

Nr. 03 / Oktober 2020

# AKUSTIK JOURNAL



Angewandte Orgelforschung am Fraunhofer IBP in Stuttgart ■ Akustische und perzeptuelle Grundlagen der Klangfarbenwahrnehmung ■ Zur Verringerung der Sprachverständlichkeit durch Mund-Nasen-Schutz-Maßnahmen ■

Preisträger(innen) der DEGA 2020 ■ International Year of Sound 2020/2021 ■ DEGA-Akademie: Kurs „DEGA-Schallschutzausweis“ ■ DAGA 2021 ■ DEGA-Preise: Wettbewerbsankündigung ■



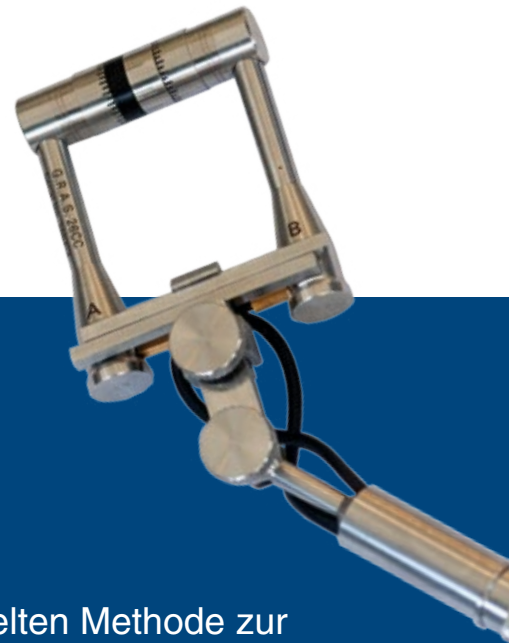
# SCHALLINTENSITÄT

- Allgemeine Intensitätsmessungen
- Schallleistung nach ISO 9614-1/-2
- Schalldämmung nach ISO 15186-2

## Der Schallpegelmesser Nor150 - mit der Intensitätssonde Nor1290 -

ist wohl das modernste Werkzeug für alle Arten der Schallintensitätsmessung.

Auf Grundlage einer neuartigen, von Norsonic entwickelten Methode zur Korrektur des Phasenganges eines Schallintensitätsanalysators kann der **komplette Frequenzbereich mit nur einem Spacer** gemessen werden!



# Editorial

## Möge die Macht bei der Wissenschaft sein

Liebe Leserinnen und Leser,

zu Beginn von „Corona“ konnte man Wissenschaft live erleben. Zur besten Sendezeit diskutierten Wissenschaftler Thesen, Antithesen und Fakten und stritten über Schlussfolgerungen. Es ist vielen Zuschauern klar geworden, dass es zunächst kein Richtig oder Falsch gab. Es wurde geforscht, veröffentlicht, gegengelesen, revidiert, validiert und falsifiziert. Im Laufe der Zeit gelang es aber, mit den Methoden der Wissenschaft, Thesen, Antithesen und Fakten zu gesicherten Erkenntnissen zu kondensieren. Die Politik war parteiübergreifend völlig verunsichert. Die komplexen medizinischen und epidemiologischen Ergebnisse und ihre wissenschaftlich vorgetragene Interpretation waren schlicht für die Öffentlichkeit ungeeignet. Es gab eine wachsende Sehnsucht, das wissenschaftliche Geschehen auf politische Kategorien abzubilden, auf Kategorien also, die für Talkshows geeignet sind und zumindest ansatzweise das Gefühl von Nachvollziehbarkeit vermitteln. Man erinnere sich, es gab zunächst die Verdopplungszeit der Neuinfizierten, wonach man das Infektionsgeschehen veranschaulichen konnte. Als diese Maßzahl nicht mehr dem Geschehen gerecht wurde, kam die Reproduktionszahl  $R$ , auch einfach in der Interpretation, aber nur mit komplexen statistischen Methoden zu ermitteln. Auch  $R$  war nicht Politik-gängig. Heute schauen wir regional auf die Anzahl Neuinfizierter je 100.000 Einwohner der letzten 7 Tage: Richtwert 50. In Karten wird klassiert und farblich dargestellt. Es werden Maßnahmen für jeden (Normaldenker) nachvollziehbar daran gebunden. Das ist, was Politik will und braucht. Diesen Prozess, das komplexe wissenschaftliche Geschehen und ihre Erkenntnisse auf politische Kategorien abzubilden, haben die Virologen gesteuert. Das war exzellente Wissenschaft.

Was hat Corona in einer Zeitschrift für Akustik zu suchen? Und vielleicht auch, warum sich Wissenschaft mit politischen Kategorien beschäftigen muss. Betrachten wir nur den kleinen Bereich der Lärmakustik, der ähnlich Politik-affin ist, wie das Corona-Geschehen. Auch hier wird komplexe Wissenschaft in politische Kategorien abgebildet. Die Regeln der TA Lärm sind nichts anderes als die 50er-Regel bei Corona. Werden Richtwerte überschritten, hat das Folgen, nachvollziehbar und allgemeingültig. Viele junge Kollegen sagen zurecht, dass die TA Lärm den Wissensstand vor 50 Jahren abbildet. Als ob wir es heute nicht besser wüssten. Wir haben immense Fortschritte gemacht, die es wert sind, dass sie Maßstab des politischen Handelns werden. Wenn wir das wollen, müssen wir politisch werden. Die Politik wird sich die Ergebnisse nicht holen, wir müssen sie ihr bringen, verpackt in politischen Kategorien und in Politik-gängiger Sprache. Dies ist keine neue Erkenntnis. Schon in der Antike war die Rhetorik Grundlage jedweder Wissenschaft. Letztlich umfasst die Rhetorik die Fähigkeit, eigene wissenschaftliche Erkenntnis



*Karl-Wilhelm Hirsch  
Freier Mitarbeiter der  
Cervus Consult GmbH*

wirkungsvoll nach außen zu vermitteln. Das kann und muss verkürzend, vereinfachend und populär sein. Liebe junge Kollegen, wenn Sie wirklich etwas bewegen wollen, beteiligen Sie sich an der technischen Regelsetzung, der Normung. Lassen Sie sich dazu herab, Ihre Ideen und Erkenntnisse populär-wissenschaftlich zu formulieren. Lernen Sie, Ihre Erkenntnisse nicht nur im Kollegenkreis zu verteidigen, sondern auch in verständlicher Sprache Laien gegenüber zu vertreten.

Wir sollten den Politikern z.B. unmissverständlich sagen, dass deren Abstandsregel bei WEA (10 Mal Höhe gleich Mindestabstand) jeder akustischen Grundlage entbehrt und dass Entscheidungen danach lärmpolitisch, ökologisch und ökonomisch nicht sachgerecht sind. Aber auch, dass die Akustik Verfahren kennt, den Betrieb solcher Anlagen über ein kontinuierlich betriebenes Messnetz so zu steuern, dass zu jeder Zeit erhebliche Belästigungen in der Nachbarschaft vermieden werden. In Zeiten selbstfahrender Autos ist der Aufwand dafür geradezu lächerlich; wirtschaftlich ist er allemal. Natürlich werden Fachpolitiker darauf antworten, dass solch ein Lärmmanagement nicht TA-Lärm-konform ist. Das ist aber die Abstandsregel schon gar nicht. Wir wissen es besser, aber wir müssen es auch deutlich und überzeugend sagen. Möge die Macht mit der Wissenschaft sein!

Ihr  
Karl-Wilhelm Hirsch

# Inhalt

Akustik Journal Nr. 03 / Oktober 2020

- **5 Aktuelles**
- **9 Fachartikel**
  - 9 **Angewandte Orgelforschung am Fraunhofer IBP in Stuttgart**  
Judit Angster
  - 29 **Die Farbe macht die Musik – Akustische und perzeptuelle Grundlagen der Klangfarben wahrnehmung**  
Kai Siedenburg
  - 42 **Zur Verringerung der Sprachverständlichkeit durch Mund-Nasen-Schutz-Maßnahmen gegen COVID-19-Infektionen unter praxisnahen raumakustischen Bedingungen**  
Klaus-Hendrik Lorenz-Kierakiewitz
- **52 Ehrungen der DEGA**
  - 52 **Preisträger(innen) der DEGA**
  - 53 Laudatio für Prof. Reinhard Lerch
  - 54 Laudatio für Dr. Kai Siedenburg
- **55 Menschen**
  - 55 **Ehrungen und Gratulationen**
- **56 Veranstaltungen**
  - 56 **Veranstaltungshinweise**
  - 56 „Wie klingt die Stadt der Zukunft?“ – Digitale Veranstaltung zum Tag gegen Lärm 2020
  - 56 DEGA-Akademie: Kurs „DEGA-Schallschutzausweis“
  - 57 Forum Acusticum 2020
  - 58 **Vorschau**
  - 58 DAGA 2021
  - 60 **Veranstaltungskalender**
- **61 DEGA**
  - 61 **Nachrichten und Mitteilungen aus der Fachgesellschaft**
  - 61 Protokoll der DEGA-Mitgliederversammlung
  - 64 **Fachausschüsse / Fachgruppen**
  - 67 **Fachausschüsse und Fachgruppen der DEGA stellen sich vor: FA Musikalische Akustik**
  - 68 **Mitglieder / Fördermitglieder**
- **70 Normen / Richtlinien**
  - 70 **Neue Regelwerke zu den Themen Akustik und Lärmminderung (Juni – Sept. 2020)**
- **72 Publikationen**
  - 72 **Zeitschriften, Tagungsbände, Empfehlungen und Memoranden, Broschüren etc.**
- **74 Impressum**

# Aktuelles

## Nachrichten aus der Akustik

### ■ DAGA 2021: 47. Jahrestagung für Akustik



Die 47. Jahrestagung für Akustik wird vom 15. bis 18. August 2021 (neuer Termin!) in Wien stattfinden.

Alle Informationen zur Tagung (Termine, Teilnehmerregistrierung, Vortrags- und Rahmenprogramm) finden Sie auf den Seiten 58f oder unter <https://www.daga2021.eu/> ■

### ■ Digitale Veranstaltung zum Tag gegen Lärm 2020

#### Wie klingt die Stadt der Zukunft?

18. November 2020

In dieser Veranstaltung geht es um die Stadt der Zukunft, Verdichtung von Innenstädten, E-Mobilität, und Baustellen als Beiträge zur Veränderung von städtischen Strukturen.

Ausführliche Informationen zur Veranstaltung finden Sie auf Seite 56 oder unter <https://www.dega-akustik.de/stadt-der-zukunft>. ■

### ■ DEGA-Akademie

#### Kurs „DEGA-Schallschutzausweis“

26. November 2020

Ausführliche Informationen zum Kurs (Programm, Gebühren, Anmeldung) finden Sie auf Seite 56 oder unter <https://www.dega-akustik.de/akademie-schallschutzausweis>. ■

### ■ Rückschau auf das 13. DEGA-Symposium



„Akustik verbindet“ – unter diesem Motto fand das 13. DEGA-Symposium am 25.09.2020 statt. Es wurde erstmals per Live-Stream übertragen. In Braunschweig haben sich an diesem Tag u. a. die diesjährigen Preisträgerinnen und Preisträger der DEGA mit dem Vorstand getroffen, so dass die Preise der DEGA vor Ort persönlich übergeben werden konnten. Das bunte Programm umfasste drei Plenarvorträge, Grußworte und musikalische Beiträge, sowie den Film „Faszination Akustik – eine Reise durch die Welt des Schalls“. Abgerundet wurde der Tag mit der Mitgliederversammlung der DEGA, siehe Protokoll auf den Seiten 61ff.

Auf der Webseite <https://www.dega-akustik.de/13-symposium> stehen in Kürze einige Videos von den Preisverleihungen und Vorträgen zur Verfügung. ■

### ■ 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 unter <https://sound2020.org>.

Bitte beachten Sie, dass sich Schülerinnen und Schüler am einem kreativen Wettbewerb (<https://sound2020.org/society/student-competition>) beteiligen können; Einsendeschluss für Beiträge ist der 31.12.2020.

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

- Zwei neue Auszeichnungen werden im Jahr 2021 erstmalig verliehen: der DEGA-Lärmschutzpreis und der DEGA-Preis für Kommunikationsräume, siehe Seite 7.
- Das 13. DEGA-Symposium fand am 25.09.2020 unter dem Motto „Akus-

tik verbindet“ statt; Videos von den Preisverleihungen und Vorträgen sind in Kürze auf <https://www.dega-akustik.de/13-symposium> zu finden.

- Die Jahrestagung DAGA 2021 wird vom 15. bis 18. August 2021 in Wien stattfinden; nähere Informationen finden Sie auf den Seiten 58f und auf <https://www.daga2021.eu/>.

Weiterhin sei auf frühere Publikationen der DEGA hingewiesen, siehe

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

- YouTube-Video „Faszination Akustik – eine Reise durch die Welt des Schalls“ anlässlich des 50-jährigen DAGA-Jubiläums
- YouTube-Video „So klingt meine Welt“ aus den Einsendungen zum gleichnamigen Wettbewerb für Schülerinnen und Schüler im Jahr 2019
- Tagungsband zur Jahrestagung DAGA 2020 (trotz der Tagungs-Absage), inklusive Sonderteil zum 50-jährigen Tagungs-Jubiläum
- Editorial „2020 – das Internationale Jahr des Sounds“ im Akustik Journal, Ausgabe 01/20
- Pressemitteilung der DEGA zum International Year of Sound. ■

## ■ Online-Studienführer Akustik der EAA



EAA-Schola ist eine Onlinedatenbank für Akustikstudiengänge, die ehemals auch als DEGA-Studienführer bekannt war, siehe

<https://euracoustics.org/activities/schola>.

Die Datenbank bietet Suchfunktionen für Informationen über Institutionen und Lehrinhalte, die für Studierende der Akustik und verwandter Fächer rele-

vant sind. In einem aktuellen Projekt der DEGA werden die Inhalte aktualisiert und die Struktur und Nutzungsmöglichkeiten erweitert.

Wenn Sie in der Lehre tätig sind oder Ihre Einrichtung einen Akustikstudiengang / Kurse zu diesem Thema anbietet, möchten wir Sie um Ihre Mithilfe bitten, die bestehenden Informationen auf der EAA-Schola-Website zu aktualisieren und eventuell neu hinzugekommene Kurse hinzuzufügen. Bitte weisen Sie uns auch auf nicht mehr angebotene Kurse hin.

Um die Datenbank langfristig auf dem neuesten Stand zu halten, empfiehlt sich folgende Methode: Wir richten Ihnen gerne einen Editor-Zugang ein, falls es bisher noch keinen für Ihre Einrichtung gibt. Mithilfe des Accounts können Sie

über ein einfaches Interface Ihre Informationen zur Lehre auf der EAA-Schola-Website aktualisieren und ergänzen. In der Regel werden die Updates von Ihnen oder Kolleg\*innen Ihres Instituts oder Ihrer Einrichtung vorgenommen, welche bereits Updates für andere Lehrverzeichnisse machen und eventuell schon zugestimmt haben, Schola-Editor\*innen zu sein.

Sollten Sie nicht Ansprechpartner\*in sein, bitten wir Sie, uns andere potentielle Zuständige vorzuschlagen, die wir zukünftig kontaktieren können. Bitte senden Sie uns eine kurze E-Mail an die Adresse [schola@dega-akustik.de](mailto:schola@dega-akustik.de) mit der Anmerkung, ob Sie oder jemand anderes für zukünftige Aktualisierungen des EAA-Schola-Studienführers zuständig sein möchten.

Vielen Dank für das Lesen dieses Aufrufs! Wenn Sie Fragen zu Zugangsdaten, Datenschutz oder Editor-Funktion oder -aufgaben haben, helfen wir selbstverständlich gerne weiter. ■

*Anja Müller und Andrea Ebner  
(DEGA-Projektmitarbeiterinnen)*

*Malte Kob  
(DEGA-Projektmitarbeiter und  
Produktmanager EAA-Schola)*




**MICROTECH GEFELL**  
microphones & acoustic systems - founded 1928 by Georg Neumann



**MV 240 digital**  
1/2" Microphone  
Preamplifier



**MMS 214**  
1/2" Microphones



**MMS 212**  
1/2" Microphones

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

## ■ DEGA-Lärmschutzpreis – Ankündigung des Wettbewerbs

Die Deutsche Gesellschaft für Akustik (DEGA) initiiert den neuen DEGA-Lärmschutzpreis für innovative Lösungen für den städtebaulichen Lärmschutz in Deutschland. Auslober des Preises und Organisator des Wettbewerbs ist der Arbeitsring Lärm (ALD) der DEGA. Der DEGA-Lärmschutzpreis soll zu einem besseren Lärmbewusstsein beitragen und die Sammlung innovativer Lösungen für den Lärmschutz bereichern. Der Preis bezieht sich auf umgesetzte, innovative Maßnahmen, Technologien und Konzepte zum Schutz vor Umgebungslärm (Straßen-, Schienen- und Luftverkehr, Gewerbe- und Freizeitlärm usw.) mit dem Schwerpunkt auf Lärmschutzmaßnahmen im öffentlichen Raum (die den Außenpegel mindern bzw. psychoakustische Größen optimieren) und dem Schutz „Ruhiger Gebiete“. Die Maßnahmen, Produkte oder Konzepte können technische, planerische, organisatorische oder rechtliche Aspekte umfassen. Er wird zum Tag gegen Lärm verliehen, zum ersten Mal im April 2021 zum Tag gegen Lärm 2021.

