Abstand zur Wohnbebauung errichtet. Für einen angemessenen Abstand sind unterschiedliche Kriterien wichtig. Allein aus der Gesamthöhe der WEA in Bezug auf den Menschen in seiner üblichen Wohnbebauung ist mit Blick auf die außergewöhnlich großen WEA ein Mindestabstand auf Grund der bedrängenden Wirkung angebracht. Dieser liegt derzeit in Deutschland bei der dreifachen Gesamthöhe.

Für die Beeinträchtigungen durch Immissionen ist, neben dem Schall, der periodische Schattenwurf eine relevante Größe. Fällt der regelmäßig wiederkehrende Schatten bei Sonnenschein beispielsweise ins Wohnzimmer, wird dies als störend empfunden. Damit diese Immissionen im Bereich der unerheblichen Belästigungen bleiben, sind Richtwerte einzuhalten. In Deutschland werden diese durch den Länderausschuss für Immissionsschutz vorgegeben. Geometrisch lassen sich die möglichen Ereignisse von periodischem Schattenwurf zuverlässig für das ganze Jahr berechnen. Die Einhaltung der Höchstwerte

wird durch programmierte Steuereinrichtungen sichergestellt. Während der periodische Schattenwurf noch in größerer Entfernung westlich und östlich der WEA vorliegen kann, kommt er im Süden der Anlage in Deutschland nicht vor, denn die Sonne steht bei uns nie im Norden. Im Norden selbst ist der betroffene Bereich durch die höherstehende Mittagssonne eher klein. Ein fester Mindestabstand von WEA zur Wohnbebauung aufgrund von periodischem Schattenwurf ist daher in diesem Fall nicht angebracht.

Die Schallausbreitung in der Luft hängt von der Schallgeschwindigkeit und der Bewegung des Mediums selbst, wie dessen dämpfenden Eigenschaften ab. Des Weiteren wird er durch den Boden, den Bewuchs und die Bebauung absorbiert wie auch reflektiert. Es nimmt der Schallpegel durch Ausbreitung in der Atmosphäre mit zunehmendem Abstand von der Quelle ab, darüber hinaus führt die Schallausbreitung in der Strömung zu lokalen Beeinflussungen, welche sich über lange Ausbreitungswege akkumulieren. Physikalisch ist dies mit der Ffowcs-Williams-Hawkings-Gleichung [20] beschrieben. Die für die Ausbreitung maßgebliche Schallgeschwindigkeit wird zum einen durch die Windgeschwindigkeit beeinflusst, zum anderen durch die Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit. In realen Situationen sind damit je nach Windbedingungen und Temperaturschichtungen der Atmosphäre unterschiedliche Schallpegel in der Umgebung zu erwarten [12]. Insbesondere stromab der WEA ist mit höheren Pegeln zu rechnen, jedoch kann es durch Temperaturschichtungen auch zu effektiven Verschattungen in ein paar Kilometern Abstand kommen, obwohl kein geometrisches Hindernis vorhanden ist.

Neben der Ausbreitung über die Luft findet eine Wellenausbreitung über den Boden statt. Der Rotor einer WEA dreht durch eine turbulente Anströmung und überstreicht dabei ein Windprofil. In der Folge ändern sich die Lasten an den Rotorblättern während der Drehung. Diese dynamischen Kräfte werden über das Fundament in den Boden eingeleitet und breiten sich dort aus. Mit empfindlichen Messgeräten lassen sich diese noch in größeren Entfernungen nachweisen, sind jedoch von geringerer Amplitude [21]. Die Ergebnisse einer Messung vor Ort von Vibrationen an Fenstern, Fußboden und Bett ließen sich allein mit einem Ausbreitungsweg von der WEA über die Luft erklären [22]. Die Messungen an Fußboden und Bett enthielten kein WEAtypisches Signal. Allerdings hängt im Einzelfall eine mögliche Ausbreitung über den Boden stark von der Bodenbeschaffenheit ab.

Neben der Verteilung der Schallleistung auf eine mit wachsendem Abstand zur WEA größeren Fläche nimmt der Pegel bei der Ausbreitung in realen Medi-

en durch Verluste ab. Bei der Schallausbreitung wird lokal die Luft komprimiert und entspannt sich anschließend. Bei der Druckzunahme wird nicht allein gegen das Kompressionsmodul gearbeitet, sondern auch gegen Reibungskräfte, wie sie beispielsweise durch die Volumenviskosität im Fluid vorliegen. Diese Verluste reduzieren über den Ausbreitungsweg den Schallpegel. Für die Ausbreitung von WEA-Schall in der Luft ist diese Dämpfung für Frequenzen oberhalb von einem Kilohertz in einem Abstand von einem Kilometer spürbar gedämpft und Schallanteile im Bereich von acht Kilohertz sind nicht mehr hörbar. Die frequenzabhängige Dämpfung wird in den derzeitigen Schallberechnungen für WEA in Deutschland berücksichtigt. Dies ist ein Anreiz für die WEA-Hersteller, dass der unvermeidbare Schall eher höherfrequente Anteile hat.

Nachdem die Wellen sich über Luft und Boden ausgebreitet haben, dringen sie über die Gebäudehülle ins Innere des Gebäudes ein. Zwar ist die Dämpfung durch die Wand für niedrigere Frequenzen geringer als für den üblichen Hörbereich [23], jedoch ist die Empfindlichkeit gegenüber diesen Schallanteilen auch geringer. Fällt aber die erregende Frequenz mit einer Eigenfrequenz des zu beurteilenden Raumes zusammen, kann es zu Verstärkungseffekten und unter Umständen eher zu einer Wahrnehmung kommen. Die Eigenfrequenzen sind abhängig von den möglichen Luftbewegungen in der Wohnung. Eine leicht geöffnete Tür zum Nachbarzimmer kann beispielsweise tiefe Frequenzen deutlich beeinflussen. Darüber hinaus können die Pegel stark von der Position im Raum abhängen. Stellen wir das Bett an einer anderen Stelle im Zimmer auf, kann dies ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf die Pegel der sehr tiefen Frequenzen haben.

WEA-Schall bei Anwohnern

Der Schall der WEA, der in erster Linie von den Rotorblättern stammt, kann bei den Anwohnern je nach Wind und Abstand als ein Geräusch hörbar sein, das oft im Pegel zeitlich schwankt. Die zahlreichen und zufälligen Wirbel unterschiedlichster Größe sorgen am Rotorblatt für ein breitbandiges Rauschen. Wie eingangs beschrieben, wird dies durch die Drehung der Rotorblätter und die Ausbreitung in der bewegten Luft moduliert.

Für die Beurteilung ist es vorteilhaft, eine repräsentative skalare Größe zu haben, um definiert prüfen zu können, ob ein damit festgelegter Richtwert eingehalten werden kann beziehungsweise wird. Kennen wir nur einen Wert, wie beispielsweise 45 dB(A), kann dies ein Einzelton, ein Rauschen, gesprochene Sprache und vieles mehr sein. Eine solche Einzelgröße kann durch Zuschläge zur Berücksichtigung

von besonderen Schallmerkmalen ergänzt werden und damit genauer eine Schallart beschreiben. Doch auch nach dieser Korrektur ist es weiterhin eine skalare Größe. Für die eindeutige Beurteilung kommt eine Zahl zum Zuge. Aus diesem singulären Wert lässt sich das ursprüngliche Zeitsignal nicht vollständig rekonstruieren. Um eine Vergleichbarkeit zu haben, können nicht alle Eigenschaften des einzelnen Schallereignisses berücksichtigt werden.

Für die rechtliche Beurteilung wird die spektrale A-Bewertung zur Wichtung unterschiedlicher Frequenzanteile verwendet. Diese Wichtung entspricht dem Lautstärkepegel von etwa 20 bis 40 phon. Grundlage für diese Kurve der Frequenzbewertung sind psychoakustische Untersuchungen mit Einzeltönen. Dem breitbandigen Rauschen, was typisch für die WEA ist, wird dabei nur bedingt Rechnung getragen. Jedoch ist es wichtig, für die Rechtsprechung einen einheitlichen und wohl definierten Vergleichsmaßstab zu haben. Für die A-Bewertung liegen zahlreiche Erfahrungen und Messungen aus unterschiedlichsten Bereichen vor. Für den Tieffrequenz- und Infraschallbereich ist diese Bewertung jedoch ungeeignet. Im Folgenden werden hierfür die Werte ohne Wichtung der Frequenz in dB(Z) angegeben.

Die Modulation des Rauschens lässt sich durch zeitlich aufgelöste Schallpegelauswertung ermitteln, in dem ein statistisches Maß für den zeitlich variierenden Pegel ausgewertet wird. Unterschiedliche Ansätze wurden hierfür entwickelt [24], [25]. In Deutschland werden derzeit zur Beurteilung nur Impuls- und Tonhaltigkeit berücksichtigt. Eine Modulation des Schalls findet in Deutschland bei der Beurteilung soweit noch keine Berücksichtigung, wird jedoch in der überarbeiteten DIN 45680:2020-06 zum Zuge kommen.

Durch die Interaktion von dem Rotorblatt mit dem Turm entstehen Drucksignale mit der Frequenz dieses Ereignisses und ganzzahligen Vielfachen davon. Diese Frequenzen liegen unterhalb des üblichen Hörbereichs und der Schall wird entsprechend als Infraschall bezeichnet. Messtechnisch lassen sich diese Signalanteile im Nahbereich der WEA relativ ungestört nachweisen und betragen bei der Frequenz von rund 1 Hz etwa 70 dB(Z) [26], [27]. In weiterer Entfernung heben sie sich nicht markant von den Umgebungsgeräuschen ab.

In den meisten Fällen stehen heute WEA in Gruppen zusammen. Den Anwohner erreicht in diesen Konstellationen eine Überlagerung von mehreren Geräuschen der einzelnen WEA, wobei jede für sich amplitudenmodelliert Schall abstrahlt, welcher auch noch in einigen Kilometern Entfernung nachgewiesen werden kann [28]. Bei einer unkorrelierten Drehung der Rotoren der einzelnen WEA und durch unterschiedliche Laufzeiten des Schalls in der Luft

ergeben sich im Spektrum durch die Überlagerung ein komplexes Schallsignal, welches sich von dem einer einzelnen WEA unterscheidet. Bei geringen Drehzahlunterschieden kann es zu Schwebungseffekten kommen [29].

Insgesamt wird der Schall von WEA in ihrer Umgebung in erster Linie als Rauschen wahrgenommen, das durch die Drehung der Rotorblätter und die Schwankungen des Windes Modulationen und Fluktuationen unterliegt. Es ist jedoch kein klassisch amplitudenmoduliertes Signal, da keine feste Trägerfrequenz vorliegt. Überlagert ist das Schallsignal mit einer Druckschwankung im Infraschallbereich.

Wahrnehmung von Schall

Auf Schall reagieren die Haarzellen im Innenohr des Menschen am empfindlichsten. Geringste Pegel werden registriert und Nervenimpulse an das Gehirn weitergeleitet. Der Schall einer WEA nimmt mit der Entfernung deutlich ab, jedoch auch noch im Abstand von mehr als einem Kilometer können wir ihn mit unserem Ohr wahrnehmen.

Das menschliche Hören ist für die gesprochene Sprache besonders gut entwickelt. Für das Sprachverständnis sind Modulationen im Bereich von einigen Zehntelsekunden zum Erkennen von Silben entscheidend. Dementsprechend empfindlich ist unser Gehör für Modulationen, insbesondere mit Frequenzen, deren zugehörige Perioden in diese Zeitskalen fallen [30]. Neben der Wahrnehmung von Modulation ist der Mensch auch gut im Identifizieren von Mustern. Beim Hören von einer Sekunde Rauschen in Dauerschleife, welches innerhalb des Abschnitts unkorreliert ist, fällt nach wenigen Sekunden das wiederkehrende Muster auf (Hörbeispiele: Rauschen ohne Wiederholung (A1) und mit Wiederholung jede Sekunde (A2)). Bei WEA wiederholt sich zwar nicht das Rauschen, jedoch erkennen wir das periodisch wiederkehrende Muster der rotierenden Rotorblätter. Für uns Menschen sind sogar die einzelnen Rotorblätter einer WEA allein akustisch unterscheidbar [31].

Das Schallsignal erreicht den Menschen über den äußeren Gehörgang, trifft am Ende auf das Trommelfell und setzt im Mittelohr die Knochen Hammer, Amboss und Steigbügel in Bewegung (siehe Abbildung 5). Letzterer überträgt die Bewegung auf das mit Flüssigkeiten gefüllte, schneckenförmige Innenohr, der Cochlea. Für die hörbaren Frequenzanteile breitet sich eine Wanderwelle in der Hörschnecke aus. In dieser befinden sich Kanäle, die durch die Basilarmembran voneinander getrennt sind, auf der wiederum das Corti'sche Organ mit den hochempfindlichen Haarzellen liegt. Hier findet die Umsetzung von Bewegung in elektrische Nervensig-

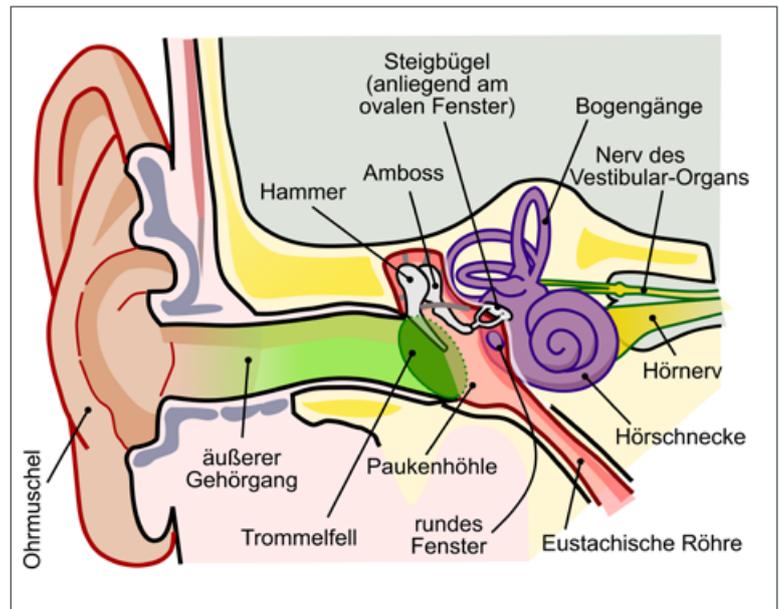


Abb. 5: Aufbau des Ohres mit Außenohr bis zum Trommelfell, dem Mittelohr mit Hammer, Amboss und Steigbügel und dem Innenohr mit Bogengängen und Hörschnecke (Cochlea). Lars Chittka, Axel Brockmann / CC-BY-2.5

nale statt. Mit der Wanderwelle bewegt sich die Basilarmembran: für hohe Töne allein am Anfang des Schneckenganges, für tiefe Töne zum Ende hin.

Die beiden Kanäle sind am Ende der Cochlea miteinander verbunden. Diese Verbindung wird Helicotrema genannt. Bei sehr tiefen Tönen treffen die Druckfelder, welche durch die Bewegung des Steigbügels in beiden Kanälen hervorgerufen werden, am Helicotrema aufeinander und heben sich teilweise auf [32], was eine reduzierte Auslenkung der Basilarmembran mit sich bringt. Dieser akustische Kurzschluss ist abhängig von den geometrischen Abmessungen der Cochlea und liegt für unterschiedliche Individuen bei leicht differierenden Frequenzen. Für verschiedene Tierarten sind die Unterschiede deutlicher. Bei Tönen am unteren Ende des Hörbereichs bewegt sich die Basilarmembran mit abnehmender Frequenz zunehmend gleichförmiger. Wir beginnen statt einem gleichförmigen Ton einzelne Druckpulse wahrzunehmen. Der Übergang ist allmählich, nicht abrupt bei einer bestimmten Frequenz. Er geht vom tonalen Hören, über die Wahrnehmung von Druckimpulsen und endet in einer verschwindenden Wahrnehmung. Mit der Wanderwelle, die je nach Frequenz unterschiedliche Haarzellen längs der Basilarmembran stimuliert, findet eine Art Frequenzanalyse statt, die sich jedoch von der mathematischen Fourier-Analyse deutlich unterscheidet. Während die Fourier-Analyse in ihrer kontinuierlichen Form über einen unendlich ausgedehnten Zeitraum erfolgt, was eine unendlich feine Frequenzauflösung ermöglicht, analysiert das Gehör in Zeitabschnitten, wodurch zum Beispiel der zeitliche Ablauf einer Tonfolge erkannt

wird. Die Begrenzung auf einen Zeitabschnitt bedingt eine endliche Frequenzauflösung, wobei aber Zeit- und Frequenzauflösung je nach Hörsituation in unterschiedlicher Beziehung stehen. Eine abschnittsweise Analyse liegt auch beispielsweise der Wavelet-Analyse oder der MP3-Komprimierung zugrunde. Ein weiteres Beispiel ist das Spektrogramm in Abbildung 3.

Neben der zwar endlichen, aber dennoch relativ hohen Auflösung der Frequenzen, zeichnet sich das Ohr durch eine sehr große Sensitivität aus. Bei einem Sinuston mit einem Pegel von 0 dB(A) und einer Frequenz von 1 Kilohertz bewegt sich die Luft mit einer Amplitude von rund 10 Pikometern, was ungefähr dem Durchmesser eines Wasserstoffatoms entspricht, vor und zurück. Diese minimalste Bewegung liegt im Bereich der Wahrnehmungsschwelle von unserem Ohr. Für die hohe Empfindlichkeit sind verstärkende Mechanismen verantwortlich. Die Umsetzung von Bewegung in ein elektrisches Signal findet auf der Haarzelle im Haarbündel statt, wo aktive Prozesse die Bewegung [33] verstärken. Die Zellwand selbst hat Eigenschaften wie ein Piezomaterial. Ändert sich das Potenzial in der Zelle, hat dies eine Änderung der Zelllänge zur Folge [34] und verstärkt die Wanderwelle.

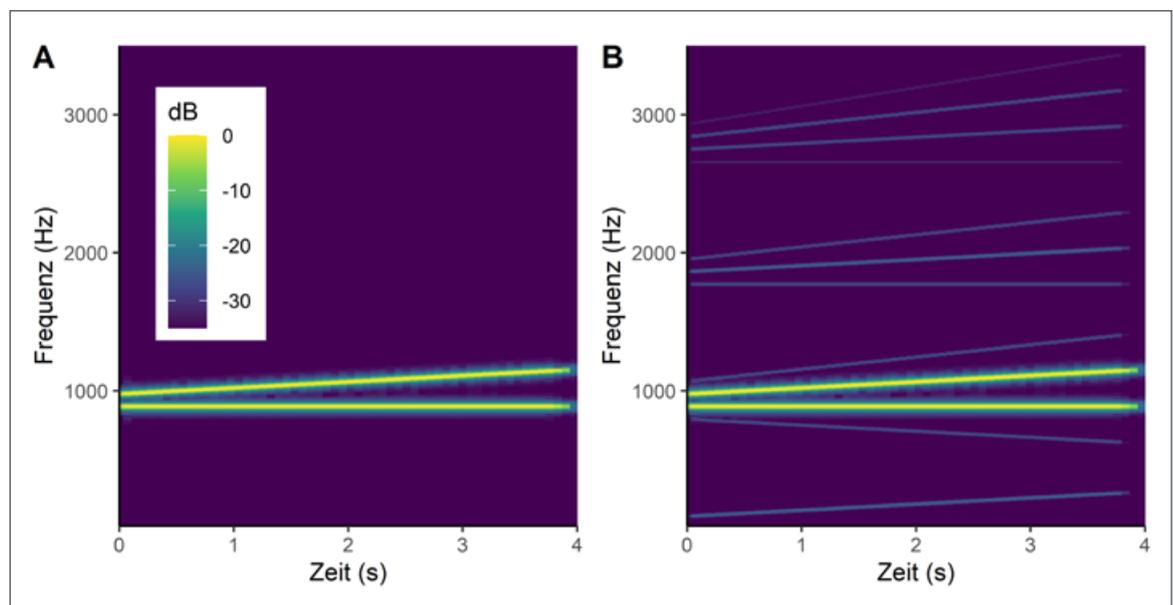
Das komplexe Zusammenspiel dieser Prozesse im Zellverbund des Corti'schen Organs zeigt sich an nichtlinearen Eigenschaften. So werden leise Töne mehr verstärkt als laute, es wird allein der Frequenzbereich mit dem Schallsignal angehoben und darüber hinaus entstehen in unserem Ohr Töne, die als otoakustische Emissionen im Gehörgang messbar

sind [35], [36]. Die nichtlinearen Eigenschaften des Ohres werden durch Verzerrungen, sogenannte Tartini-Töne, hörbar. Hören wir einen Ton mit konstanter Frequenz (f_1) und einen in der Frequenz etwas höher und leicht ansteigenden Ton (f_2), nehmen wir beispielsweise auch einen zusätzlich abfallenden Ton wahr (siehe Abbildung 6). Dieser sogenannte Kombinationston ergibt sich aus der doppelten Frequenz des konstanten minus der Frequenz des ansteigenden Tones ($2f_1 - f_2$).

Als Hörbeispiele sind hierfür zunächst der konstante und der ansteigende Ton nacheinander hörbar (Hörbeispiel A3). In einer weiteren Variante werden sie gleichzeitig abgespielt (Hörbeispiel A4). Nichtlinearitäten im Wiedergabesystem können nicht ausgeschlossen werden, deshalb liegen die Hörbeispiele ebenso in einer Stereoversion vor, wobei die einzelnen Töne dem rechten und linken Kanal zugeordnet sind. Hören wir die einzelnen Töne f_1 und f_2 für sich ohne harmonische Verzerrungen und Kombinationstöne, aber zusammen mit, so entstehen diese im Innenohr. Wird das Signal durch eine schwache Nichtlinearität abhängig von der Amplitude modifiziert, entstehen Verzerrungen direkt im Signal (Hörbeispiel A5). Durch die nichtlinearen aktiven Prozesse unseres Innenohres können wir die beiden Beispiele nur schwer unterscheiden. Somit nehmen wir zwar leiseste Töne mit unserem Gehör wahr, jedoch bringt dies Nichtlinearitäten und entsprechend Verzerrungen mit sich.

Innerhalb des Corti'schen Organs befinden sich zwei Arten von Haarzellen. Die sogenannten äußeren Haarzellen, die für den aktiven Verstärkungs-

Abb. 6: (A) Spektrogramm von einem konstanten und einem ansteigenden Ton (Hörbeispiel A4). (B) Spektrogramm vom Signal wie in (A) jedoch mit einer geringen Nichtlinearität ist dieses modifiziert (Hörbeispiel A5). Unterschiedliche ganzzahlige Kombinationen der beiden Grundtöne sind sichtbar.



mechanismus verantwortlich sind, und die inneren Haarzellen, welche die verstärkten Bewegungen in Nervensignale umsetzen. Die Enden des Haarbündels der äußeren Haarzellen sind fest mit den umgebenden Zellen verbunden und werden entsprechend über die Relativbewegungen stimuliert. Dagegen beruht die Anregung der inneren Haarzellen teilweise auf einer Flüssigkeitskopplung, welche bei niedrigen Frequenzen weniger wirksam ist. Durch Infraschall kann sich somit der Arbeitspunkt des Verstärkermechanismus periodisch verschieben [37] und eine Modulation der Hörsensitivität verursachen. Es ist offen, welche Rolle dieser Prozess für WEA-Schall, der sich aus Hör- und Infraschall zusammensetzt, hat. In einer psychoakustischen Untersuchung zeigte sich, wie schwer es fällt, eine Amplitudenmodulation von einer Überlagerung mit einem Infraschallsignal zu unterscheiden [38].

Direkt an die Hörschnecke schließt das Gleichgewichtsorgan an. Ebenfalls dort befinden sich hochempfindliche Haarzellen, jedoch befinden sich diese nicht auf einer schwingenden Membran, sondern registrieren allein über Auslenkungen des Haarbündels kleinste Bewegungen des Kopfes. Stimulieren können durch Drehbewegung ausgelöste Flüssigkeitsbewegungen in den kreisförmigen Bogengängen, sowie bei Beschleunigung die Relativbewegung durch die dichteren Otolithen oberhalb der Haarbündel. Besonders empfindlich sind diese Zellen bei Frequenzen unterhalb des Hörbereichs. Basis für diese hohe Empfindlichkeit ist eine kohärente und gleichförmige Auslenkung des Haarbündels [39]. Auf einen Stimulus mit Infraschall mit Amplituden, die für WEA im Nahbereich typisch sind, wurden jedoch keine Reaktionen des Gleichgewichtsorgans nachgewiesen [40].

Am Ende der Wahrnehmungskette steht die Verarbeitung im Gehirn. Mithilfe von funktioneller Magnetresonanztomografie wurde nachgewiesen, dass im Bereich der Wahrnehmungsschwelle bei einem Stimulus mit einem sinusförmigen Ton von 12 Hz, was im Infraschallbereich liegt, die aktivierten Regionen weitgehend mit den Arealen des auditorischen Cortex übereinstimmen [41]. Deutlich unterhalb der Wahrnehmungsschwelle liegen keine Daten vor. In den Studien wird meist mit definierten einzelnen Sinustönen gearbeitet, was nicht typisch für den Schall einer WEA ist. Die Präsenz von breitbandigem Rauschen im hörbaren Bereich, was eher den WEA-Schall abbildet, reduziert die Empfindlichkeit im Infraschallbereich. Die Wahrnehmungsschwelle bewegt sich durch zusätzlichen hörbaren Schall nach oben [42]. Diese Schwelle streut über die Probanden im Infraschallbereich stärker als im normalen Hörbereich und der Dynamikbereich zur Schmerzschwelle

wird mit abnehmender Frequenz immer geringer.

Allein bei dem seltenen Tullio-Phänomen ist eine empfindliche Stimulation der Bogengänge durch Schall bekannt, wodurch Schwindel ausgelöst werden kann [43–45]. Ursache hierfür ist eine Stelle am Bogengang zum Inneren des Schädels, bei welcher die knöcherne Schale keinen Widerstand mehr bietet und bei einer Druckanhebung die Wandung des Bogengangs nachgibt. Für spezielle Frequenzen kann sich eine stehende Welle ausbilden und die Haarzellen im Gleichgewichtsorgan stimulieren, allerdings sind die charakteristischen Frequenzen für den entsprechenden Stimulus im Bereich von einem Kilohertz, weit oberhalb der sonst typischen Frequenzen von etwa ein Hertz für dieses Organ. Möglicherweise ist das Tullio-Phänomen bei einigen Betroffenen für eine erhöhte Schallempfindlichkeit verantwortlich [46].

Zwar befinden sich in unserem Innenohr die für Schallsignale sensitivsten Zellen, jedoch reagieren auch andere Zellen in unserem Organismus auf äußere Kräfte. Insbesondere das ständig schlagende Herz ist empfindlich auf geringste Veränderungen und Störungen [47]. Gesunde Druckverhältnisse sind essenziell und liegen für den Blutdruck in der Größenordnung von zehn Kilopascal, bei einer charakteristischen Zeitskala unserer Herzmuskelaktivitäten von einigen Zehntelsekunden. Im Rahmen von Untersuchungen an Tieren wurden bei einer 40-tägigen Exposition bei 8 Hz mit Schallpegeln von 120 dB(Z) für drei Stunden täglich eine lokale Störung des Herzmuskelgewebes festgestellt [48]. Messungen an Proben des menschlichen Muskelgewebes zeigen eine Reduktion der Muskelaktivität bei Exposition mit vergleichbaren Schallpegeln von 110 und 120 dB(Z) für eine Stunde bei 16 Hz [49]. Inwiefern diese Untersuchungen, mit den zwischen Metallklammern eingespannten kleinen Gewebeproben, auf die Situation im menschlichen Organismus übertragbar sind, ist soweit nicht geklärt. In beiden Experimenten liegen die Schallpegel deutlich über den im Umfeld von WEA gemessenen.

Der WEA-Schall mit zeitlichen Schwankungen und der Überlagerung mit einem Infraschallsignal ist ein komplexes Signal, das mit dem Innenohr wahrgenommen wird und auf den Organismus wirkt. Für die Wahrnehmung von geringsten Schallpegeln sind vielfältige aktive Prozesse beteiligt, welche zu Nichtlinearitäten führen. Wenden wir eine nichtlineare Transformation auf ein Schallsignal an, so führt dies zur Veränderung im Frequenzspektrum.

Als Beispiel betrachten wir ein periodisch moduliertes stochastisches Rauschen. Das Rauschen wird im Abstand von 1,25 s im Pegel kurze Zeit angehoben (Hörbeispiel A7, siehe Abbildung 7). Das lineare Zeitsignal in den Frequenzbereich transformiert zeigt

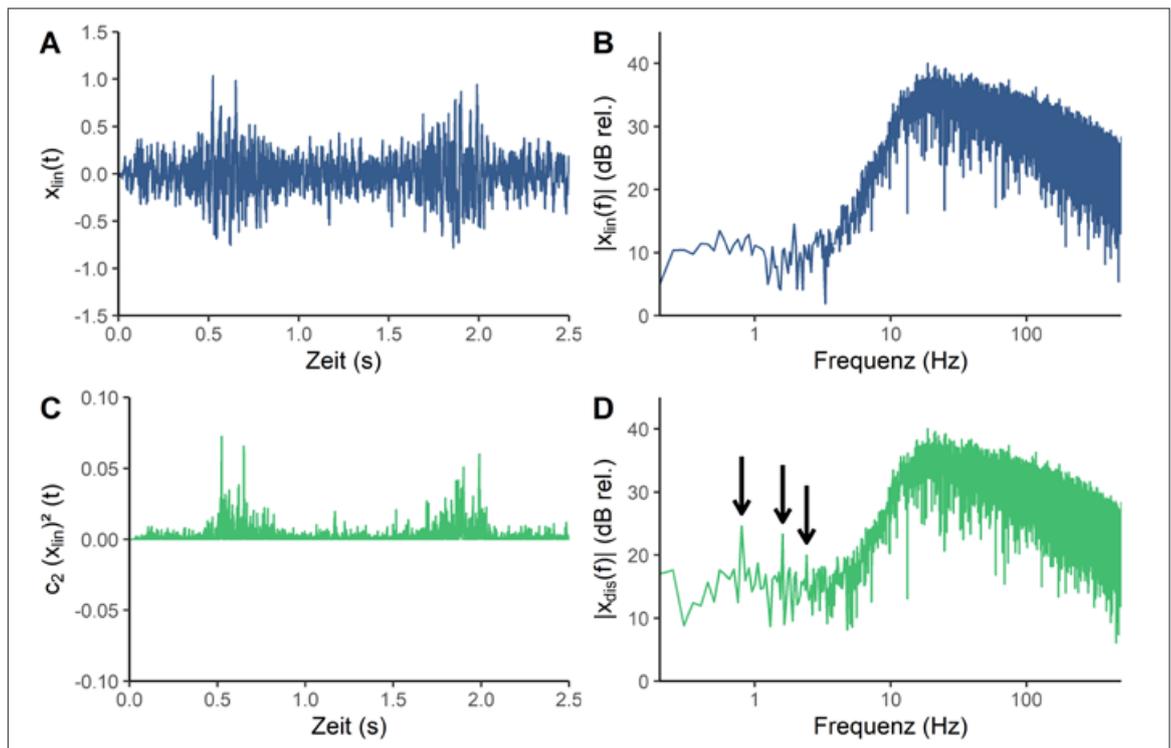


Abb. 7: Zeitreihen und Amplitudenspektren eines Zeitsignals mit Amplitudenmodulation und einer Grundfrequenz von 0,8 Hz. Während das lineare Signal (A, Hörbeispiel A7) unter 10 Hz keine relevanten Anteile (B) hat, findet sich im Signal mit Distorsionen ein quadratischer Anteil (C) mit einer deutlichen Anhebung von diesem Frequenzbereich (D, Hörbeispiel A8). Die entsprechenden Maxima liegen bei der Grundfrequenz und ganzzahligen Vielfachen (Pfeile).

keine nennenswerte Pegel unterhalb von 10 Hz. Anders verhält es sich bei der Modifikation mit geringen Nichtlinearitäten (Hörbeispiel A8). Für den quadratischen Anteil ist das Vorzeichen immer positiv. Zu den Zeiten, bei denen die Amplitude höher ist, ist ebenso der Mittelwert erhöht. Entsprechend enthält das Frequenzspektrum angehobene Pegel bei der Grundfrequenz von 0,8 Hz und den entsprechenden höheren Harmonischen.

Durch die Nichtlinearitäten im Innenohr entstehen unterschiedliche Verzerrungen, wie durch einen quadratischen Term. Das ursprüngliche Signal wird mit solchen Verzerrungen überlagert. Damit ist die Möglichkeit gegeben, dass der nichtlineare Verstärkungsmechanismus in unserem Innenohr ebenso Infrasschallsignale entstehen lässt

Beurteilung von WEA-Schall

Unser umfassendes Wissen über die Wahrnehmungsvorgänge hilft uns mögliche Belästigungen einzuordnen. Nicht alles, was wahrnehmbar ist, ist auch belästigend, geschweige denn erheblich belästigend. Der Schallpegel und die Expositionsdauer sind wichtige Größen, die Einfluss auf den Grad der Belästigung sowie mögliche Auswirkungen auf die Gesundheit haben. Begrenzungen von Immissionen haben wirtschaftliche und gesellschaftliche Bedeu-

tung und sind in Deutschland für Schall durch die TA Lärm (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm) mit Richtwerten abgesteckt.

Die Richtwerte sind keine Naturkonstanten und werden durch neue wissenschaftliche Erkenntnisse ständig geprüft. Mit den Leitlinien für Umgebungslärm für die europäische Region der WHO wurden 2018 die Richtwerte für WEA kritisch betrachtet. Als Kriterien werden mögliche Gesundheitsfolgen bei einer erhöhten Lärmbelastung angewandt. Berücksichtigt werden dabei koronare Herzerkrankungen, Bluthochdruck, starke Belästigung, starke Schlafstörung, dauerhafter Hörverlust und verzögerte Entwicklung von Lese- und Sprachverständnis. Nach aktueller Genehmigungspraxis werden die Richtwerte in Deutschland eingehalten [50] und es liegen damit keine kritisch erhöhten Risiken für die Gesundheit vor.

Die Richtwertehaltung wird anhand von Beurteilungspegeln geprüft. Die vollständige Beschreibung der Schallausbreitung für reale Windverhältnisse ist äußerst komplex und aufwendig. Derartige Berechnungen sind nicht ohne Weiteres überprüfbar und so wird für Genehmigungsverfahren ein klassischer Ingenieursansatz gewählt: Erfassung der wesentlichen Effekte durch integrale Terme, Abgleich mit realen Messungen und Berücksichtigung von Unsicherheiten durch konservative Zuschläge. Dies gewährleis-

tet eine Überprüfbarkeit, unterliegt aber auch immer wieder Neuerungen durch Erkenntniszuwachs. So wurden in einer Studie die Abweichung von Prognose und gemessenen Pegeln ermittelt [51] und daraufhin für WEA das sogenannte Interimsverfahren für die Schallprognosen in Deutschland eingeführt. Durch die strengere Beurteilung liegen in heutigen Genehmigungsverfahren häufig deutliche Richtwertüberschreitungen durch Bestandsanlagen vor. Eine Möglichkeit neu geplante WEA auf Unerheblichkeit ihres Beitrages zu prüfen, bietet das Konzept der Einzelfallgerechtigkeit [52].

Zuschreibungen dem Schall

Die Richtwerte sind für den Nachtzeitraum für bewohnte Gebiete auf Werte zwischen 35 und 45 dB(A) festgelegt und befinden sich damit im hörbaren Bereich. Wie der einzelne Anwohner mit diesem Schallsignal und der möglichen Betroffenheit umgeht, liegt an subjektiven Ausprägungen in der Wahrnehmung und welche Bedeutung mit dem Gehörten verbunden wird. Jedoch wird mit einem statischen technischen Geräusch nicht ohne weiteres etwas Positives verbunden, wie in der Regel mit einem fröhlich plätschernden Bach.

Was einer Sache zugeschrieben wird, hier dem Schall von WEA, hängt von Erfahrungen, Vermutungen und äußeren Rahmenbedingungen ab. Im Rahmen von psychologischen Experimenten wurde nachgewiesen, dass der Mensch sich durch einen Film darin beeinflussen lassen kann, wie er den Schall von WEA beurteilen wird [53], [54]. In diesen Untersuchungen wurde einer Gruppe ein Film gezeigt, der vor den Gesundheitsgefahren durch Schall von WEA warnt, für die andere Gruppe war es ein Film, in dem entwarnt und ein positives Bild vermittelt wurde. Im Anschluss wurde eine Tonaufnahme von einer WEA abgespielt und die Probanden zu möglichen Beschwerden befragt. Teilnehmer der Studien, die eine negative Haltung gegenüber Schall von WEA haben, wiesen signifikant stärkere Beschwerden dem WEA-Schall zu. Mit dieser Beobachtung zeigt sich, wie entscheidend eine äußere Information sein kann. Bei der Auswertung von Beschwerden in Australien ergaben sich geografische Häufungen, die sich nicht mit der Schallexposition erklären ließen, jedoch durch Verbreitungswege von kritischen Hinweisen zum Infraschall von WEA [55]. Wie negative Moderatoren gibt es ebenso positive. Sind Anwohner am wirtschaftlichen Betrieb von WEA beteiligt, fühlen sie sich deutlich weniger durch WEA-Schall belästigt [56].

Infraschall

Ebenfalls wurde die Reaktion auf das Infraschallsignal der WEA untersucht. Hierzu wurde von Tonin

u.a. [53] ein synthetisches Signal einem Teil der Teilnehmer über Kopfhörer zusammen mit Hörschall einer WEA eingespielt. Mit einem Schallpegel von 91 dB(Z), einer Grundfrequenz von 0,8 Hz und 16 Harmonischen und einer Sägezahnform ist dies ein konservativer Ansatz für das Infraschallsignal [57]. Der Vergleich von WEA-Schall mit oder ohne Infraschallsignal ergab keine gesundheitlichen Auswirkungen auf den Probanden. In einem neueren Experiment [22] kam ein realitätsnäheres Schallsignal zum Einsatz, jedoch liegen noch keine belastbaren Aussagen vor.

Zur Einordnung der Amplituden von Infraschallsignalen hilft ein Vergleich mit Expositionen im Alltag. Beim Gehen bewegen wir unseren Kopf leicht auf und ab. Durch die Änderung der Höhe kommt der Gewichtsdruck in der Bernoulli-Gleichung (Gl. 1) zum Zuge, der dynamische Anteil ist bei der niedrigen Frequenz zu vernachlässigen. Bei einer Bewegungsamplitude von nur rund 1 cm folgt daraus ein Schalldruckpegel von etwa 73 dB(Z), was gemessene Werte am Ohr von Spaziergängern bestätigen [58]. Bei Wanderungen setzen wir unseren Körper diesen Infraschallpegeln über lange Zeiträume aus. Insbesondere bei Wassersportarten sind die Druckschwankungen durch die etwa tausendfache Dichte des Wassers deutlich höher. So entspricht eine sinusförmige Auf- und Abbewegung mit einer Amplitude von 1 cm im Wasser rund 131 dB(Z). Ein Infraschallpegel von etwa 70 dB(Z) entspricht einer Amplitude, die etwa drei Größenordnungen kleiner ist: einer Amplitude von einem Hunderstel Millimeter Wasserhöhenänderung. Ein solches Druckfeld lässt sich beispielsweise in einer Wasserschüssel mit rund 20 cm Durchmesser erzeugen, in dem ein Bleistift dauerhaft ins Wasser getaucht ist und jede Sekunde um rund 2 cm längs seiner Achse bewegt wird.

Dem Schallfeld einer WEA ausgesetzt zu sein, ist etwas anderes, als aufgrund von beispielsweise Sport Druckschwankungen zu erfahren. In diesem Kontext sind epidemiologische Studien ein wichtiges Werkzeug, um mögliche Auswirkungen auf die Gesundheit festzustellen. Bedeutend sind sie auch, da in diesen die übliche Expositionsdauer erfasst wird. Denn für die gesundheitliche Belastung spielen akkumulierende Effekte eine Rolle, was für die langfristige Wirkung entscheidend ist [59]. Eine kurzfristige Wahrnehmbarkeit liefert eine Orientierung, nicht jedoch den kritischen Schwellwert für gesundheitliche Auswirkungen.

Wirkung auf die Gesundheit

Seit vielen Jahren werden WEA im Umfeld von Wohnbebauung errichtet. In Dänemark wurden mit einem Abgleich einer Lärmkarte der WEA des

gesamten Landes mit Gesundheitsdaten der Bevölkerung mögliche Zusammenhänge bezüglich kritischer Erkrankungen anhand von verschriebenen Medikamenten geprüft [60–65]. Untersucht wurden Medikamente und Daten, die mit Krankheiten wie Bluthochdruck, Herzinfarkt, Schlaganfall, Diabetes und Geburtskomplikationen in Verbindung stehen. Bei älteren Menschen wurde ein Zusammenhang von hohen Außenpegeln durch WEA-Schall mit der Einnahme von Schlafmitteln und Antidepressiva beobachtet, was möglicherweise mit Schlafgesundheit und psychischer Gesundheit in Verbindung gebracht werden kann [62]. Bei den restlichen Daten ergaben sich keine Hinweise auf erhöhte Risiken. Eine Diagnose bezogene Analyse fand ebenfalls keine Indizien dafür, dass eine langfristige Exposition gegenüber WEA-Schall ein erhöhtes Risiko für Schlaganfall darstellt [66].

Neben den somatischen Betrachtungen sind Befragungen der Anwohnerschaft ein wichtiges Instrument, um einen Überblick zu bekommen und mögliche Vorzeichen und Risikofaktoren für gesundheitliche Faktoren zu identifizieren. So kann ein gestörter Nachtschlaf zu Folgeerkrankungen führen. Zahlreiche Studien wurden bereits durchgeführt und länderübergreifend ausgewertet, wie beispielsweise der Vergleich von Befragungen in den USA und Europa [1], [67]. Diese zeigen auf, wo Handlungsbedarf besteht. So ist der Schall von WEA weiterhin eine kritische, belästigende Größe, hängt jedoch nicht maßgeblich vom Abstand zur WEA ab. Dies deutet darauf hin, dass der Beurteilungspegel selbst nicht allein entscheidend für eine Lärmbelästigung ist.

Was in den statistischen Datenauswertungen verloren geht, sind differenzierte Einzelbeobachtungen mit eigenen Beschreibungen der Betroffenen. In der Wildstedt-Studie [68] wurden solche Erhebungen durchgeführt. Betroffene hatten die Möglichkeit, gezielt akustische Aufzeichnungen von als belästigend empfundenen Schallereignissen vorzunehmen. Charakteristische Merkmale dieser Protokollierungen sind kurzzeitige Lautheitsschwankungen. Die Belästigung kann durch die damit verbundene Ablenkung und erhöhte Aufmerksamkeit erklärt werden. Die Schwankungen des Schallpegels von einigen Dezibel fanden im hörbaren Bereich statt und waren im konkreten Fall kein Infraschallsignal. Wichtig ist die Beobachtung, dass im Rahmen der Studie die Bürger vor Ort insbesondere auf sachlicher Ebene begleitet wurden und dadurch die Akzeptanz mit der Zeit zunahm. In anderen Fällen konnte für besonders Betroffene über Stressbewältigungstraining eine positive Unterstützung erfolgen [69].

Inwiefern eine Modulation im Moment als belästigend wahrgenommen wird, lässt sich psychoakus-

tisch durch den Vergleich mit konstanten Schallsignalen unterschiedlicher Lautheit ermitteln. Damit ergeben sich Zuschläge als Funktion der Amplitude und Frequenz der Modulation [70]. In der Genehmigungspraxis werden sie derzeit in Deutschland noch nicht angewendet.

Fazit

Der Schall von WEA entsteht maßgeblich an den Rotorblättern und breitet sich als breitbandiges Rauschen in die Umgebung aus. Unter bestimmten Windbedingungen kann es zu wahrnehmbaren zeitlichen Schwankungen kommen. Zusätzlich ist das Signal mit einem Infraschallsignal überlagert, welches nicht direkt wahrnehmbar ist. Die Anwohner hören dieses komplexe Schallsignal und ein Teil berichtet über Belästigungen. Besonders störend werden Modulationen wahrgenommen. Es liegen keine Hinweise vor, dass der Infraschallanteil durch WEA eine Gesundheitsgefahr für die Anwohnerschaft darstellt. Maßgeblich für die Wahrnehmung ist der hörbare Schall. Möglicherweise wird jedoch die Wahrnehmung von diesem Schall durch Infraschall moduliert. Für die technische Weiterentwicklung von WEA bleibt die Schallminderung weiterhin ein Thema. Ein guter Mittelweg zwischen hohem Ertrag und geringer Belästigung der Anwohner mag in Zukunft auch durch den Einsatz von Schallsensorik an WEA und aktiver Ansteuerung gefunden werden. Im Bereich der Genehmigungsprozesse ist die Herausforderung, den Schall von WEA zuverlässig zu prognostizieren und zu überwachen, insbesondere mit Blick auf die zeitlichen Schwankungen. Vor Ort ist die transparente, sachliche und faire Einbindung der Anwohner entscheidend.

Solange wir nicht nachts alle das Licht und die Gerätschaften ausschalten, sind wir auch nachts auf Strom angewiesen. So ist unsere Aufgabe einen Weg zu suchen, möglichst leise Windstrom zu produzieren; ohne die Anwohnerschaft erheblich zu belästigen oder gesundheitlich zu gefährden.

Danksagung

Für anregende Diskussionen und wertvolle Hinweise bedanke ich mich bei: Martin Dybek, Dr. Alice Freiberg, Dr. Christian Koch, Prof. Detlef Krahe, Jürgen Kurtz, Eik Leppin, Dr. Thorsten Lutz, Dr. Torsten Marquardt, Prof. Dominik Obrist, Dr. Johannes Pohl und Prof. Michael Sandner.

Hörbeispiele

Die im Text angesprochenen Hörbeispiele werden auf der DEGA-Website unter <https://www.dega-akustik.de/publikationen/akustik-journal/hoerbeispiele/> zur Verfügung gestellt.

Literatur

- [1] Hübner, G.; Pohl, J.; Hoen, B.; Firestone, J.; Rand, J.; Elliott, D.; Haac, R.: Monitoring annoyance and stress effects of wind turbines on nearby residents: A comparison of U.S. and European samples. *Environment International*, Bd. 132, S. 105.090, Nov. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105090>.
- [2] van Kamp, I.; van den Berg, F.: Health Effects Related to Wind Turbine Sound, Including Low-Frequency Sound and Infrasound. *Acoust Aust*, Bd. 46, Nr. 1, S. 31–57, Apr. 2018. <https://doi.org/10.1007/s40857-017-0115-6>.
- [3] Freiberg, A.; Scheffer, C.; Girbig, M.; Murta, V. C.; Seidler, A.: Health effects of wind turbines on humans in residential settings: Results of a scoping review. *Environmental Research*, Bd. 169, S. 446–463, Feb. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.11.032>.
- [4] Hansen, C.; Hansen, K.: Recent Advances in Wind Turbine Noise Research. *Acoustics*, Bd. 2, Nr. 1, S. 171–206, März 2020. <https://doi.org/10.3390/acoustics2010013>.
- [5] White, F. M.: *Viscous fluid flow*, 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1991.
- [6] Veers, P.; Dykes, K.; Lantz, E.; Barth, S.; Bottasso, C. L.; Carlson, O.; Clifton, A.; Green, J.; Green, P.; Holttinen, H.; Laird, D.; Lehtomäki, V.; Lundquist, J. K.; Manwell, J.; Marquis, M.; Meneveau, C.; Moriarty, P.; Munduate, X.; Muskulus, M.; Naughton, J.; Pao, L.; Paquette, J.; Peinke, J.; Robertson, A.; Sanz Rodrigo, J.; Sempreviva, A. M.; Smith, J. C.; Tuohy, A.; Wisser, R.: Grand challenges in the science of wind energy. *Science*, Bd. 366, Nr. 6464, S. eaau2027, Okt. 2019. <https://doi.org/10.1126/science.aau2027>.
- [7] LfU Brandenburg: Windkraftanlagen des Landes Brandenburg. Datenlizenz Deutschland – Landesamt für Umwelt Brandenburg – 2.0, März 2020. Zugegriffen: Apr. 15, 2020. [online]. Verfügbar unter: <https://metaver.de/>.
- [8] Zhu, W. J.; Shen, W. Z.; Barlas, E.; Bertagnolio, F.; Sørensen, J. N.: Wind turbine noise generation and propagation modeling at DTU Wind Energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Bd. 88, S. 133–150, Mai 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.029>.
- [9] Wagner, S.; Bareiß, R.; Guidati, G.: *Wind turbine noise*. Berlin, Springer, 1996.
- [10] Benton, S. I.; Visbal, M. R.: The onset of dynamic stall at a high, transitional Reynolds number. *J. Fluid Mech.*, Bd. 861, S. 860–885, Feb. 2019. <https://doi.org/10.1017/jfm.2018.939>.
- [11] Oerlemans, S.; Sijtsma, P.; Méndez López, B.: Location and quantification of noise sources on a wind turbine. *Journal of Sound and Vibration*, Bd. 299, Nr. 4, S. 869–883, Feb. 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2006.07.032>.
- [12] Barlas, E.; Wu, K. L.; Zhu, W. J.; Porté-Agel, F.; Shen, W. Z.: Variability of wind turbine noise over a diurnal cycle. *Renewable Energy*, Bd. 126, S. 791–800, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.086>.
- [13] van den Berg, G. P.: The Beat is Getting Stronger: The Effect of Atmospheric Stability on Low Frequency Modulated Sound of Wind Turbines. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 2005. <https://doi.org/10.1260/0263092054037702>.
- [14] Klein, L.; Gude, J.; Wenz, F.; Lutz, T.; Krämer, E.: Advanced computational fluid dynamics (CFD) – multi-body simulation (MBS) coupling to assess low-frequency emissions from wind turbines. *Wind Energ. Sci.*, Bd. 3, Nr. 2, S. 713–728, Okt. 2018. <https://doi.org/10.5194/wes-3-713-2018>.
- [15] Yauwenas, Y.; Zajamšek, B.; Reizes, J.; Timchenko, V.; Doolan, C. J.: Numerical simulation of blade-passage noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, Bd. 142, Nr. 3, S. 1.575–1.586, Sep. 2017. <https://doi.org/10.1121/1.5003651>.
- [16] Bowdler, D.: A sound file of swish and thump (MP3). Zugegriffen: Apr. 21, 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.dickbowdler.co.uk/content/publications/>.
- [17] Lutz, T.; Herrig, A.; Würz, W.; Kamruzzaman, M.; Krämer, E.: Design and Wind-Tunnel Verification of Low-Noise Airfoils for Wind Turbines. *AIAA Journal*, Bd. 45, Nr. 4, S. 779–785, Apr. 2007. <https://doi.org/10.2514/1.27658>.
- [18] Cheng, J.; Zhu, W.; Fischer, A.; García, N. R.; Madsen, J.; Chen, J.; Shen, W. Z.: Design and validation of the high performance and low noise CQU-DTU-LN1 airfoils. *Wind Energy*, Bd. 17, Nr. 12, S. 1.817–1.833, 2014. <https://doi.org/10.1002/we.1668>.
- [19] Lutz, T.; Arnold, B.; Wolf, A.; Krämer, E.: Numerical Studies on a Rotor with Distributed Suction for Noise Reduction. *J. Phys.: Conf. Ser.*, Bd. 524, S. 012122, Juni 2014. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/524/1/012122>.
- [20] Ffowcs Williams, J. E.; Hawkings, D. L.: Sound generation by turbulence and surfaces in arbitrary motion. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, Bd. 264, Nr. 1.151, S. 321–342, Mai 1969. <https://doi.org/10.1098/rsta.1969.0031>.