Antragsberechtigt sind alle Akteure beim städtebaulichen Lärmschutz (Stadtverwaltungen, Verbände, Fachplanerinnen und Fachplaner, Bürgerinnen und Bürger). Die Bewerbungsunterlagen sind per E-Mail oder schriftlich an die DEGA-Geschäftsstelle bis spätestens zum 31.01.2021 einzureichen.

Es gibt jeweils einen Sieger- bzw. Siegerinnen-Beitrag. Die Auszeichnung erfolgt über eine Urkunde mit einer Würdigung der Beispielhaftigkeit der eingereichten Arbeit und der öffentlichkeitswirksamen Publikation des Gewinner-Beitrags in den Medien der DEGA und des ALD. Die Preisverleihung erfolgt in Zusammenhang mit dem Tag gegen Lärm am 28. April 2021 auf einer geeigneten Veranstaltung oder auch am Ort des prämierten Lösung.

Ausführliche Informationen zu den Wettbewerbs-Bedingungen finden Sie unter <https://www.dega-akustik.de/dega-laermschutzpreis> bzw. in der dortigen Preisverleihungsordnung. ■

## International Year of Sound 2020–2021



Zum International Year of Sound 2020–2021 initiiert die Deutsche Gesellschaft für Akustik (DEGA) zwei neue Auszeichnungen:

- DEGA-Lärmschutzpreis für innovative Lösungen für den städtebaulichen Lärmschutz in Deutschland
- DEGA-Preis für Kommunikationsräume

## ■ DEGA-Preis für Kommunikationsräume – Ankündigung

Die Deutsche Gesellschaft für Akustik (DEGA) initiiert den neuen DEGA-Preis für Kommunikationsräume. Dieser Preis prämiert öffentlich zugängliche Räume für die Sprachkommunikation mit hervorragender Raumakustik. Diese soll so gestaltet sein, dass sie die akustische (sprachliche) Kommunikation durch kreative Lösungen für Akustikprobleme, auch unter schwierigen architektonischen oder Denkmalschutz-Randbedingungen, positiv unterstützt und dabei die Vorgaben einschlägiger Regelwerke in besonderer Weise aufgreift oder übertrifft. Explizit werden Räume für Personengruppen mit besonderen akustischen Anforderungen, wie Kinder, Ältere, Schwerhörige, Fremdsprachler, einbezogen. Die Präferenz liegt auf raumakustischen Lösungen, die die gewünschte Wirkung auch ohne elektroakustische Maßnahmen erzielen, wobei innovative Hybridlösungen aus Raumakustik- und Elektroakustikmaß-

nahmen nicht ausgeschlossen sind.

Bewerbungen für diesen neuen Preis können bis zum 15.03.2021 bei der DEGA-Geschäftsstelle eingereicht werden. Bewerben können sich Akustikplanerinnen und -planer, Architektinnen und Architekten, Schulen und Schulämter, Bauträger, Bauämter usw. (ohne spezielle Beschränkung) einzeln oder in einem Zusammenschluss - kurz alle, die eine kreative Raumakustik-Lösung im Sinne des Preises vorgeschlagen oder umgesetzt haben. Der Preis wird im August 2021 auf der DAGA-Tagung in Wien in einem verlängerten Zeitfenster des Tagungsprogramms verliehen, in dem der Raum durch eine Vertreterin / einen Vertreter des Gewinnerteams präsentiert werden soll.

Ausführliche Informationen zur Bewerbung und den nötigen Unterlagen finden Sie auf

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



**Hören** ist Emotion,  
**Psychoakustik** unsere Passion.

# Angewandte Orgelforschung am Fraunhofer IBP in Stuttgart

Judit Angster

Musikinstrumente sind weltweit tief in den kulturellen Traditionen verwurzelt. Sie sind Teil unseres kulturellen Erbes und ihre Erhaltung und Weiterentwicklung verdient unsere größte Aufmerksamkeit. Das Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) beschäftigt sich seit vielen Jahren mit der Erforschung und Weiterentwicklung europäischer Musikinstrumente, insbesondere der Pfeifenorgel. Die Erhaltung des Klangs, die Unterstützung beim Bau von Instrumenten sowie der Beitrag zur Weiterentwicklung durch die Integration moderner Technologien stehen im Mittelpunkt der gemeinsamen Forschung mit anderen Forschungseinrichtungen und einer Vielzahl von europäischen Orgelbauunternehmen.

In mehr als 25 Jahren wurden 9 gemeinsame europäische und mehrere andere Forschungsprojekte durchgeführt. Einige Beispiele für die Themen sind die Entwicklung von 1) verschiedenen Arten von neuen Windsystemen, Methoden und Softwaretools für die Planung, 2) Entwurfsmethoden, Tools und Softwaretools mit Computersimulationen für Lippen- (Labial) und Zungen- (Lingual) Orgelpfeifen, 3) innovative Jalousien, 4) Entwurfsmethoden und spezielle Werkzeuge zur Anpassung des Instruments an die Raumakustik. Das Forschungsverfahren, die Art der Kommunikation mit Instrumentenbauern, die Ausarbeitung von Projektanträgen, die Koordinierung bzw. Leitung der Teamarbeit bei der Durchführung von Europäischen Forschungsprojekten, die Methode der Demonstration und Verbreitung der Forschungsergebnisse werden auch kurz vorgestellt.

## Einführung

Die Forschungsgruppe Musikalische Akustik des Fraunhofer IBP in Stuttgart beschäftigt sich hauptsächlich mit der Orgel. Die Herstellung von Orgeln ist ein traditioneller europäischer Industriesektor, der erhalten bleiben sollte. Dennoch können innovative Entwurfsmethoden und -technologien in der täglichen Praxis angewendet werden, ohne die wertvollen Traditionen zu gefährden. Da Judit Angster aus der bekannten Orgelbauerfamilie Angster stammt, entschied sie sich, den kleinen Orgelbauernfirmen in Europa bei der Überwindung ihrer praktischen Probleme zu helfen. Orgelbauer sind Handwerker, die nicht in der Lage sind ein Instrument als komplexes physikalisches System zu betrachten und

## Applied pipe organ research at the Fraunhofer IBP in Stuttgart

Throughout the world, musical instruments are deeply rooted in cultural traditions. They are part of our cultural heritage, and their preservation and further development deserves our utmost attention. For many years, the Fraunhofer Institute for Building Physics IBP has been engaged in the research and development of European musical instruments, the pipe organ in particular. To preserve its sound, to give support in building instruments as well as to contribute to the further development by integrating modern technologies are the focus of the joint research with other research institutions and a multitude of European organ building enterprises. In 25 years 9 common European and several other research projects were carried out. Some examples of the topics will be mentioned like development of 1) different kinds of new wind systems, methods and software tools for the design, 2) design methods, tools and software applying computer simulations for flue and reed organ pipes, 3) innovative swell shutters, 4) design methods and comprehensive tools for matching the instrument to the acoustics of the room. Also the procedure of research, way of communication with instrument manufacturers, the preparation of project proposals, the coordination and leadership of teamwork in the implementation of European research works, the method of demonstration and dissemination of research results will be briefly presented.

zu behandeln, um besondere Probleme zu überwinden. Hauptziel der Forschungs- und Entwicklungsarbeit am IBP war es daher, angewandte Forschung zu betreiben, damit die Ergebnisse direkt in der Praxis genutzt werden können. Dennoch musste auch Grundlagenforschung betrieben werden, um sich dann auf die Anwendung konzentrieren zu können. Diese Veröffentlichung basiert teilweise auf dem Plenarvortrag am „International Symposium on Musical Acoustics“ in Detmold, 2019 [1].

## Die Orgelbaufirma Angster

Die Orgelbaufirma Angster wurde im Jahr 1867 von Josef Angster (Urgroßvater von Judit) gegründet [2, 3]. Sie wurde später von Emil Angster (Großvater)



Abb. 1: links: Bild der Orgel- und Harmoniumbauwerkstätte Josef Angster und Sohn (Briefkopf); rechts: Angster-Orgel in der Basilika zu Pécs (Fünfkirchen) – Opus 100, 46 Register, 3 Manuale (1889).

und dann von Josef Angster Junior (Vater) übernommen. In den besten Zeiten arbeitete die Firma „Josef Angster und Sohn“ mit 120 Mitarbeitern. Sie war die größte Orgelbaufirma in der Österreichisch-Ungarischen Monarchie (Briefkopf) und später in Ungarn (Abbildung 1). In acht Jahrzehnten wurden in der Firma 1.300 Orgeln und 3.600 Harmonien gebaut [4]. Die Orgelfabrik wurde Ende 1949 aus politischen Gründen verstaatlicht, ihre Geschäftsführer wurden verurteilt und die Fabrik wurde geschlossen.

### Art der Kommunikation mit Instrumentenbauern

Die erste Herausforderung bei der Durchführung eines Forschungsprojektes in Zusammenarbeit mit Instrumentenbauern ist die „Übersetzung“ der praktischen Probleme in die „Sprache“ der wissenschaftlichen Forschung. Die Instrumentenbauer erklären ihre Probleme aus der Sicht der praktischen Arbeit. Akustische Phänomene werden durch künstlerische Ausdrucksformen beschrieben. Die Fragen müssen auf eine spezielle wissenschaftliche Weise formuliert werden, damit die Antworten auf die aufgeworfenen Fragen durch wissenschaftliche Forschung gegeben werden können. Dies ist immer eine ziemlich schwierige Aufgabe, die in einem Projektantrag zu realisieren ist. Darüber hinaus muss man bei der Durchführung der Arbeiten vorsichtig sein, damit die Instrumentenbauer-Partner verstehen können, wie Forschung betrieben werden muss. Andernfalls verlieren die Projektpartner – die in der Regel die Arbeit unterstützen und Teil des Projektes sind – den Sinn an der Teilnahme. Im Allgemeinen ist es „einfach“, physikalische Probleme zu lösen, z. B. durch die Lösung von Differenzialgleichungen. Dennoch kann man für einen Instrumentenbauer nie über solche theoretischen Lösungen berichten. Daher ist der nächste Schritt die Übersetzung der Forschungsergebnisse in die Sprache der Handwerker. Bei Meetings waren die Orgelbauer erstaunt, wie einfach und verständlich Physik sein kann. So ist es gelungen, mehrere Forschungs-

projekte mit zahlreichen europäischen Orgelbauunternehmen durchzuführen [5].

Ein Nachteil bringen solche anwendungsorientierte Forschungsprojekte mit sich: Die anwendbaren Ergebnisse sind Eigentum der Unternehmen und dürfen daher erst nach mehreren Jahren nach Abschluss der Arbeiten veröffentlicht werden. Aus diesem Grund ist es geplant, die wichtigsten Ergebnisse früherer vertraulicher europäischer Projekte in einem Buch zusammenzufassen. Dennoch wurde die Verbreitung des Wissens so schnell wie möglich in Form von Workshops für Orgelbauunternehmen durchgeführt. Diese Workshops waren international die einzige Möglichkeit für Orgelbauer, sich über die Akustik der Orgel zu informieren und sich in die Anwendung von Forschungsergebnissen, Entwurfsmethoden und Software einweisen zu lassen [6].

### Der EU-Projektantrag

Die Anträge wurden meistens in den EU-Programmen gestellt, die die KMU (Klein- und Mittelständische Unternehmen) unterstützten (z. B. EU CRAFT, Research for SMEs – solche Programme stehen zurzeit bei der EU nicht mehr zur Verfügung). Die Ausarbeitung eines Antrags, die immer vom IBP entworfen wurden, hat meistens mehrere Monate gedauert, wobei auch viele Besprechungen mit den werdenden Partnern geführt wurden. Mit der investierten Arbeit und dem Zeitaufwand hätte ein Fachbuch geschrieben werden können. Die Wahrscheinlichkeit, um ein solches Forschungsprojekt bekommen zu können, betrug oft etwa 7 %. Für die Unterstützung der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in der Orgelbranche wurden keine anderen z. B. nationalen Möglichkeiten in Aussicht gestellt.

In den ausführlichen Projektanträgen mussten die Themen und die Aufgaben detailliert ausgearbeitet werden, die Messtechniken, die Arbeitsmethoden und die, für die Forschung benötigten Orgelteile, bzw. -modelle im Voraus bestimmt werden. In den einzelnen europäischen Projekten haben 11 bis 15

Partner aus 8 bis 10 Ländern zusammengearbeitet. Diese Europäischen Forschungsprojekte waren von Natur aus so aufgestellt, dass sie nur in sehr gut organisierter Teamarbeit durchgeführt werden konnten. Das größte Forschungsteam befand sich immer am Fraunhofer IBP in Stuttgart, jedoch gehörten auch Wissenschaftler anderer Institute/Universitäten mit verschiedenen Fachgebieten aus anderen europäischen Ländern dazu. Sobald die für mehrere Jahre vertraulichen Ergebnisse veröffentlicht werden durften, wurden sie im Allgemeinen auch im Team publiziert.

### Beispiele für Forschungsthemen

Einige Forschungsthemen werden nachfolgend beispielhaft erwähnt, um damit zu zeigen, wie die praktischen Probleme angegangen und in die Forschung umgesetzt werden, um am Ende von den Instrumentenbauern anwendbare Ergebnisse zu erzielen.

### Dimensionierung von Lippenorgelpfeifen

Im Orgelbau ist die Pfeifendimensionierung ein komplizierter Prozess. Alle geometrischen Abmessungen einer Lippen- (Labial)pfeife, wie Durchmesser, Kernspaltenbreite, Aufschnitt usw. (Abbildung 2), müssen so bestimmt werden, dass ihr Klang den

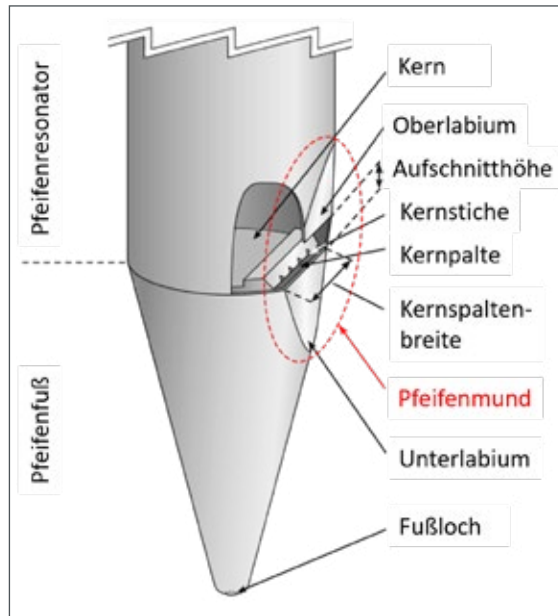


Abb. 2: Die Teile einer Lippenorgelpfeife.

vom Orgelbauer definierten Anforderungen entspricht: Jede Pfeifenreihe (bestehend aus bis zu 61 Pfeifen mit gleichem Klangcharakter, z. B. „Prinzipal“, „Rohrflöte“, „Salizional“) hat eine charakteristische Klangfarbe, die über den gesamten Tonumfang von tiefen bis hohen Tönen deutlich erkennbar und

## Schallschutz- und Akustiklösungen weltweit



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

[deutschland@iac-gmbh.de](mailto:deutschland@iac-gmbh.de)  
[www.iac-gmbh.de](http://www.iac-gmbh.de)

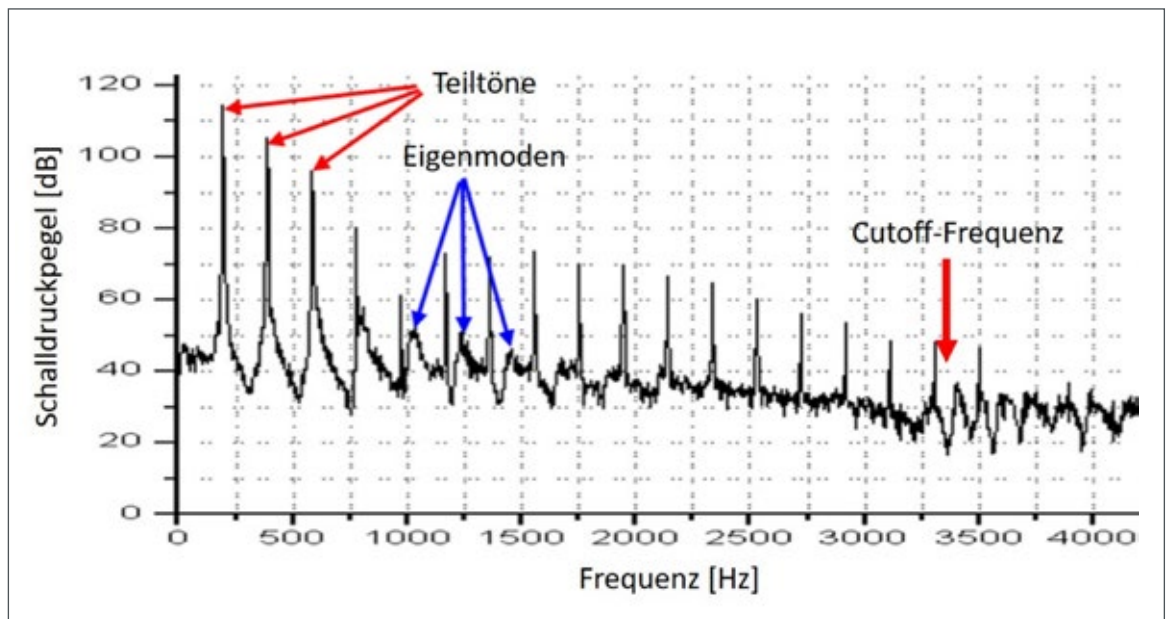


Abb. 3: Klangspektrum einer Lippenpfeife [25, 26].

ausgewogen sein sollte. Der Klang an der Zuhörerposition wird jedoch stark von der Raumakustik beeinflusst. Bei der Planung einer Orgel beurteilt der Orgelbauer die spezifischen Raumeigenschaften und bestimmt alle Pfeifendurchmesser, die für eine ausreichende Schallleistung erforderlich sind. Dann wird hoffentlich eine gleichmäßige Lautstärke- und Klangverteilung beim Orgelspielen erreicht. Verstärkt ein Raum beispielsweise tiefe und unterdrückt hohe Frequenzen, so müssen die Durchmesser von tiefen Pfeifen und damit ihre Schallleistung verringert und die von hohen Pfeifen erhöht werden, um den Einfluss des Raumes auszugleichen (mehr siehe unter „Anpassung der Pfeifenorgel an die Raumakustik“).

#### Lippenpfeifen – Funktionsweise, Spektren und Problemstellung

Die Funktionsweise von Lippenpfeifen wurde in mehreren Projekten ausgiebig untersucht und veröffentlicht (Grundlagenforschung). Ausführlich wurden der Schneidenton, die Kernstiche, die Kernspalte, die Aufschnittshöhe, die Pfeifenwand-Schwingung, die verschiedenen Stimmungsverfahren der Pfeifen, die Strömung im Pfeifenfuß, die Strömung am Labium, usw. untersucht [7–24]. Beim Aktivieren der Pfeife strömt Luft durch das Fußloch in den Pfeifenfuß. Beim Durchdringen der Kernspalte entsteht ein Luftband, welches periodisch schwingt und dadurch abwechselnd in den Resonator beziehungsweise nach außen gerichtet ist. Hierdurch bilden sich im Resonator stehende Wellen aus. Der hörbare Pfeifenklang entsteht schließlich durch Abstrahlung von Schallenergie am Labium und am Pfeifenende (bei offenen Pfeifen). Die

grundlegenden Eigenschaften des Klangspektrums einer solchen Pfeife sollen anhand von Abbildung 3 erklärt werden.

Die Teiltöne des stationären Pfeifenklangs sind ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz und treten in jedem Spektrum auf, obgleich deren Amplitude stark unterschiedlich sein kann. Die Eigenmoden sind die Eigenfrequenzen des Resonators. Im Allgemeinen sind diese aufgrund einer frequenzabhängigen Mündungskorrektur nicht harmonisch. Wenn die Eigenfrequenzen mit den Teiltönen zusammenfallen, werden diese verstärkt. Trifft jedoch ein Teilton auf eine Minimumposition der Resonanzkurve zwischen zwei Eigenresonanzen, so wird dieser stark abgeschwächt. Ab einer bestimmten Frequenz, der sogenannten „Cutoff-Frequenz“ treten neben den sonst üblichen Longitudinalmoden vom Resonator-Durchmesser abhängige Transversalmoden auf, deren Einsatz im Spektrum als ein Minimum in der Grundlinie klar erkennbar ist.

Sowohl Hilfe für ein besseres Verständnis der Physik der Lippenpfeifen als auch praktische Tools wurden im Laufe von 2 EU-Projekten ausgearbeitet [27, 28]. Als nächstes wird ein Beispiel für die Dimensionierung von Rohrflöten gezeigt.

#### Dimensionierung von Rohrflöten

Rohrflöten sind halboffene Lippenorgelpfeifen, deren Resonator aus zwei Hauptteilen besteht: einem geraden zylindrischen Hauptteil (Pfeifenkörper) und einem kürzeren und dünneren Röhrchen, das an seiner Oberseite befestigt ist (Abbildung 4a). An diesem Beispiel kann gut erklärt werden, mit welcher Methode die Dimensionierung von Lippenorgelpfeifen erfolgen kann.

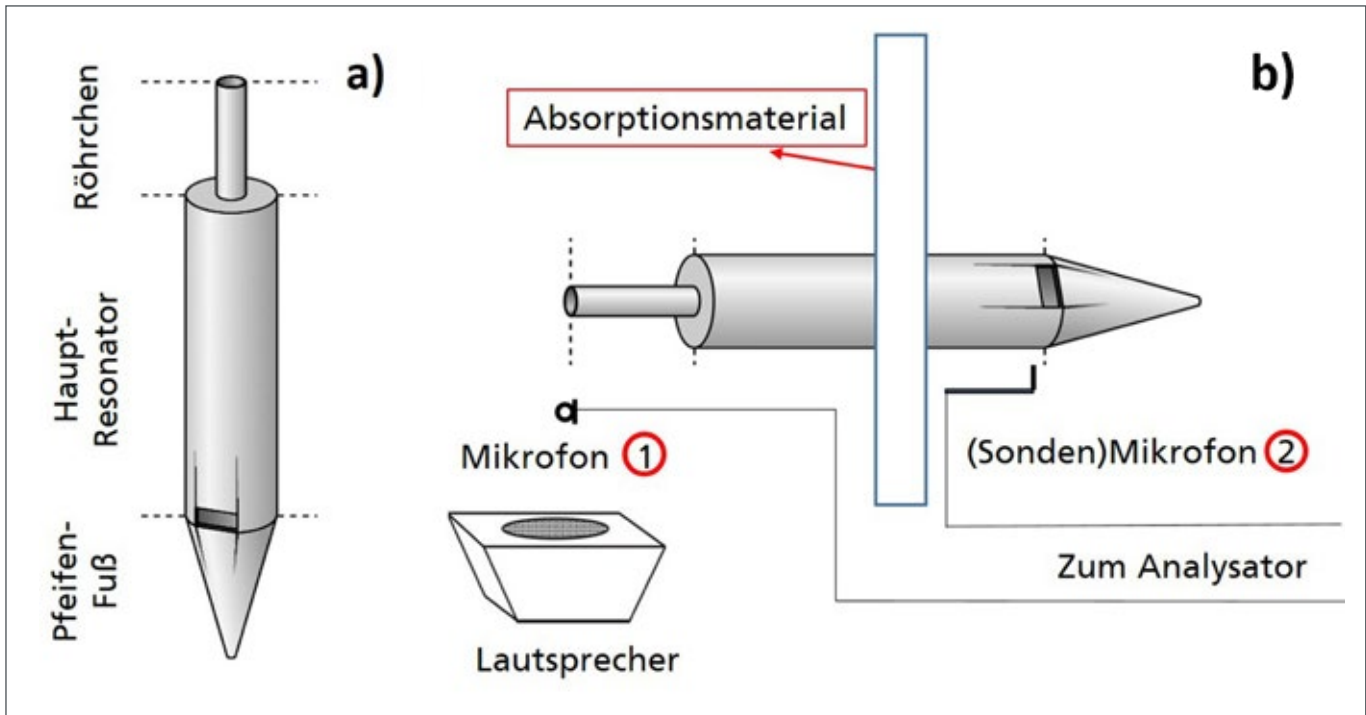


Abb. 4: a) Skizze einer Rohrflöte. b) Messung der Übertragungsfunktion: Der Pfeifenresonator wird durch einen Lautsprecher angeregt; das (Sonden)Mikrofon 2 befindet sich im Resonator dem Pfeifenmund gegenüber.

Die Länge und der Durchmesser des kleinen Rohres können variieren, so dass der Orgelbauer die Klangfarbe der Pfeife anpassen kann. Rohrflöten in barocken Pfeifenorgeln sollten einen Klang haben, der am stärksten an der reinen Quinte (dritte Harmonische) klingt, während romantische Instrumente mehr große Terz (fünfte Harmonische) im Klang erfordern. Um diese Anforderungen erfüllen zu können, bedarf es spezieller Konstruktionsregeln zur Bestimmung der Abmessungen der beiden miteinander gekoppelten Resonatoren (Pfeifenkörper und Röhrchen), damit der gewünschte Klangcharakter erreicht werden kann. Das Verfahren zur Bestimmung der geeigneten geometrischen Abmessungen von Orgelpfeifen mit dem Ziel, eine vordefinierte Klangfarbe zu erhalten, wird als „Sound Design oder Klanggestaltung“ bezeichnet. In den von den Orgelbauern initiierten und vom Team um die Autorin dieses Artikels durchgeführten Forschungsarbeiten wurde eine neuartige Methodik für die Klanggestaltung von Lippenorgelpfeifen, unter anderen von Rohrflöten, entwickelt und in einem Softwaretool implementiert. Dadurch kann das bisher komplizierte Dimensionierungs- und Intonationsverfahren (d.h. Einstellen von Tonhöhe und Klangfarbe) von Lippenorgelpfeifen (und damit auch von Rohrflöten) effektiver gestaltet werden. Akustische Messungen wurden im reflexionsarmen Raum des Fraunhofer IBP in Stuttgart durchgeführt (Abbildung 5). Die Idee des vorgeschlagenen Sound-Design-Ansatzes ist es also, die Eigenfrequenzen des Resonators mithilfe von Computersimulation so einzustellen,

dass sie mit den Frequenzen der vordefinierten harmonischen Teiltöne des Klangs übereinstimmen [29, 30]. Um die Richtigkeit der Simulation herzustellen, wurden die Eigenfrequenzen des Resonators durch eine Übertragungsfunktionsmessung, wie in Abbildung 4b dargestellt, aufgenommen. Wenn sich ein harmonischer Teiltone mit einer Eigenfrequenz überlappt, wird die entsprechende Eigenmode sehr effizient angeregt und somit ist die Verstärkung des Teiltöne zu erwarten. Durch Computersimulation wird die sogenannte Eingangsadmittanz (d.h. das

Abb. 5: Akustische Messungen im reflexionsarmen Raum des Fraunhofer IBP in Stuttgart.



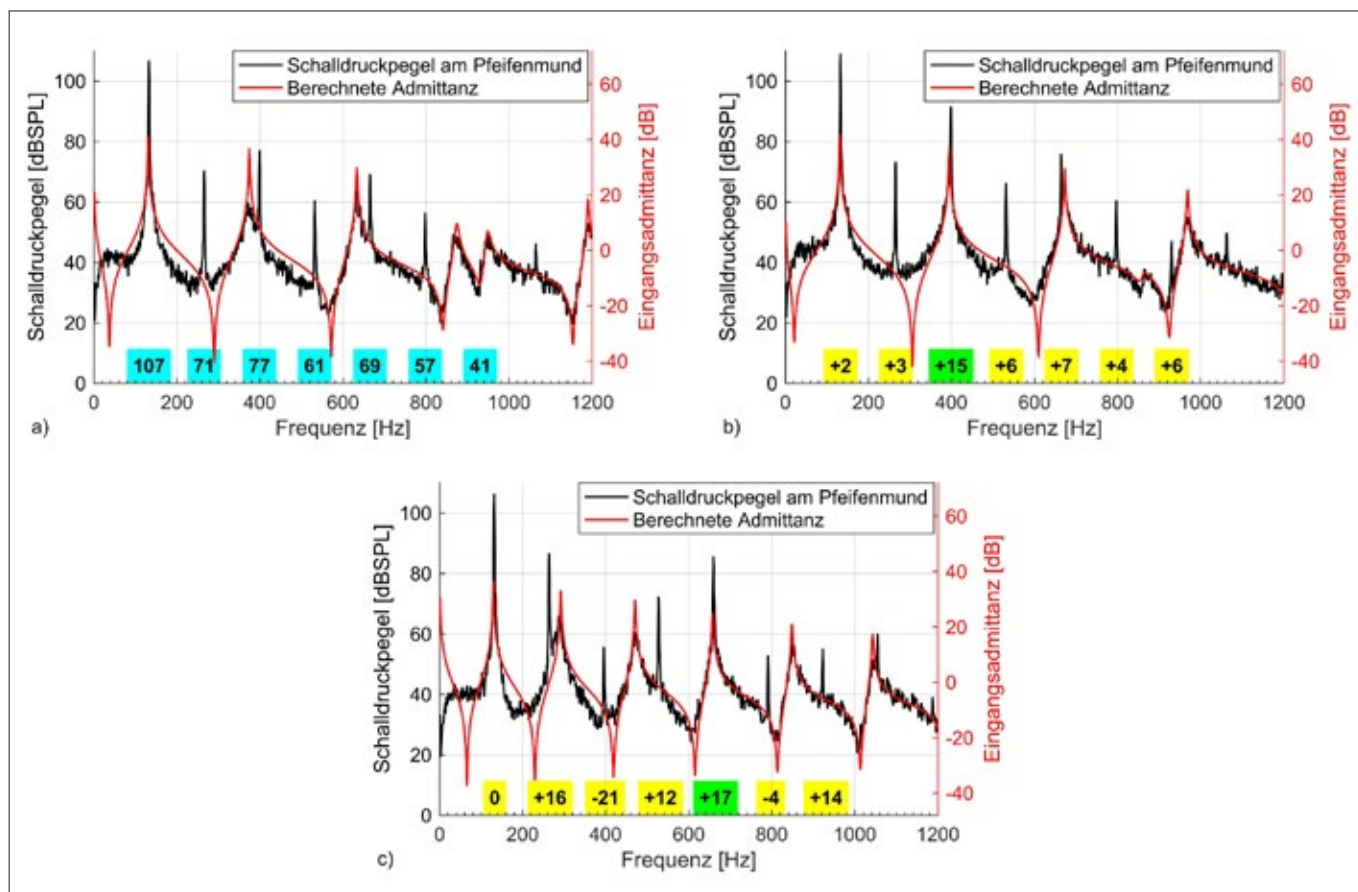


Abb. 6: a-c) Gemessene Spektren (schwarz) und berechnete Eingangsadmittanz (rot) der experimentellen Rohrflöten. a) Referenzpfeife; die Zahlen auf dem blauen Hintergrund sind die Amplituden der ersten sieben harmonischen Teiltöne. b) Optimiertes Design, das den dritten Teilton (reine Quinte) um 15 dB verstärkt. c) Optimiertes Design, das die Quinte (große Terz) um 17 dB verstärkt. Die Zahlen auf dem grünen und gelben Hintergrund zeigen die relativen Pegel der harmonischen Teiltöne im Vergleich zur Referenzpfeife.

Verhältnis von akustischer Volumengeschwindigkeit und Schalldruck am Pfeifenmund) berechnet [31]. Die Spitzen der Eingangsadmittanz entsprechen den Spitzen der Eigenresonanzen. Die Leistungsfähigkeit (Richtigkeit) des entwickelten Softwaretools wurde getestet, indem experimentelle Rohrflöten mit den von dem Softwaretool berechneten Abmessungen gebaut und deren gemessene Schallspektren mit den Ergebnissen der Computersimulationen verglichen wurden. Die gemessenen stationären Schallspektren und die berechneten Eingangsadmittanzen sind in Abbildung 6 dargestellt. In jedem Diagramm wird das am Pfeifenmund gemessene Schalldruckspektrum und die berechnete Eingangsadmittanz durch die schwarzen bzw. roten Linien angezeigt. Die breiten Spitzen in den Klangspektren entsprechen den natürlichen akustischen Resonanzen der Pfeife, während die scharfen Spitzen die harmonischen Teiltöne des Pfeifenklangs sind. Das Bemessungsverfahren ist erfolgreich, wenn einer der Spitzen der roten Kurven in Abbildung 6b–c mit dem zu verstärkenden Teilton übereinstimmt. Abbildung 6a zeigt das Klangspektrum der Referenzpfeife (eine Rohrflöte mit den üblichen Abmessungen) mit den Amplituden der ersten sieben Teiltöne,

angegeben durch die Zahlen auf dem blauen Hintergrund. Die Referenzpfeife hat einen starken Grundton im Klang, während die höheren Harmonischen sehr schwach sind. Abbildung 6b und c zeigen die Ergebnisse der für den dritten bzw. fünften Teilton optimierten Rohrflöten. Die Zahlen auf dem grünen Hintergrund zeigen die Verstärkung des angestrebten harmonischen Teils im Vergleich zu den gemessenen Pegeln bei der Referenzpfeife an. Die Zahlen auf dem gelben Hintergrund zeigen die gleichen Veränderungen in den Pegeln der anderen Harmonischen. Wie man sieht, können die optimierten Resonatoren die angestrebten Teiltöne um mehr als 15 dB verstärken und gleichzeitig den Grundton konstant halten. Diese Verstärkung kann als wesentlich angesehen werden, wenn man bedenkt, dass sich die Experimentierpfeifen nur in der Geometrie ihrer Resonatoren unterscheiden. Das entwickelte Softwaretool wird in der praktischen Arbeit der Orgelbauerpartner des Projekts eingesetzt [32].

#### Dimensionierung von Holzpfeifen

Die Forschungspartner in den europäischen Forschungsprojekten wollten die großen Holz-Pedalpfei-

fen schmäler als bisher bauen, ohne den Klangcharakter zu beeinflussen. Häufig gibt es nur wenig Platz für diese Pfeifen. Zudem könnte bei schmalere Pfeifen die Windlade in kürzerer Form und damit kostengünstiger gebaut werden. Holzpfeifen haben immer einen rechteckigen Querschnitt (Abbildung 7). Ihre Labienbreiten (= Pfeifenbreiten) entsprechen denen der Referenzpfeifen (runde Metallpfeifen mit gleicher Tonhöhe und ähnlicher Klangfarbe). Ihre Tiefen werden traditionell so berechnet, dass der rechteckige Querschnitt  $A_{w,trad}$  gleich dem kreisförmigen Querschnitt  $A_{ref}$  der Referenzpfeifen ist (Abbildung 8a). Wie bereits erwähnt, werden die Pfeifen manchmal zu breit, so dass die Gesamtbreite eines ganzen Pfeifenregisters nicht in den verfügbaren Raum innerhalb der Orgel passt. Deshalb wurde eine neue Berechnungsmethode entwickelt [33]. Dabei verschmälert der Orgelbauer zunächst die Pfeifen, bis die Pfeifenreihe in den verfügbaren Raum passt. Um eine wesentliche Veränderung des Klangcharakters zu vermeiden, werden dann deren Tiefen so berechnet, dass anstelle der Querschnitte die Energieverluste bzw. Gütefaktoren  $Q$  (Abbildung 8b) der traditionellen und neuen Holzpfeifen gleich werden. Mithilfe der Berechnungen wurde ebenfalls ein Softwaretool entwickelt, womit die Orgelbauer die Holzpfeifen dimensionieren können (Abbildung 8c) [32, 33].