- [21] Friedrich, T.; Zieger, T.; Forbriger, T.; Ritter, J. R. R.: Locating wind farms by seismic interferometry and migration. *J Seismol*, Bd. 22, Nr. 6, S. 1.469–1.483, Nov. 2018.
<https://doi.org/10.1007/s10950-018-9779-0>.
- [22] Nguyen, D. P.; Hansen, K.; Zajamsek, B.; Micic, G.; Catcheside, P.: Wind farm infrasound detectability and its effects on the perception of wind farm noise amplitude modulation. in *Acoustics Victoria*, 2019.
- [23] Thorsson, P.; Persson Waye, K.; Smith, M.; Ögren, M.; Pedersen, E.; Forssén, J.: Low-frequency outdoor–indoor noise level difference for wind turbine assessment. *The Journal of the Acoustical Society of America*, Bd. 143, Nr. 3, S. EL206–EL211, März 2018.
<https://doi.org/10.1121/1.5027018>.
- [24] Dai, C. W.; Xue, Y.; Huang, Y.; Xue, S.: IEEE Standard for Wind Turbine Aero Acoustic Noise Measurement Techniques. *IEEE*, Mai 2016.
<https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2016.7502056>.
- [25] Bass, J.; Cand, M.; Coles, D.; Davis, R.; Irvine, G.; Leventhall, G.; Levet, T.; Miller, S.; Sexton, D.; Shelton, J.: Ioa Consultation Questionnaire On Methods For Rating Amplitude Modulation In Wind Turbine Noise. *Institute of acoustics*, 2015.
- [26] LUBW: Tieffrequente Geräusche inkl. Infra-schall von Windkraftanlagen und anderen Quellen. Dokument 84558, Feb. 2016.
- [27] Zajamšek, B.; Hansen, K. L.; Doolan, C. J.; Hansen, C. H.: Characterisation of wind farm infrasound and low-frequency noise. *Journal of Sound and Vibration*, Bd. 370, S. 176–190, Mai 2016.
<https://doi.org/10.1016/j.jsv.2016.02.001>.
- [28] Hansen, K. L.; Nguyen, P.; Zajamšek, B.; Catcheside, P.; Hansen, C. H.: Prevalence of wind farm amplitude modulation at long-range residential locations. *Journal of Sound and Vibration*, Bd. 455, S. 136–149, Sep. 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.jsv.2019.05.008>.
- [29] Martinez, S. C.; Fennel, F.; Pies, K.: Amplitudenmodulation (AM) bei Geräuschen von Windenergieanlagen, Messungen an Windparks. *Fortschritte der Akustik – DAGA 2018*, 44. Jahrestagung für Akustik, München, S. 1.651–1.654.
- [30] Fastl, H.; Zwicker, E.: *Psychoacoustics – Facts and Models*. Springer, 2007.
- [31] Thorsson, P.; Waye, K. P.; Ögren, M.; Smith, M.; Pedersen, E.; Forssén, J.: Creating sound immersion mimicking real-life characteristics from a single wind turbine. *Applied Acoustics*, Bd. 143, S. 66–73, Jan. 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.08.015>.
- [32] Jurado, C.; Marquardt, T.: The effect of the helicotrema on low-frequency loudness perception. *The Journal of the Acoustical Society of America*, Bd. 140, Nr. 5, S. 3.799–3.809, Nov. 2016.
<https://doi.org/10.1121/1.4967295>.
- [33] Martin, P.; Hudspeth, A. J.: Active hair-bundle movements can amplify a hair cell's response to oscillatory mechanical stimuli. *PNAS*, Bd. 96, Nr. 25, S. 14.306–14.311, Dez. 1999.
<https://doi.org/10.1073/pnas.96.25.14306>.
- [34] Ashmore, J. F.: A fast motile response in guinea-pig outer hair cells: the cellular basis of the cochlear amplifier. *The Journal of Physiology*, Bd. 388, Nr. 1, S. 323–347, Juli 1987.
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.1987.sp016617>.
- [35] Hudspeth, A. J.: Making an effort to listen: mechanical amplification in the ear. *Neuron*, Bd. 59, Nr. 4, S. 530–545, Aug. 2008.
<https://doi.org/10.1016/j.neuron.2008.07.012>.
- [36] Uppenkamp, S.: *Physikalische Grundlagen der Entstehung und Registrierung von otoakustischen Emissionen*. *Z. Audiol.*, Bd. 38, Nr. 2, S. 59–62, 1999.
- [37] Salt, A. N.; Hullar, T. E.: Responses of the ear to low frequency sounds, infrasound and wind turbines. *Hearing Research*, Bd. 268, Nr. 1, S. 12–21, Sep. 2010.
<https://doi.org/10.1016/j.heares.2010.06.007>.
- [38] Marquardt, T.; Jurado, C.: Amplitude modulation may be confused with infrasound. *Acta Acustica united with Acustica*, Bd. 104, Nr. 5, S. 825–829, Sep. 2018.
<https://doi.org/10.3813/AAA.919232>.
- [39] Kozlov, A. S.; Baumgart, J.; Risler, T.; Versteegh, C. P. C.; Hudspeth, A. J.: Forces between clustered stereocilia minimize friction in the ear on a subnanometre scale. *Nature*, Bd. 474, Nr. 7.351, S. 376–379, Juni 2011.
<https://doi.org/10.1038/nature10073>.
- [40] Jurado, C.; Marquardt, T.: On the Effectiveness of airborne infrasound in eliciting vestibular-evoked myogenic responses. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, Bd. 39, Nr. 1, S. 3–16, 2020.
<https://doi.org/10.1177/1461348419833868>.
- [41] Weichenberger, M.; Bauer, M.; Kühler, R.; Hensel, J.; Forlim, C. G.; Ihlenfeld, A.; Ittermann, B.; Gallinat, J.; Koch, C.; Kühn, S.: Altered cortical and subcortical connectivity due to infrasound administered near the hearing threshold – Evidence from fMRI. *PLoS ONE*, Bd. 12, Nr. 4, S. e0174420, Apr. 2017.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174420>.
- [42] Burke, E.; Hensel, J.; Fedtke, T.; Uppenkamp, S.; Koch, C.: Detection Thresholds for Combined

- Infrasound and Audio-Frequency Stimuli. *Acta Acustica united with Acustica*, Bd. 105, Nr. 6, S. 1.173–1.182, Nov. 2019.
<https://doi.org/10.3813/AAA.919394>.
- [43] Grieser, B. J.; Kleiser, L.; Obrist, D.: Identifying Mechanisms Behind the Tullio Phenomenon: a Computational Study Based on First Principles. *JARO*, Bd. 17, Nr. 2, S. 103–118, Apr. 2016.
<https://doi.org/10.1007/s10162-016-0553-0>.
- [44] Iversen, M. M.; Zhu, H.; Zhou, W.; Santana, C. C. D.; Carey, J. P.; Rabbitt, R. D.: Sound abnormally stimulates the vestibular system in canal dehiscence syndrome by generating pathological fluid-mechanical waves. *Sci Rep*, Bd. 8, Nr. 1, S. 1–12, Juli 2018.
<https://doi.org/10.1038/s41598-018-28592-7>.
- [45] Ward, B. K.; Carey, J. P.; Minor, L. B.: Superior Canal Dehiscence Syndrome: Lessons from the First 20 Years. *Front. Neurol.*, Bd. 8, S. 177, Apr. 2017.
<https://doi.org/10.3389/fneur.2017.00177>.
- [46] Harrison, R. V.: On the biological plausibility of Wind Turbine Syndrome. *International Journal of Environmental Health Research*, Bd. 25, Nr. 5, S. 463–468, Sep. 2015.
<https://doi.org/10.1080/09603123.2014.963034>.
- [47] Alberts, B.; Johnson, A.; Lewis, J.; Morgan, D.; Raff, M.; Roberts, K.; Walter, P.: *Molecular biology of the cell*. Garland Science, 2014.
- [48] Gordeladze, A.; Glinchikov, V.; Usenko, V.: Experimental myocardial ischemia caused by infrasound. *Gig Tr Prof Zabol*, Bd. 6, S. 30–33, 1986.
- [49] Chaban, R.; Ghazy, A.; Georgiade, E.; Stumpf, N.; Vahl, C.: Negative Effect of High-Level Infrasound on Human Myocardial Contractility: In-Vitro Controlled Experiment. *Noise and Health*, 2020. (Der Text ist noch nicht veröffentlicht.)
- [50] Piorr, D.: Windenergieanlagen und WHO-Umgebungsärm-Leitlinien. *Fortschritte der Akustik – DAGA 2019*, 45. Jahrestagung für Akustik, Rosstock, S. 716–719.
- [51] Uppenkamp und Partner: Schalltechnischer Bericht der erweiterten Hauptuntersuchung zur messtechnischen Ermittlung der Ausbreitungsbedingungen für die Geräusche von hohen Windenergieanlagen zur Nachtzeit und Vergleich der Messergebnisse mit Ausbreitungsrechnungen nach DIN ISO 9613-2. Nov. 2014.
- [52] Baumgart, J.; Spielvogel, T.; Warmuth, S.: Einzelfallgerechtigkeit – ein Konzept für eine situationsbezogene Irrelevanzprüfung. *Fortschritte der Akustik – DAGA 2020*, 46. Jahrestagung für Akustik, Hannover, S. 504–507.
- [53] Tonin, R.; Brett, J.; Colagiuri, B.: The effect of infrasound and negative expectations to adverse pathological symptoms from wind farms. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, Bd. 35, Nr. 1, S. 77–90, März 2016.
<https://doi.org/10.1177/02630923166628257>.
- [54] Crichton, F.; Dodd, G.; Schmid, G.; Gamble, G.; Petrie, K. J.: Can expectations produce symptoms from infrasound associated with wind turbines?. *Health Psychology*, Bd. 33, Nr. 4, S. 360, 2013.
<https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/a0031760>.
- [55] Chapman, S.; George, A. S.; Waller, K.; Cacic, V.: The Pattern of Complaints about Australian Wind Farms Does Not Match the Establishment and Distribution of Turbines: Support for the Psychogenic, ‘Communicated Disease’ Hypothesis. *PLOS ONE*, Bd. 8, Nr. 10, S. e76584, Okt. 2013.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076584>.
- [56] Pedersen, E.; van den Berg, F.; Bakker, R.; Bouma, J.: Response to noise from modern wind farms in The Netherlands. *The Journal of the Acoustical Society of America*, Bd. 126, Nr. 2, S. 634–643, Juli 2009.
<https://doi.org/10.1121/1.3160293>.
- [57] Cooper, S.: The use of Synthesised or Actual Wind Turbine Noise for Subjective Evaluation Purposes. in *ICA Aachen*, 2019.
- [58] Stead, M.; Cooper, J.; Evans, T.: Comparison of infrasound measured at people’s ears when walking to that measured near wind farms. *Acoustics Australia*, Bd. 42, Nr. 3, S. 197–203, Dez. 2014.
- [59] Kraak, W.; Ertel, H.; Fuder, G.; Kracht, L.: Risk of hearing damage caused by steady-state and impulsive noise. *Journal of Sound and Vibration*, Bd. 36, Nr. 3, S. 347–359, Okt. 1974.
[https://doi.org/10.1016/S0022-460X\(74\)80215-4](https://doi.org/10.1016/S0022-460X(74)80215-4).
- [60] Poulsen, A. H.; Raaschou-Nielsen, O.; Peña, A.; Hahmann, A. N.; Nordsborg, R. B.; Ketzler, M.; Brandt, J.; Sørensen, M.: Long-Term Exposure to Wind Turbine Noise and Risk for Myocardial Infarction and Stroke: A Nationwide Cohort Study. *Environmental Health Perspectives*, Bd. 127, Nr. 3, S. 037004, Dez. 2019.
<https://doi.org/10.1289/EHP3340>.
- [61] Poulsen, A. H.; Raaschou-Nielsen, O.; Peña, A.; Hahmann, A. N.; Nordsborg, R. B.; Ketzler, M.; Brandt, J.; Sørensen, M.: Long-term exposure to wind turbine noise and redemption of anti-hypertensive medication: A nationwide cohort study. *Environment International*, Bd. 121, S. 207–215, Dez. 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.08.054>.
- [62] Poulsen, A. H.; Raaschou-Nielsen, O.; Peña, A.;

Hahmann, A. N.; Nordsborg, R. B.; Ketzler, M.; Brandt, J.; Sørensen, M.: Impact of Long-Term Exposure to Wind Turbine Noise on Redemption of Sleep Medication and Antidepressants: A Nationwide Cohort Study. *Environ Health Perspect*, Bd. 127, Nr. 3, S. 037005, März 2019. <https://doi.org/10.1289/EHP3909>.

[63] Poulsen, A. H.; Raaschou-Nielsen, O.; Peña, A.; Hahmann, A. N.; Nordsborg, R. B.; Ketzler, M.; Brandt, J.; Sørensen, M.: Pregnancy exposure to wind turbine noise and adverse birth outcomes: a nationwide cohort study. *Environmental Research*, Bd. 167, S. 770–775, Nov. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.09.011>.

[64] Poulsen, A. H.; Raaschou-Nielsen, O.; Peña, A.; Hahmann, A. N.; Nordsborg, R. B.; Ketzler, M.; Brandt, J.; Sørensen, M.: Long-term exposure to wind turbine noise at night and risk for diabetes: A nationwide cohort study. *Environmental Research*, Bd. 165, S. 40–45, Aug. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.03.040>.

[65] Poulsen, A. H.; Raaschou-Nielsen, O.; Peña, A.; Hahmann, A. N.; Nordsborg, R. B.; Ketzler, M.; Brandt, J.; Sørensen, M.: Short-term nighttime wind turbine noise and cardiovascular events: A nationwide case-crossover study from Denmark. *Environment International*, Bd. 114, S. 160–166, Mai 2018. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.02.030>.

[66] Bräuner, E., V.; Jørgensen, J., T.; Duun-Henriksen, A., K.; Backalarz, C.; Laursen, J., E.; Pedersen, T., H.; Simonsen, M., K.; Andersen, Z., J.: Association Between Long-Term Exposure to Wind Turbine Noise and the Risk of Stroke: Data From the Danish Nurse Cohort. *JAHA*, Bd. 8, Nr. 14, Juli, 2019. <https://doi.org/10.1161/JAHA.119.013157>.

[67] Haac, T. R.; Kaliski, K.; Landis, M.; Hoen, B.; Rand, J.; Firestone, J.; Elliott, D.; Hübner, G.; Pohl, J.: Wind turbine audibility and noise annoyance in a national U.S. survey: Individual perception and influencing factors. *The Journal of the Acoustical Society of America*, Bd. 146, Nr. 2, S. 1.124–1.141, Aug. 2019. <https://doi.org/10.1121/1.5121309>.

[68] Pohl, J.; Gabriel, J.; Hübner, G.: Untersuchung der Beeinträchtigung von Anwohnern durch Geräuschemissionen von Windenergieanlagen und Ableitung übertragbarer Interventionsstrategien zur Verminderung dieser. 28754, Dez. 2014. Zugegriffen: Apr. 14, 2020. [Online]. Verfügbar unter: <http://wcms.itz.uni-halle.de/download.php?down=36385&elem=2831653>.

[69] Leventhall, G.; Benton, S.; Robertson, D.: Coping Strategies for Low Frequency Noise. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, Bd. 27, Nr. 1, S. 35–52, März 2008. <https://doi.org/10.1260/026309208784425460>.

[70] Virjonen, P.; Hongisto, V.; Radun, J.: Annoyance penalty of periodically amplitude-modulated wide-band sound. *The Journal of the Acoustical Society of America*, Bd. 146, Nr. 6, S. 4.159–4.170, Dez. 2019. <https://doi.org/10.1121/1.5133478>. ■



Dr.-Ing. Johannes Baumgart
GICON®-Großmann
Ingenieur Consult
GmbH, Dresden

Akustik von E-Bikes

Stefan Becker, Benedikt Berchtenbreiter, Florian Krömer, Alexander Lodermeier, Jörg Riedel, Andreas Renz

Ziel der vorliegenden Studie ist es, einen Einblick in die Schallabstrahlung von elektrisch unterstützten Fahrrädern zu erlangen. Dazu wurden in die Untersuchungen eine Vielzahl unterschiedlicher elektrischer Antriebe verschiedener Hersteller einbezogen. Es konnte ein spezieller Versuchsaufbau in einem reflexionsarmen Akustikraum installiert werden, der es ermöglichte unter reproduzierbaren Randbedingungen die Schallabstrahlung der verschiedenen E-Bikes zu untersuchen. Die Ergebnisse zeigen, dass sich der ermittelte Schalleistungspegel im Vergleich zum Betrieb ohne E-Motorunterstützung um ca. 5 dB erhöht. Deutlicher sind die Zunahmen in den hohen Leistungsklassen der Mountainbikes. Hier kann es zu Erhöhungen von ca. 15 dB kommen. Die Gesamtschalleistungspegel liegen im Bereich von 60–75 dB(A). Sie sind abhängig von der Leistungsklasse der Fahrräder, aber auch vom Hersteller. In gleichen Leistungsklassen weichen die Schalleistungspegel bei unterschiedlichen Betriebspunkten in einem Bereich von 3 dB voneinander ab. Die Untersuchungsergebnisse werden durch verschiedene Messpunkte im Umfeld des Fahrrades ermittelt. Dazu gehört die Richtcharakteristik der Schallabstrahlung, die Schallimmission an einem Passanten-Modell und die Schallwahrnehmung am Ohr des Fahrradfahrers selbst. Abschließend erfolgte eine Analyse von psychoakustischen Parametern. Im Fokus stehen die Lautheit und die Schärfe des Signals. In der Lautheit konnten die Aussagen der Versuchsergebnisse bestätigt werden. Dieser Trend lässt sich für alle untersuchten Fahrräder bestätigen.

Einführung

Elektrisch unterstützte Fahrräder gewinnen eine immer größere Bedeutung in unserem Straßenverkehr. Aber auch im Freizeitbereich haben E-Bikes eine weite Verbreitung. Gerade im Bereich der Mountainbikes gab es sehr starken Entwicklungsfortschritt. So wurden im Jahre 2019 laut Bericht des Zweirad-Industrieverbandes [1] 1,4 Millionen E-Bikes verkauft. Das bedeutet, dass jedes dritte verkaufte Fahrrad mit einem Elektromotor ausgestattet ist. Dabei haben E-Trekkingbikes mit 36 % den größten Marktanteil gefolgt von E-Citybikes mit 31 % und den E-Mountainbikes mit ca. 26,5 %. Die Tendenz der letzten Jahre zeigt, dass der Anteil stetig zunimmt. Mit dieser Zunahme kommt es auch zu einer erhöhten Lärmbelastung durch E-Bikes. Dies betrifft sowohl

Acoustics of E-Bikes

The aim of the present study is to provide an understanding of the sound radiation of electrically supported bicycles. For this purpose, a large number of different electric drives from different manufacturers were included in the investigations. A special test setup was applied within an anechoic room, which allowed us to investigate the sound radiation of the different e-bikes under reproducible boundary conditions. The results show that the measured sound power level increases by 5 dB when compared to a configuration without electric motor support. The increase is more significant in the high power classes of mountain bikes. In this case, a higher level of up to 15 dB occurs. The total sound power level is in the range of 60–75 dB(A). It depends on the performance class of the bikes but also on the manufacturer. Within the same power classifications, the sound power levels at different operating points differ from each other within a range of 3 dB. The test results are determined by different measuring points in the vicinity of the bicycle. These include the directivity of the sound radiation, the sound immission on a pedestrian model and the sound perception at the ear of the cyclist himself. Finally, an analysis of psychoacoustic parameters has been performed. The focus was set on the loudness and sharpness of the signal. Thereby, the statements of the test results were substantiated by the loudness parameter. This trend has been verified for all bicycles investigated.

die Nutzung der Fahrräder im städtischen Bereich als auch in der Natur und in großen Produktionsräumen von Industriebetrieben. Wichtige Geräuschquellen eines konventionellen Fahrrades sind das Reifengeräusch, Kettengeräusche und die induzierten Windgeräusche des Fahrradfahrers. Bei E-Bikes kommt die Komponente des Elektromotors dazu.

In der vorliegenden Studie galt es, diesen zusätzlichen Anteil der Geräuschemission durch den Elektromotor zu erfassen und zu analysieren. Neben der Bewertung auf der Basis des Schalldruckpegels wurde die Richtcharakteristik der Schallabstrahlung und eine Bewertung psychoakustischer Kenngrößen in die Untersuchungen miteinbezogen. Es war nicht das Ziel und der Zweck der Untersuchungen, einen Vergleich von verschiedenen Konkurrenzproduk-

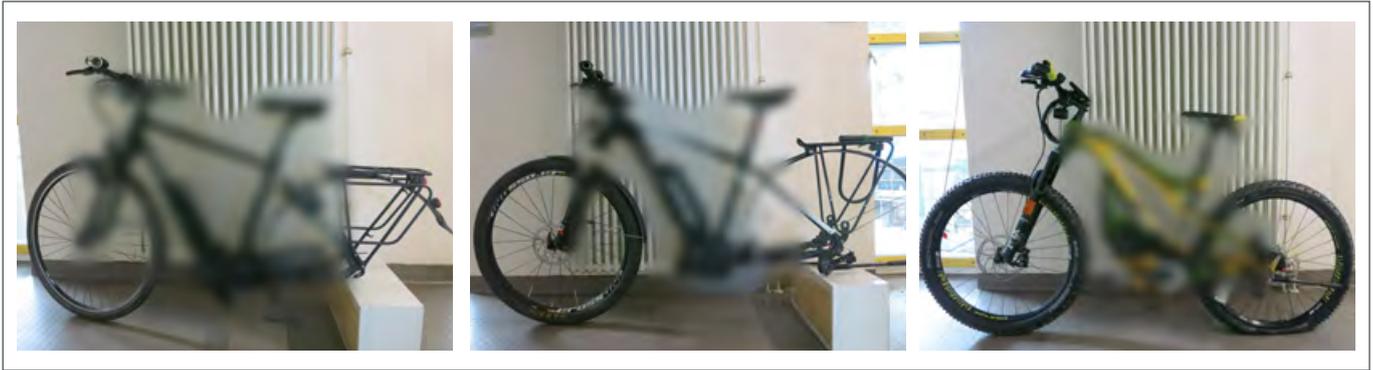


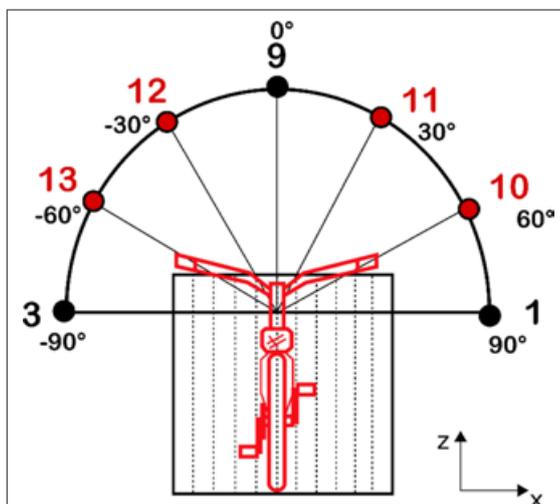
Abb. 1: Beispiele der untersuchten Fahrrädertypen

ten durchzuführen. Wichtig war es, erste Aussagen über die Schallabstrahlung von E-Bikes zu erhalten. Es galt, einen Versuchsstand aufzubauen, der unter reproduzierbaren Randbedingungen den zusätzlichen Einfluss des Elektromotors auf die Schallabstrahlung erfassen kann. Bisher gibt es in der Literatur sehr wenige Informationen hierzu. Die meisten Informationen basieren auf Herstellerangaben, bei denen die Untersuchungsbedingungen unbekannt sind. Gesetzliche Vorgaben zu Schallemissionen von E-Bikes gibt es bisher nicht. Die durchgeführten Untersuchungen der Messmethoden sind daher als ein erster Schritt zu betrachten, die Akustik von E-Bikes zu erfassen und zu analysieren.

Versuchsaufbau und Messtechnik

In den Untersuchungen galt es, den Einfluss der Reifengeräusche zu unterdrücken. Daher wurde eine Versuchsordnung gewählt, bei dem das Hinterrad des Fahrrades entfernt und in ein Hometrainer-Modul integriert wurde. Die Funktionsweise des Hometrainers basiert auf derer einer elektrischen Motorbremse und hat eine geringere akustische Schallabstrahlung als bei Hometrainern, bei denen das Hinterrad me-

Abb. 2: Versuchsanordnung zur Bestimmung der Richtcharakteristik



chanisch an der Lauffläche des Rades gebremst wird. Die Untersuchungen erfolgten im reflexionsarmen Raum der Universität Erlangen-Nürnberg. Der Raum hatte die Abmessungen von 4,6 m x 5,0 m in der Grundfläche bei einer Höhe von 3 m. Er ist in seinen akustischen Eigenschaften mit DIN EN ISO 3744 [2] und DIN EN ISO 3740 [3] spezifiziert. Die untere Grenzfrequenz des Raumes liegt bei ca. 200 Hz bei einer Nachhallzeit von unter 0,1 s. Alle terzbandbasierten Werte sind in [4] dokumentiert.

Abbildung 1 zeigt beispielhaft die in die Untersuchung einbezogenen Fahrradtypen. Für die Messungen wurden verschiedene kommerziell erhältliche City-E-Bikes, Trekking-E-Bikes und ein Mountain-E-Bike genutzt. Es handelt sich um E-Bikes mit ausschließlich zentral montiertem Hilfsmotor. Die Darstellung in der Veröffentlichung konzentriert sich auf repräsentative Testbeispiele. Aus den Ergebnissen werden allgemeine Aussagen der Schallabstrahlung und Schallanalyse abgeleitet. Es wird vermieden, Konkurrenzprodukte untereinander zu vergleichen. Daher sind Ähnlichkeiten der Messergebnisse mit den dargestellten Beispielen in Abbildung 1 zufällig. Für die Untersuchungen der Schallabstrahlung wurden verschiedene Mikrofonpositionen gewählt. Entsprechend der DIN EN ISO 3744:2011 [2] wurden 9 Hauptmikrofone (1–9) auf der Oberfläche eines Würfels mit einer Kantenlänge von 2 m um das Fahrrad platziert. Mit Hilfe von vier weiteren Mikrofonen (10–13) wurde ein Halbkreis aus 7 Mikrofonen zur Bestimmung der Richtcharakteristik gebildet. Die Abbildung 2 gibt einen schematischen Überblick über die diesbezügliche Versuchsanordnung.

Der Messaufbau wurde durch die Erfassung des Schalls am Fahrerohr und eines festen Beobachters außerhalb des Fahrrades ergänzt. Für die Akustik am Fahrerohr erfolgten Messungen mit dem System HEAD acoustics SQuadriga II. Als Messpunkt für den festen Beobachter kam der Kunstkopf KEMAR 45 BB (G.R.A.S.) zum Einsatz.

Die Abbildung 3 gibt einen Gesamtüberblick des Messaufbaus im Akustikraum des IPAT der Univer-

sität Erlangen-Nürnberg.

Die Messungen erfolgten in einem festen Versuchsablauf. Es wurden 3 Betriebspunkte bei gleichen Lastzuständen bei einer simulierten Fahrgeschwindigkeit von 15 km/h für den Elektromotor untersucht. Verschiedene Lastzustände konnten über das benutzte Modul Tacx Neo Smart Indoor-Trainer als Ersatz am Hinterrad eingestellt werden. Für die Einstellung und Einhaltung der Betriebsparameter wurde ein Testfahrer für die Fahrräder benutzt. Für die Erfassung der Trittfrequenz kam ein optischer Drehzahlsensor am Kettenrad zum Einsatz. Die Daten wurden automatisch in den Messablauf protokolliert und dienten dem Fahrer als direkte Drehzahlkontrolle.

Die Auswahl der Betriebspunkte erfolgte nach den Gesichtspunkten unterschiedlicher Lastfälle und einer dazugehörigen Trittfrequenz, die es dem Testfahrer gestattet konstante Betriebsbedingungen einzuhalten. Die Betriebspunkte waren:

- 40 min⁻¹ (Trittfrequenz) / 100 Watt (Bremsleistung),
- 60 min⁻¹ (Trittfrequenz) / 200 Watt (Bremsleistung),
- 80 min⁻¹ (Trittfrequenz) / 250 Watt (Bremsleistung).

Insgesamt erfolgten bei den drei Betriebspunkten jeweils zwei Messungen ohne E-Motor-Unterstützung und mit maximaler Motorunterstützung um eine gute Reproduzierbarkeit der Messergebnisse zu erzielen. Insgesamt wurden 10 unterschiedliche Fahrräder verschiedener Anbieter, mit unterschiedlichen Motorausstattungen in verschiedenen Leistungsklassen untersucht.

Für die folgende Darstellung und Interpretation der Versuchsergebnisse wurden fünf repräsentative Fahrräder ausgewählt. Diese sind:

1. Fahrrad 1: Trekking-E-Bike (Kettenantrieb)
2. Fahrrad 2: Trekking-E-Bike (Riemenantrieb)
3. Fahrrad 3: City-E-Bike (Kettenantrieb)
4. Fahrrad 4: Mountain-E-Bike (Kettenantrieb)
5. Fahrrad 5: Trekking-E-Bike (Kettenantrieb) –

Fahrleistung > 10.000 km

Es sind kommerziell erhältliche Fahrräder unterschiedlicher Anbieter und Motorausstattung. Bei der Auswahl des Fahrrades 5 galt es, in den Untersuchungen, den Einfluss und die Veränderungen hoher Fahrradlaufzeiten auf die Schallabstrahlung zu berücksichtigen.