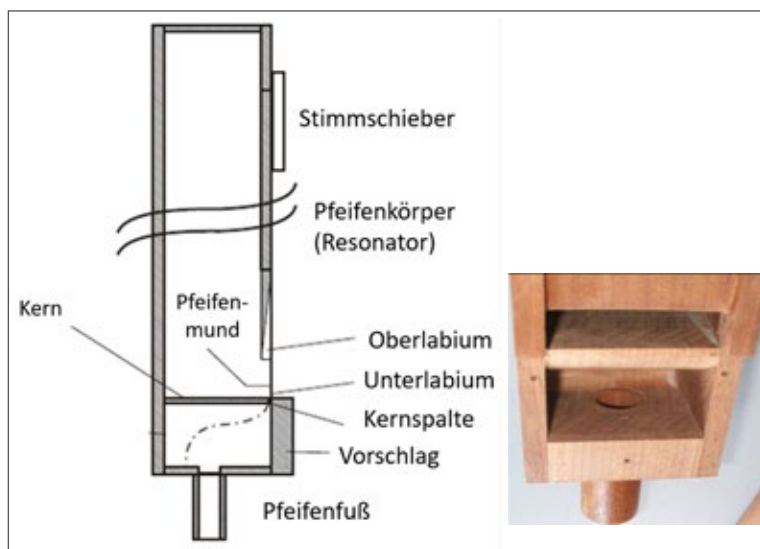
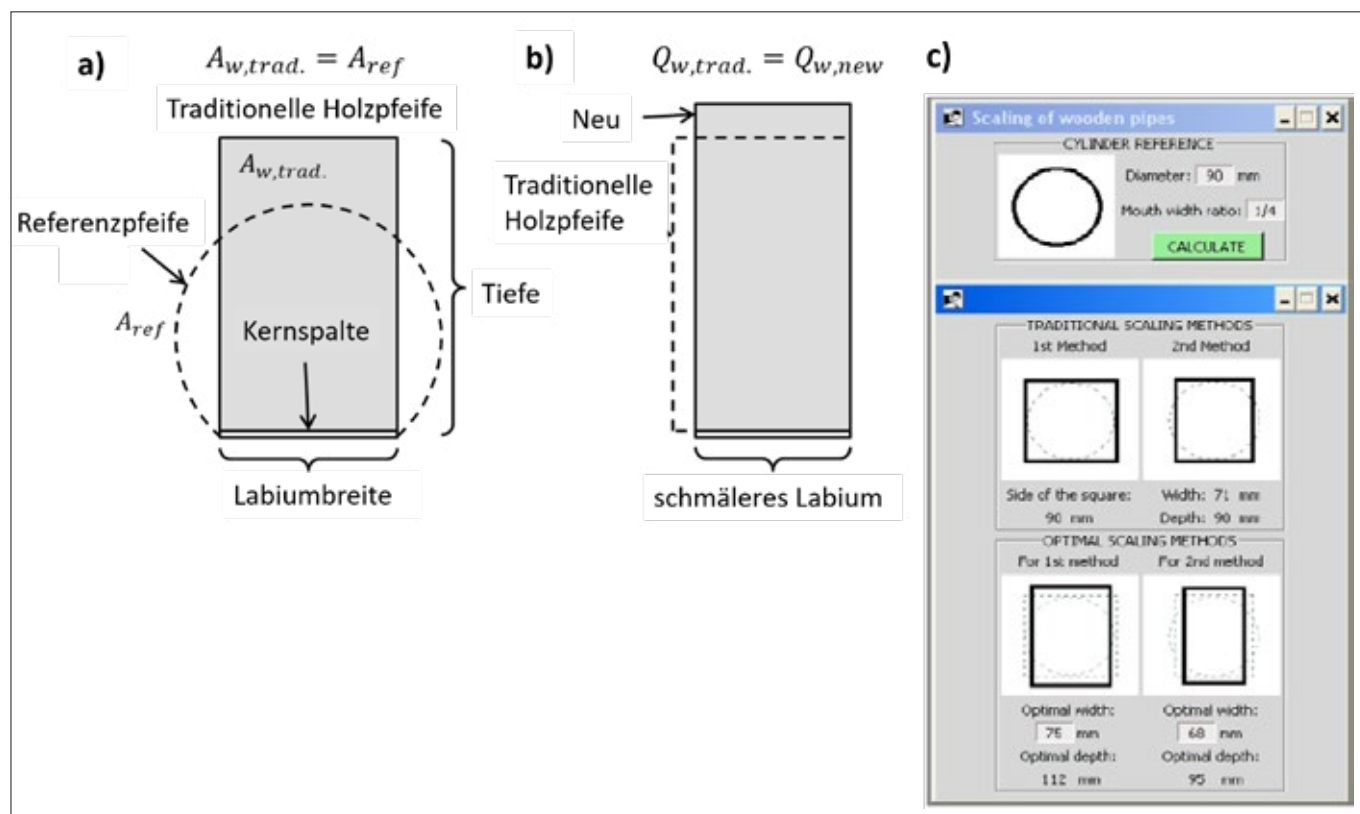


Abb. 7: Aufbau einer Holzpfeife.

Die neue Berechnungs- und Konstruktionsmethode wurde durch den Bau und die Messung von Versuchspfeifen getestet, wodurch die Anwendbarkeit der vorgeschlagenen Methode bewiesen wurde. So ist es nun möglich, schmalere Holzpfeifen zu bauen, die die Klangqualität der Pfeifen mit Standardabmessungen beibehalten.

Abb. 8: a) Traditionelle Dimensionierung von Holzpfeifen mit gleichen Querschnitten der runden Metall-Referenzpfeifen, b) innovative Dimensionierung von Holzpfeifen mit gleichen Verlusten (Gütefaktoren), c) Screenshot des entwickelten Softwaretools „Optimale Dimensionierung von Holzpfeifen“



## Dimensionierung von Zungenorgelpfeifen

### Zungenpfeifen – Funktionsweise und Problemstellung

Der Klangerzeugungsmechanismus von Zungenpfeifen ist ein komplexes physikalisches Phänomen. Die Zungenpfeife besteht aus drei Hauptteilen: dem Stiefel, der Nuss mit der Kehle und der Zunge und dem Resonator (siehe Abb. 9a). Bei der Kehle handelt es sich um ein hohles Metallröhrchen, das auf einer Seite abgeflacht und mit einem Schlitz versehen ist. Durch eine gebogene Stimmkrücke aus Metall wird die Zunge an einer Stelle auf die Kehle gedrückt, unterhalb dieser Kontaktstelle kommt es zu einem Abstand zwischen Zunge und Kehle aufgrund des Aufwurfes der Zunge, was in der Seitenansicht einer Trompetenkehle in Abbildung 9b zu erkennen ist [34].

Wenn die Zungenpfeife angeblasen wird, strömt die Druckluft (Wind) durch das Fußloch in den Stiefel und durch die Kehle. Das Auftreten des dynamischen Drucks, der den statischen Druck innerhalb der Kehle verringert (BERNOULLI-Effekt), sorgt dafür, dass die aufgeworfene Zunge an die Kehle herangezogen wird. Der Aufprall der Zunge auf die Kehle sowie die Rückstellkräfte der Zunge sorgen dafür, dass die Zunge zurückschwingt und der Vorgang von vorne beginnt [35–37]. Je nach Pfeifensorte schlägt dabei die Zunge auf die Kehle (aufschlagende Zunge, z. B. Trompetenpfeifen) oder wird – wenn der Schlitz breiter ist als die Zunge – in die Kehle hineingezogen (durchschlagende Zunge, z. B. Klarinettenpfeifen).

Die Tonhöhe der Pfeife wird durch die Kopplung von zwei schwingenden Systemen, der schwingenden Zunge und dem akustischen Resonator-Kehle-System [38, 39] bestimmt. Die Stärke der Kopplung variiert in einem weiten Bereich für verschiedene Sorten von Zungenpfeifen. Trompetenpfeifen zeichnen sich durch eine starke Wechselwirkung zwischen

Resonator und Zunge aus, während bei Registern wie dem Vox Humana die Kopplung typischerweise schwach ist. In beiden Fällen hat der Resonator einen großen Einfluss auf die Klangfarbe der Pfeife. Bei schwacher Kopplung wirkt der Resonator wie ein Filter, der bestimmte harmonische Teiltöne im Pfeifenklang verstärken oder unterdrücken kann.

Gespräche mit Orgelbauerpartnern im Rahmen eines europäischen Projekts [40] haben gezeigt, dass es keine gemeinsamen Regeln für die Auslegung von Zungenpfeifenresonatoren gibt. Auch Messungen belegen, dass die in der Praxis angewandten Faustregeln die Möglichkeiten des Resonators nicht voll ausschöpfen. Ziel unserer Forschung war es daher, eine optimale Dimensionierung der Zungenpfeifenresonatoren zu erreichen, was in der Praxis zu Kosten- und Aufwandsreduzierungen führen kann [41]. Daher wurde eine Methodik entwickelt, die ein eindimensionales analytisches Modell mit einer dreidimensionalen Finite-Elemente-Simulation kombiniert, um das akustische Verhalten von Zungenpfeifenresonatoren vorherzusagen. Die vorgeschlagene Methode wird durch Vergleiche mit Messungen validiert und es wird gezeigt, dass die Technik in der Lage ist, die Eigenfrequenzen des Resonators genau zu berechnen [42].

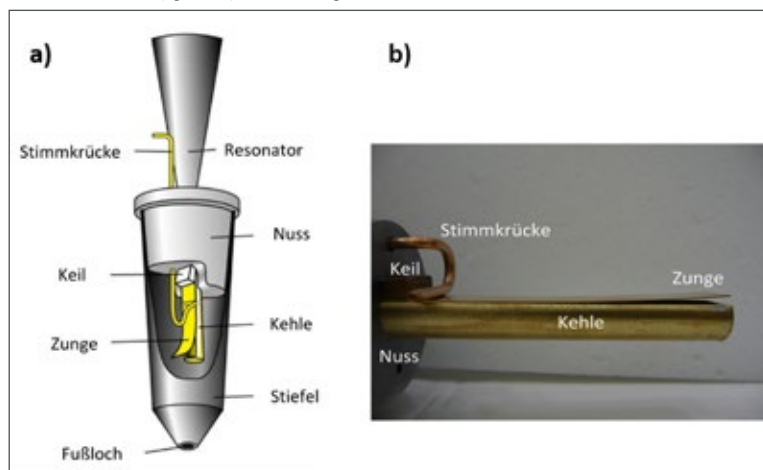
Als Beispiel wird die Dimensionierungsmethode für Zungenpfeifen auf einer „Vox Humana“-Pfeife vorgestellt, die die menschliche Stimme imitiert. Dies ist eine sogenannte aufschlagende Zungenpfeife, weil die Zunge – im gespielten Zustand der Pfeife – periodisch auf die Kehle schlägt. Bei einer durchschlagenden Zungenpfeife dagegen schwingt die Zunge frei durch die Öffnung der Kehle und erzeugt dadurch den Schall.

Der Resonator besteht aus drei Abschnitten (Abbildung 10a):

1. die Kehle setzt sich in einem geraden Hals fort, der eine Länge von  $2/5$  des gesamten Resonators aufweist,
2. ein sich erweiternder Abschnitt, fast so lang wie der Hals, bei dem der Durchmesser stark zunimmt,
3. ein sich verjüngender Abschnitt, der am Ende offen ist.

Abbildung 10b zeigt den Aufbau der Übertragungsfunktionsmessung des Pfeifenresonators. Die Simulationsparameter wurden anhand der Messergebnisse optimiert, um realistische Ergebnisse zu erzielen. Die Simulationsanordnung und die Wellenformen bei den ersten vier Eigenfrequenzen des Vox Humana Resonators sind in Abbildung 11a und b dargestellt. Der Vergleich der gemessenen Übertragungsfunktion und der berechneten Eingangsadmittanzfunktion mit analytischen und FEM-Im-

Abb. 9: Der Aufbau einer Zungenpfeife a) und Seitenansicht einer Trompetenkehle mit aufgeworfener Zunge b).



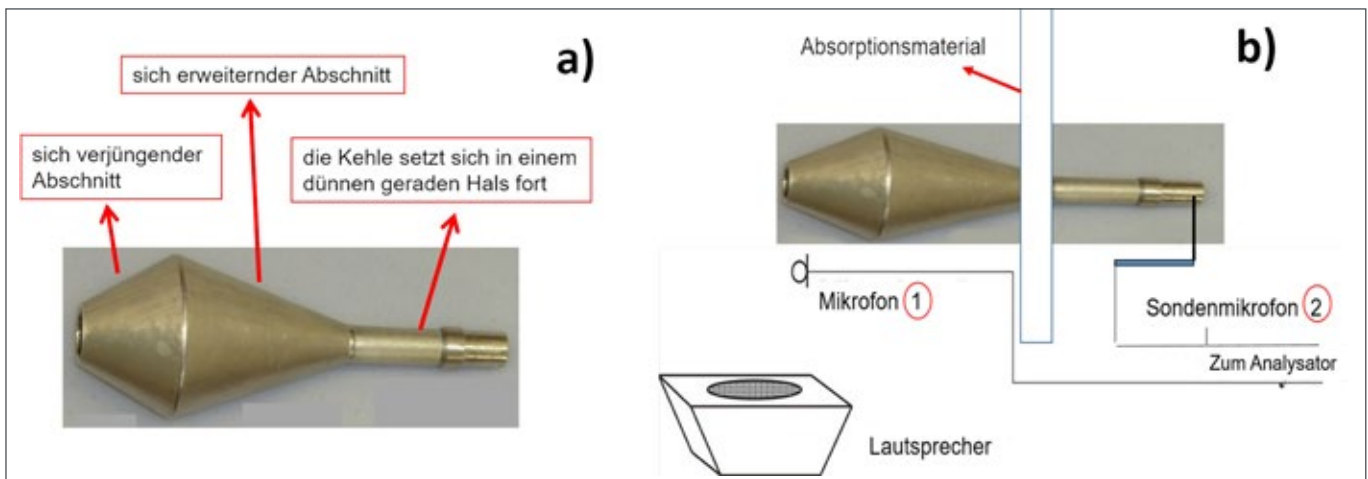


Abb. 10: a) Der Resonator einer Vox Humana Pfeife; b) Messung der Übertragungsfunktion: Der Pfeifenresonator wird von einem Lautsprecher mit einem Sweepsignal angeregt. Mikrofon 1 befindet sich am Ende des Resonators beim Lautsprecher, (Sonden-)Mikrofon 2 im Hals [42].

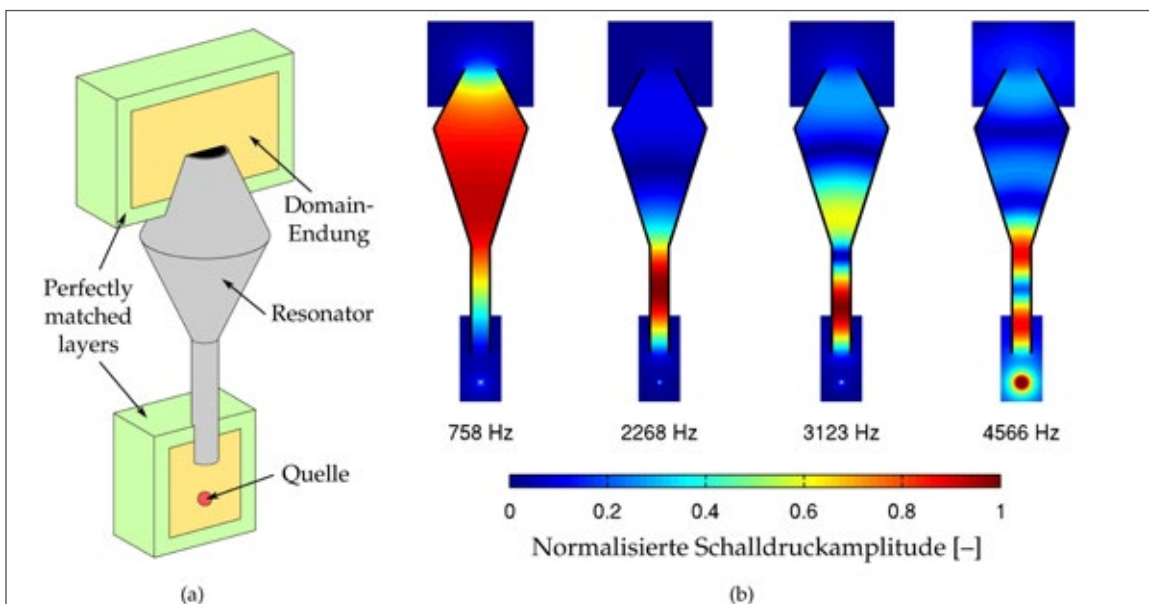
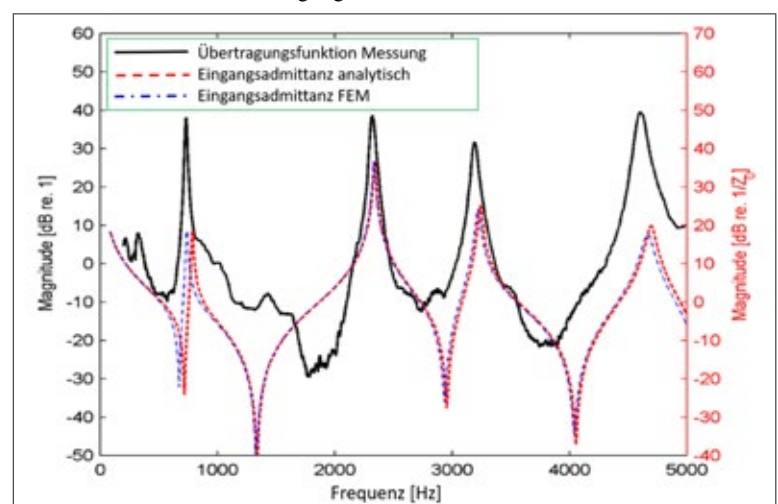


Abb. 11: a) Simulationsanordnung und b) die ersten vier Eigenmoden des Vox Humana Resonators.

pedanzmodellen (Finite-Elemente-Methode) einer Vox Humana Pfeife ist in Abbildung 12 dargestellt. Die beiden Simulationsmethoden erzeugen sehr ähnliche Ergebnisse. Weiterhin stimmen die berechneten Eigenfrequenzen gut mit den gemessenen Frequenzen überein.

Basierend auf den Mess- und Simulationsergebnissen wurde ein Softwaretool für die Auslegung von Zungenorgelpfeifen entwickelt. Mit der analytischen Methode wurden die Berechnungen innerhalb des Resonators mit sphärischen Wellen durchgeführt. Die Mündungskorrektur konnte jedoch nur mit der FEM-Methode bestimmt werden. Dadurch konnten in die Software verschiedene Berechnungsergebnisse eingefügt werden. So kann das Softwaretool unabhängig von der FEM-Simulation angewendet werden.

Abb. 12: Die gemessene Übertragungsfunktion und die sowohl analytisch als auch mit FEM simulierte Eingangsadmittanz eines Vox Humana Resonators.



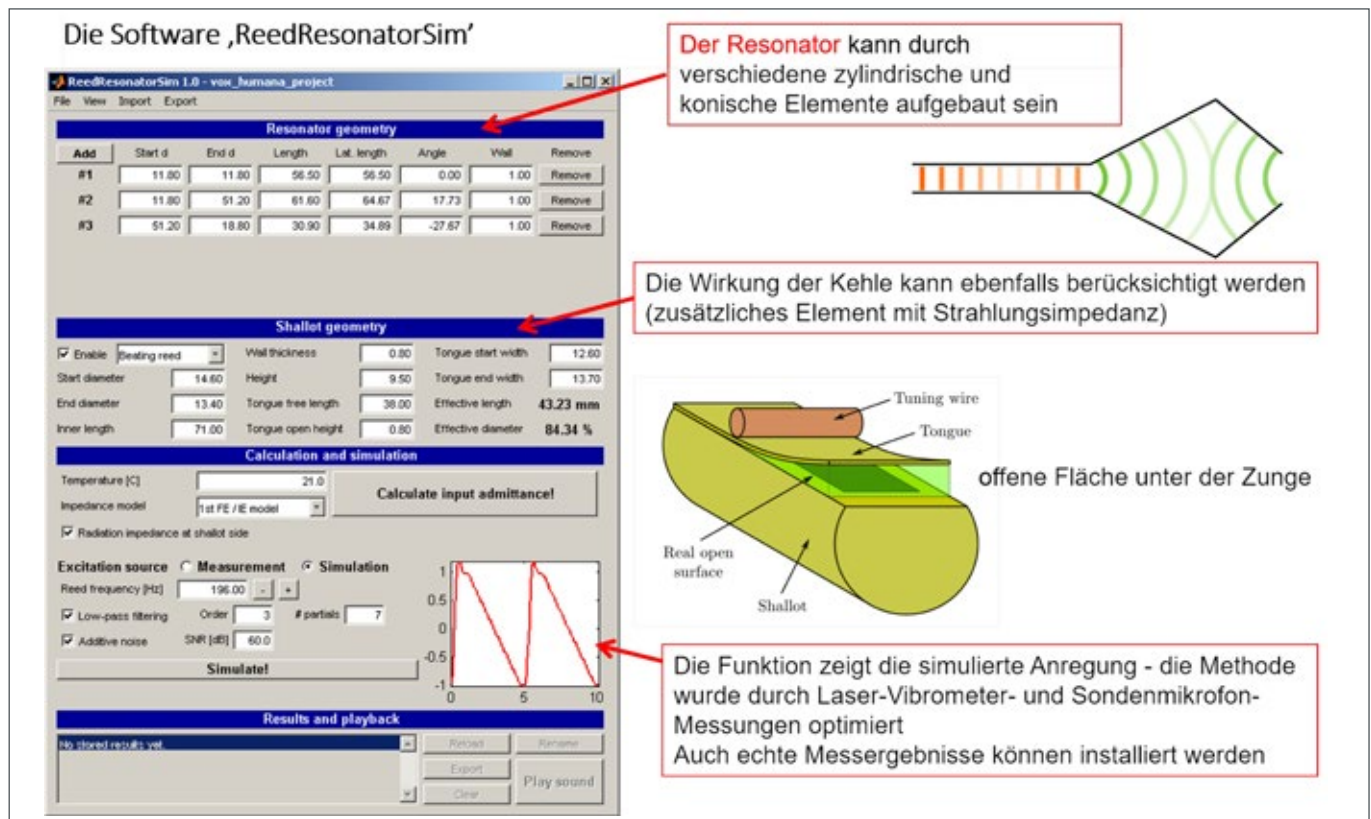


Abb. 13: Das Hauptfenster des Softwaretools und die wichtigsten Bedienelemente. Die Funktion zeigt die simulierte Anregung, die auf Basis von Laservibrometer- und Sondenmikrofonmessungen so eingestellt wurde, dass sie so realistisch wie möglich ist [42].

Im Folgenden wird gezeigt, wie Orgelbauer dieses Verfahren zur Dimensionierung von Zungenpfeifen einsetzen können. Das Hauptfenster des Softwaretools und die wichtigsten Bedienelemente sind in Abbildung 13 dargestellt. Der Resonator kann, wie aus der Abbildung ersichtlich wird, individuell aufgebaut werden. In unserem Beispiel zeigt Abbildung 14a, dass bei Verwendung der ursprünglichen Resonatorabmessungen der stärkste Teilton nicht der dritte ist, der gewünscht wäre. Durch Änderung der Resonatorabmessungen (der konische Teil in der Nähe des offenen Endes wurde verlängert) wird die Frequenz der ersten Eigenresonanz auf den dritten Teilton des Klangs abgestimmt (Abbildung 14b).

### Anpassung der Pfeifenorgel an die Raumakustik

Die Qualität einer Orgel ist abhängig von ihrer Anpassung an die akustischen Eigenschaften des Raumes. Einerseits kann diese Anpassung über die Dimensionierungen der Pfeifen eingestellt werden. Andererseits müssen wegen den diskreten Tönen im tiefen Frequenzbereich die Raumresonanzfrequenzen berücksichtigt werden.

Die Problematik der Anpassung der Pfeifenorgel an die Raumakustik wurde ebenfalls in einem EU-Projekt angegangen [43]. Die Partner-KMU (Klein- und Mittelständische Unternehmen) wünschten sich

eine eigene Möglichkeit zur Untersuchung der akustischen Effekte der Kirche oder des Konzertsaals an den Orgelklang, in dem die Pfeifenorgel entworfen werden soll. Diese Entwicklungen waren nötig, da einerseits die Berichte von Akustikberatern für Orgelbauer nicht einfach zu deuten sind, andererseits liegen die untersten zweieinhalb Oktaven einer Orgel im tiefen Frequenzbereich von etwa 16 Hz bis 90 Hz, der mit üblichen raumakustischen Methoden nicht einfach untersucht werden kann.

### Ansatz für die Raumprobleme im tieffrequenten Bereich

Das Problem besteht darin, dass im tiefen Frequenzbereich sehr starke Raumresonanzen auftreten können, die einen deutlichen Einfluss auf die Schallabstrahlung der tieftönigen Pfeifen haben. Falls eine Pfeife eine Raumresonanz anregt, kann ihr Klang zu stark relativ zu den anderen Pfeifen ausfallen. Steht die Pfeife in einer „Minimumposition“ der Raumresonanzen, kann sogar vorkommen, dass sie wegen der Raumrückwirkung überhaupt nicht erklingen kann. Es wurde ein neuartiger Ansatz zur tieffrequenten raumakustischen Messung entwickelt. Mit diesem Messverfahren können die tiefen Raumresonanzfrequenzen im Bereich von 15 Hz bis 150 Hz bestimmt werden. Demzufolge kann das System in Kirchen, Konzertsälen, usw. für die Bestimmung der

relativen Position der Raumresonanzfrequenzen zu den musikalischen Tönen eingesetzt werden. Für eine einfache Bedienung wurden eine Mess- und eine Signalverarbeitungssoftware entwickelt [44]. Dabei muss bestimmt werden, ob die Raumresonanzfrequenzen und die musikalischen Töne der geplanten Orgel zusammenfallen. Falls nicht, ist alles in Ordnung. Falls ja, muss nachgegangen werden, ob diese Pfeifen im Raum jeweils an eine adäquate Position gestellt werden. Würde eine Pfeife an einer „falschen Position stehen“, muss der Aufstellungsplan geändert werden.

#### System zur Simulation der Schallabstrahlung von Orgelpfeifen

Um die Pfeifen optimal zum jeweiligen Raum zu mensurieren (Anmerkung 1), versuchen die Orgelbauer die Pfeifen ähnlich zu dimensionieren, wie sie in ähnlichen Räumen dimensioniert sind. Eine andere Methode ist, eine kleine Windlade aufzubauen, einige Probepfeifen aus dem Prinzipalregister zu mensurieren (Anmerkung 2), dann im Raum anzuhören, um so die Mensurierung abzuschätzen. Die Anzahl der Pfeifen, welche zum Einsatz kommen, und die Möglichkeiten diese für eine bessere Anpassung zu verändern, sind jedoch beschränkt.

#### Anmerkung 1

##### Mensur:

Im Orgelbau bezeichnet Mensur vor allem die Maßverhältnisse bei Orgelpfeifen. Der Klangcharakter der Pfeifen wird wesentlich durch ihre jeweilige Mensur geprägt, die meist durch relative Längenverhältnisse ausgedrückt wird (relative Mensur). Der Begriff bezeichnet

- allgemein die Festlegung aller Maße der Einzelteile einer Pfeife und der Verlauf dieser Maße über eine Pfeifenreihe (Register) (im vorliegenden Artikel wird dies Dimensionierung genannt).
- im engeren Sinne die „Weitenmensur“, also das Verhältnis des Durchmessers zur Länge der Pfeife, das zwischen 1:5 und 1:30 variieren kann [45]. Die Weitenmensur ist die wichtigste Mensur im Orgelbau. Aus ihr ergibt sich die Einteilung in „eng“, „mittel“ oder „weit“ mensurierte Register. Weite Mensuren liefern einen eher weichen und grundtönigen, enge Mensuren einen schärferen und obertönigeren Klang [45, 46].

#### Anmerkung 2

##### Prinzipalpfeife:

Prinzipale sind wichtige Orgelregister, sie bilden bei fast jeder Orgel das klangliche Rückgrat und zieren den Orgelprospekt. Prinzipale bestehen aus zylindrisch offenen Labialpfeifen mittlerer Mensur [46].

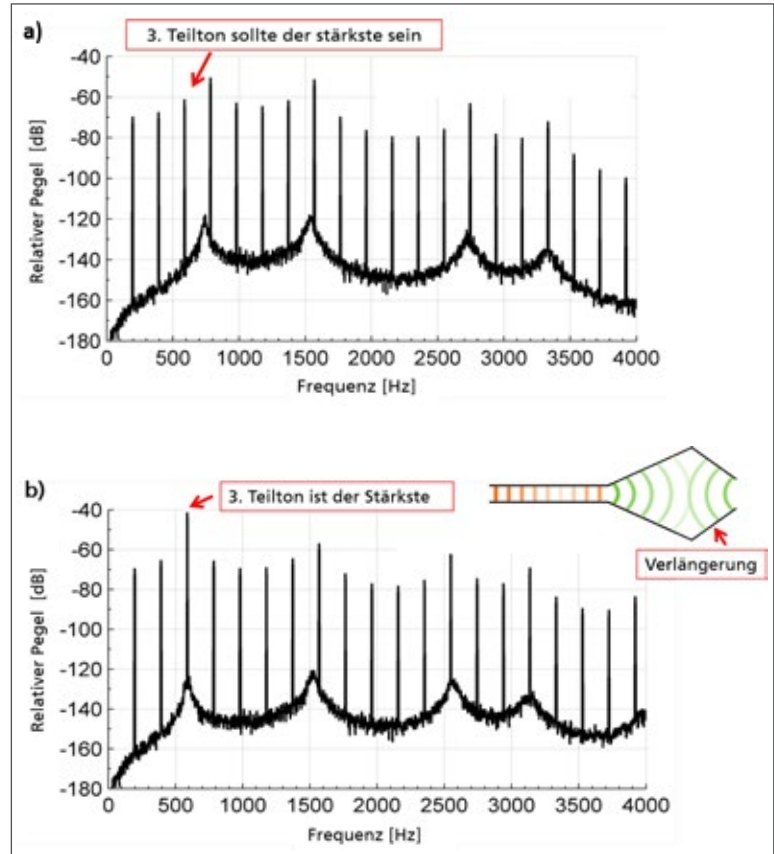


Abb. 14: Simulation des stationären Klangspektrums einer Vox Humana Pfeife a) mit den ursprünglichen Resonatorabmessungen b) mit optimierten Resonatorabmessungen [42].

Für die Unterstützung der Orgelbauunternehmen wurde ein System entwickelt, mit welchem die Schallabstrahlung von Orgelpfeifen simuliert werden kann. Das System besteht aus einem Notebook mit Programm und einer Klangbibliothek, einem Verstärker und zwei Lautsprechern, welche an einem Stativ angebracht sind. Aufgabe des Programms ist die Verwaltung, Wiedergabe und Anpassung der Aufnahmen der Orgelklänge. Für die Klangbibliothek wurden Aufnahmen an zylindrischen, metallenen, offenen Lippenorgelpfeifen des Prinzipalregisters der Tonhöhen  $c^\circ$  und  $c'$  bei unterschiedlichen Dimensionierungen angefertigt. Alle anderen Register werden immer dem Prinzipalregister nach mensuriert. Die Weitenmensur variierte von +2 Halbton bis -6 Halbtöne bezogen auf die Normalmensur, die Labiierung von  $1/3,75$  bis  $1/4,5$  des Umfanges. Die Pfeifen wurden in drei Stufen mit zunehmender Aufschnittshöhe intoniert. Die Aufnahmen fanden jeweils bei 6 Winddrücken von 55 bis 105 mm WS zeitsynchron am offenen Ende und am Labium der Pfeife statt. Insgesamt besteht die Klangbibliothek aus 324 unterschiedlichen Aufnahmen je Tonhöhe. Die Phasentreue der Aufnahmen wurde sichergestellt, die Übertragungsfunktion der Wiedergabekette wurde analysiert und kompensiert.

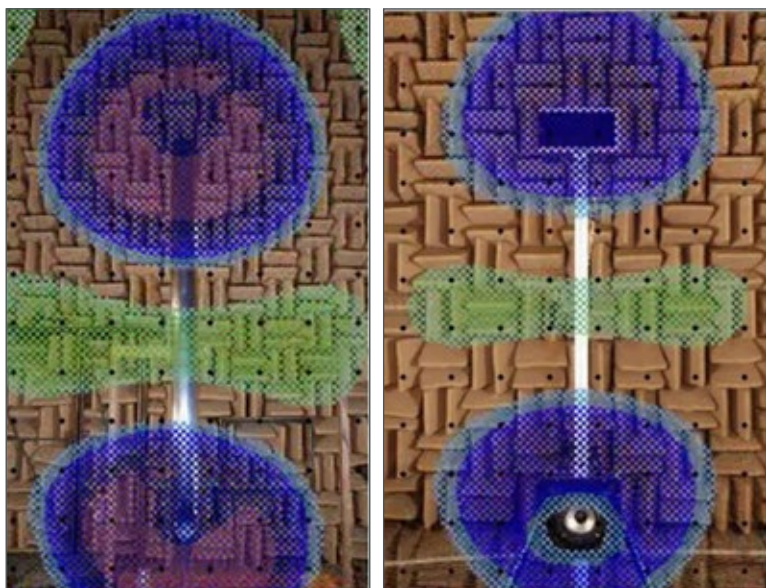


Abb. 15: Standbild (frontal) bei der dritten Harmonischen der Pfeife (links) und des Systems (rechts).

Das System gibt also Klangaufnahmen von Orgelpfeifen wieder. Zudem bietet diese Methode die Möglichkeit, dass die Klänge nach einigen Regeln der Mensurierung so verändert werden, als ob die Orgelpfeife selbst, von der die Aufnahme stammt, verändert wurde [47]. Weiterhin kann das System im

Raum in unterschiedliche Positionen geschoben und damit auch der Einfluss der Platzierung simuliert werden. Würde z. B. von den Prinzipalen eine Pfeife in einer für sie bestimmten Position schlecht erklingen, könnte dieses Problem voraussichtlich mit einer Veränderung ihrer Mensurierung gelöst werden. Das entwickelte System kann hierfür Hilfe leisten.