Schallabstrahlung

Die Schallabstrahlung eines E-Bikes setzt sich aus einer Vielzahl von Schallquellen zusammen. Das sind:

- Reifengeräusche in Abhängigkeit u. a. von der Fahrgeschwindigkeit, dem Fahrbelag, dem Reifenmaterial und dem Reifendruck,



Abb. 3: Versuchsaufbau im reflexionsarmen Raum

- Windgeräusche beeinflusst u. a. von der Fahrgeschwindigkeit, der angeströmten Fläche, des Strömungswiderstandes, des aktuellen Windprofils, der Rahmenkonstruktion und des Aufbaus der drehenden Räder,
- Ketten- und Lagergeräusche, die u. a. von der Schaltung, dem Kettenmaterial, der gewählten Übersetzung und dem Betriebsverschleiß abhängig sind, sowie
- Elektromotorgeräusche, die u. a. von der Bauart des Motors, der Leistungsklasse, den Betriebsbedingungen, den Getriebearten und dem Einbau in die Rahmenkonstruktion des Fahrzeuges abhängig sind.

Diese Aufstellung verdeutlicht, wie komplex die Erfassung des Gesamtgeräuschs um ein rollendes Fahrrad ist. Viele der Geräuschquellen stehen im engen Zusammenhang zueinander und beeinflussen sich wechselseitig. Mit der Versuchsanordnung konnten Reifen- und Fahrgeräusche eliminiert werden. Es standen der Beitrag des Elektromotors in Zusammenspiel mit dem Kettenantriebssystem im Fokus. Diese Studie gibt daher einen ersten Einblick in ein Grundverständnis der Schallabstrahlung von E-Bikes, welches es durch weiterführende Untersuchungen in der Breite der Datenbasis und im physikalischen Verständnis kontinuierlich zu erweitern gilt.

Das Hauptaugenmerk der durchgeführten Untersuchungen galt dem zusätzlichen Beitrag des Elektromotors auf das abgestrahlte Schallfeld des Fahrrades. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die ermittelten Schalleistungspegel mit und ohne Motorunterstützung bei den drei ausgewählten Betriebspunkten. Mit der Darstellung der ausgewählten Fallbeispiele werden verschiedene Aspekte der Schallabstrahlung

Tab. 1: Gesamtschallleistungspegel mit und ohne E-Motorunterstützung bei unterschiedlichen Betriebspunkten

Schallleistungspegel L_w in dB(A)	100W / 40rpm		200W / 60rpm		250W / 80rpm	
	Fahrrad	E-Motor	Fahrrad	E-Motor	Fahrrad	E-Motor
Fahrrad 1	54,5	61,4	57,9	66,4	61,0	71,0
Fahrrad 2	56,9	58,1	60,2	62,5	62,4	66,7
Fahrrad 3	61,2	61,5	67,7	66,8	69,7	71,5
Fahrrad 4	54,0	67,5	56,6	72,2	59,5	76,8
Fahrrad 5	57,5	62,0	61,6	65,7	65,0	68,0

dargestellt. Der Schwerpunkt liegt entsprechend der einleitenden Statistik mit dem größten Verkaufsanteil auf Trekking-E-Bikes. Daher wurden für die Auswertung drei Fahrräder ausgewählt, ein Trekking-E-Bike

mit Kettenantrieb (Fahrrad 1), ein Trekking-E-Bike mit Riemenantrieb (Fahrrad 2) und ein Trekking-E-Bike mit einer hohen Laufleistung (Fahrrad 5), um hier Unterschiede bei hoher Nutzungsdauer aufzuzeigen. Weiterhin beinhaltet die Darstellung ein City-E-Bike (Fahrrad 3), welches akustische Auffälligkeiten im Antriebsmechanismus hatte. Die Ursache dafür lag in einem Defekt des Kettenantriebes. Das Fahrrad wurde in die Auswertung mit einbezogen, da es hier galt, herausfinden, ob bei Motorunterstützung derartige Geräuschquellen maskiert werden. Als Vertreter der höchsten Leistungsklasse konnte ein Mountain-E-Bike (Fahrrad 4) in die Auswertung aufgenommen werden.

Aus den Ergebnissen der Schallleistungsmessungen lassen sich folgende Erkenntnisse gewinnen. Diese Schlussfolgerungen basieren auf einer begrenzten Datenbasis und lassen sich anhand der beschriebenen Komplexität des akustischen Problems nur in Richt- und Anhaltswerten formulieren. Es sind vor allem Erkenntnisse, die sich nicht in quantitativen Messwerten für eine komplette Produktpalette definieren lassen, sondern es sind Informationen, die Abschätzungen liefern und einen ersten Einblick in die Akustik von E-Bikes zulassen.

Aus den Untersuchungen geht hervor, dass der Gesamtschallleistungspegel (A-bewertet) ohne Windgeräusche und Reifengeräusche eines Fahrrades ohne Motorunterstützung im Bereich von ca. 55–60 dB liegt. Mit Motorunterstützung erhöht sich der Leistungspegel um 2–10 dB in Abhängigkeit von der Art der Kraftübertragung und des Fahrradtyps. Als Mittelwert aller untersuchten Trekking-E-Bikes konnte eine Erhöhung von ca. 5 dB ermittelt werden. Die Laufleistung des Fahrrades hat keinen signifikanten Einfluss auf den Schallleistungspegel. Defekte im Kettenantrieb können die Schallabstrahlung maßgeblich beeinflussen. Jedoch beeinflusst das Zuschal-

Solution Partner

Digital Industries Software





FROM SCIENCE TO ENGINEERING.

MESSTECHNIK

Flexibilität, Leistung und Präzision: Unsere skalierbaren Messsysteme kombinieren hochwertige Hardware mit einer modernen, anwenderfreundlichen Analysesoftware – für Prüfstände, EoL und Entwicklung.

CAE-TOOLS

Komplexe Zusammenhänge effizient berechnen: Mit unseren 1D- und 3D-Simulationslösungen beantworten Sie Fragestellungen zu Schall, seiner Anregung und vielem mehr schneller und einfacher.

DIENSTLEISTUNG

Unsere Experten unterstützen Ihr Projekt in allen Punkten rund um Akustik und Anregungsmechanismen durch gezielte Messungen, multiphysikalische Simulationen und individuelle Prüfstände.

Jetzt mehr erfahren auf novicos.de

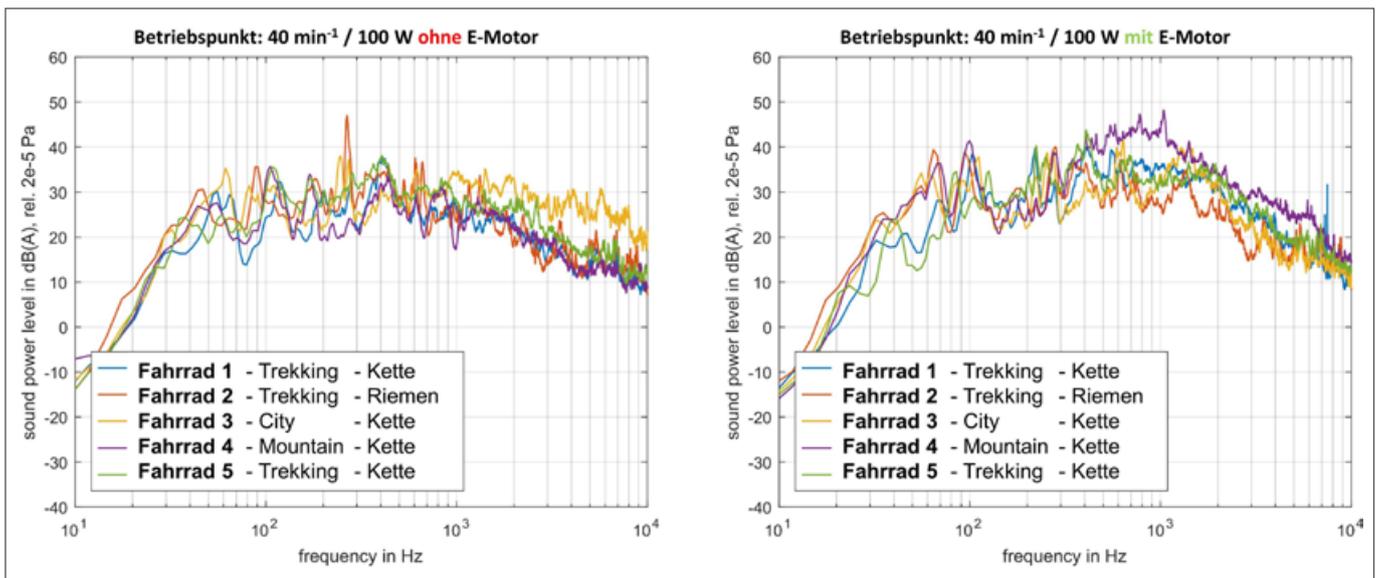


Abb. 4: Schallleistungsspektrum mit und ohne Motorunterstützung bei Betriebspunkt 40 min⁻¹ (Trittfrequenz) / 100 Watt (Bremsleistung).

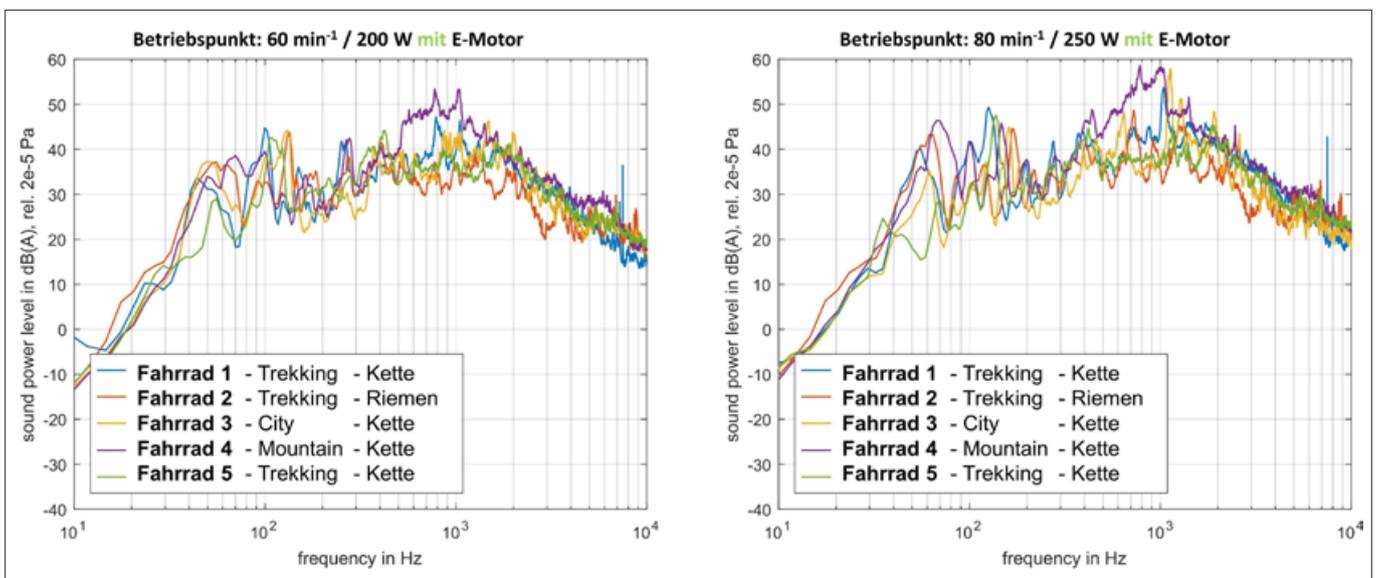


Abb. 5: Schallleistungsspektrum mit Motorunterstützung bei unterschiedlichen Betriebspunkten, links 60 min⁻¹ (Trittfrequenz) / 200 Watt (Bremsleistung) und rechts 80 min⁻¹ (Trittfrequenz) / 250 Watt (Bremsleistung).

ten des Elektromotors diesen Effekt auf den Schallleistungspegel.

Abbildungen 4 und 5 zeigen die Schallleistungsspektren mit und ohne Elektromotor und bei verschiedenen Betriebsbereichen. Auffallend ist, dass bei zugeschalteter Motorunterstützung in Abbildung 4 der Motor vor allem eine Schallleistungserhöhung im höherfrequenten Bereich von 1.000–6.000 Hz erzeugt. Besonders stark ist dieser Beitrag bei dem Mountain-E-Bike ausgeprägt. Auffällig ist ebenfalls eine sehr starke tonale Komponente für das Trekking-Rad mit Riemenantrieb. Hierfür verantwortlich ist eine angeregte Eigenschwingung des Riemens, die bei Motorzuschaltung unterdrückt wird. Der in der Beschreibung des Gesamtschalldruckpegels (siehe Tabelle 1) bei Fahrrad 3 ohne Motor erhöhte Pe-

gelwert ist ebenfalls deutlich in den Schallspektren ersichtlich. Er führt zu einer erhöhten Anregung des Breitbandschalls im gesamten höherfrequenten Bereich ab 1 kHz. Wahrgenommen wird der Defekt im Kurbelbereich als Quietschton.

Insgesamt zeigen die Schallleistungsspektren ohne Motorunterstützung einen ähnlichen Verlauf. Es ergibt sich im Schallleistungsspektrum ein sehr breitbandiges Spektrum mit einem Maximum im Frequenzbereich bei ca. 400–500 Hz. Der dominante Frequenzbereich verschiebt sich mit Motorunterstützung in den Bereich von 800–1.000 Hz. Es treten verstärkt zusätzliche tonale Komponenten in Abhängigkeit vom Fahrradtyp und den Betriebsparametern auf. Nicht betrachtet in der Analyse wird der niederfrequente Bereich unterhalb 200 Hz, da er in den

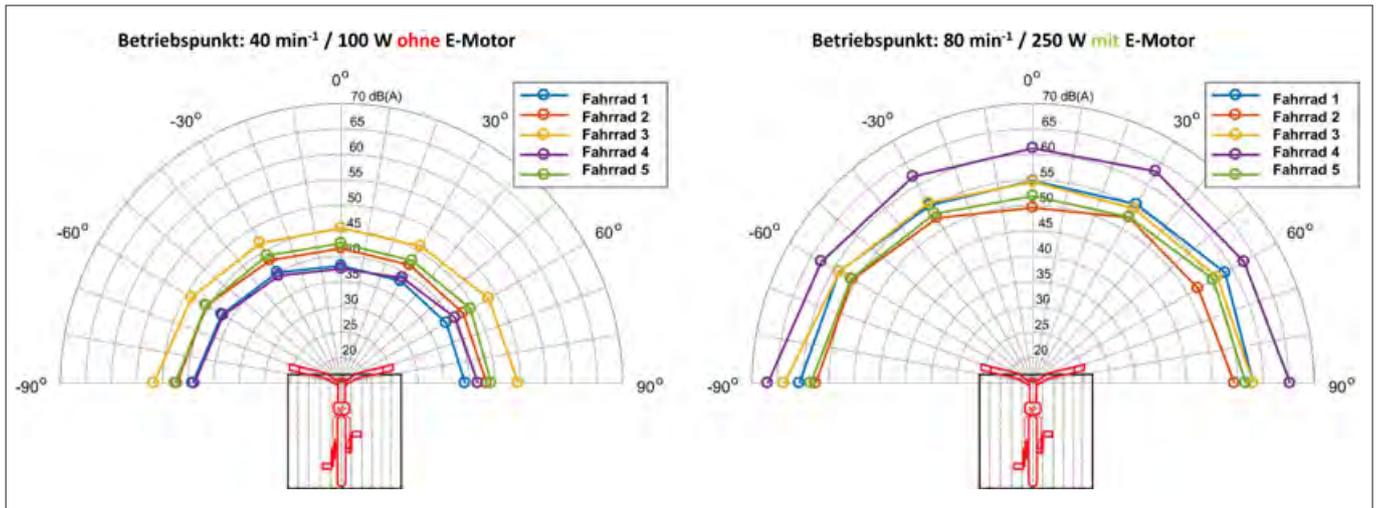


Abb. 6: Richtcharakteristik des Schalldruckpegels ohne und mit Motorunterstützung bei unterschiedlichen Betriebspunkten, links 40 min^{-1} (Trittfrequenz) / 100 W (Bremsleistung) – ohne Motorunterstützung und rechts 80 min^{-1} (Trittfrequenz) / 250 W (Bremsleistung) mit Motorunterstützung.

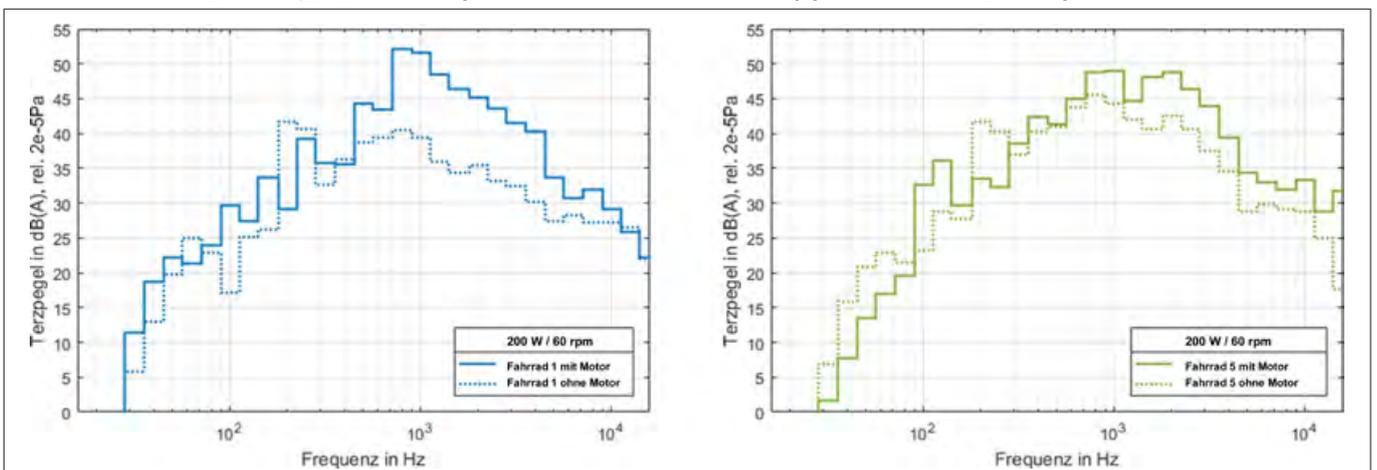
Grenzbereich der Raumeigenschaften des benutzten reflexionsarmen Raumes fällt.

Die Darstellungen in Abbildung 6 geben einen Einblick in die Richtcharakteristik der Schallabstrahlung. Das linke Bild zeigt die Schallabstrahlung bei der geringsten Trittfrequenz ohne Motorunterstützung. Die Schalldruckpegel zwischen 35 und 45 dB(A) können als gering eingestuft werden. Auffallend ist, dass höhere Schalldruckpegel auf der Kettenseite auftreten. Deutlich höher sind die Schalldruckpegel mit Motorunterstützung. Sie liegen hier im Bereich von ca. 50 – 65 dB(A) . Hierbei treten nur geringe Unterschiede im Schalldruckpegel zwischen Kettenseite und der gegenüberliegenden Seite auf.

Aus den Schalldruckverteilungen mit und ohne Motorunterstützung am Ort des Fahrradfahrerkopfes in Abbildung 7 lässt sich schlussfolgern, dass auch hier in den Schalldruckspektren eine starke Erhöhung des Breitbandschalls zwischen 700 – 8.000 Hz erfolgt. Für

die Darstellung wurden die zwei Trekking-E-Bikes (Fahrrad 1 und 5) ausgewählt. Sie sind hier im Terzbandspektrum dargestellt. Bei der rechten Darstellung in Abbildung 7 für das Trekking-E-Bike Fahrrad 5 im Vergleich zum Fahrrad 1 links mit der sehr hohen Laufleistung fällt auf, dass der Schalldruck ohne Motorunterstützung deutlich höher ist, was u. a. auf einen höheren Nutzungsgrad des Kurbelmechanismus und des Kettenantriebs hindeutet, der sich in dem höheren Kettengeräusch niederschlägt. Mit Motorunterstützung ergeben sich ähnliche Verläufe. Die Maximalwerte werden im Bereich bei 700 – 2.000 Hz erreicht. Die Schalldruckpegel liegen in diesem Bereich am Fahrradfahrerkopf bei ca. 50 dB(A) . Insgesamt bestätigen die Untersuchungen am Fahrradfahrerohr die Schlussfolgerungen, die schon aus den Schallleistungsmessungen abgeleitet werden konnten. Eine abschließende Betrachtung der Schallmessungen erfolgte am Passantenort. Als repräsentative Darstel-

Abb. 7: Schallleistungsspektrum mit und ohne Motorunterstützung bei 60 min^{-1} (Trittfrequenz) / 200 W (Bremsleistung) an der Position des Fahrradfahrerkopfes für Trekking-E-Bike-Kette 1 und 5 in Abhängigkeit von der Laufleistung des Fahrrades.



lung wurde der Betriebspunkt mit Motorunterstützung bei der mittleren Trittfrequenz ausgewählt, siehe Abbildung 8. Hier handelt es sich um eine stationäre Messung im Abstand von 2 m im vorderen Bereich des Fahrrades (siehe Abbildung 3). Diese Untersuchung entspricht nicht einer Vorbeifahrt, da sich der Ort zwischen Passant und Fahrradfahrer nicht ändert. Auch in dieser Darstellung des Schalldruckpegels ergeben sich ähnliche qualitative Verläufe der ausgewählten Testfahräder. Auffallend sind wiederum die sehr hohen Schalldruckpegel für das Mountain-E-Bike von 65 dB(A) mit einer sehr tonalen Überhöhung im Bereich von 1 kHz. Das Fahrrad mit der geringsten Geräuschentwicklung war das Trekking-E-Bike mit Riemenantrieb bei 57,4 dB(A). Insgesamt konnte damit ein mittlerer Schalldruckpegel für die Trekkingbikes von ca. 60 dB(A) ermittelt werden.

Psychoakustische Bewertung

Für eine erweiterte Analyse der Schallmessungen nach psychoakustischen Parametern wurde die Lautheit und die Schärfe verwendet. Beide Kenngrößen wurden ausgewählt, da sie durch die DIN 45631 [5] und die DIN 45692 [7] definiert sind.

Die Lautheit wird als Messgröße für die subjektive empfundene Lautstärke unter Berücksichtigung der Frequenzaufteilung im Gehör genutzt. Sie verwendet stationäre Signale und entspricht dem Verfahren nach Zwicker [8]. In dem Verfahren werden die Kernlautheiten oberhalb 300 Hz aus dem Terzpegeln (siehe Abbildung 7) gemäß der DIN 45631 ermittelt. Daraus werden die spezifischen Lautheiten und die Gesamtlautheit N in sone berechnet. Ausführliche Informationen der Berechnungen sind in [8] und [9] zu finden. Die aktuelle Norm wurde in der DIN 45631/A1 [6] erweitert, die die Berechnung der Lautheit von zeitvarianten Schallen ermöglicht. Die grundlegende Berechnung der Terzfilter ist zur DIN 45631 identisch. Berücksichtigung finden in der DIN 45631/A1 gehörspezifische Eigenschaften, wie ein nichtlineares Abklingverhalten.

Die Schärfe ist eine unabhängige wahrnehmbare Hörempfindung, die vorherrschend durch die spektrale Hüllkurve des jeweiligen Signals bestimmt wird. Die spektrale Feinstruktur ist von untergeordneter Bedeutung [10]. Es wird entsprechend der DIN 45692 das Lautheits-Tonheits-Muster mit einer Gewichtungsfunktion analysiert. Darauf erfolgt die Bestimmung eines Schwerpunkt Moments, das eine Gewichtung von hohen und tiefen Frequenzanteilen im Schallspektrum durchführt. Das Schwerpunktmoment ergibt damit einen direkten proportionalen Zusammenhang zur Größe der Schärfe S [7] in acum. Die Wahrnehmung von Schärfe wird oft in Adjektiven wie „schrill“ oder „hell“ beschrieben [9].

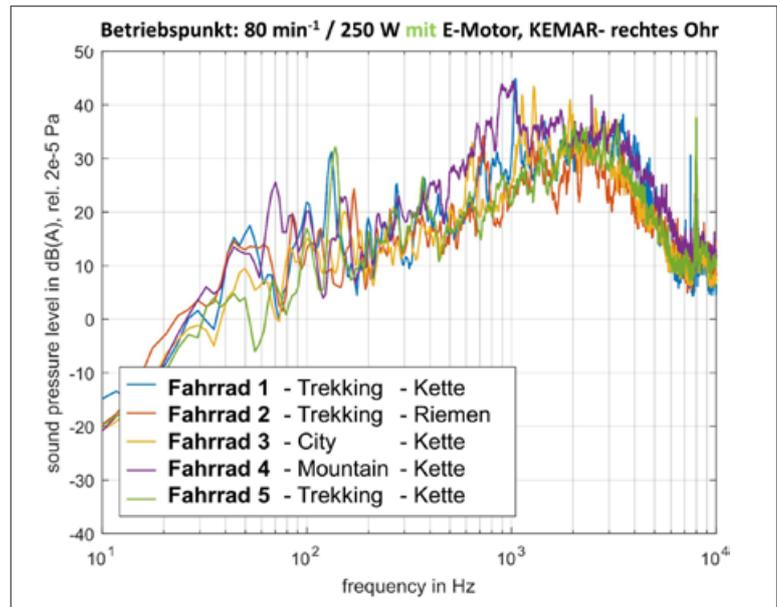


Abb. 8: Schalldruckspektrum mit Motorunterstützung bei 80 min^{-1} (Trittfrequenz) / 250 Watt (Bremsleistung) am Passanten – Kunstkopf. Gesamtschalldruckpegel: Fahrrad 1 – 62,5 dB(A), Fahrrad 2 – 57,4 dB(A), Fahrrad 3 – 61,3 dB(A), Fahrrad 4 – 65 dB(A), Fahrrad 5 – 59,7 dB(A).

Bestimmt wurden die Kenngrößen über ein hauseigenes Psychoakustikprogramm des IPAT [11].

Für die Auswertung dieser psychoakustischen Parameter wurden die Messungen am Fahrradfahrerkopf ausgewählt. Der Fahrer ist im realen Fahrmodus der E-Bikes im Gegensatz zum Ort des Passanten kontinuierlich von den Geräuschen des E-Bikes beeinflusst. Dazu kommt, dass über seine Wahrnehmung der Geräusche das Kaufverhalten für das Fahrrad beeinflusst werden kann.

In den Ergebnissen der Tabelle 2 (siehe folgende Seite) sind die Schalleistungspegel, die Lautheit und die Schärfe für die mittlere Trittfrequenz für die untersuchten E-Bikes zusammengefasst. Auf der Basis der Schärfe konnten keine eindeutigen psychoakustischen Zusammenhänge gefunden werden. Alle Werte lagen im eng begrenzten Bereich von $1,4 \pm 0,1$ acum. In der Größe der Lautheit bestätigen sich die Tendenzen aus den Schalleistungspegeln. Es ergibt sich für die Trekkingbikes ohne Motorunterstützung ein Lautheitswert N , der im Mittel bei 8 sone liegt. Er erhöht sich mit Motorunterstützung um 2,5 sone auf 10,5 sone. Festzustellen ist, dass in der Lautheitsbewertung der Einfluss der Art des Kettenantriebes und Störgeräusche untergeordnet bewertet werden. Auffällig ist auch hier der sehr hohe Beitrag in der Lautheit des Mountain-E-Bikes. Hier liegt die Lautheit mit Motorunterstützung bei 10 sone über dem Wert bei ohne Motorunterstützung.