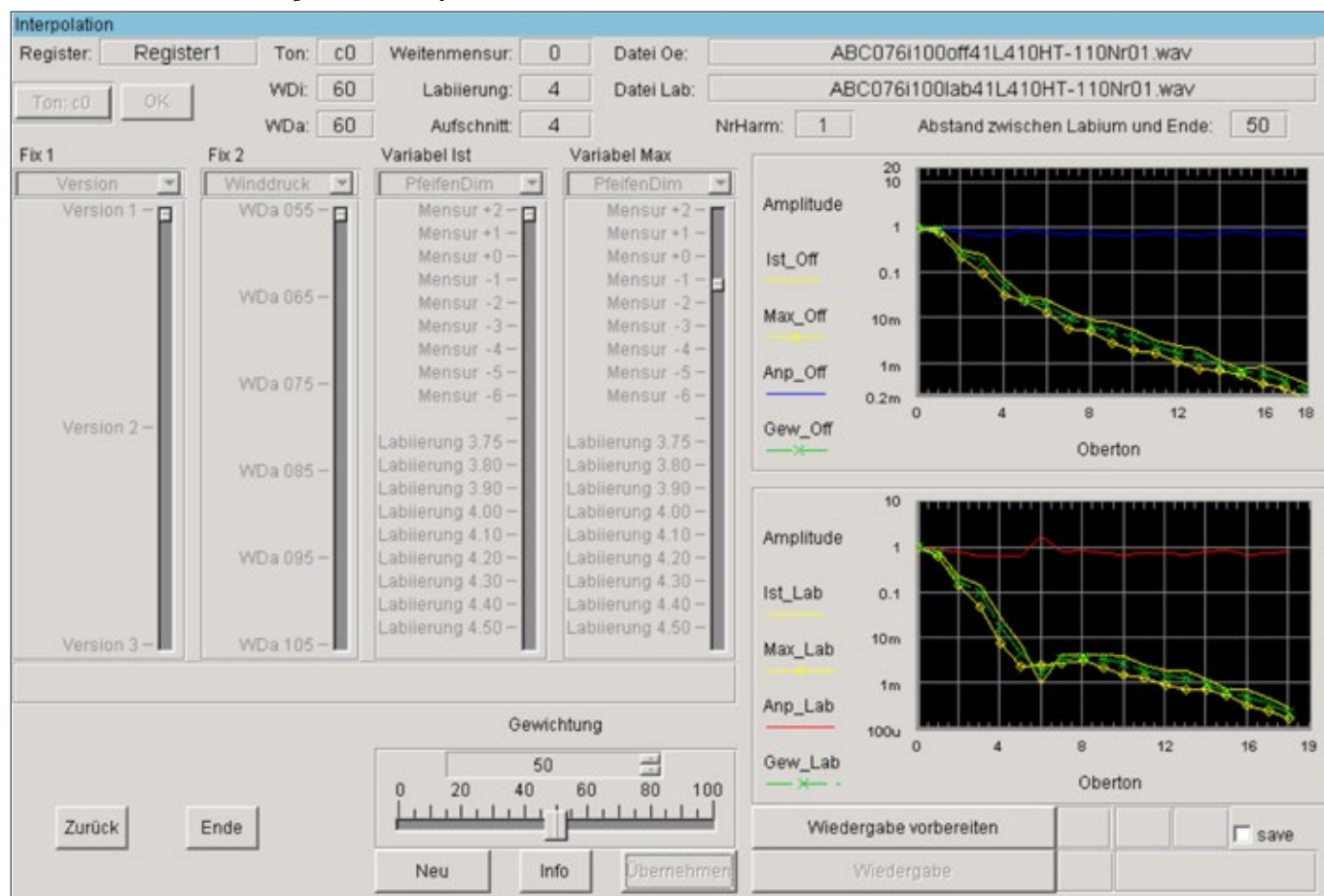
Die Überprüfung der Ähnlichkeit von System und Pfeife fand an Hand von vergleichenden Messungen der Spektren einzelner Messpunkte und Messungen mit einem Mikrofonarray im reflexionsarmen Raum statt (Abbildung 15). Klänge, die zwischen den aufgenommenen Klängen liegen, direkt jedoch nicht detektiert wurden, können mithilfe der Klangbibliothek und der Software interpoliert werden. Der Screenshot der Interpolations-Oberfläche wird in Abbildung 16 gezeigt.

Darüber hinaus wurde eine Mensurationssoftware entwickelt, die hier wegen der Komplexität nicht weiter vertieft wird. Mithilfe dieser können – ausgehend von der Normalmensur – die Dimensionen aller Pfeifen berechnet werden.

#### Berücksichtigung der Nachhallzeit bei der Mensurierung der Lippenpfeifen

Nachdem die Dimensionierung einer Prinzipalpfei-

Abb. 16: Screenshot der Interpolations-Oberfläche.



fe, die gut an den Raum angepasst ist, bestimmt ist, wird das ganze Prinzipalregister – wie gewöhnlich – mensuriert. Abbildung 17a) präsentiert die Normalmensur-Kurve. Abbildung 17b) zeigt einerseits die Nachhallzeitkurve des Raumes, wo die Orgel aufgestellt wird und andererseits die dementsprechend optimierte Mensurkurve. Der Orgelbauer kann diese Daten zusätzlich noch seiner Vorstellungen und Erfahrungen nach modifizieren (z. B. ob es sich um einen Solo- oder ein Begleitregister handelt), siehe Abbildung 17c).

Am Ende der Prozedur werden die Dimensionen aller Pfeifen in einer Excel-Tabelle aufgelistet, was für die Orgelbauer eine sehr große Hilfe bedeutet. Die Tabellen können dann an die Pfeifenbauer weitergeleitet werden.

### Die Forschungsgorgel am Fraunhofer IBP

Im Jahr 2011 wurde am Fraunhofer IBP von der Werkstätte für Orgelbau Mühleisen, Leonberg, eine Forschungsgorgel für die wissenschaftliche Forschung gebaut (Abbildung 18, siehe folgende Seite). Die Orgel wurde vom Land Baden-Württemberg finanziert. Ihr transparenter und einzigartiger Gestaltungsspielraum ermöglicht die Demonstration von Forschungsergebnissen, die Untersuchung technischer und klanglicher Fragen des Orgelbaus sowie die akustische Prüfung von Ideen zum Orgelklang [48]. In diesem Zusammenhang wird nun diskutiert, warum die Forschungsgorgel notwendig war, welche Forschungsergebnisse demonstriert werden können, welche Besonderheiten die Orgel aufweist und welche Bedeutung dieses Instrument für die zukünftige Forschung hat.

### Warum eine Forschungsgorgel?

Die Forschungsgorgel dient als Demonstrator für zahlreiche Forschungsergebnisse und ermöglicht die Untersuchung von Technologie- und Klangproblemen direkt an einem realen Instrument [49]. Darüber hinaus vereinfacht sie die Verbreitung des Wissens auf dem Gebiet der Orgelforschung. Früher mussten Neuentwicklungen an einer Kirchenorgel getestet werden. Es war schwierig, die Genehmigung für diese Messungen zu erhalten. In den meisten Fällen musste zunächst das Instrument von einem Orgelbauer modifiziert werden. So mussten beispielsweise mehrere Löcher für die verschiedenen für die Messungen notwendigen Detektoren gebohrt werden. Die meisten

Abb. 17: Berücksichtigung der Nachhallzeit bei der Mensuration. a) Normal-Mensurationskurve; b) Nachhallzeitkurve (schwarz) und angepasste Mensurationskurve (blau); c) den Vorstellungen der Orgelbauer nach zusätzlich modifizierter Kurve (grün).

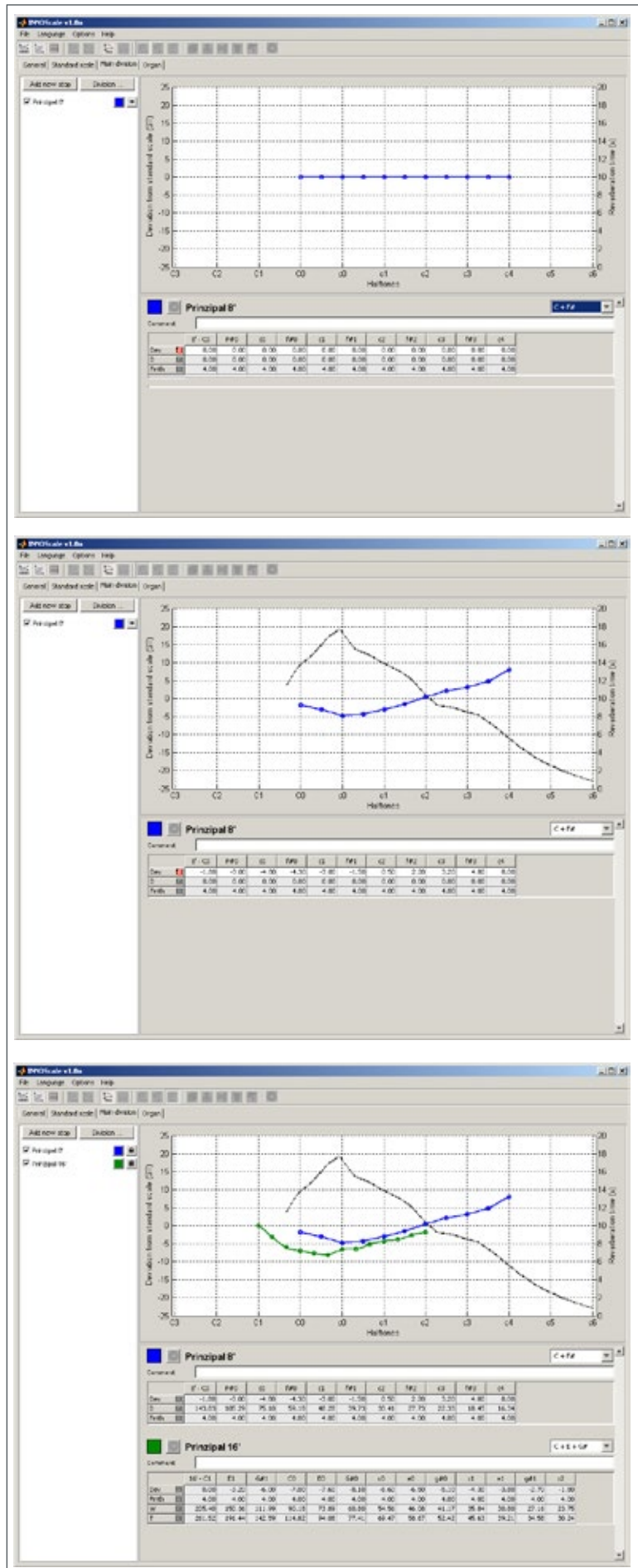




Abb. 18: Die Forschungsorgel des Fraunhofer IBP (gebaut 2011 von der Werkstätte für Orgelbau Mühleisen, Leonberg). Der rote Rahmen kennzeichnet die austauschbare Windlade. (Foto: Roman Wack, IBP)

Messungen konnten nur nachts durchgeführt werden, da die Umgebungsgeräusche tagsüber in der Kirche zu laut gewesen wären. Diese Geschäftsreisen waren immer mit Schwierigkeiten verbunden, da es häufig zu unerwarteten Problemen kam.

Die Details der Konstruktion dieser Pfeifenorgel können in dieser Publikation nur teilweise beschrieben werden. Sie stammen aus den Ergebnissen vieler Projekte, die die Orgelforscher des IBP in den letzten 27 Jahren durchgeführt haben. Die Symbiose von

wissenschaftlich-technischem Wissen und Instrumentenbau erweitert unser Klangwissen und schafft neue Verbindungen von Physik und Musik, Wissenschaft und Kunst.

#### Spezifische Eigenschaften (Beispiele)

- Eine Windlade kann ausgetauscht werden, um neue Windladen-, Ventilkonstruktionen sowie Pfeifenanordnungen zu testen (Abbildung 18).
- Die Pfeifenorgel ist weitestgehend transparent, um die Funktionsweise der Mechanik sichtbar zu machen und zu demonstrieren (Abbildung 19).
- Die Klaviatur ist für den Einbau von elektrischen Kontakten für elektrisch steuerbare Ventile vorbereitet.
- Im Hauptwerk gibt es eine Möglichkeit, komplette, neuentwickelte Register einzusetzen (Abbildung 20 a).
- Es stehen zwei verschiedene Windsysteme zur Verfügung: Ein traditionelles und ein innovatives Design mit Auslassventilsystem (Abbildung 20, rechts) [50, 51]. Das System kann zwischen traditioneller und innovativer Ausführung umgeändert werden.
- Die Gebläse werden von einem Frequenzumrichter zur stufenlosen Einstellung des Winddrucks gesteuert.
- Eine Kanzelle ist mit Vorbereitung eines CO<sub>2</sub>-Anschlusses für die Sichtbarmachung der Luftbandbewegungen bei Lippenpfeifen versehen.

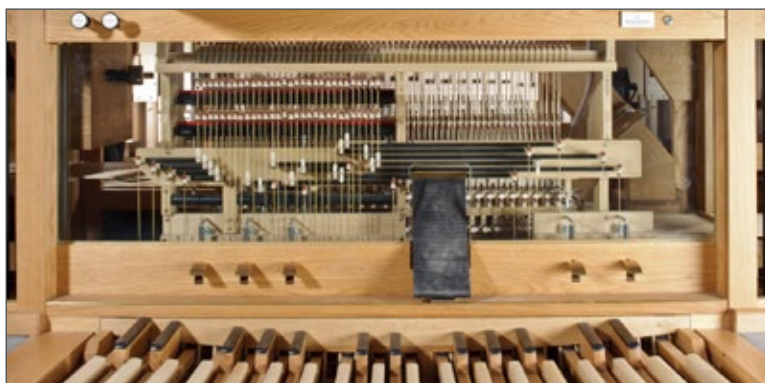


Abb. 19: Die Pfeifenorgel ist weitestgehend transparent, um die Funktionsweise der Mechanik sichtbar zu machen. (Fotos: Roman Wack, IBP)





Abb. 20: Um neuartige Register testen zu können, steht eine Leerschleife zur Erprobung neu entwickelter Register mit in der Höhe regulierbarem Rasterbrett zur Verfügung (links); das Auslassventil mit Schalldämpfer, das als Teil des innovativen Windsystems montiert ist (rechts). (Fotos: Roman Wack, IBP)

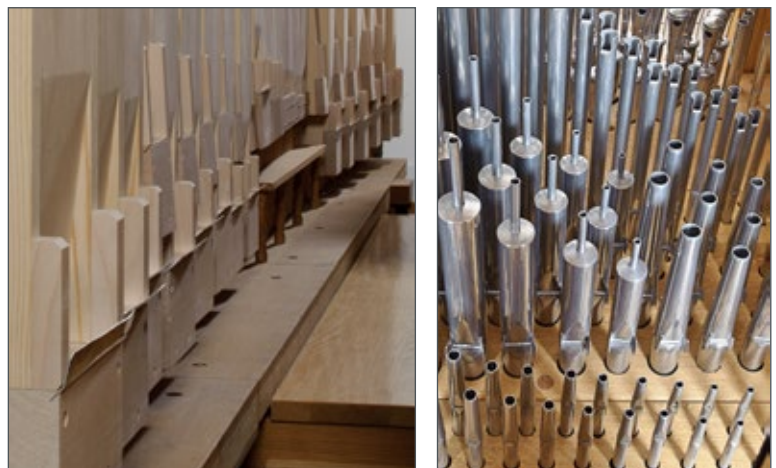
- Mehrere Pfeifensorten wurden mit den neu entwickelten Pfeifen-Konstruktions-Softwaretools entworfen (Abbildung 21).
- Spezielle Windladen werden sowohl für Experimente als auch für Demonstrationen verwendet. Insbesondere eine transparente Windlade mit Tonventilen ist entweder manuell oder per Tastatur bedienbar (Abbildung 22 a). Eine Windlade mit Kegelventilen und mit Membranventilen ist ebenfalls erhältlich (Abbildung 22 b).
- Die Bewegung einer durchschlagenden sowie einer aufschlagenden Zunge kann mit Hilfe eines installierten Stroboskops visualisiert werden (Abbildung 22 b).
- Neben der Demonstration verschiedener Ventilsysteme können Untersuchungen an verschiedenen Windladen (Schleiflade, Kegellade, Taschenlade) durchgeführt werden. Sie können auch zur Demonstration innovativer Orgelpfeifen verwendet werden.
- Die Metall-Pedalpfeifen sind auf der linken Seite aus Orgelmetall (Zinn-Blei-Legierung) und auf der rechten Seite des Instruments aus Zink gefertigt. Dadurch kann direkt getestet werden, ob ein Einfluss des Materials auf den Pfeifenklang zu hören ist.
- Im Schwellwerk sind austauschbare, vom IBP entwickelte Jalousien montiert (siehe Details in Abschnitt „Beispiele für Innovationen in der Forschungsgorgel“, Abbildung 23).

### Beispiele für Innovationen in der Forschungsgorgel

Mehrere Ergebnisse der Orgelforschung des IBP wurden in der Forschungsgorgel angewendet. So wurden beispielsweise das Auslegungsverfahren, die Konstruktion und der Steuermechanismus der Aus-

lassventile der innovativen neuen Windsysteme im Rahmen von aufeinander folgenden EU-Forschungsprojekten entwickelt [50,51] und teilweise veröffentlicht [52–54]. Die Abmessungen von großen Holz-Pedalpfeifen, darüber hinaus sowohl die Rohrflöten- als auch die Zungenpfeifen, wurden mit Hilfe eines am Fraunhofer IBP entwickelten Softwaretools entworfen und optimiert (Abbildung 21). Neben den Innovationen aus der EU-geförderten Forschung wurden auch andere Neuentwicklungen eingesetzt. Die Anwendung verschiedener Materialien (Blei-Zinn-Legierung vs. Zink) für die Metall-Pedalpfeifen basiert auf den Ergebnissen eines früheren Forschungsprojektes, das von der Grillo-Werke Aktiengesellschaft in Auftrag gegeben wurde [55]. Orgeln haben normalerweise ein sogenanntes Schwellwerk: Einige Pfeifenregister stehen in einem „Orgelschrank“ hinter einer Jalousie (Schwellwerk), die geschlossen werden kann. Bei geschlossener Ja-

Abb. 21: Mehrere Pfeifensorten wurden mit den neu entwickelten Pfeifen-Konstruktions-Softwaretools entworfen: Pedal-Holzpfleifen (links), Rohrflöten (rechts). (Fotos: Roman Wack, IBP)



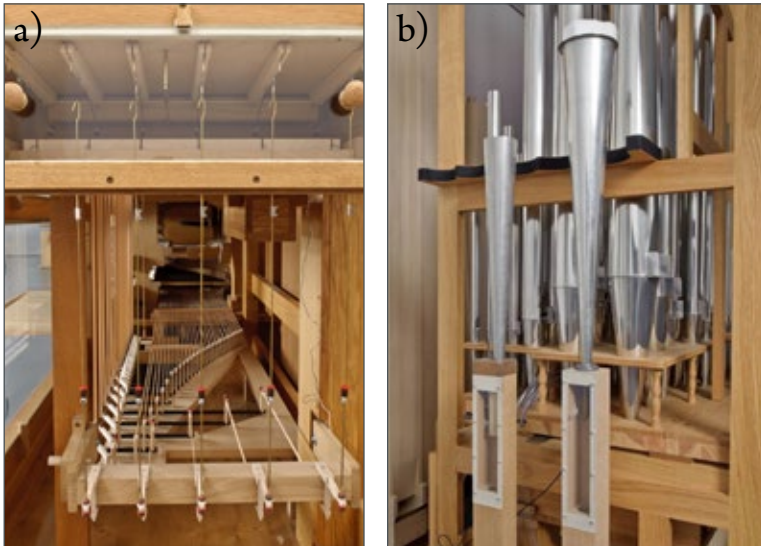


Abb. 22: a) Spezielle Windlade mit Tonventilen für Experimente und zur Demonstration (z. B. Vorführung von neuartigen Pfeifen). Sie ist entweder mit der Hand direkt oder von der Tastatur bedienbar. b) Eine Windlade mit Kegelventilen und mit Membranventilen. Die Bewegung einer durchschlagenden sowie einer aufschlagenden Zunge kann mit Hilfe eines installierten Stroboskops visualisiert werden (Die Zungenstiefel sind transparent). (Fotos: Roman Wack, IBP)

lousie hört man die Pfeifen leiser. Beim allmählichen Öffnen der Jalousie wird der Klang immer lauter. Die Orgel hat eine neuartige, vom IBP entwickelte Jalousie, die eine bessere Klangabstrahlung und eine höhere Dynamik der Orgelmusik ermöglicht.

Die traditionellen (a) und innovativen (b) Jalousien sind in Abbildung 23 dargestellt. Die Schwellwerk-Front ist abnehmbar, daher können auch andere Jalousie-Konstruktionen getestet werden. Diese Jalousiekonstruktion wurde bereits früher im Rahmen einer bilateralen Zusammenarbeit zwischen IBP und Mühleisen entwickelt. Solange bei der traditionellen Version die Jalousie-Lamellen miteinander parallel aufgestellt sind (asymmetrische Schallabstrahlung),

öffnen sich die Jalousie-Lamellen bei der neuen Version trichterförmig um eine symmetrische Schallabstrahlung zu erreichen. Weiterhin ist die Innenseite der neuartigen Jalousien mit Absorptionsmaterial versehen. Damit klingt die Orgel beim geschlossenen Schwellwerk leiser und der Dynamikbereich wird vergrößert. Beim Öffnen der Jalousien drehen sich die Lamellen von innen nach außen, wobei die Schallabsorption sich bei offenem Schwellwerk verkleinert.

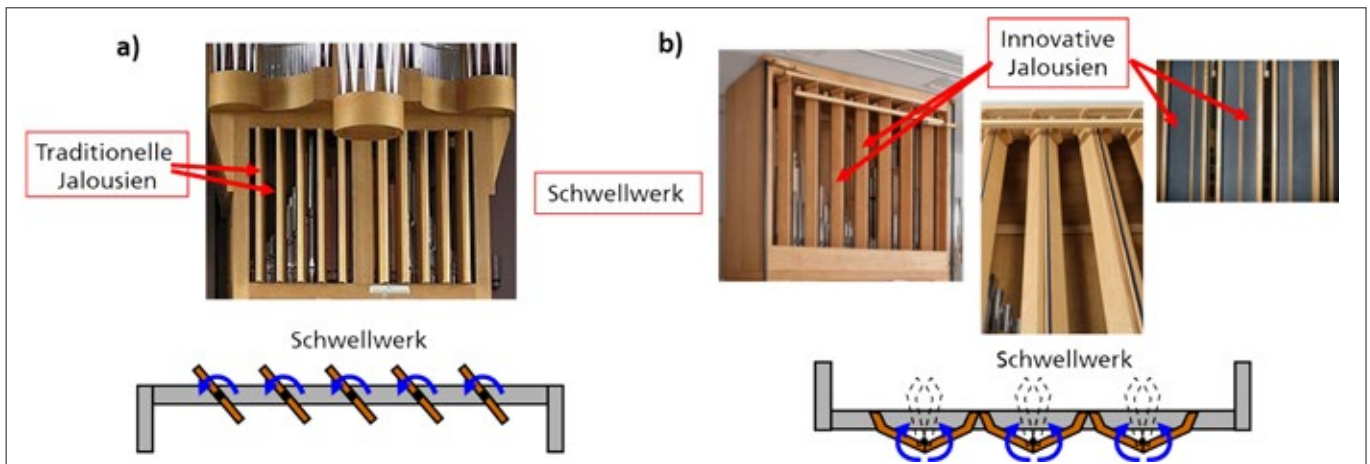
Im reflexionsarmen Raum des IBP wurden Modelle der traditionellen und innovativen Jalousiekonstruktionen untersucht. Als Schallquelle diente ein Lautsprecher mit rosa Rauschen. Die Richtcharakteristiken der beiden Konstruktionen sind in den Abbildungen 24a und b bei 2.500 Hz dargestellt. Die traditionellen Jalousien strahlen den Schall asymmetrisch ab. Die innovativen dagegen haben eine akustisch günstigere symmetrische Schallabstrahlung. Solange die Orgel bei der traditionellen Jalousie bereits nach einer geringeren Öffnung ziemlich schnell laut wird und demzufolge die Dynamik nicht sehr gut regelbar ist, verursacht die neuartige Version eine kontinuierliche Verstärkung des Klanges in einem größeren Dynamikbereich.

In Abbildung 24c ist die relative Schallverstärkung bezogen auf den geschlossenen Zustand der traditionellen und innovativen Schwellwerkverschlüsse bei 0 Grad in verschiedenen Frequenzbereichen dargestellt. Die innovative Konstruktion (Abb. 24d) erreicht eine deutlich (um ca. 5 dB) höhere relative Schallverstärkung. Darüber hinaus kann die Dynamik in kleineren Schritten (vor allem zu Beginn der Öffnung) beeinflusst werden als bei den herkömmlichen Jalousien.

### Verbreitung der Forschungsergebnisse

Die Verbreitung von Forschungsergebnissen ist eine sehr wichtige Aufgabe des Fraunhofer IBP. Das entwickelte Softwaretool und die Ergebnisse der europä-

Abb. 23: Traditionelle (a) und innovative (b) Jalousien. Die innovativen, abnehmbaren Jalousien sind im Schwellwerk (b) montiert. Sie öffnen sich trichterförmig symmetrisch und sind von der Innenseite aus mit Absorbent versehen (gefördert von Mühleisen, Leonberg).



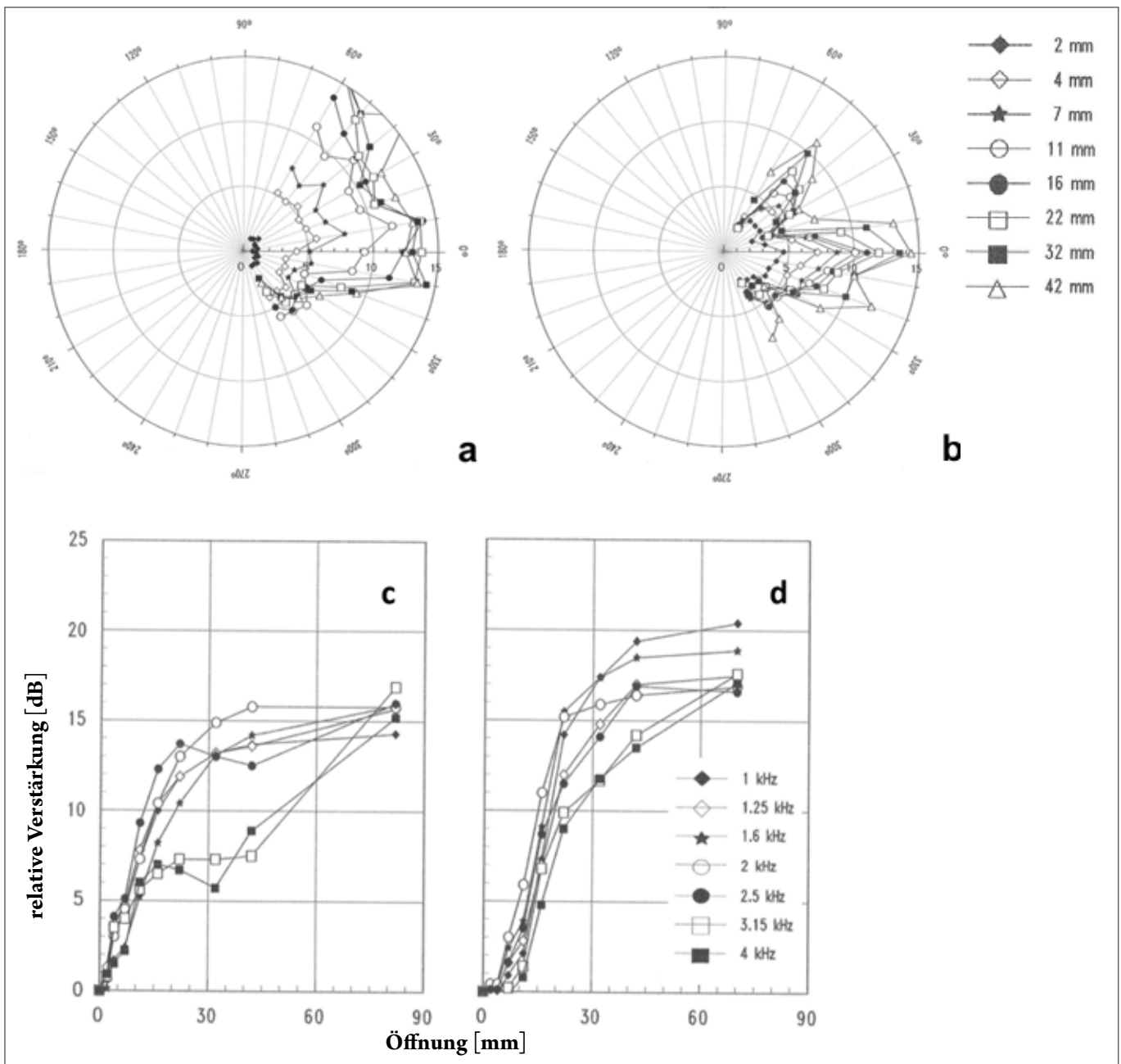


Abb. 24: a) Richtcharakteristik der traditionellen und b) der innovativen Jalousien in Abhängigkeit von der Öffnung in mm bei 2.500 Hz. Schallverstärkung der traditionellen (c) und innovativen (d) Schwellwerkverschlüsse bei 0 Grad in verschiedenen Frequenzbereichen.

ischen Forschungsprojekte werden in erster Linie an die an den Projekten beteiligten Orgelbauunternehmen in Form von Projektmeetings und Schulungen weitergegeben. Mehrere Jahre nach Projektabschluss wird das Recht zur Nutzung dieser Ergebnisse jedoch von den Partnern freigegeben und kann so durch mehrtägige Intensivkurse und Workshops an andere Orgelexperten weitergegeben werden. Diese Veranstaltungen werden unter Verwendung der Forschungsorgel organisiert. Dabei werden Orgelkonzerte sowie Konzerte mit Orgel und anderen Musikinstrumenten mit allgemein verständlichen Erklärungen zur Physik der vorgestellten Musikinstrumente aufgeführt.

### Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde gezeigt, wie das Wissen über die Akustik der Orgel in die angewandte Forschung und Entwicklung zur Unterstützung der Orgelbauunternehmen übernommen wird. Die durch Vergleich mit Messergebnissen optimierte und verifizierte Computersimulation kann zur Unterstützung von Orgelbauunternehmen bei der Dimensionierung der Pfeifen eingesetzt werden. Es wurden je ein Softwaretool zur Optimierung des Windsystems, des Lippenpfeifenklangs (Mensurierung und Dimensionierung; hier beide nicht dargestellt) und des Zungenpfeifenklangs entwickelt. Es wurde erwähnt, dass bei

der Realisierung von Projekten der angewandten Forschung die verwertbaren Ergebnisse im Eigentum der Unternehmen stehen und daher erst mehrere Jahre nach Abschluss der Arbeiten veröffentlicht werden können. Aus diesem Grund ist geplant, die wichtigsten Ergebnisse früherer vertraulicher europäischer Projekte in einem Buch zusammenzufassen. Dennoch wurde die Wissensvermittlung so schnell wie möglich in Form von Workshops für Orgelbauunternehmen durchgeführt. Diese Workshops waren international die einzige Möglichkeit für Orgelbauer, sich über die Akustik der Orgel zu informieren und sich in die Anwendung von Forschungsergebnissen, Entwurfsmethoden und Software einzuarbeiten. Darüber hinaus können die umfangreichen Kenntnisse über die Klangerzeugung von Orgelpfeifen als Leitfaden zur Verbesserung der physikalischen Modelle der Klangerzeugung von anderen Blasinstrumenten dienen. Nicht zuletzt wird unsere Forschungsorgel hoffentlich dazu dienen, neue Kombinationen von Physik und Musik, Wissenschaft und Kunst zum Nutzen und zur Freude der Menschen beizutragen.

### Anerkennungen, Danksagung

Die Autorin bedankt sich bei der Europäischen Kommission und bei den teilnehmenden Orgelbauunternehmen für die Unterstützung der verschiedenen Forschungsprojekte am Fraunhofer IBP:

Werkstätte für Orgelbau Mühleisen GmbH, Leonberg, Deutschland,

Société de Construction d'Orgues Muhleisen sarl, Straßburg, Frankreich,

Fagmilia Artigiana Fratelli Ruffatti S.n.c., Padua, Italien,

Orgelbau Schumacher GmbH, Baelen, Belgien, Blancafort, orgueners de Montserrat S. L., Collbato, Spanien,

Oficina e Escola de Organaria, LDA, Esmoriz (Porto), Portugal,

Pécsér Orgelbaumanufaktur GmbH, Pécs, Ungarn, Flentrop Orgelbouw B.V., Zaandam, Niederlande, Johannes Klais Orgelbau GmbH & Co. KG, Bonn, Deutschland,

Orgelmakerij Boogaard, Rijssen, Niederlande, Marcussen & Son, Orgelbyggeri A/S, Aabenraa, Dänemark,

Orgelwerkstatt Christian Scheffler, Sieversdorf (Frankfurt/Oder), Deutschland,

Restaurierungswerkstatt für Orgeln Kristian Wegscheider, Dresden, Deutschland,

Gerhard Grenzing S.A., Papiol, Spanien,

Pels-D'Hondt Orgelbouw bvba, Herselt, Belgien, Mander Organs, London, Großbritannien,

Marc Garnier Orgues Sarl, Morteau, Frankreich.