Die Untersuchungen zeigen, dass die Lautheit ein wichtiger Parameter ist, der in der akustischen Bewertung von E-Bikes herangezogen werden kann. Hier-

Tab. 2: Gesamtschallleistungspegel, Lautheit und Schärfe mit und ohne E-Motorunterstützung bei 60 min^{-1} (Trittfrequenz) / 200 Watt (Bremsleistung) an der Position des Fahrradfahrerohrs

200W / 60rpm	Schallleistungspegel L_w in dB(A)			Lautheit N in sone (DIN 45631)		Schärfe S in acum (DIN 45692)	
	Fahrrad	E-Motor	ΔL	Fahrrad	E-Motor	Fahrrad	E-Motor
Fahrrad 1	57,9	66,4	8,5	6,4	10,7	1,4	1,4
Fahrrad 2	60,2	62,5	2,3	8,6	9,6	1,4	1,5
Fahrrad 3	67,7	66,8	-0,9	9,9	11,7	1,5	1,3
Fahrrad 4	56,6	72,2	15,6	6,6	16,7	1,5	1,4
Fahrrad 5	61,6	65,7	4,1	8,7	11,0	1,4	1,5

für ist aber noch eine Vielzahl von weiterführenden Untersuchungen notwendig. Unbeachtet blieb das subjektive Hörempfinden von Probanden. Gerade im Kaufverhalten spielt die Geräuschqualität oft eine wichtige Rolle. So bleiben Fragen, inwieweit der Fahrer das Geräusch einer „kraftvollen Motorunterstützung“ hören möchte oder nicht, unbeantwortet.

Zusammenfassung

Die durchgeführten Untersuchungen zur Akustik geben einen ersten Einblick in das Geräuschverhalten von E-Bikes. Dafür wurde ein spezieller Versuchsaufbau aufgebaut, der es ermöglicht, unter definierten akustischen Randbedingungen in einem Akustikraum die zusätzlichen Schallbeiträge des Elektromotors zu erfassen. Eliminiert werden konnten Reifen- und Fahrtwindgeräusche. Die Analyse basierte auf Basis von Schallleistungs- und Schalldruckpe-

geln. Bestimmt wurde die Richtcharakteristik der Schallabstrahlung und psychoakustische Parameter der Lautheit und Schärfe nach den entsprechenden DIN-Normen. Zusammenfassend festzustellen ist, dass die E-Motor-Unterstützung einen signifikanten Beitrag im abgestrahlten Schallfeld im Mittel um 5 dB liefert. Sie führt zu einer Erhöhung des Breitbandschalls im höherfrequenten Bereich des Schallspektrums. Die Bewertung der psychoakustischen Parameter ergab, dass die Schärfe in der Analyse der unterschiedlichen Betriebsparameter keinen Einfluss hat, jedoch die Lautheit als eine zusätzliche Messgröße in die Auswertungen hinzugezogen werden kann.

Ausblick

Für den Schallleistungs- und Schalldruckpegel in realen Fahrsituationen sind Reifen- und Windgeräusche weitere wichtige Einflussgrößen. Für das Geräuschempfinden von Passanten bildet die Vorbeifahrt des Fahrrades die prägende akustische Wahrnehmung. Hierfür können für E-Bikes analoge Untersuchungen durchgeführt werden, die vom Gesetzgeber bei der Vorbeifahrt von Autos vorgeschrieben werden (siehe [12]). Damit wäre es möglich, eine bessere Analyse über die Höhe der zusätzlichen Gesamtgeräuschbelastung auf die Umgebung zu treffen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt bildet der Einfluss der Elektromotoraufhängung, sowie deren Verbindung zum Rahmen und Modell des Fahrrades. In der Vorentwicklung von E-Bike-Motoren sind diese Randbedingungen unbekannt. Aber gerade in der Entwicklung gilt es, die entscheidenden konstruktiven Parameter für die Akustik des Elektroantriebes festzulegen. Das Konzept eines derartigen Versuchsaufbaus sieht vor, den Antrieb vom Fahrrad komplett zu entkoppeln. Der Antrieb kann dabei über einen

Abb. 9: Prüfstand zur Luft- und Körperschallmessung von separierten E-Bike-Antrieben.



drehzahlgesteuerten Motor erfolgen, der das Trittsverhalten des Fahrradfahrers mit einem entsprechend modulierten Drehmoment berücksichtigt. Das Last- bzw. Bremsverhalten wird dabei durch eine Hysteresebremse realisiert. Ein derartiger Versuchsaufbau (siehe Abbildung 9) ermöglicht es, neben der akustischen Abstrahlcharakteristik auch Strukturschwingungen zu erfassen. Er liefert damit Parameter, die in der Anbindung zum Rahmen des Fahrrades für die Vibroakustik eine wichtige Schnittstelle ergeben.

Literatur

- [1] Zweirad-Industrie-Verband (ZIV) Wirtschaftspressekonferenz am 11. März 2020 in Berlin: Zahlen – Daten – Fakten zum Fahrradmarkt in Deutschland 2019.
- [2] DIN EN ISO 3744:2011-02: 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 3744:2010). Deutsche Fassung EN ISO 3744:2010.
- [3] DIN EN ISO 3740:2001-03: Akustik – Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen – Leitlinien zur Anwendung der Grundnormen (ISO 3740:2000). Deutsche Fassung EN ISO 3740:2000.
- [4] Renz, A.: Experimentelle Bestimmung raumakustischer Parameter. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Projektarbeit, 2014.
- [5] Deutsches Institut für Normung: DIN45631 – Berechnung des Laustärkepegels und der Lautheit aus dem Geräuschspektrum. Beuth Verlag, März 1991.
- [6] Deutsches Institut für Normung: DIN45631/A1 – Berechnung des Laustärkepegels und der Lautheit aus dem Geräuschspektrum. Beuth Verlag, März 2010.
- [7] Deutsches Institut für Normung: DIN45692 – Messtechnische Simulation der Hörempfindung Schärfe. Beuth Verlag, August 2009.
- [8] Zwicker, E.: Psychoakustik. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, New York, 1982.
- [9] Genuit, K.: Sound-Engineering im Automobilbereich – Methoden zur Messung und Auswertung von Geräuschen und Schwingungen. Springer. Berlin, Heidelberg, 2010.
- [10] Zwicker, E. und Fastl, H.: Psychoacoustics – Facts and Models. Springer. Berlin, Heidelberg, 2007.
- [11] Hohls, S.: Akustik des Fahrzeugklimatisierungssystems und deren Modellierung bei definierten Randbedingungen. Dissertation. Universität Erlangen-Nürnberg, 2017.
- [12] Bock, F.: Multiphysikalisches Simulationsmodell zur Außengeräuschprognose in der frühen Entwicklungsphase eines Automobils. Dissertation. Universität Erlangen-Nürnberg, 2019. ■

Prof. Dr.-Ing. Stefan Becker, Benedikt Berchtenbreiter, Dr.-Ing. Florian Krömer, Dr.-Ing. Alexander Lodermeier, Jörg Riedel, Andreas Renz
Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Prozessmaschinen und Anlagentechnik.

Ehrungen der DEGA

Verschiebung der Preisverleihungen

Da die Preisverleihungen der DEGA nicht auf der abgesagten Jahrestagung DAGA 2020 in Hannover stattfinden konnten, werden die folgenden Preise im Rahmen des 13. DEGA-Symposiums am 25.09.2020 verliehen (siehe Seite 52 und beiliegendes Faltblatt):

- Helmholtz-Medaille an Prof. Dr.-Ing. Reinhard Lerch
- Lothar-Cremer-Preis an Dr. Kai Siedenburger

- DEGA-Studienpreise an M.Sc. Anne Heimes und B.Sc. Liv Moretto Sørensen

Das Symposium findet in Braunschweig statt und wird live als Video-Stream im Internet bereit gestellt.

Die Online-Zugangsdaten finden Sie ab Anfang September auf der Webseite <https://www.dega-akustik.de/dega/aktuelles/13-symposium>; eine Anmeldung ist nicht erforderlich.

Wir laden Sie herzlich ein, am Symposium und insbesondere an den Preisverleihungen teilzunehmen. ■

Menschen

Gratulationen, Personalien und Nachruf

■ Nachruf Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Fasold

* 29.09.1931, † 03.03.2020



Wolfgang Fasold wurde am 29.09.1931 in Dresden geboren. Er studierte an der TH Dresden Elektrotechnik. Ursprünglich wollte er sich auf Elektromedizin spezialisieren, weil er gern Elektrotechnik und Medizin verbunden hätte. Es gab aber keine Möglichkeit, auf diesem Gebiet zu diplomieren. Durch Gespräche mit Dr. Erler begeisterte er sich schließlich für Körperschallmessverfahren, die damals neu waren und am Institut für Elektro- und Bauakustik bei Prof. Reichardt entwickelt und eingesetzt wurden. Dort diplomierte er 1957 und promovierte 1963 „Über Forderungen an den Luft- und Trittschallschutz im Wohnungsbau“.

Schon 1963 ging er zur Bauakademie nach Berlin, für die er bereits in Dresden

im Rahmen von Vertragsforschungen mit bauakustischen Messungen gearbeitet hat. Vorausschauend, geduldig und zielstrebig arbeitete Wolfgang Fasold am Aufbau seiner Arbeitsgruppe, die außer Bauakustik später auch Raumakustik und Städtebauakustik bearbeitete. Er bemühte sich ständig, neue Forschungsschwerpunkte frühzeitig zu erkennen und passende Mitarbeiter dafür zu finden. Dabei waren ihm seine guten Kontakte zur TU Dresden sehr hilfreich. Speziell arbeitete Wolfgang Fasold an Fragen der Schalldämmung leichter Wände und der Schalldämmung in Großblock- und Plattenbauweise. Später wandte er sich stärker der Raumakustik zu. Das wohl bekannteste Bauwerk, das er mit seiner Arbeitsgruppe hinsichtlich der Bau- und Raumakustik begleitete, ist das Gewandhaus Leipzig.

Ab 1992 wechselte Prof. Wolfgang Fasold als Stellvertreter des Institutsdirektors ans Fraunhofer Institut für Bauphysik in Stuttgart. Auch dort befasste er sich, soweit es konzeptionelle Arbeiten zuließen, mit raumakustischen Problemen, wie der Verbesserung des Bonner Plenarsaales des Deutschen Bundestages.

Prof. Fasold war über längere Zeit als Gastdozent an der TU Dresden, der TH

Leipzig und der FH Cottbus und für drei Jahre als Honorarprofessor an der Universität Stuttgart tätig. Er war bei 18 Promotionen als Gutachter beteiligt. Zum Bleibenden seines Wirkens gehören 51 wissenschaftliche Arbeiten in Zeitschriften und mehrere Fachbücher, von denen sicher viele Akustiker die „Bau- und Raumakustik“ 1985 (gemeinsam mit E. Sonntag und H. Winkler), das „Taschenbuch Akustik“ 1984 (herausgegeben gemeinsam mit W. Kraak und W. Schirmer) und „Schallschutz und Raumakustik in der Praxis“ zuletzt 2003 (gemeinsam mit E. Veres) in ihrem Bücherschrank haben.

Wolfgang Fasold war Leiter der Arbeitsgruppe Bauakustik der Zentralen Arbeitsgruppe Lärmschutz der Kammer der Technik. Außerdem war er Mitglied der Sektion Ingenieurtheoretische Grundlagen der Bauakademie und Leiter der Arbeitsgruppe Bau- und Raumakustik dieser Sektion. Von 1991 bis 1995 wurde Wolfgang Fasold erster Leiter des Fachausschusses Bau- und Raumakustik der DEGA.

Prof. Fasold war immer sehr um Zusammenarbeit mit anderen akustischen Forschungseinrichtungen, insbesondere der TU Dresden und dem Rundfunk-

und Fernstechnischen Zentralamt sowie um internationale Kontakte und Forschungskooperation bemüht, soweit es die damaligen Verhältnisse zuließen. Schon in seiner Dresdner Zeit nahm er als Vertreter von Prof. Reichardt mehrfach an Sitzungen des DIN-Fachausschuss B8 „Bauakustisches Messen“ teil und konnte diese Arbeit nach der Wende im Normausschuss Bauwesen im DIN 00.71.00 „Schallschutz im Hochbau“ und im DIN NMP 31 sowie im ISO TC 43 Akustik, im SC 2 Bauakustik und im CEN TC 126 WG4 „Bewertung der Luft- und Trittschalldämmung von Bauteilen“ fortsetzen. Während der Zeit bei der Bauakademie blieb er weiterhin der Standardisierung verbunden und achtete darauf, dass sich die beiden Standard-Systeme Ost und West nicht zu weit auseinanderbewegt haben. Er war vor allem in die RGW- Standardisierung, soweit sie Bau- und Raumakustik betraf, und in die Bearbeitung der TGL 10687 Schallschutz und TGL 10688 Messverfahren der Akustik eingebunden.

1975 erfolgte seine Ernennung zum Professor. Für seine wissenschaftliche Arbeit wurde er mehrfach geehrt, 1973 als „Verdienter Techniker des Volkes“, 1976 mit dem Nationalpreis und 2012 mit der Helmholtz-Medaille der DEGA.

Wolfgang Fasold verstarb am 03.03.2020. Die Deutsche Gesellschaft für Akustik verliert mit ihm einen vorausdenkenden Wegbereiter. Wir erinnern uns mit Dankbarkeit an ihn und werden sein Andenken in Ehren halten. ■

Ernst Sonntag

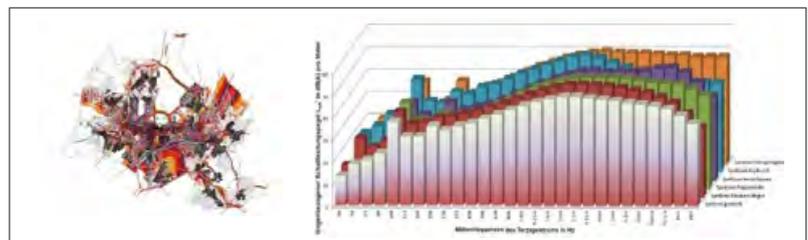
■ Wir gratulieren

zum 70. Geburtstag (Mai 2020):
Dr. Gert Notbohm, ehem. Leiter des DEGA-Fachausschusses „Lärm – Wirkungen und Schutz“, Leitung der Tagung DAGA 2011

zum 70. Geburtstag (Mai 2020):
Prof. Dr. Jürgen Hellbrück, ehem. Leiter des DEGA-Fachausschusses Hörakustik, Leiter der DEGA-Akademie-Kurse „Hörversuche“ ■

■ Personalien

Prof. Dr.-techn. Manfred Kaltenbacher leitet seit März 2020 das Institut für Grundlagen und Theorie der Elektrotechnik der Technischen Universität Graz. ■



Zur Verstärkung unseres Teams in Winnenden suchen wir
Beratungsingenieure (m/w/d)
für die Fachbereiche Schallimmissions- und Erschütterungsschutz

Ihre Aufgaben:

- Selbständige Bearbeitung von Projekten in den Sachgebieten des Schallimmissions- und Erschütterungsschutzes
- Vorbereitung, Durchführung und Auswertung von Messungen
- Durchführung von Simulationsberechnungen

Ihr Profil:

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

Unser Angebot:

- Interessante und vielseitige Projekte
- Familienfreundliche Arbeitszeitgestaltung
- Ein Team motivierter, netter Kollegen, die Sie bei Ihrem Start gerne unterstützen
- Fachliche und persönliche Weiterbildung

Ihre Bewerbung richten Sie bitte per Mail an: roland.kurz@kurz-fischer.de

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

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

Veranstaltungen

■ Veranstaltungshinweise

25.09.2020
13. DEGA-Symposium
als Video-Stream



Akustik verbindet – unter diesem Motto findet das 13. DEGA-Symposium am 25. September 2020 statt. Es wird erstmals per Live-Stream übertragen – und Sie sind herzlich eingeladen, für einen Tag an Ihrem Rechner mit der „Akustik-Community“ verbunden zu sein. In Braunschweig treffen sich an diesem Tag u. a. die diesjährigen Preisträgerinnen und Preisträger der DEGA mit dem Vorstand, so dass die Preise der DEGA vor Ort persönlich übergeben werden können.

Das bunte Programm umfasst drei Plenarvorträge aus unterschiedlichen Fachrichtungen, Grußworte und musikalische Beiträge, sowie den Film „Faszination Akustik – eine Reise durch die Welt des Schalls“.

Abgerundet wird der Tag mit der Mitgliederversammlung der DEGA, ebenfalls im Online-Format.

Das Symposium findet im Rahmen des International Year of Sound 2020–2021 statt, veranstaltet von der DEGA und der Technischen Universität Braunschweig.

Koordination:

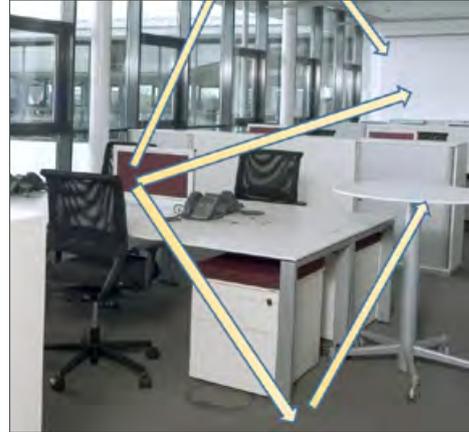
Sabine Langer, Tobias Ring und Martin Klemenz

Programm und Teilnahme:

siehe beiliegendes Faltblatt und

<https://www.dega-akustik.de/dega/aktuelles/13-symposium> ■

26.10.2020
DEGA-Akademie
Kurs „Raumakustik kompakt“



Der neue Kurs „Raumakustik kompakt“ findet erstmals am 26. Oktober 2020 in Hannover statt.

Hinweis: Derzeit gehen wir von der Durchführbarkeit des Kurses aus, unter Einhaltung der Abstands- und Hygieneregeln. Falls der Kurs dennoch verschoben oder ins Internet verlegt werden muss, werden wir alle Angemeldeten umgehend informieren und unsere Webseite entsprechend aktualisieren.

Im Fokus steht die Raumakustik von den Grundlagen zu den Anwendungen in kompakter und zugleich sehr praxisnaher Form. Der Kurs richtet sich an Beratungsbüros, Behörden und Baufirmen (insbesondere aus Architektur, Bauingenieurwesen etc.) und an alle weiteren Interessierten, die sich mit dem Themenkomplex der Raumakustik intensiver beschäftigen wollen. Im Kurs werden die theoretischen Grundlagen in dem Umfang aufbereitet, wie es für das Verständnis von anwendungsbezogenen Aspekten notwendig ist. Zudem wird die Wirkung der verschiedenen Absorbentypen ausführlicher erläutert. Der Bezug zu den praktischen Aufgaben und Problemstellungen der Raumakustik steht dabei besonders im Mittelpunkt und wird u. a. durch typische Beispiele aus der Praxis hergestellt.

Leitung und Referent:

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

Veranstaltungsort:

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

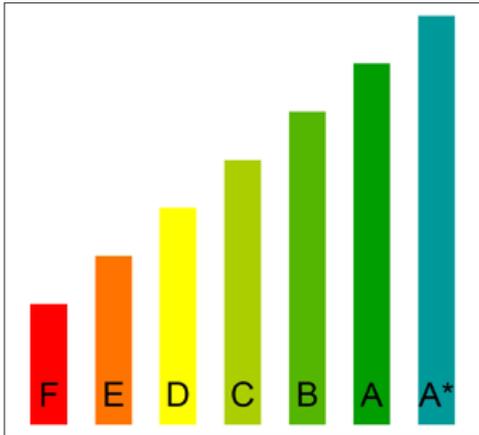
Programm, Leistungen, Gebühren und Anmeldung:

siehe beiliegendes Faltblatt und <http://www.dega-akustik.de>. Auf dieser Webseite finden Sie in Kürze auch diejenigen Ingenieurkammern, die den Kurs als Fortbildungsveranstaltung anerkennen. ■

26.11.2020

DEGA-Akademie

Kurs „DEGA-Schallschutzausweis“



Der Kurs „DEGA-Schallschutzausweis“ findet das nächste Mal am 26. November 2020 in Stuttgart statt.

Hinweis: Derzeit gehen wir von der Durchführbarkeit des Kurses aus, unter Einhaltung der Abstands- und Hygieneregeln. Falls der Kurs dennoch verschoben oder ins Internet verlegt werden muss, werden wir alle Angemeldeten umgehend informieren und unsere Webseite entsprechend aktualisieren.

Der Kurs richtet sich an alle Interessierten, die ihre Fachkenntnis zur Anwendung bzw. Ausstellung von DEGA-Schallschutzausweisen (www.dega-schallschutzausweis.de) erweitern wollen und sich über Details zur überarbeiteten DEGA-Empfehlung 103 informieren möchten.

Leitung und Referent:

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

Veranstaltungsort:

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

Programm, Leistungen, Gebühren und Anmeldung:

siehe beiliegendes Faltblatt und <http://www.dega-akustik.de>. Auf dieser Webseite finden Sie in Kürze auch diejenigen Ingenieurkammern, die den Kurs als Fortbildungsveranstaltung anerkennen. ■

07.–11.12.2020

Forum Acusticum 2020

in Lyon



Das Forum Acusticum findet alle drei Jahre als große europäische Tagung für Akustik statt, organisiert von einer nationalen Fachgesellschaft für Akustik im Namen der European Acoustics Association (EAA).

Im Jahr 2020 wird die Tagung von der Société Française d'Acoustique in Lyon (Frankreich) durchgeführt.

Sie sind herzlich eingeladen, am Forum Acusticum 2020 vom 07. bis 11. Dezember 2020 (nach derzeitigem Stand) teilzunehmen; siehe Webseite:

Termin:

07. bis 11. Dezember 2020 (Termin verschoben)

Veranstaltungsort:

Lyon Convention Centre
50 Quai Charles de Gaulle
69006 Lyon
France

Programm, Leistungen, Gebühren und Anmeldung:

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

Hinweis:

Verschiebung von DEGA-Akademiekursen aufgrund der Covid-19-Pandemie:

- Kurs „Psychoakustik – Grundlagen und Anwendungen“ (Herbst 2021)
- Kurs „Strömungsakustik 1 – Grundlagen, Auslegungen und Anwendungen“ (Herbst 2021)
- Kurs „Strömungsakustik 2 – Theorie, numerische Verfahren und Anwendungen“ (Herbst 2021)

■ Vorschau

15.–18.03.2021

DAGA 2021

47. Jahrestagung für Akustik



Herzliche Einladung in die Musikhauptstadt und das UNESCO-Weltkulturerbe-Zentrum Wien

Wo denn die Hauptstadt Österreichs, Wien, liegt, wusste schon Johann Strauss (Sohn) seiner Hörerschaft entsprechend einzu-bläuen. Mit seinem im Jahr 1876 veröffentlichten Walzer „An der schönen blauen Donau“ beschreibt er nicht nur die örtliche Lage Wiens, sondern auch die Gemütslage der Wiener. Hier musiziert man, singt und weiß rauschende Ballnächte zu feiern.

Die Stadt im Osten Österreichs ist für ihr künstlerisches und intellektuelles Erbe weltbekannt, das von prominenten Bewohnern wie Wolfgang Amadeus Mozart, Egon Schiele, Ludwig van Beethoven, Sigmund Freud, Arnold Schönberg, Gustav Klimt, Otto Wagner u. v. a. geprägt worden ist.

Zum Stadtbild zählt u. a. die Wiener Ringstraße aus der Gründerzeit, an der die Staatsoper liegt, die erst letztes Jahr ihr 150-jähriges Bestehen feierte und jedes Jahr einen Wiener Opernball plant. Das historische Zentrum, das von der Ringstraße umkreist wird, und Schloss Schönbrunn gehören heute zum UNESCO-Weltkulturerbe.

Nach 1990 ist Wien zum zweiten Mal Austragungsort der DAGA. Die 47. Jahrestagung findet im Messe Wien Exhibition & Congress Center statt – zentrumsnah im Gebiet des geschichtsträchtigen Wiener Prater. Das ehemalige kaiserliche Jagdrevier wird seit 1766 als Erholungsgebiet und ab 1825 als Wiener Wurstelprater bzw. Vergnügungspark genützt.

Die DAGA 2021 wird maßgeblich geplant von Kolleginnen und Kollegen des Instituts für Schallforschung (ISF), einem Institut der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW). Die 43 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des ISF betreiben anwendungsorientierte, interdisziplinäre Grundlagenforschung im Bereich der Akustik.

Die ÖAW ist Österreichs zentrale außeruniversitäre Einrichtung für Wissenschaft und Forschung. 1847 als Gelehrtenengesellschaft gegründet, steht sie für innovative Grundlagenforschung, interdisziplinären Wissensaustausch und die Vermittlung neuer Erkenntnisse – mit dem Ziel zum wissenschaftlichen und gesamtgesellschaftlichen Fortschritt beizutragen.

Wir alle freuen uns sehr darauf, Ihre Gastgeber zu sein und Sie in Wien herzlich willkommen zu heißen.

Ihre Tagungsleiter

Holger Waubke und Peter Balazs

Veranstaltungsort



Reed Messe Wien GmbH

Messeplatz 1

1021 Wien

www.messecongress.at

Hinweis zur Sicherheit

Da die Covid-19-Entwicklung derzeit nicht abschätzbar ist und wir unseren Teilnehmenden und uns eine in jedem Fall gesundheitlich abgesicherte Konferenz gewährleisten wollen, bereiten wir uns parallel auf verschiedene Szenarien vor, unter denen die DAGA 2021 räumlich entzerrt oder teilweise bzw. vollständig virtuell stattfinden kann. Sofern dies erforderlich wird, sind wir zur rechten Zeit handlungsbereit und informieren umgehend und umfassend.

Zentrale Termine

- ab September 2020: Anmeldung zur Teilnahme und Einreichung von Poster- und Vortragsanmeldungen
- 1. November 2020: letzter Termin für die Anmeldung von Beiträgen (Vorträge und Poster)
- 31. Januar 2021: letzter Termin für die Anmeldung zu den günstigen „frühen“ Teilnahmegebühren
- Februar 2021: Veröffentlichung des Tagungsprogramms
- 15.–18. März 2021: Tagung DAGA 2021
- 15. März 2021: Vorkolloquien zur DAGA, DEGA-Mitgliederversammlung
- Frühjahr 2021: Alle Teilnehmer erhalten per E-Mail den Online-Zugang zum Tagungsband

Vorkolloquien

- Zeit-Frequenz-Methoden in der Akustik (Peter Balazs)
- Strömungsakustik (Manfred Kaltenbacher)
- Räumliches Hören (Piotr Majdak)

Rahmenprogramm

Nach derzeitigem Stand sind zwei Abendveranstaltungen und zahlreiche Fachexkursionen geplant. Näheres erfahren Sie ab Sommer 2020 unter

<https://www.daga2021.eu/programm/rahmenprogramm>.



Anmeldung und Gebühren

Ab Herbst 2020 können Sie sich unter <https://www.daga2021.eu/registrierung> anmelden.

Beitragsanmeldung

Vorträge und Poster können ab September bis zum 1. November 2020 über diese Seite eingereicht werden: <https://www.daga2021.eu/autoren>

Ausstellung und Sponsoring

Die wissenschaftliche Tagung wird in langjähriger Tradition von einer Firmenausstellung begleitet, die Unternehmen die Möglichkeit bietet, ihre Produkte und Dienstleistungen vorzustellen.

Wir möchten Sie außerdem herzlich einladen, die DAGA durch Werbung, durch Sponsoring oder durch eine Spende zu unterstützen. Gern können Sie Ihre eigenen Vorschläge und Ideen einbringen. Nähere Information folgen ab Herbst 2020 an dieser Stelle: <https://www.daga2021.eu/ausstellung>

Veranstalter

- Österreichische Akademie der Wissenschaften, Institut für Schallforschung (ISF)
- Deutsche Gesellschaft für Akustik (DEGA)

in lokaler Kooperation

- Österreichische Gesellschaft für Akustik AAA-OeGA
- Österreichischer Arbeitsring für Lärmbekämpfung ÖAL

unter Mitwirkung von

- Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG)
- Informationstechnische Gesellschaft (ITG) im VDE
- DIN/VDI - Normenausschuss NALS

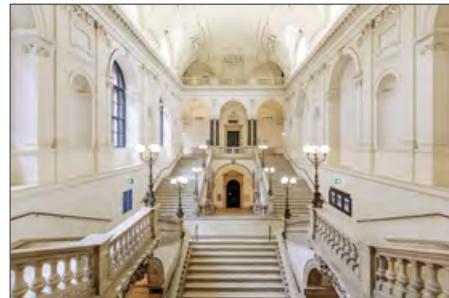


Programmausschuss

Piotr Majdak, Christian Lechner, Werner Talasch, Helfried Gartner, Manfred Kaltenbacher, Gregor Widholm, Bernhard Laback, Marisa Hörschele, Robert Höldrich, Gernot Kubin, Eva Reinisch und Christoph Reuter

Organisationsteam

Piotr Majdak, Konstantin Ulitsch, Konrad Antonicek, Manfred Kaltenbacher, Teresa Lehmann, Julia Schneiderheinze und Martin Klemenz



Kontakt und Information

Teresa Lehmann / Julia Schneiderheinze
Deutsche Gesellschaft für Akustik e. V.
Tel: 030 / 340 60 38 03 oder -04
E-Mail: tagungen@dega-akustik.de
Webseite: <http://www.daga2021.eu> ■

■ Veranstaltungsrückblick

Der Tag gegen Lärm ohne den Tag gegen Lärm am 29. April 2020



In diesem Jahr hat der Tag gegen Lärm als Aktion der DEGA am 29. April nicht stattgefunden. Der Grund dafür waren die auf COVID-19 bezogenen anhaltenden Kontaktverbote, geschlossenen Schulen, keine Reisen, geschlossene Restaurants, Kneipen, Bars, Theater, Opernhäuser, Konzerthallen, Fußballstadien, Schwimmbäder, Sportplätze, Parks, die nicht in Gruppen betreten werden durften, geschlossene Kinderspielplätze. Städte und Kommunen waren bezogen auf das kulturelle und gesellige Leben wie leergefegt. In unseren europäischen Nachbarländern waren es vielfach die Militärkonvois auf dem Weg zu Bestattungen, die die Straßenbilder geprägt haben. In Deutschland häuften sich die Berichte über Vereinsamung und häusliche Gewalt.

Seit 23 Jahren stehen wir mit dem Tag gegen Lärm für Lärmreduzierung, für lebenswerte akustische Umgebungen. In diesem Jahr am 29. April 2020 stand diese Problematik für uns nicht im Vordergrund, wenn die Stille teuer durch Krankheit erkaufte und nicht Ausdruck eines nachhaltigen Lärmschutzes ist.

Wir setzen auf die Rückkehr zum normalen Alltag, in dem die vielen Beschränkungen aufgehoben werden können und unsere Aktionen wieder Gehör finden! Lärm ist und bleibt ein großes Problem.

Danke an alle, die mit uns an den Tag gegen Lärm gedacht haben, ihn mit uns in Bewegung halten! Die vielen Reaktionen auf die Aussetzung der Aktionen am 29. April 2020 zeigen, dass der Tag gegen Lärm wichtig ist und auch in Zukunft unverzichtbar bleiben wird. Nur mit einem engagierten Diskurs zum Thema Lärm werden wir dieser großen Herausforderung gerecht und wird der Tag gegen Lärm erfolgreich bleiben. Wir planen, die zentrale Veranstaltung zum Tag gegen Lärm 2020 „Wie klingt die Stadt der Zukunft?“ im Herbst als Webveranstaltung stattfinden zu lassen. Einladungen werden Sie rechtzeitig erreichen.

Wir hoffen auf einen richtigen Tag gegen Lärm spätestens in 2021! ■

*Brigitte Schulte-Fortkamp und André Fiebig
Aktionsleitung Tag gegen Lärm*

■ Kalender

■ 23.06.2020 online:

Sitzung des Fachausschusses „Lehre der Akustik“,
siehe Seite [63](#)

■ 23.–26.08.2020 als E-Congress:

Inter-Noise 2020,
siehe <http://www.internoise2020.org>

■ 09.09.2020 online:

Mitgliederversammlung des Fachausschusses „Lärm: Wirkungen und Schutz“,
siehe Seite [62](#)

■ 22.09.2020 in Braunschweig (oder online):

Sitzung des Fachausschusses Bau- und Raumakustik,
siehe Seite [60f](#)

■ 25.09.2020 online:

13. DEGA-Symposium „Akustik verbindet“,
siehe Seite [52](#) und
<http://www.dega-akustik.de/aktuelles>

■ 30.09.2020 in Göttingen (oder online):

Herbsttreffen des Fachausschusses Elektroakustik,
siehe Seite [61](#)

■ 26.10.2020 in Hannover:

DEGA-Akademie-Kurs „Raumakustik kompakt“,
siehe Seite [52](#) und
<http://www.dega-akustik.de/aktuelles>

■ 26.11.2020 in Stuttgart:

DEGA-Akademie-Kurs „DEGA-Schallschutzausweis“,
siehe Seite [53](#) und
<http://www.dega-akustik.de/aktuelles>

■ 07.–11.12.2020 in Lyon (F):

Forum Acusticum 2020,
siehe Seite [53](#) und
<https://fa2020.universite-lyon.fr/>

■ 15.–18.03.2021 in Wien (A):

Jahrestagung DAGA 2021,
siehe Seite [54f](#) und
<http://www.daga2021.eu>

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



Richtungsweisend mit
**SCHALLSCHNELLEN
SENSOREN**

**SCHNELL
INTUITIV &**

- Einfache Handhabung durch integrierter **Touch-Control Software**
- In **Echtzeit** hören & analysieren
- Direkte Anwendung im natürlichen **Betriebsumfeld**
- Gezielte Analyse durch **Klangfilterung**

**AVIELFÄLTIG
ANWENDBAR**

- **Schallquellen Lokalisierung**
- **Qualitätskontrolle**
- **Leckerkennung**
- **Lärmkontrolle**
- **Schalleistung**

DEGA

Nachrichten und Mitteilungen aus der Fachgesellschaft

■ Einladung DEGA-Mitgliederversammlung (verschoben, online)

Die diesjährige Mitgliederversammlung der DEGA konnte leider nicht im Rahmen ihrer Jahrestagung am 16.03.2020 in Hannover stattfinden, da diese Tagung einige Tage vor Beginn aufgrund der Corona-Krise abgesagt werden musste.

Da nach heutigem Stand die Durchführbarkeit von Präsenz-Veranstaltungen nicht garantiert werden kann, und da aufgrund des „Gesetzes zur Abmilderung der Folgen der Covid-19-Pandemie im Zivil-, Insolvenz- und Strafverfahrensrecht“ (Artikel 2, §5) Mitgliederversammlungen im Jahr 2020 auch ohne Satzungsgrundlage anhand elektro-

nischer Kommunikation abgehalten werden können, sind alle Mitglieder herzlich eingeladen, an der diesjährigen Mitgliederversammlung im Online-Format

am Freitag, den 25. September 2020 um 14:30 Uhr teilzunehmen.

Die genauen Zugangsdaten (sowie Hinweise zum Datenschutz) werden wir Ihnen Anfang September per E-Mail zuschicken, und Sie können diese Angaben der Webseite <https://www.dega-akustik.de/dega/aktuelles/dega-mitgliederversammlung> entnehmen.

Vorläufige Tagesordnung:

1. Begrüßung
2. Genehmigung der Tagesordnung
3. Bericht des Vorstands und der Geschäftsstelle
4. Finanzbericht
5. Bericht der Rechnungsprüfer
6. Entlastung des Vorstands
7. Wahl der Rechnungsprüfer
8. Berichte aus den Fachausschüssen und Fachgruppen
9. Verschiedenes
10. Termin der nächsten Mitgliederversammlung

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

Jesko Verhey
Präsident der DEGA

Der neue Breitbandabsorber Ecophon Akusto™ One BBA

Neuheit



Der neue Breitbandabsorber aus der Akusto-Familie von Ecophon ist ein weiterer Baustein zur Erfüllung der gesetzlichen Anforderungen.

**Sie interessieren sich für die Akustikwerte?
Nehmen Sie einfach Kontakt mit uns auf unter
info@ecophon.de**

www.ecophon.de

Ecophon[®]
SAINT-GOBAIN
A SOUND EFFECT ON PEOPLE

■ YouTube-Video: „Faszination Akustik – Eine Reise durch die Welt des Schalls“



Im Rahmen des „International Year of Sound 2020–2021“ und des 50-jährigen Jubiläums der DAGA-Tagung hat die

DEGA einen Kurzfilm produziert und im Mai 2020 auf YouTube veröffentlicht: „Faszination Akustik – Eine Reise durch die Welt des Schalls“; siehe <https://www.youtube.com/watch?v=f9KGNy2WS60>.

Am Anfang steht die Erfindung des Telefons durch Philip Reis (ca. 1860). Bei einem Test seines Telefonapparates gelingt ihm eine Verbindung durch Raum und Zeit zu Prof. Vorländer in Aachen. Die beiden Forscher tauschen sich aus,

was alles in der Zwischenzeit passiert ist – und hierbei werden viele Einblicke in die spannenden Entwicklungen der Akustik in den vergangenen Jahrzehnten bis heute ausgeführt.

Der Film ist ein gemeinsames Projekt der DEGA und des Instituts für Akustik der Technischen Universität Braunschweig; ein herzlicher Dank gilt auch den Sponsoren des Films. ■

■ Fachausschüsse und Fachgruppen der DEGA stellen sich vor (Teil 2)

Fachausschuss Fahrzeugakustik

Im Entwicklungsprozess neuer Fahrzeuge nimmt das Design von Fahrzeuginnen- und Fahrzeugaußengeräuschen sowohl im Rahmen der Komfortoptimierung als auch bei der Charaktergestaltung von Kraftfahrzeugtypen einen immer größeren Stellenwert ein. Die gezielte Gestaltung des Fahrzeuggeräusches beginnt zunächst mit der physikalischen Beschreibung von Geräuschen. Anschließend werden die wahrnehmbaren Eigenschaften von Fahrzeuggeräuschen ermittelt und analysiert. Im Rahmen des folgenden akustischen Entwicklungsprozesses werden die relevanten Geräuscheigenschaften anschließend mit Hilfe ingenieurtechnischer Maßnahmen zielgerichtet beeinflusst. Bei der Erarbeitung der Maßnahmen wird ein versuchsgestütztes Vorgehen immer stärker durch Simulationen ergänzt und unterstützt.

Der Fachausschuss Fahrzeugakustik (FA Fahrzeugakustik) verfolgt das Ziel, die Kooperation und die Koordination der auf dem Gebiet der Fahrzeugakustik arbeitenden Institutionen und Einzelpersonen zu erstellen und durch bessere Koordination der Lehre und Forschung im Bereich Fahrzeugakustik Synergieeffekte zu erreichen. Der FA Fahrzeugakustik befasst sich mit den wissenschaftlichen Grundlagen, den praktischen Anwendungen sowie der Normung in allen Bereichen der Akustik, die mit der Thematik der Fahrzeugakustik in Verbindung stehen. Zu diesen Aufgabenbereichen gehören insbesondere: Akustik des Gesamtfahrzeugs, Akustik von Aggregaten und Komponenten, akustische Mess- und Analysemethoden, akustische Prüfeinrichtungen für Fahrzeuge und Komponenten, Sound Design und angewandte Psychoakustik, Geräusch- und Schwingungskomfort, Aeroakustik der Fahrzeuge, numerische Methoden der Fahrzeugakustik und -schwingungen, aktive und passive Schall- und Schwingungsbeeinflussung bei Fahrzeugen, Rollgeräusche, interdisziplinäre Fragestellungen zur Umweltauswirkung von Fahrzeugen, Mitarbeit bei der Standardisierung.

Einige aktuelle Fragen der Fahrzeugakustik:

Elektro- und Hybridfahrzeuge stellen die Fahrzeugakustiker vor neue Herausforderungen für Messtechnik und Akustikoptimierung. Die Entwicklung eines ganzheitlichen Simulationsansatzes zur akustischen Analyse von Elektromotoren spielt dabei eine genauso wichtige Rolle wie die Wahrnehmung und Beurteilung von Elektrofahrzeuggeräuschen. Neue Trends bei der Vorbeifahrtmessung, aber auch neue EU-Verordnungen in den Themen „Acoustic Vehicle Alert System (AVAS)“ und „zulässiger Außengeräuschpegel von Fahrzeugen“ erfordern breit aufgestellte fahrzeugakustische Forschung. Die akustische Begleitung der Weiterentwicklung von Schienenfahrzeugen hinsichtlich Leichtbaues und Energieeffizienz bei gleichzeitiger Verringerung der Geräuschemission stellen einen anderen Schwerpunkt dar.

Der FA Fahrzeugakustik kooperiert eng mit den DEGA-Fachausschüssen und Projekten, die sich ebenfalls mit den Themen der Fahrzeugakustik befassen, vor allem mit den Fachausschüssen „Strömungsakustik“, „Hörakustik“ und der Fachgruppe „ALD“. Der Fachausschuss organisiert jedes Jahr traditionell einen Herbstworkshop für seine Mitglieder und regelmäßig ein Messtechnik-Seminar für Interessierte. Dieses Seminar bietet den Nachwuchs-Fahrzeugakustikern einen guten Überblick über die verschiedenen Themen der Fahrzeugakustik. Der FA Fahrzeugakustik hat verschiedene spezialisierte Arbeitsgruppen in den Themen „Messtechnik“ und „subjektive Bewertung tonaler Geräusche von elektromotorischen Fahrzeug-Antriebssträngen“.

Interessierte Mitstreiterinnen und Mitstreiter sind herzlich eingeladen, den Fachausschussvorsitzenden Prof. Ercan Altinsoy (ercan.altinsoy@tu-dresden.de) oder seinen Stellvertreter Martin Quickert (martin.quickert@siemens.com) zu kontaktieren.

*Prof. Ercan Altinsoy
Martin Quickert*

■ Fachausschüsse / Fachgruppen

Fachgruppe „junge DEGA“



Vorsitzende:

Dorothea Lincke, Berlin
dorothea.lincke@posteo.de

Die aktuelle Situation stellt natürlich auch die junge DEGA vor neue Herausforderungen. Durch den Ausfall der DAGA in Hannover mussten auch die Programmpunkte der jungen DEGA entfallen. Jedoch freut es uns sehr, dass nun mit etwas Verspätung das neue Mentoringprogramm gestartet ist. Wir haben dafür aus dem Kick-Off auf der DAGA einen Kick-Off per Videokonferenz gemacht und konnten so gemeinsam mit zehn Tandems das Programm erstmalig ins Leben rufen. Im kommenden Jahr soll dann die zweite Auflage folgen, hoffentlich mit Startschuss auf der DAGA.

Für den Herbst ist auch in diesem Jahr wieder der junge-DEGA-Herbstworkshop geplant. Stattfinden soll dieser in Stuttgart, wo die jungen AkustikerInnen bereits Anfang des Jahres an einem ausgiebigen Programm gearbeitet haben. Ob und in welcher Form dieser Workshop stattfinden kann, können wir zum jetzigen Zeitpunkt natürlich noch nicht abschätzen. Wir halten euch über die Website der jungen DEGA und unsere Social-Media-Kanäle auf dem Laufenden. ■

*Dorothea
Vincent*

Arbeitsring Lärm der DEGA (ALD)



Vorsitzender:

Dipl.-Ing. Michael Jäcker-Cüppers,
Berlin
m.jaecker-cueppers@ald-laerm.de

Der ALD hat Anfang Juni 2020 seinen 2. Newsletter des Jahres 2020 versandt (siehe <http://www.ald-laerm.de/nachrichten-des-ald/>). Trotz der pandemiebedingten Einschränkungen der Arbeitsmöglichkeiten gibt es wichtige Neuigkeiten in der Lärmbekämpfung, z. B. das Umweltgutachten 2020 „Für eine entschlossene Umweltpolitik in Deutschland und Europa“ des Sachverständigenrates für Umweltfragen (SRU) vom 14. Mai 2020. Eines der sieben Gutachtenkapitel steht unter dem Titel „Weniger Verkehrslärm für mehr Gesundheit und Lebensqualität“ (siehe www.umweltrat.de).

Zusammen mit dem Newsletter 2/2020 hat die ALD-Leitung ihr Positionspapier „Lebenswerte Städte trotz Innenstadtdverdichtung“ zum städtebaulichen Konflikt von Lärmschutz und Innenentwicklung an die Abonentinnen und Abonnenten versandt. Die ALD-Leitung ist davon überzeugt, dass die Lärmkonflikte zwischen Wohnbebauung und Gewerbelärm grundsätzlich auf der Basis des Schutzkonzepts der TA Lärm (Immissionsrichtwerte für die Außenbelastungen) lösbar sind. Eine Änderung des aktuellen Immissionsschutzrechts ist nach Auffassung der ALD-Leitung nicht erforderlich.

Das Positionspapier kann bei der DEGA-Geschäftsstelle angefordert werden. Die ALD-Leitung bittet um Stellungnahmen zu diesem Papier bis zum 30.06.2020.

Weitere aktuelle Positionspapiere und Stellungnahmen des ALD:

- Stellungnahme des Arbeitsrings Lärm der Deutschen Gesellschaft für

Akustik (ALD) zur Änderung der 16. BImSchV (RLS 19) vom 06.03.2020 (http://www.ald-laerm.de/fileadmin/ald-laerm.de/Publikationen/ALD-Stellungnahmen/2020/Stellungnahme_ALD_16.BImSchV.pdf)

- „ALD-Position zum Lärmschutzniveau beim Schienenverkehrslärm“ vom 27.04.2020 (http://www.ald-laerm.de/fileadmin/ald-laerm.de/Aktuelle_Informationen/2020-04-27_ALD-Position_Schiene.pdf)
- Mitteilung der ALD-Leitung zu dem besonderen Tag gegen Lärm 2020 (<http://www.ald-laerm.de/ald/aktuelle-informationen/tag-gegen-laerm-2020/>) ■

*Christian Beckert
Michael Jäcker-Cüppers
Dirk Schreckenberg*

Fachausschuss Bau- und Raumakustik



Vorsitzender:

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

Aufgrund der Absage der DAGA 2020 konnte im März die geplante Sitzung des FA Bau- und Raumakustik nicht stattfinden. Damit konnten auch keine Wahlen für eine neue Leitung des FA durchgeführt werden. Die für die Sitzung geplanten Tagesordnungspunkte zu den Themen tieffrequenter Trittschall, Geräusche aus gebäudetechnischen Anlagen und kennzeichnende Beurteilungsgrößen konnten nicht diskutiert werden. Diese Diskussionen sollen nun bei der Herbstsitzung geführt werden. Die Leitung des FA wird interimistisch durch die alte Leitung weitergeführt. Die nächste Sitzung des Fachausschuss

Bau- und Raumakustik soll am Dienstag, den 22. September 2020, von 10:00 Uhr bis 17:00 Uhr an der PTB im Zusammenhang mit der VMPA-Infoveranstaltung für Schallschutzprüfstellen (am folgenden Tag) stattfinden. Sollte die Veranstaltung aufgrund der Einschränkungen zu Corona nicht durchgeführt werden können, ist für diesen Termin eine Online-Sitzung geplant.

Über die Änderung der Geschäftsordnung des Fachausschusses soll mittels einer Online-Befragung abgestimmt werden. Ebenso sollen bis zur Herbstsitzung Wahlen zu einer neuen Leitung des Fachausschusses online durchgeführt werden. Die vorläufige Tagesordnung hat folgende Punkte:

1. Vorstellung und Beschluss der Tagesordnung
2. Bericht über die Aktivitäten des vergangenen Jahres
3. Diskussion / Verabschiedung von Memoranden zu den Themen
 - bauteil-, nachhallzeitbezogene Kenngrößen
 - Messung von Geräuschen aus haustechnischen Anlagen
 - Beurteilung tieffrequenter Trittschallübertragung
4. Themen für strukturierte Sitzungen an der DAGA 2021
5. Verschiedenes

Memorandum: Beurteilung tieffrequenter Trittschallübertragung

Im Fachausschuss wird derzeit über die Beurteilung tieffrequenter Trittschallgeräusche bei Massivdecken mit schwimmenden Estrich diskutiert. Hierzu ist ein Memorandum geplant, welches die Problematik beschreibt und die Meinung des Fachausschusses bezüglich der Beurteilung dieser Geräusche wiedergibt. Bei Massivdecken mit schwimmenden Estrichen erfolgt die Schallübertragung im Wesentlichen im tieffrequenten Bereich, auch unterhalb von 100 Hz. Zunehmend werden Schallübertragungen in diesem Frequenzbereich – und damit außerhalb des in Deutschland normativ zu berücksichtigenden Frequenzbereiches – beanstandet. Diese auffällig bis störenden Trittschallgeräusche werden von den Bewohnern gelegentlich als

„dröhnend“ bezeichnet. Die Wahrnehmung und das Maß der Störung hängen von einer Vielzahl von Einflussgrößen ab. Die tieffrequente Geräuschübertragung unter Einschluss des Frequenzbereiches zwischen 50 Hz und 100 Hz wird z. B. durch den Kennwert $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ beschrieben. Mit dieser Kenngröße soll in dem Memorandum die Wahrnehmbarkeit von Trittschallgeräuschen gekennzeichnet werden.

Viele Mitglieder des Fachausschusses Bau- und Raumakustik der Deutschen Gesellschaft für Akustik e.V. sind der Meinung, dass ein Wahrnehmen von tieffrequenten Trittschallgeräuschen auch bei sorgfältiger Planung und Ausführung der Baukonstruktion mit einem schwimmenden Estrich im Geschosswohnungsbau nicht auszuschließen ist. Der positive Effekt der Minderung der Trittschallübertragung durch den schwimmenden Estrich in einem weiten Frequenzbereich stellt einen guten Trittschallschutz dann sicher, wenn der Kennwert $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ bei der Planung berücksichtigt wird. Bei der anstehenden Herbstsitzung soll der Inhalt des Memorandums nochmals diskutiert werden.

Ein weiterer Entwurf für das Memorandum wird vor der nächsten Sitzung verteilt.

Memorandum: Beurteilung der Geräusche gebäudetechnischer Anlagen

Im Fachausschuss wird bereits seit längerer Zeit über eine sinnvolle Beurteilung von gebäudetechnischen Anlagen beraten. Das Ergebnis der Arbeitsgruppe wurde auf der 55. Sitzung des Fachausschusses vorgestellt. Es wurde mit großer Mehrheit dafür votiert, dass dies so inhaltlich veröffentlicht werden sollte. Als Form der Veröffentlichung wurde mehrheitlich für ein Memorandum votiert.

Inzwischen sind die formalen Korrekturen eingearbeitet und auch an die Mitglieder verschickt worden, so dass das Memorandum abschließend verabschiedet werden kann.

Inhaltlich sind die Regelungen weitgehend kompatibel zum bisherigen Verfahren, wobei die maßgebende Messgröße der Standard-Schalldruckpegel $L_{AF,max,nT}$ (bzw. $L_{A,eq,nT}$) sein wird, und so

auch die Kompatibilität mit dem auf der letzten Sitzung – anlässlich der „Aufzugnorm“ DIN 8989:2019-08 – geplanten Memorandum zur kennzeichnenden Größe für die gebäudetechnischen Anlagen gewährleistet.

Wesentliche inhaltliche Punkte sind die Erweiterung der bisherigen Beurteilung anhand des Maximalpegelkriteriums um

- Bildung eines mittelwertbezogenen Beurteilungspegels
- Beurteilung tieffrequenter Immissionen

Der mittelwertbezogene Beurteilungspegel enthält die Möglichkeit von Zuschlägen für die Tonhaltigkeit. Es sind zusätzliche messtechnische Festlegungen genannt, die für eine korrekte Auswertung von Messungen mit Bezug auf bestehende Regelwerke zu beachten sind.

Die Unterlagen wurden mit der Einladung zur ausgefallenen Sitzung am 19.03.2020 bereits verteilt. ■

Martin Schneider
Henning Alphei
Klaus Focke

Fachausschuss Elektroakustik



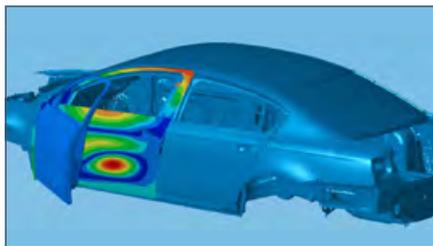
Vorsitzender:

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

Der Fachausschuss Elektroakustik lädt seine Mitglieder und Interessenten zu seinem diesjährigen Herbsttreffen, am 30. September 2020, nach Göttingen ein. Gastgeber ist die Comsol Multiphysics GmbH. Im Themenfokus stehen Simulationswerkzeuge für Fragestellungen in der Elektroakustik. Aufgrund der Planungsunsicherheit einer Präsenzveranstaltung wird parallel das Ganze auch als Online-Treffen vorbereitet. ■

Daniel Beer

Fachausschuss Fahrzeugakustik



Vorsitzender:

Prof. Dr. M. Ercan Altinsoy, Technische Universität Dresden

ercan.altinsoy@tu-dresden.de

Erfreulicherweise konnten wir in den letzten Monaten eine AG „subjektive Bewertung tonaler Geräusche von elektromotorischen Fahrzeug-Antriebssträngen“ auch durch die Unterstützung von Dr. Mohr (Firma Schaeffler Automotive Buehl GmbH & Co. KG) gründen. Nach dem Ausfall der DAGA 2020 und unserer jährlichen Sitzung des FA Fahrzeugakustik möchten wir am 18.06.2020 von 16:00–17:30 Uhr ein kurzes Web-Meeting zur Vorbereitung von Aktivitäten des FA Fahrzeugakustik in den nächsten Monaten und insbesondere zum Herbstworkshop 2020 durchführen. Alle Mitglieder sind herzlich eingeladen. Die Mitglieder erhalten zu einem späteren Zeitpunkt eine Einladung per E-Mail, in der ein Link und weitere Einwahlinformationen enthalten sind. ■

Ercan Altinsoy

Fachausschuss Hörakustik



Vorsitzende:

Prof. Dr. Janina Fels, RWTH Aachen

Janina.Fels@akustik.rwth-aachen.de

Liebe Mitglieder des Fachausschusses Hörakustik,

da leider unser Fachausschusstreffen auf der DAGA nicht stattfinden konnte, möchten wir Sie hiermit auf den aktuellen Stand unserer Planungen bringen:

Wir werden in den nächsten Wochen einen Entwurf der neuen Geschäftsordnung im E-Mail-Umlaufverfahren, wie in der letzten Fachausschusssitzung besprochen, zur Abstimmung bringen. Ferner planen wir ein Online-Fachauschusstreffen abzuhalten. Bitte senden Sie uns hierfür mögliche Diskussionspunkte, Veranstaltungshinweise und Ankündigungen per E-Mail an Janina.Fels@akustik.rwth-aachen.de bis zum 30. Juni 2020 zu. ■

*Janina Fels
Bastian Epp*

Fachausschuss Lärm: Wirkungen und Schutz



Vorsitzender:

Prof. Dr. André Fiebig, Technische Universität Berlin

andre.fiebig@tu-berlin.de

Wir hoffen sehr, dass Sie und Ihre Familien gut durch diese herausfordernde Zeit gekommen sind. Natürlich konnte auch die Mitgliederversammlung des Fachausschusses „Lärm: Wirkungen und Schutz“ aufgrund der Absage der DAGA in Hannover nicht stattfinden. Wir möchten gern die Mitgliederversammlung in Form einer Web-Sitzung nachholen. Zur Vorbereitung der ordentlichen Mitgliederversammlung und für eine erste Planung der weiteren Aktivitäten des FA Lärm in den nächsten Monaten ist ein kurzes Web-Meeting für den 24.06.2020 geplant, zu dem alle Mitglieder und Interessierte elektronisch im Vorfeld informiert wurden.

Die ordentliche Mitgliederversammlung per Web-Sitzung ist für den 09.09.2020 um 16.00 Uhr angesetzt, bei der wir u. a. die Verabschiedung der Geschäftsordnung des FA Lärm anstreben. Alle Mitglieder erhalten rechtzeitig per E-Mail entsprechende Informationen zur Teilnahme an dieser Web-Sitzung.

Die Tagesordnung für die Mitgliederversammlung am 09.09.2020 ist wie folgt geplant:

1. Feststellung der Tagesordnung
2. Bericht über die Aktivitäten des vergangenen Jahres
3. Verabschiedung der Geschäftsordnung des FA Lärm
4. Termine und Planung von Veranstaltungen des FA Lärm (u. a. virtueller Herbstworkshop, DAGA 2021)
5. Verschiedenes

Wir freuen uns auf Ihre Teilnahme. ■

*André Fiebig
Frederik Gast*

Fachausschuss Lehre der Akustik



Vorsitzender:

Prof. Dr.-Ing. Jörn Hübelt, Hochschule Mittweida – University of Applied Sciences
huebelt@hs-mittweida.de

Sehr geehrte Damen und Herren, am 23.06.2020, 10:00 Uhr findet die Sitzung des Fachausschusses Lehre online statt.

Sollten Sie an diesem Treffen teilnehmen wollen, bitten wir Sie um eine kurze E-Mail an joern.huebelt@hs-mittweida.de. Wir würden Ihnen dann gern den Link zu unserem Treffen zur Verfügung stellen.

Thema der Sitzung: Datenerhebung als Grundlage einer Revision des DEGA-Mindestkanons zur Akustik-Ausbildung in Deutschland

Der DEGA-Mindestkanon zur Akustik-Ausbildung ist seit längerer Zeit aufgrund der Ausrichtung auf Bachelor-Studiengänge nur noch eingeschränkt nutzbar. Einerseits werden zunehmend Kurse oder Module mit Akustik-Inhalten auch in Master- oder Promotionsstudiengängen genutzt, andererseits hat sich auch der Kanon der Inhalte in den Jahren seit der Erstfassung in einigen Bereichen geändert. In einer Sitzung des DEGA-Fachausschusses mit Vertretern verschiedener Hochschulen wurde eine mehrstufige Revision des Mindestkanons als notwendig erachtet.

Ähnlich wie bei dem Projekt zur Bestandsaufnahme des Bedarfs an Akustik-Ausbildung im Jahr 2009 soll mit Unterstützung der DEGA eine Bestandsaufnahme der gegenwärtig angebotenen Lehrinhalte der Akustik erfasst und systematisch dargestellt werden. Die Ergebnisse der Bestandsaufnahme werden von der AG „DEGA Mindest-

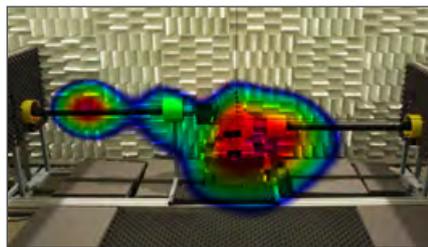
kanon 2.0“ dafür genutzt, sowohl den Mindestkanon zu optimieren als auch eine ergänzende Modulstruktur zu erarbeiten. Beide Dokumente werden in Zukunft auf der DEGA-Webseite zur Verfügung gestellt und enthalten jeweils sowohl Qualifikationsziele als auch Inhaltsübersichten von fach- oder anwendungsspezifischen Modulen.

Während der Sitzung wird unser Kollege Malte Kob einen kurzen Überblick über die bisher im Rahmen eines DEGA-Projektes zu dieser Aufgabenstellung gewonnenen Ergebnisse geben. Darauf sind wir sehr gespannt.

Im Anschluss freuen wir uns wie immer auf eine rege Diskussion. ■

Jörn Hübelt

Fachausschuss Physikalische Akustik



Vorsitzender:

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

Abstimmungen per E-Mail wegen Corona-Pandemie

Aufgrund der Corona-Pandemie musste ja bedauerlicherweise auch die mit großem Aufwand vorbereitete Jubiläums-DAGA in Hannover abgesagt werden – und damit entfiel leider auch die für den 19. März 2020 vorgesehene Fachausschusssitzung Physikalische Akustik. Dort hätten wichtige Punkte auf der Tagesordnung gestanden, so z.B. die Verabschiedung einer neuen Geschäftsordnung oder die Wahl einer neuen Fachausschussleitung. Es bestand das Dilemma, dass man diese und weitere Tagesordnungspunkte per E-Mail hätte besprechen und beschließen können, dass die bisher gültige Geschäftsord-

nung Abstimmungen per E-Mail aber gar nicht vorsah. Deshalb wurden in einer vorgeschalteten Abstimmung per E-Mail die Fachausschussmitglieder um ihre Zustimmung für zukünftige Abstimmungen per E-Mail gebeten. Von den 44 Mitgliedern nahmen bei einem zuvor definierten Quorum von 30 % innerhalb der gesetzten Frist 17 Mitglieder (38,6 %) an dieser Abstimmung teil, alle 17 votierten für die künftige Möglichkeit von E-Mail-Abstimmungen, wobei in Anlehnung an die künftig zu beschließende neue Geschäftsordnung ebenfalls ein Quorum von 30 % festgelegt wurde.

Neue Geschäftsordnung des Fachausschusses beschlossen

Anschließend konnte in einer weiteren E-Mail-Abstimmung die neue Geschäftsordnung des Fachausschusses auf Basis der seit März 2019 gültigen Mustergeschäftsordnung für DEGA-Fachausschüsse beschlossen werden, nachdem zuvor die zugehörigen Dokumente nochmals zur Einsichtnahme und Kommentierung versandt worden waren.

Bis zum Abend des 25. Mai 2020 nahmen 22 der 44 Fachausschussmitglieder (50 %) an der Abstimmung teil, von denen sich alle für die Annahme der neuen Geschäftsordnung aussprachen. Da sie keine wesentlichen Änderungen gegenüber der allgemeinen DEGA-Mustergeschäftsordnung enthält, wurde sie am 26. Mai 2020 von DEGA-Geschäftsführer Martin Klemenz im Namen des DEGA-Vorstands genehmigt und ist somit seit dem 26. Mai 2020 in Kraft.

Alle Fachausschussmitglieder erhielten die finale Fassung der neuen Geschäftsordnung per E-Mail.

Wahl einer neuen Fachausschussleitung

Aktuell läuft auch noch die Wahl einer neuen Fachausschussleitung per E-Mail. Die bisherige Fachausschussleitung (Joachim BöS) und die Stellvertretung (Jens Prager) stellen sich beide zur Wiederwahl, Vorschläge für weitere Kandidierende gab es nicht.

Die Wahl wird vom Wahlausschuss in Person von Steffen Marburg (steffen.marburg@tum.de) und Martin Och-

mann (ochmann@beuth-hochschule.de) mit Unterstützung der DEGA-Geschäftsstelle (dega@dega-akustik.de) durchgeführt und ausgewertet.

Das Ergebnis wird per Rundmail an alle Fachausschussmitglieder und in der nächsten Ausgabe des Akustik Journals bekanntgegeben.

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

Der nächste DEGA-Workshop Physikalische Akustik war am 15./16. Oktober 2020 im Physikzentrum Bad Honnef geplant.

Ob, in welcher Form und zu welchem Thema die Durchführung dieses Workshops unter den aktuellen Randbedingungen möglich sein wird, wird in den

nächsten Tagen ebenfalls im E-Mail-Umlaufverfahren diskutiert und entschieden werden. ■

Joachim Bös

Fachausschuss Strömungsakustik



Vorsitzende:

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

Dass die DAGA 2020 in Hannover nicht stattfinden konnte, wurde vom FA Strömungsakustik äußerst bedauert. Desto mehr freut es uns, dass 21 Proceedings-Beiträge eingereicht wurden und im Jubiläums-Tagungsband 50 Jahre DAGA erschienen sind. Ganz herzlichen Dank an alle Autorinnen und Autoren.

Aufgrund der Corona-Pandemie haben wir uns leider dafür entscheiden müssen, die DEGA Akademie Kurse Strömungsakustik, geplant vom 29.09–02.10.2020 in Erlangen, abzusagen und auf das Jahr 2021 zu verschieben.

Bleiben Sie gesund und wir hoffen, Sie alle bald wieder auch persönlich auf einer der nächsten Veranstaltungen sehen zu können. ■

*Manfred Kaltenbacher
Marc Schneider
Lars Enghardt*



**Your partner for
Acoustics and Vibration Optimum
in Product Development**

Virtual CAE Simulation
Acoustic Testing Facilities
Environmental Product Validation



www.arrk-engineering.com

■ Mitglieder / Fördermitglieder

Derzeit hat die Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V.

- 1.990 persönliche Mitglieder
- und 79 Fördermitglieder (Stand Mai 2020).

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

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

- ACOEM GmbH, Hallbergmoos
- Akustikbüro Schwarzenberger und Burkhart, Pöcking / Weimar
- ALN Akustik Labor Nord GmbH, Kiel
- AMC Schwingungstechnik, Asteasu (E) / Nürnberg
- Amorim Deutschland GmbH, Delmenhorst
- BASF SE, Ludwigshafen
- Baswa AG, Baldegg (CH)
- Bayer Bauphysik Ingenieurgesellschaft mbH, Fellbach
- Bertrandt Technikum GmbH, Ehningen
- BeSB GmbH, Berlin
- Brose Fahrzeugteile GmbH, Oldenburg
- Brüel & Kjaer GmbH, Bremen
- CADFEM GmbH, Grafing
- CAE Software und Systems GmbH, Gütersloh
- Carcoustics TechConsult GmbH, Leverkusen
- Cervus Consult GmbH, Willich
- Cirrus Research plc Deutschland, Frankfurt/M.
- Comsol Multiphysics GmbH, Göttingen
- DataKustik GmbH, Gilching
- Ecophon Deutschland, Lübeck
- EDAG Engineering GmbH, München
- EM Plan, Neusäß
- ESI Engineering System International GmbH, Neu-Isenburg
- Gardner Denver Deutschland GmbH, Bad Neustadt/Saale
- Gesellschaft für Sonder-EDV-Anlagen mbH, Hofheim
- Getzner Werkstoffe GmbH, Bürs (A)
- GN Bauphysik Ingenieurgesellschaft mbH, Stuttgart
- G.R.A.S., Holte (DK)
- HEAD acoustics GmbH, Herzogenrath
- HEAD-Genuit-Stiftung, Herzogenrath
- IAC Industrial Acoustics Company GmbH, Niederkrüchten
- IFB Ingenieure GmbH, Bad Teinach-Zavelstein
- Kötter Consulting Engineers GmbH & Co. KG, Rheine
- Kraiburg Relastec GmbH & Co. KG, Salzwedel
- Kurz und Fischer GmbH Beratende Ingenieure, Winnenden
- Lärmkontor GmbH, Hamburg
- Lairm Consult GmbH, Bargteheide
- Lehrstuhl Strömungsmaschinen, Universität Rostock
- Lignotrend Produktions GmbH, Weilheim-Bannholz
- Metecno Bausysteme GmbH, Blankenhain
- Microflown Technologies BV, Arnhem (NL)
- Microtech Gefell GmbH, Gefell
- Möhler + Partner Ingenieure AG, München
- Molex CVS Bochum GmbH, Bochum
- Müller-BBM Gruppe, Planegg bei München
- Norsonic Tippkemper GmbH, Oelde-Stromberg
- Novicos GmbH, Hamburg
- NTi Audio GmbH, Essen
- Odeon A/S, Lyngby (DK)
- PCB Synotech GmbH, Hückelhoven
- Peiker acustic GmbH, Friedrichsdorf
- ProCom-Bestmann e.K., Naumburg
- P+Z Engineering GmbH, München
- Regupol BSW GmbH, Bad Berleburg
- Renz Systeme GmbH, Aidlingen
- Rockwool Rockfon GmbH, Gladbeck
- Röchling Automotive SE & Co. KG, Worms
- Saint-Gobain Isover G+H AG, Ladenburg
- Schaeffler Gruppe, Herzogenaurach
- Schöck Bauteile GmbH, Baden-Baden
- Sennheiser electronic GmbH & Co. KG, Wedemark
- Siemens Industry Software GmbH, München
- Sika Automotive Frankfurt-Worms GmbH
- Sinus Messtechnik GmbH, Leipzig
- solaris Ingenieur-Consult GmbH, Chemnitz
- Sonatech GmbH & Co. KG, Ungerhausen
- SoundPLAN GmbH, Backnang
- Soundtec GmbH, Göttingen
- Spektra Schwingungstechnik und Akustik GmbH, Dresden
- Stapelfeldt Ingenieure GmbH, Dortmund
- Steffens Systems GmbH, Köln
- Sto SE & Co. KGaA, Stühlingen
- Texaa, Gradignan (F)
- Umfotec GmbH, Northeim
- Verlagsgesellschaft R. Müller GmbH & Co. KG, Köln
- Wölfel Gruppe, Höchberg
- WRD GmbH, Aurich
- Xarion Laser Acoustics GmbH, Wien (A)
- ZF Friedrichshafen AG, Friedrichshafen

Normen/Richtlinien

Neue Regelwerke zu den Themen Akustik und Lärminderung (Feb. 2020 – Mai 2020)

Bezeichnung	Titel	Preis*
Fachgebiet Bau- und Raumakustik		
DIN EN 13053	Lüftung von Gebäuden – Zentrale raumlufttechnische Geräte – Leistungskenndaten für Geräte, Komponenten und Baueinheiten; Deutsche Fassung EN 13053:2019	145,20 €
DIN EN 14366	Messung der Geräusche von Abwasserinstallationen im Prüfstand; Deutsche Fassung EN 14366:2004+A1:2019	75,80 €
E DIN 4109-2/A1	Schallschutz im Hochbau – Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen; Änderung A1	43,70 €
VDI 3803 Blatt 1	Raumlufttechnik – Bauliche und technische Anforderungen – Zentrale RLT-Anlagen (VDI-Lüftungsregeln)	189,20 €
Fachgebiet Elektroakustik / Messgeräte		
E DIN EN ISO 9053-2	Akustik – Bestimmung des Strömungswiderstandes – Teil 2: Alternierendes Strömungsverfahren (ISO/DIS 9053-2:2020); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 9053-2:2020	88,00 €
Fachgebiet Lärmschutz		
DIN 45682	Akustik – Thematische Karten im Bereich des Schallimmissionsschutzes	94,50 €
DIN EN 13819-3	Gehörschützer – Prüfung – Teil 3: Zusätzliche akustische Prüfverfahren; Deutsche Fassung EN 13819-3:2019, mit CD-ROM	120,00 €
E DIN 38452-1	Langzeitmessung von Schienenverkehrsgeräuschen – Teil 1: Emissionen; Text Deutsch und Englisch	109,70 €
E DIN EN 17479	Gehörschützer – Leitfaden zur Auswahl von Prüfverfahren für den individuellen Sitz; Deutsche und Englische Fassung prEN 17479:2020	109,70 €
E DIN ISO/TS 12913-3	Akustik – Soundscape – Teil 3: Datenanalyse	125,40 €
E VDI 4101 Blatt 1	Schallausbreitung im Freien unter Berücksichtigung meteorologischer und topographischer Bedingungen – Blatt 1: Phänomene und Verfahren (Einspruchsfrist: 01.10.2020)	106,80 €
E VDI 4101 Blatt 2	Schallausbreitung im Freien unter Berücksichtigung meteorologischer und topographischer Bedingungen – Blatt 2: Windkraftanlagen (Einspruchsfrist: 01.10.2020)	57,00 €
E DIN 45680	Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräuschimmissionen (Einspruchsfrist: 22.09.2020)	99,80 €
Fachgebiet Maschinen- und Fahrzeugakustik		
DIN EN 15153-2	Bahnanwendungen – Äußere optische und akustische Warneinrichtungen – Teil 2: Signalthörner für Vollbahnen; Deutsche Fassung EN 15153-2:2020	75,80 €

Bezeichnung	Titel	Preis*
DIN EN 15153-4	Bahnanwendungen – Äußere optische und akustische Warneinrichtungen – Teil 4: Signalmhörner für städtische Schienenbahnen; Deutsche Fassung EN 15153-4:2020	56,60 €
DIN EN 60704-2-14	Elektrische Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke – Prüfvorschrift für die Bestimmung der Luftschallemission – Teil 2-14: Besondere Anforderungen an Kühlgeräte, Tiefkühlgeräte und Gefriergeräte (IEC 60704-2-14:2013 + A1:2019); Deutsche Fassung EN 60704-2-14:2013 + A11:2015 + A1:2019	94,50 €
DIN EN IEC 60704-2-16	Elektrische Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke – Prüfvorschrift für die Bestimmung der Luftschallemission – Teil 2-16: Besondere Anforderungen an Wäschetrockner (IEC 60704-2-16:2019); Deutsche Fassung EN IEC 60704-2-16:2019	94,50 €
DIN SPEC 14601	Warnsignale – Teil 1: Akustische Warn-, Entwarn- und Hinweissignale	35,00 €
E DIN EN 16583	Wärmeübertrager – Wasser-Luft-Ventilator-konvektoren – Bestimmung des Schallleistungspegels; Deutsche und Englische Fassung prEN 16583:2020	81,60 €
E DIN EN 17495	Bahnanwendungen – Akustik – Bestimmung der dynamischen Steifigkeit von elastischen Komponenten im Oberbau in Bezug auf Schall und Schwingungen – Teil 1: Zwischenlagen und Schienenbefestigungssysteme; Deutsche und Englische Fassung prEN 17495:2020	75,80 €
E DIN EN ISO 16148/A1	Gasflaschen – Wiederbefüllbare nahtlose Gasflaschen und Großflaschen aus Stahl – Schallemissionsprüfung und nachfolgende Ultraschallprüfung für die wiederkehrende Inspektion und Prüfung – Änderung 1 (ISO 16148:2016/DAM 1:2020); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 16148:2016/prA1:2020	37,40 €
E DIN ISO 16254	Akustik – Messungen für das von Straßenfahrzeugen abgestrahlte Geräusch der Klassen M und N im Stillstand und bei niedriger Fahrgeschwindigkeit – Messverfahren der Genauigkeitsklasse 2 (ISO 16254:2016); Text Deutsch und Englisch	120,00 €
E DIN ISO 5130	Akustik – Messungen des Standgeräusches von Straßenfahrzeugen (ISO 5130:2019); Text Deutsch und Englisch	81,60 €

*) Download

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

Publikationen

Übersicht

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

	Name	gedruckt	online
Zeitschrift	Akustik Journal (drei Ausgaben pro Jahr)	0 € ¹⁾	X
	Acta Acustica®		X
Tagungsbände	DAGA-Tagungsbände „Fortschritte der Akustik“ (1970–2020)		X ²⁾
	Proceedings ICA / INTER-NOISE		X ³⁾
Empfehlungen und Memoranden	DEGA-Empfehlung 101: Akustische Wellen und Felder		X
	DEGA-Empfehlung 102: Mindestkanon Akustik in der Bachelor-Ausbildung		X
	DEGA-Empfehlung 103: Schallschutz im Wohnungsbau - Schallschutzausweis		X
	Memorandum „Die allgemein anerkannten Regeln der Technik in der Bauakustik“		X
	Memorandum „Schallschutz im eigenen Wohnbereich“		X
	Memorandum zur Durchführung und Dokumentation von Audio-Produktionen für wissenschaftliche Anwendungen in der Akustik		X
Schriftenreihe „Geschichte der Akustik“	Heft 1: Von der Antike bis in das 20. Jahrhundert	10,00 €	
	Heft 2: Akustisches Wissen auf den Transferwegen	10,00 €	
	Heft 3: Preisträger europäischer Wissenschaftsakademien	10,00 €	
	Heft 4: Sondhauß-Röhre, Seebeck-Sirene	15,00 €	
	Heft 5: Von den Äolstönen bis zur Strouhal-Zahl	32,95 € ⁴⁾	
	Heft 6: Von der Luftsirene bis zur russischen Aeroakustik	29,95 € ⁴⁾	
	Heft 7: Lord Rayleigh, Sir Horace Lamb, Sir James Lighthill	10,00 € ⁴⁾	
	Heft 8: Große Wissenschaftler mit Beiträgen zur Akustik	32,95 € ⁴⁾	
	Heft 9: Kundt, Waetzmann, Schuster	39,95 € ⁴⁾	
	Heft 10: Eberhard Zwicker, Lothar Cremer und Manfred Heckl	12,00 € ⁴⁾	
	Heft 11: Erwin Meyer, Heinrich Barkhausen und Walter Reichardt	14,00 € ⁴⁾	

	Name	gedruckt	online
Fachgebiet Lärm	Youtube-Video „So klingt meine Welt“		X
	Broschüre „Lärm im Alltag“		X
	ALD-Broschüre „Straßenverkehrslärm“	2,00 €	X
	Hörbeispiele und Geräuschsituationen		X
	ALD-Broschüre „Energiewende und Lärmschutz“	2,00 €	X
	ALD-Broschüre „TEchnologies of NOise Reduction (TENOR)“		X
	ALD-Broschüre „Schienenverkehrslärm – Ursachen, Wirkungen, Schutz“	2,00 €	X
Fachgebiet Musikalische Akustik	Tagungsband (2015) „Musikalische Akustik zwischen Empirie und Theorie“		X
	Tagungsband (2013) „Nuancen in der musikalischen Akustik“		X
	Tagungsband „International Symposium on Music Acoustics“ (ISMA 2019)		X
	Literaturdatensammlung Musikalische Akustik		X
Fachgebiet Lehre der Akustik	Dissertationsregister Akustik		X
	Studienführer „EAA Schola“		X
	Youtube-Video „Faszination Akustik – Eine Reise durch die Welt des Schalls“		X
Fachgebiet Hörakustik	Kompendium zur Durchführung von Hörversuchen in Wissenschaft und industrieller Praxis (Entwurf)		X

¹⁾ für Mitglieder

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

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

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

■ Buchvorstellung

Sabine von Fischer

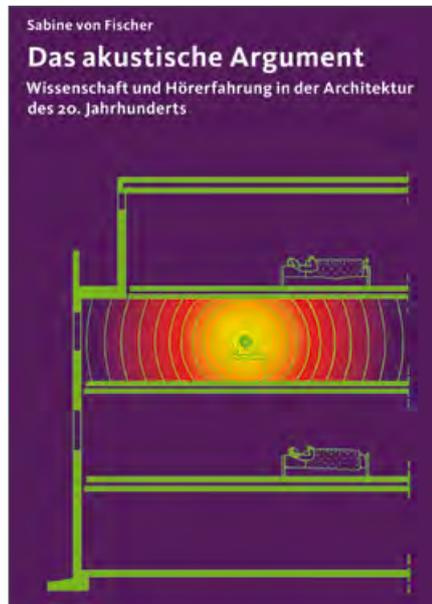
„Das akustische Argument – Wissenschaft und Hörerfahrung in der Architektur des 20. Jahrhunderts“

367 Seiten,

ISBN 978-3-85676-354-1

Verlag: gta Verlag

Preis: 48,00 €



In Fachkreisen der Akustik ist es selbstverständlich, dass die systematische Optimierung akustischer Eigenschaften einen wesentlichen Aspekt baulicher Gestaltung bildet. Das mit der komplexen Verflechtung verschiedenster Anforderungen verbundene Konfliktpotential ist in der täglichen Praxis überdeutlich. Weniger üblich ist die Beschäftigung der Fachleute mit den historischen Grundlagen dieser Verflechtungen. Ein Blick in die Geschichte ist jedoch sehr hilfreich, um die Entstehung und Wirkung divergierender Ansprüche zu verstehen. Unter dem Titel „Das akustische Argument – Wissenschaft und Hörerfahrung in der Architektur des 20. Jahrhunderts“ hat die promovierte Architektin Sabine von Fischer eine Monographie veröffentlicht, die sich gerade mit den historischen Aspekten im Spannungsfeld zwischen Architektur und Akustik befasst.

Neben den notwendigen Grundlagen der architekturbezogenen Akustik werden dabei zahlreiche Bauprojekte des frühen 20. Jahrhunderts detailliert beschrieben und diskutiert. Die Autorin legt die Schwerpunkte ihrer Analyse auf

Projekte aus der Schweiz und die Methodenentwicklung an der ETH Zürich, bezieht aber auch die internationale Entwicklung des Fachgebiets Akustik mit ein, insbesondere dort, wo sich nationale und internationale Ansätze verflechten. Die gebürtige Schweizerin Sabine von Fischer studierte Architektur an der ETH Zürich und der Columbia University in New York. Sie ist Herausgeberin verschiedener Bücher und Zeitschriften und verfügt über breite internationale Erfahrung in Lehre und Forschung an der ETH Zürich, am Canadian Center of Architecture in Montréal, an der École Polytechnique Fédérale de Lausanne, der Züricher Hochschule für Angewandte Wissenschaften sowie am Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte in Berlin. Darüber hinaus war sie als Architektin und Bühnenbildnerin in New York City sowie als freie Autorin tätig. Das vorliegende Buch baut auf ihrer Dissertation mit dem Thema „Hellhörige Häuser. Akustik als Funktion der Architektur, 1920–1970“ (DISS. ETH Nr. 21532) aus dem Jahr 2013 auf, sowie auf Arbeiten zur Schallfotografie im Rahmen eines Post-Doc-Projects am oben genannten Max Planck-Institut. Das Buch liefert einen wichtigen Beitrag zur Architekturgeschichte mit ihren vielfältigen Bezügen zu „Wissenschafts-, Kunst-, Umwelt-, Städtebau-, Technik-, Sozial-, Kultur- und Mediengeschichte.“ (S.7) Im Bereich der eher visuell geprägten Architektur ist der fokussierte Blick auf die Akustik und damit auf die auditiven Aspekte der Wahrnehmung immer noch ungewöhnlich. Allerdings haben die Bereiche der Akustik, die sich auf Architektur beziehen, im 20. Jahrhundert zunehmend an Stellenwert gewonnen. Hierfür steht insbesondere das 2002 erschienene Buch „The Soundscape of Modernity: Architectural Acoustics and the Culture of Listening in America, 1900–1933“ von Emily Thompson. Auch die Geschichte des Fachgebiets Akustik selbst wird zunehmend thematisiert, wie in der „Schriftenreihe zur Geschichte der Akustik“ von Peter Költzsch, die seit 2010 von der DEGA herausgegeben wird. Sabine von Fischer versteht ihr

Buch als Weiterführung vorhandener Ansätze zur Akustik in der Architektur. Ihr besonderes Interesse gilt dabei den Anwendungen in der Architektur der 1920er und 1930er Jahre und deren Fortsetzung in der Nachkriegszeit.

Vor diesem Hintergrund erwächst der Anspruch des Buches, die verschiedenen, für Bauwerke bedeutsamen Teilbereiche der Akustik in fünf Kapiteln gleichermaßen zu berücksichtigen. Eine wesentliche Disziplin der Akustik ist zunächst die Raumakustik zur Optimierung der Hörsamkeit von Auditorien sowie von Konferenz- und Schulungsräumen. Dieser Teilbereich steht zumeist im Fokus der öffentlichen Aufmerksamkeit, wenn es um den Neubau oder die historische Substanz von Konzertsälen geht. Raumakustische Kriterien werden im ersten Kapitel des Buches „Objektivierung: Schall im Labor“ daher zunächst grundsätzlich diskutiert.

Ein zweiter Aspekt baulicher Anwendung der Akustik ist der Lärmschutz, nicht nur zum ungestörten Genuss von Konzerten, sondern auch für eine lebenswerte Wohnumgebung und konzentriertes Arbeiten. Aus den Erwartungen an ruhige Umgebungen resultieren wiederum Anforderungen für die bauphysikalische Auslegung architektonischer Elemente sowie die Disposition von Grundrissen und Fassaden im Hinblick auf eine Trennung geräuschvoller und besonderes ruhebedürftiger Bereiche. Diesem Themenbereich wendet sich das zweite Kapitel „Regulierung: Der Lärm der anderen“ mit besonderer Berücksichtigung des Luftschalls zu. Unter dem Titel „Isolierung: Nachbarschaft und Privatsphäre“ wird das Thema der Bauakustik anschließend weiter vertieft, wobei nunmehr der Trittschallschutz messtechnisch und baulich betrachtet wird. Für die Auslegung großer Säle ist der Einbau elektroakustischer Systeme heute unumgänglich. Dies erfordert sowohl eine optimierte Übertragungstechnik, als auch eine Raumgestaltung, die Störungen der künstlichen Beschallung infolge von Schallre-

flexionen und Rückkoppelungen ausschließt. Dies führte gerade in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts zu innovativen Entwicklungen, aber auch zu Auseinandersetzungen unter den Fachleuten. Die rein akustische Auslegung der Säle stieß aufgrund der Forderung nach sehr großen Auditorien bald an ihre physikalischen Grenzen, während elektroakustische Übertragungssysteme im Rahmen ihrer technischen Entwicklung noch nicht in ausreichender Qualität zur Verfügung standen. Im Kapitel „Übertragung: Akustik als Argument“ kehrt die Diskussion daher zur raumakustischen Fragestellungen zurück, die im Hinblick auf die Zunahme von Übertragungssystemen und Lautsprecherbeschallung besonders interessante, aber auch konfliktreiche Aspekte bilden.

Die Entwicklung akustischer Methoden und entsprechender baulicher Anforderungen ist untrennbar verbunden mit dem Aufbau geeigneter Messumgebungen. Für diesen Themenbereich wählt die Autorin die Entwicklung des Akustiklabors der ETH Zürich als Ausgangspunkt der Betrachtung. Am Beginn standen die Nutzung bereits vorhandener Räumlichkeiten und ein eher vages Wissen um die Natur von Schallfeldern. Durch intensive Studien an Forschungsinstituten verschiedener Länder gelang es jedoch, Messräume zu definieren, die standardisierte Schallfeldeigenschaften zur akustischen Optimierungen von Bauteilen bereitstellen. Dies wird bereits im ersten Kapitel des Buches ausführlich beschrieben. Für akustische Messräume werden heute zwei Prinzipien angewandt: die reflexionsfreie Umgebung und das diffuse, durch intensive Reflexionen charakterisierte Schallfeld. Beide Typen sind für die Anwendung spezifischer Methoden geeignet und liefern jeweils eigene Informationen. Bei den frühesten Untersuchungen von Schallphänomenen im Labor wurde die Beurteilung der Schalleigenschaften aufgrund fehlender Messgeräte und Methoden zunächst subjektiv mit Hilfe geschulten Fachpersonals durchgeführt. Die Entwicklung geeigneter Methoden und spezialisierter Messgeräte führte allerdings dazu, die Wahrnehmung zuneh-

mend zu ignorieren. Damit wurde auch der Wert der Wahrnehmungserfahrung bei der raumakustischen Auslegung grundsätzlich in Frage gestellt. Erst in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts setzt sich die Erkenntnis durch, dass Erfahrung durch Messwerte nicht vollständig ersetzbar ist und daher eben nur ein Nebeneinander von Messung und Erfahrung zu optimaler Gestaltung führt. Mit diesem Befund schließt sich im letzten Kapitel des Buches „Erfahrung: die Ästhetik der Töne“ der Kreis. In diesem Zusammenhang wird auch auf die Analyse und Optimierung städtischer Geräuschumgebungen in die Betrachtung einbezogen. Dazu dienen subjektive Erkundungen der Soundscapes. In Form von Soundwalks ist das Spazierengehen als Methode der Analyse inzwischen etabliert – im Sinne der von Lucius Burckhardt ausgearbeiteten „Spaziergangswissenschaft“. Die Ergebnisse werden kartographisch festgehalten und dienen der zielgerichteten Gestaltung.

Insgesamt geht es der Autorin nicht in erster Linie um Physik oder Hörpsychologie, sondern um die Darstellung der Entwicklung einer architekturbezogenen Akustik im Spannungsfeld zwischen Gestaltung und Bauphysik, Grundlagen und Anwendung, architektonischer Funktion und Gesellschaft. Dazu werden diejenigen Teilbereiche der Akustik, die untrennbar mit Architektur und Städtebau verknüpft sind, in ihrer historischen Entwicklung betrachtet, die auch eine Entwicklung des Hörens im Alltag ist. Eine derart ausführliche Aufarbeitung früherer Entwicklungen in Bau- und Raumakustik sowie im Schallschutz mag zunächst befremden. Dieser Ansatz erweist sich jedoch als außerordentlich sinnvoll, denn auf diesem Weg können die bis heute aktuellen Fragestellungen, die Synergien, aber auch die Akzeptanzprobleme und Kommunikationsschwierigkeiten zwischen den Disziplinen von ihren Ursprüngen her verstanden werden.

Anhand zahlreicher Architekturprojekte beschreibt die Autorin detailliert die baulichen Anforderungen sowie insbesondere die Diskussionen und Kontroversen zwischen Architekten, Fachleuten der Akustik, Auftraggebern und

Nutzern. So wird die Schallisolierung dreigeschossiger Stahlskelett-Wohnbauten im Züricher Doldertal (Alfred & Emil Roth, Marcel Breuer, 1935) als Vorzeigeprojekt moderner Architektur dargelegt. Derartige Konstruktionen erfordern eine spezielle Isolierung zwischen Bauteilen und Tragwerk, eine Trennung „schallreicher“ und „ruhiger“ Wohnbereiche und ein besonderes Augenmerk auf die Geräuschminderung haustechnischer Anlagen.

Breiten Raum nehmen hier Projekte des Architekten Le Corbusier ein, so die berühmte Unité d’Habitation in Marseille (eröffnet 1952), Wohnhäuser in der Stuttgarter Weißenhofsiedlung (mit Pierre Jeanneret, 1927) sowie sein Entwurf für den Saal des Völkerbundes in Genf (ebenfalls mit Pierre Jeanneret, 1926). Das Projekt für den Völkerbundsaaal wird im Buch besonders ausführlich diskutiert, handelt es sich doch um eines der letzten Projekte für einen Saal mit mehr als 2.000 Zuhörern, das den Einsatz elektroakustischer Übertragungssysteme noch nicht vorsah. Die erste Ausschreibung des Projektes geriet zum Desaster, da die Jury sich nicht in der Lage sah, eines der von über 400 Architektenteams in internationalem Rahmen eingereichten Projekte zur Ausführung zu empfehlen. Dies beruhte allerdings weniger auf ungeklärten Anforderungen an die Akustik, vielmehr auf Problemen der Erfüllung organisatorischer und technischer Anforderungen sowie insbesondere auf Stilfragen zwischen Historismus und Moderne. Die ausführliche Darlegung des Projektes im Rahmen einer Abhandlung zur Akustik ist jedoch gerechtfertigt, denn hier wird das Dilemma zwischen der Erstellung sehr großer Säle und der Forderung hoher Sprachverständlichkeit besonders deutlich. Der Schweizer Akustiker Franz Max Osswald nahm das Projekt daher zum Anlass, grundsätzliche Vergleiche der raumakustischen Relevanz der wichtigsten Entwürfe zu präsentieren. Die Reproduktion seiner schematischen Skizzen bildet eines der Highlights des Buches. Eine Annäherung an die Gestaltung elektroakustisch reproduzierter Raumklänge bietet die Diskussion des von Le Corbusier und Iannis Xenakis für die

Brüsseler Weltausstellung 1958 konzipierten Philips Pavillons. Die Besucher kamen dort in den Genuss einer multimedialen, als Poème électronique bezeichneten Inszenierung, die aus Projektionen und der Lautsprecherwiedergabe der gleichnamigen Komposition von Edgar Varèse bestand. Bereits im Jahr 1956 war in London das visionäre „House of the Future“ von Alison und Peter Smithson präsentiert worden. Es verdeutlicht in einer für die damalige Zeit höchst innovativen Weise die Möglichkeiten der Kommunikationstechnologie für das private Wohnumfeld.

Die Entwicklung akustischer Methoden und Anforderungen wurde von verschiedenen Pionieren entscheidend geprägt. Mit Recht werden daher die Beiträge Franz Max Osswalds zur Entwicklung der Akustik im Buch besonders ausführlich dargelegt. Osswald war der erste Hochschulakustiker der Schweiz, er war als Privatdozent an der ETH Zürich tätig und baute dort das Labor für Akustik auf. Sein Werk wird in den Gesamtzusammenhang der internationalen Entwicklung akustischer Ansätze gestellt, die insbesondere auch durch Wallace Clement Sabine und Erwin Meyer vorangetrieben wurde. Der Aufbau des Labors der ETH Zürich erscheint so im Kontext anderer Länder wie USA und Deutschland.

Das Buch ist für Interessierte an Architektur, Akustik und der Geschichte dieser Disziplinen von großem Wert. Es geht auf aktuelle Probleme und Verfahren in geschichtlicher Reflexion umfassend ein. Es ist jedoch kein Lehrbuch der Akustik. Kenntnisse der Grundlagen der Akustik sind für den Leser sicher hilfreich, denn manches erschließt sich erst unter Beachtung technisch präziser Definitionen. Dies gilt auch für Grundkenntnisse der Baumaterialien, die speziell zur akustischen Optimierung von Bauelementen verwendet werden. Hier verwirren zuweilen die historischen Begrifflichkeiten, soweit sie von der aktuellen Nomenklatur abweichen (z. B. Schlackenwolle vs. Glaswolle vs. Steinwolle vs. Glasseide). Dies ist jedoch nicht der Autorin anzulasten. Das Problem entsteht erst durch das Bemühen um doku-

mentarische Korrektheit, die auch die Verwendung authentischer Fachbegriffe notwendig macht.

Die Ausführlichkeit der Dokumentation, die zahlreichen Abbildungen und Literaturverweise sprechen für das Buch. Zwar fordert das Studium der zahlreichen Details die Lesenden durchaus: Unter dem vielfältigen Material finden sich jedoch auch verschiedene Kuriositäten, die eine Beschreibung wert sind und das Fachliche auflockern. Dazu zählt etwa die Verwendung von Perserteppichen zur Erhöhung der Absorption im Versuchsraum des Instituts für angewandte Akustik der ETH Zürich in den 1930er Jahren. Oder auch Fotos zur frühen Bestimmung der Nachhallzeit in Messräumen. Zu diesem Zweck sitzt die beurteilende Person als „Man in the Box“ in einer geschlossenen Kiste, aus der nur der Kopf herausragt. Diese Box verhindert, dass die Bediengeräusche der Messuhr sowie die Absorption der Kleidung das Ergebnis verfälschen. Die Person in der Kiste startet die Uhr beim Abschalten des Prüferäusches und stoppt sie in dem Moment, in dem der Nachhall unhörbar wird. Verschoben wirkt auch Osswalds Vorschlag aus dem Jahr 1937, in großen Räumen Laufzeitunterschiede von verschiedenen Lautsprechern zum Hörer durch ein akustische wirkendes „Luftschall-Verzögerungsrohr“ zu kompensieren. Dazu ist es erforderlich, dass die Lautsprecher ihr Signal mit unterschiedlichen Verzögerungen erhalten. Da elektronische oder gar digitale Möglichkeiten der Signalverzögerung noch nicht existieren, wird vorgeschlagen, die Luftsäule in einem Rohr zu nutzen. Dazu wird das Signal – z. B. des Sprechermikrofons – über einen Lautsprecher an einem Ende des Rohres eingespeist und an den Positionen durch Mikrofone abgegriffen, die der gewünschten Verzögerung entsprechen. Um die Laufzeiten des Schalls in großen Sälen zu kompensieren, müsste dieses Rohr allerdings sehr lang sein. Osswalds Skizzen zeigen eine Rohrwendel, die einen großen separaten Raum einnimmt und in ihrer Monstrosität an vergleichbar surreale architektonische Entwürfe für die Schallleitung in Ge-

bäuden erinnert, die Athanasius Kircher bereits im 17. Jahrhundert präferierte. Offenbar wurde Osswalds Vorrichtung jedoch nie realisiert. Verzerrungen der damals verfügbaren Lautsprecher und Mikrofone hätten die Übertragung ebenso stark beeinträchtigt wie Resonanzerscheinungen im Rohr. Interessant sind auch die im Buch dokumentierten Varianten der heute noch üblichen Hammerwerke zur Messung des durch Trittschall bedingten Geräusches, wie der ebenfalls von Osswald vorgeschlagene und als Prototyp realisierte „Poch-Variator“ von 1935, der variable Hammerschläge zur Bestimmung der Wahrnehmungsschwelle des Trittschalls ausführt. Dazu gehört auch das unter Lothar Cremers Leitung in Berlin entwickelte „Vergleichshammerwerk“ für subjektive Schnelltests (1956), das als Referenzschallquelle zur Beurteilung der Trittschallempfindlichkeit von Bauteilen diente. Über diese mechanischen Apparaturen ist die Methodenentwicklung längst hinweggeschritten; sie lohnen jedoch einen Blick auf damals zukunftsweisende Elemente einer Ideengeschichte der Akustik.

Der Text des Buches ist insgesamt sehr präzise und zeigt weite Einblicke der Autorin in die Vielzahl angrenzender Themengebiete. Einzelne fachliche Angaben könnten allerdings noch genauer sein. So wird die hohe Reproduzierbarkeit der Trittschall-Anregung üblicher Normhammerwerke nicht durch den elektromechanischen Antrieb, sondern durch die Konstanz der Erdschwerkraft bewirkt, die die Prüfmassen zum Boden hin beschleunigt. Auch könnten in Einzelfällen exakte Definitionen hilfreich sein, so zum Beispiel für die Nachhallzeit als der Zeit, nach der der Schalldruckpegel eines Prüfschalls im Raum um 60 dB gesunken ist, d. h. der Schalldruck sich um den Faktor 1.000 vermindert hat. Einzelne Gleichungen würden zudem das Verständnis physikalischer Zusammenhänge verbessern, wie etwa die im Text erwähnte Sabinesche Formel für den Zusammenhang von Nachhallzeit, Raumvolumen und Absorptionsfläche

im Raum ($T = 0,163 \text{ V/A}$). Hier zeigt sich die verschiedentlich zu beobachtende Scheu der Architekten vor mathematischen Gleichungen. Es handelt sich eben nicht um ein Lehrbuch der Akustik. Bei Bedarf sollte ein Fachbuch der Akustik zur weiteren Vertiefung herangezogen werden.

Neben den rein akustischen Fragestellungen wird im Buch auch die Korrelation auditiver und visueller Eigenschaften bei der Gestaltung und Beurteilung von Architektur berührt. Das Thema ist besonders wichtig für die Auslegung von Bauwerken mit Berücksichtigung aller Sinne, unter anderem auch für die Anpassung akustischer Eigenschaften an die Form von Räumen. In welchem Maße beeinflusst das Verhältnis von optischer zu akustischer Auslegung eines Konzertsaals dessen Akzeptanz bei Publikum und Musikern? Die Autorin verweist auf ein Statement Winston Edward Kocks, eines der Pioniere der Schallwellenfotografie, dass sehen auch glauben heiße. Sie sieht ihr Buch auch als Beitrag zur multisensorischen Auffassung von Architektur, indem sie „den visuellen Traditionen der Architekturgeschichte (...) eine akustische hinzufügt.“ (S. 14) Auf die Bedeutung einer Interaktion der Sinne wird zudem mit Bezug zu audiovisuellen Präsentationen im Raum, wie für die Weltausstellung 1958, und bei der Erfassung der subjektiven Wirkung geräuschvoller Umgebungen im Rahmen von Soundwalks hingewiesen. Ausführlicher werden allerdings Methoden zur visuellen Darstellung von Schallfeldern diskutiert, die insbesondere an der ETH Zürich, aber auch in den USA durch Kock entwickelt wurden und besonders akustischen Laien ein erstes Verständnis für Schallreflexionen in Konzertsälen ermöglichten. Das Buch zeigt in multisensorischer Hinsicht viele positive Ansätze auf. Mit dem notwendigen Optimismus bleibt zu hoffen, dass die optischen und akustischen Beiträge für die Gestaltung von „Räumen zum Hören“ in Zukunft gleichrangig behandelt werden. Darin liegt auch ein großes Potential für weiterführende Studien.

Sabine von Fischers Arbeit verdeutlicht, wie sehr Akustik im Bauwesen als essen-

tielles Element der Gestaltung zu verstehen ist. Diese Disziplin stellt nicht bloß einen Satz bauphysikalischer Werkzeuge zur Nachbesserung und Fehlerbeseitigung für späte – bzw. zu späte – Bauphasen bereit, sondern muss frühzeitig in gleichberechtigter Kooperation mit allen an der Gestaltung beteiligten Instanzen agieren. Die Aufgabenstellung der Akustik ist vielfältig und reicht von Lärmschutz und der Gestaltung akustischer Umgebungen über Bauakustik bis hin zur raumakustischen Gestaltung komplexer Auditorien. Der Ansatz der Autorin ist dabei höchst aktuell. Er verweist auch auf Konfliktpotentiale und kontroverse Positionen, die sich bis heute erhalten haben, so z.B. zwischen akustischer Funktion und Gestaltung, klassischer Raumakustik und Übertragungstechnik, Ruhebedürfnis und Aktivität im Wohnumfeld, und eben auch zwischen Bauphysikern und Architekten. Die historische Betrachtung zeigt, dass die architekturbezogene Akustik sich auf einem Weg befindet, dessen Ende längst nicht erreicht ist. Denn „die Akustik der Architektur ist ein Wissen aus Vielfalt, das gerade durch diese Vielfalt weiteres Wissen erzeugt.“ (S. 330) ■

Michael Haverkamp
Köln

Impressum

Akustik Journal Nr. 02 / Juni 2020

Herausgeber

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

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

Geschäftsstelle:

Alte Jakobstraße 88
10179 Berlin

E-Mail: dega@dega-akustik.de

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

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

Web: www.dega-akustik.de

ISSN

2569-1597 (Print)

2569-1600 (Online)

Chefredaktion

Prof. Dr.-Ing. Detlef Krahe

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

Redaktionsbeirat

Prof. Dr.-Ing. habil. Ercan Altinsoy

Dr. rer. nat. Judit Angster

Prof. Dr.-Ing. habil Stefan Becker

Prof. Dr. phil. André Fiebig

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

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

Prof. Dr.-Ing. Schew-Ram Mehra

Redaktionsassistenz

Dipl.-Ing. Evelin Baumer

Dr.-Ing. Martin Klemenz

Anzeigen

Julia Schneiderheinze (M.A.)

E-Mail: j Schneiderheinze@dega-akustik.de

Layout und Satz

Dipl.-Ing. Evelin Baumer

E-Mail: ebaumer@dega-akustik.de

Gestaltungskonzept

Heilmeyer und Sernau Gestaltung

Web: www.heilmeyerundserнау.com/

Druck

Laserline GmbH

Web: www.laser-line.de

Bildnachweise

S. 1 – Titelseite: © Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg; S. 3 – Editorial © Universitätsmedizin Magdeburg / Melitta Dybiona; S. 5 – Aktuelles: DAGA 2020, Logo © Ina Platte, inani-design.de; S. 5 – Aktuelles: International Year of Sound, Logo © mit freundlicher Genehmigung der International Commission for Acoustics (ICA); S. 52 – Veranstaltungen: 13. DEGA-Symposium, Logo © TU Braunschweig / Dr. Tobias Ring; S. 52 – Veranstaltungen: DEGA-Akademie „Raumakustik kompakt“, Logo © Prof. Dr. Alfred Schmitz, Grevenbroich; S. 54 – Veranstaltungen: DAGA 2021, Logo © Ina Platte, inani-design.de; S. 54 – Veranstaltungen: DAGA 2021, Tagungszentrum, Messe Wien Exhibition & Congress Center © WienTourismus / Christian Stemper; S. 55 – Veranstaltungen: DAGA 2021, Panoramabild, Blick vom Rathaus © WienTourismus / Gregor Hofbauer; S. 55 – Veranstaltungen: DAGA 2021, Wiener Staatsoper © WienTourismus / Christian Stemper; S. 55 – Veranstaltungen: DAGA 2021, Feststiege in der Universität Wien © WienTourismus / Paul Bauer; S. 56 – Veranstaltungen: Logo Tag gegen Lärm 2020 © Viktoria Plahotny, Aachen; S. 59 – DEGA: Logo, YouTube-Video „Faszination Akustik“ © DEGA e. V., umgesetzt von der filmburg Filmproduktion; S. 60 – DEGA: Fachausschuss Bau- und Raumakustik © mit freundlicher Genehmigung der Firma Müller-BBM GmbH; S. 61 – DEGA: Fachausschuss Elektroakustik © U.P.images / fotolia.com; S. 62 – DEGA: Fachausschuss Fahrzeugakustik © Novicos GmbH, Hamburg; S. 62 – DEGA: Fachausschuss Hörakustik © psdesign1 / fotolia.com; S. 62 – DEGA: Fachausschuss Lärm: Wirkungen und Schutz © A.F.X. Süß, Berlin, Copyright DEGA e. V.; S. 63 – DEGA: Fachausschuss Lehre der Akustik © kasto / fotolia.com; S. 63 – DEGA: Fachausschuss Physikalische Akustik © SAM, TU Darmstadt; S. 64 – DEGA: Fachausschuss Strömungsakustik © Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, Braunschweig; S. 70 – Publikationen: Das akustische Argument © mit freundlicher Genehmigung des gta Verlag, Zürich

inter-noise 2020 e-congress Exhibition and Sponsorship Opportunities

Why Sponsor Inter-Noise 2020 e-congress

- ✓ INTER-NOISE Congress is the world's Biggest International Congress of Noise Control Engineering
- ✓ Provide Business Opportunities for the global noise control engineering industry and related technologies
- ✓ Establish Partnerships with Leading Institutions and Agency Personnel related to noise control engineering around the world
- ✓ You can promote your products to the participants in Inter-Noise 2020 e-congress through a web page of the e-exhibition which will be built only for your company.
- ✓ You can upload the video clips, the introductions and images of your company and products of around 500MB totally.
- ✓ The service where the participants of the e-exhibition can ask estimate and counselling to your company will be provided.
- ✓ The e-exhibition of Inter-Noise2020 e-congress will be open for 3 months (The offline exhibition was planned for 3 days)
- ✓ A free access account of delegate level will be given to a person in your company for download of the e-proceedings.
- ✓ A page of the e-program book will be provided for you to promote your company.

Sponsorship Package

Benefits		Category		
		Platinum	Gold	Silver
		USD 20,000	USD 10,000	USD 5,000
Pre-Congress Advertisement	Logo on Web Banner	○	○	○
	Logo in e-Newsletter	○	○	○
Online Congress Advertisement	Logo on KSNVE Web Banner	○	○	
	Promotional Video in Opening/Closing Ceremony	○		
	Web-banner in Oral Presentation page	○	○	
	Web-banner in Poster Session page	○	○	○
	Advertisement in the e-program book	Full Page	Full Page	Full Page
e-exhibition Space (number of booths) for 3 months		3	2	1
Complementary Registration (Number of persons)		10	6	4

- ✓ Packages are subject to change and tailor-made packages are available upon request.

E-Exhibition Booths

Type	Rate	Specification
Online booth Space	USD 1,000	Total of 500 MB (video file, pdf file, image file, company webpage url, etc.)

How to be a Sponsor & Exhibitor

Application Form

Please download and complete the sponsorship/exhibition application form at www.internoise2020.org and submit it to the Inter-Noise 2020 secretariat by email (internoise2020_info@ksnve.org).

NEU: Lärmmonitoring mit NoisePAD™ und dem Außenmikrofon WME 980

SINUS
Messtechnik GmbH



NoisePAD ist unser innovativer 4-Kanal Schallpegelmesser / Echtzeit-Analysator für Akustik und Vibration. Jetzt auch zur Lärm-Dauerüberwachung in Kombination mit dem Außenmikrofon WME 980 mit elektrostatischem Kalibriercheck (Mikrofonstromversorgung über USB).

Die Tablet-Version der Software **SAMURAI™ 3.0 Acoustic Bundle** bietet je Kanal:

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

Alle SAMURAI Optionen und Bundles unter www.soundbook.de

Technische Spezifikation

Eingänge	4 Kanäle 24 bit @ 51.2 kHz, ICP / direct, 2 Trigger-/Tacho-Kanäle
Ausgang	1 Ausgangskanal
Tablet PC	8" Industrie - Tablet, Intel ATOM Cherrytrail, 4 GB RAM, 128 GB SSD, Windows 10
Display	Touchscreen - Display
Mechanik	IP 54, MIL810, Temperatur -20°C ... +50°C
Dimensionen	226 x 156 x 28 mm, 900 g mit Akku
Autonomie	>10 Stunden (ext. Akku und Solarbetrieb optional)
Interfaces	USB, HDMI, SD, WLAN, 4G, GPS, Bluetooth, Kamera



NoisePAD mit Docking Station,
WME 980 und WME-Anschlußbox

NoisePAD ist ein eingetragenes Warenzeichen der SINUS Messtechnik GmbH

Kontakt

SINUS Messtechnik GmbH

Föpplstrasse 13
04347 Leipzig

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

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