### Literatur

- [1] Angster, J.; Rucz, P.; Miklos, A.: 25 years applied pipe organ research at Fraunhofer IBP in Stuttgart (plenary lecture) In: Proc. of ISMA 2019, International Symposium on Music Acoustics, Detmold, Germany. ISBN 978-3-939296-16-4, p. 1–14, 2019.  
<http://pub.dega-akustik.de/ISMA2019/data/index.html>.
- [2] Plitnik, G.: The Josef Angster Story. ISO Journal. Magazin of International Society of Organ Builders, No. 6, pp. 56–64, 1999.
- [3] Metz, F.: Josef Angster. Das Tagebuch eines Orgelbauers. Verlag der Donaueschinger Kulturstiftung, München, 2004.
- [4] Angster, J.; Angster, Josef: On the history of the organ builder workshop of Josef Angster from the south-east European Pécs (Fünfkirchen). In: Bader, Rolf (Hrsg.): Concepts, experiments and fieldwork: Studies in systematic musicology and ethnomusicology. Lang: Frankfurt M., S. 181–184, 2010.
- [5] Ruffatti, F.; Angster, J.: Organbuilders and research: Two points of view. The Diapason, pp. 24–27, 2010.  
<https://sgcweb.s3.amazonaws.com/thediapason/s3fs-public/webJan10p24-27.pdf>.
- [6] Intensivkurse – Orgelakustik, Workshops – Windsystem, Lippenpfeifen, Zungenpfeifen (auf Deutsch, Englisch, Französisch). Regelmäßige Veranstaltung am Fraunhofer IBP seit 1998.
- [7] Angster, J.; Rucz, P.; Miklós, A.: Acoustics of Organ Pipes and Future Trends in the Research. Acoustics Today. 13(1), pp. 10–18, 2017.  
<https://acousticstoday.org/wp-content/uploads/2017/01/Acoustics-of-Organ-Pipes-and-Future-Trends-in-the-Research-Judit-Angster-1.pdf>
- [8] Miklos, A.; Angster, J.: Properties of the sound of labial organ pipes. Acust. Acta Acust. 86, pp. 611–622, 2000.
- [9] Rucz, P.: Determination of acoustic parameters of organ pipes by means of numerical techniques. Budapest University of Technology and Economics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Department of Telecommunications, prepared partly at the Fraunhofer IBP in Stuttgart. Master thesis, 2009.
- [10] Außerlechner, H.; Trommer, Th.; Angster, J.; Miklós, A.: Experimental jet velocity and edge tone investigations on a foot model of an organ pipe. J. Acoust. Soc. Am. 126(2), pp. 878–886, 2009.  
<https://doi.org/10.1121/1.3158935>.
- [11] Außerlechner, H. J.: Strömungsakustische Untersuchungen des Schneidentons und Visualisierungen des Freistrahls mithilfe eines Orgelpfeifenfußmodells. Dissertation, Universität Stuttgart (angefertigt am Fraunhofer IBP), Fraunhofer Verlag, 2010
- [12] Trommer, Th.; Angster, J.; Miklós, A.: Roughness of organ pipe sound due to frequency comb. J. Acoust. Soc. Am. 131(1), pp. 739–748, 2012.  
<https://doi.org/10.1121/1.3651242>.
- [13] Paál, Gy.; Angster, J.; Garen, W.; Miklós, A.: A combined LDA and flow-visualization study on flue organ pipes. Experiments in Fluids 46(6), pp. 825–835, 2006.  
<https://doi.org/10.1007/s00348-006-0114-0>.
- [14] Rucz, P.; Augusztinovicz, F.; Angster, J.; Preukschat, T.; Miklós, A.: Acoustic behavior of tuning slots of labial organ pipes. In: Journal of the Acoustical Society of America 135.5, IF: 1.56, pp. 3.056–3.065, 2014. DOI: 10.1121/1.4869679.  
<https://doi.org/10.1121/1.4869679>.
- [15] Rucz, P.; Augusztinovicz, F.; Angster, J.; Preukschat, T.; Miklós, A.: A finite element model of the tuning slot of labial organ pipes. In: Journal of the Acoustical Society of America 137.3, IF: 1.56\*, pp. 1.226–1.237, 2015.  
<https://doi.org/10.1121/1.4913460>.
- [16] Angster, J.; Miklós, A.: Documentation of the sound of a historical pipe organ. Applied Acoustics. 46, pp. 61–82, 1995.
- [17] Homepage Fraunhofer IBP Musical Acoustics:

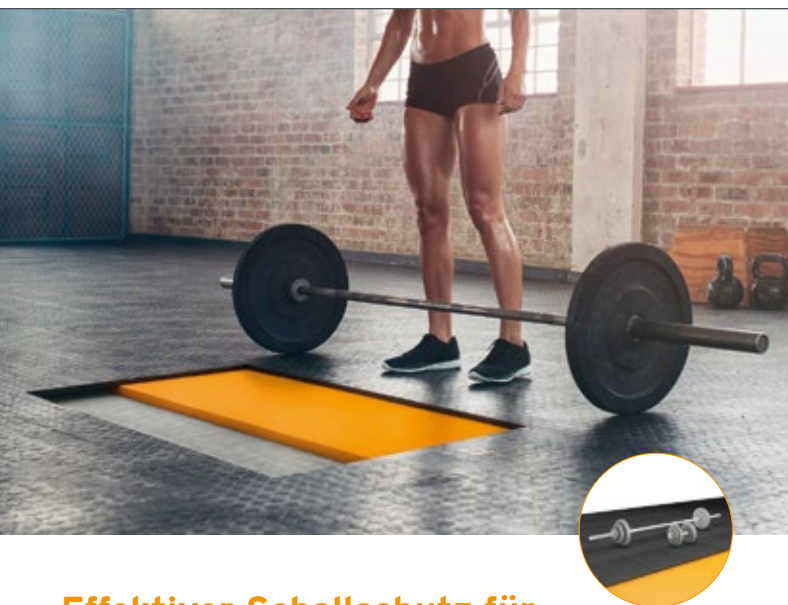
- <http://www.ibp.fraunhofer.de/de/Kompetenzen/akustik/musikalische-akustik.html>
- [18] Traditioneller Orgelbau trifft auf moderne Wissenschaft. Film zur Erhaltung des „Transferpreises der Steinbeis-Stiftung – Lohn-Preis“ in Stuttgart, 2013. <https://www.steinbeis.de/de/steinbeis/transferpreis/preistraeger/2013-traditioneller-orgelbau-trifft-auf-moderne-wissenschaft.html>
- [19] Angster, J.; Miklós, A.: Properties of the Sound of Flue Organ Pipes. Springer Handbook of systematic Musicology. Springer Handbooks 15558, pp. 141–155, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2018. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-55004-5\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-662-55004-5_8).
- [20] Angster, J.; Miklos, J.: Die Akustik der Orgel. In: Stefan Weinzierl (Hrsg.): Akustische Grundlagen der Musik. Laaber-Verlag, S. 291–318, 2014.
- [21] Angster, J.; Wik, T.; Taesch, Ch.; Miklós, A.; Sakamoto, Y.: Experiments on the influence of pipe scaling parameters on the sound of flue organ pipes. Forum Acusticum, Budapest, CD, Article 128\_0, 603–609, 2005.
- [22] Angster, J.; Wik, T.; Täsch, Ch.; Sakamoto, Y.; Miklós, A.: The influence of pipe scaling parameters on the sound of flue organ pipes. J. Acoust. Soc. Am, Vol. 116, No. 4, Pt. 2, 2.513, 2004.
- [23] Angster, J.; Miklós, A.; Leistner, Ph.: Survey of the musical acoustics research at the Fraunhofer IBP in Stuttgart, Germany. Musical Acoustics: Xiangshan Science Conferences; the 401st session, pp. 80–85. Beijing, 2011.
- [24] Angster, J.: Musical Acoustics Research at the Fraunhofer IBP in Stuttgart, Germany (in Chinese). In: 2016' The Fifth Symposium of Musical Instrument of China, 3–5 December, Beijing, pp. 38–39, 2016.
- [25] Angster, J.; Wik, T.; Taesch, Ch.; Miklós, A.; Sakamoto, Y.: Experiments on the influence of pipe scaling parameters on the sound of flue organ pipes. Forum Acusticum, Budapest, CD, Article 128\_0, 603–609, 2005.
- [26] Angster, J.; Wik, T.; Täsch, Ch.; Sakamoto, Y.; Miklós, A.: The influence of pipe scaling parameters on the sound of flue organ pipes. J. Acoust. Soc. Am, Vol. 116, No. 4, Pt.2, 2.513, 2004.
- [27] European research project – research for the benefit of SMEs (small and medium sized enterprises). CRAFT – Development of an innovative organ pipe design method. Contract No: G1ST-CT-2002-50267 (DEMORPIPE), 2003–2005.
- [28] Seventh Framework Program of the European Union; Research for SMEs (FP7-SME-2007-1): Innovative Methods and Tools for the Sound Design of Organ Pipes; (INNO-SOUND). Contract No: INNOSOUND-222104, 2008–2010.
- [29] Rucz, P.; Trommer, Th.; Angster, J.; Miklós, A.; Augusztinovicz, F.: Sound design of chimney pipes by optimization of their resonators. J. Acoust. Soc. Am. 133 (1), pp. 529–537, 2013. <https://doi.org/10.1121/1.4770236>.
- [30] Angster, J.; Miklos, A.; Rucz, P.; Augusztinovicz, F.: The physics and sound design of flue organ pipes. J. Acoust. Soc. Am. 132(3), p. 2069, 2012. <https://doi.org/10.1121/1.4755627>.
- [31] Rucz, P.: Innovative methods for the sound design of organ pipes. PhD thesis. Budapest University of Technology and Economics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Doctoral School of Electrical Engineering and Fraunhofer IBP. 2014.
- [32] Pitsch, S.; Rucz, P.; Angster, J.; Miklós, A.; Kirschmann, J.: Scaling software for labial organ pipes. In: Fortschritte der Akustik – AIA-DAGA 2013, 39. Jahrestagung für Akustik, Meran, Italien, S. 299–302.
- [33] Fontestad Esteve, E.: Innovative method for the development of optimal scaling of the depth and width of wooden organ pipes. Institute for Telecommunication and Multimedia Applications (iTEAM). TU Valencia, prepared at the Fraunhofer IBP in Stuttgart, Master thesis, 2008.
- [34] Plitnik, G. R.; Angster, J.: The influence of pipe organ reed curvature on tone quality. J. Acoust. Soc. Am., pp. 3.502–3.511, 2012.
- [35] Angster, J.; Dolde, K.; Rucz, P.; Miklós, A.: Einfluss der Kehlenform auf den Klang der Trompeten-Zungenorgelpfeifen. Oral presentation at the DAGA2014 conference, Oldenburg, Germany, March 11th, 2014.
- [36] Angster, J.; Dolde, K.; Rucz, P.; Miklós, A.: The influence of the shallot shape on the sound of Trompete reed pipes. In: Journal of the Acoustical Society of America 135 (2014). Abstract of ASA meeting paper, p. 2.244. <https://doi.org/10.1121/1.4877348>.
- [37] Preukschat, T.: Untersuchung der Klangentstehung bei Zungenorgelpfeifen. Diplomarbeit. Universität Stuttgart, 1. Physikalisches Institut (angefertigt am Fraunhofer IBP), 2012.
- [38] Miklós, A.; Angster, J.; Pitsch, S.; Rossing, T.D.: Reed vibration in lingual organ pipes without the resonators. J. Acoust. Soc. Am. 113(2), pp. 1.081–1.091, 2003. <https://doi.org/10.1121/1.1534101>.
- [39] Miklós, A.; Angster, J.; Pitsch, S.; Rossing, T.D.: Interaction of reed and resonator by sound generation in a reed organ pipe. J. Acoust. Soc. Am. 119(5), pp. 3.121–3.129, 2006. <https://doi.org/10.1121/1.2188372>.
- [40] Seventh Framework Program of the European Union; Research for SMEs (FP7-SME-2007-1): Innovative Sound Design of Reed Organ Pipes (REEDDESIGN); Contract No: REEDDESIGN-286539, 2011–2013.
- [41] Angster, J., Miklos, A.: Die Wechselwirkung von Zunge und Resonator bei der Klangerzeugung in einer Zungenpfeife. ISO Journal Nr. 43, S. 27–45, April 2013.
- [42] Angster, J.; Rucz, P.; Miklós, A.: Detailed measurements on lingual organ pipes for developing innovative methods and software for the pipe design. 171st meeting of the Acoustical Society of America, Salt Lake City, USA, 2016. Special Session: Hot topics. <https://doi.org/10.1121/1.4950306> <https://www.youtube.com/watch?v=ct-wHcbRpyY>
- [43] European Research Project in the Sixth Framework Program of the European Union; GROWTH program; CRAFT: Innovative Design Method for Matching the Pipe Organ to the Acoustics of the Room (INNOPIPEORG); Contract No: COOP-CT-2005-017712, 2005–2008.
- [44] Matoses Ortiz, V.M.: Innovative Messmethode für die Bestimmung der raumakustischen Eigenschaften im tiefen Frequenzbereich zur Anpassung der Orgel an den Raum. Stuttgart, Universität Stuttgart, Institut für Systemtheorie und Bildschirmtechnik, angefertigt am Fraunhofer IBP, Diplomarbeit, 2008.
- [45] Wilibald Gurlitt, H.: Riemann Musik Lexikon. Heinrich Eggebrecht (Hrsg.): Sachteil, Mainz: Schott 1967, S. 560.
- [46] Wikipedia: [https://de.wikipedia.org/wiki/Mensur\\_\(Musik\)#cite\\_note-Riemann-1](https://de.wikipedia.org/wiki/Mensur_(Musik)#cite_note-Riemann-1)
- [47] Trommer, Th.: Entwicklung eines Systems zur Simulation der Abstrahlung von Orgelpfeifen. Karlsruhe, Universität Karlsruhe (TH), Institut für Höchstfrequenztechnik und Elektronik, angefertigt am Fraunhofer IBP, Diplomarbeit, 2007.
- [48] Verbindungen von Physik und Musik, von Wissenschaft und Kunst durch die Forschungsorgel am Fraunhofer IBP, Forschung im Fokus, Januar 2012. <https://www.ibp.fraunhofer.de/de/presse-medien/forschung-im-fokus/koenigin-der-instrumente.html>
- [49] Angster, J., Pitsch, S., Dubovski, Z., Leistner, Ph.; Miklós, A.: Research organ for pipe organ research at the Fraunhofer IBP in Stuttgart. In: Fortschritte der Akustik – AIA-DAGA 2013, 39. Jahrestagung für Akustik, Meran, Italien, S. 295–298.
- [50] European research project – research for the benefit of SMEs (small and medium sized enterprises). CRAFT – Development and Modernization of the Wind Supply Sys-



**Dr. rer. nat.  
Judit Angster**  
Fraunhofer Insti-  
tut für Bauphysik  
(IBP), Stuttgart

tem of Pipe Organs, EU CRAFT research project, Contract no: BRST-CT98-S247, 1998–2000.

- [51] European research project – research for the benefit of SMEs (small and medium sized enterprises). CRAFT – Advanced Computer Designed Open Wind Systems for Pipe Organs, EU CRAFT research project, COMPDESORG, Contr. No.: G1ST-CT2001-S0139, 2002–2003.
- [52] Pitsch, S.: Entwicklung von neuartigen offenen Windsystemen für Kirchenorgeln, Dissertation, Universität Siegen (angefertigt am Fraunhofer IBP). Logos Verlag Berlin, 2004.
- [53] Angster, J., Pitsch, S., Miklós, A.: Design of new wind systems for pipe organs. CD-Rom: Int. Symp. On Musical Acoustics, ISMA2007, Barcelona, Spain, 3-S2-1, 2007.
- [54] Popov, A.: Entwicklung von Dämpfungsmöglichkeiten für Druckschwankungen in Orgelwindsystemen. Universität Stuttgart, Institut für Strömungsmaschinen und Maschinenlaboratorium, angefertigt am Fraunhofer IBP, Diplomarbeit, 2007.
- [55] Angster, J.; Dubovski, Z.; Pitsch, S.; Miklós, A.: Impact of the Material on the Sound of Flue Organ Pipes (Acoustic and Vibration Investigations with Modern Measuring Techniques). In: Birnbaum, Clemens (Ed.): Analysis and description of music instruments using engineering methods. Halle (Saale): Stiftung Händel-Haus, 2011, pp. 34–41. ■



## Effektiver Schallschutz für Hantelbereiche in Fitness Studios

### Produkt Vorteile:

- Lösungen bis 29 dB(A) ohne zusätzliche Estrichmasse
- Geprüfte Standsicherheit
- Reduziertes Verletzungsrisiko durch Bekämpfung rückfedernder Gewichte
- Werterhalt der Räumlichkeiten, keine Schädigung des Bodens
- Langlebig und wartungsfrei über Jahrzehnte
- Einfache Implementierung ohne große Umbauarbeiten

[www.getzner.com/g-fit](http://www.getzner.com/g-fit)

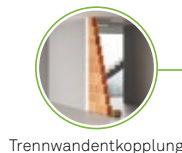
**g-fit**  
by getzner

## ACOUSTICORK

### The sound of silence

Amorim Cork Composites entwickelt besondere Verbundmaterialien zur Schalldämmung und Schwingungsisolierung. Bei diesen Anwendungen sind besonders Dauerelastizität und Langlebigkeit unter starker mechanischer Beanspruchung gefragt. Dabei sorgt besonders Kork, als natürlich vorkommender Grundstoff, durch seine mikrozelluläre Wabenstruktur für einzigartige technische Eigenschaften, welche zur Kombination aus Isolierung und Dämpfung führen.

Trittschallisolierung unter Nutzböden



Trennwandentkopplung

Trittschallisolierung unter Estrich



Randdämmstreifen



AMORIM CORK COMPOSITES

[amorimcorkcomposites.com](http://amorimcorkcomposites.com)

# Die Farbe macht die Musik

## Akustische und perzeptuelle Grundlagen der Klangfarbenwahrnehmung

Kai Siedenburg

Die Klangfarbe verleiht einzelnen Klangereignissen charakteristische Qualitäten und liefert Hinweise auf die Klangquelle und -erzeugung. So erlauben klangfarbliche Merkmale etwa Instrumente im Mix eines Orchesterklangs heraus zu hören oder die Stimme einer bekannten Person zu erkennen. Helmholtz's klassische Konzeption der Tonempfindungen legte den Grundstein der Klangfarbenforschung und zeigte, dass die relative Stärke der Partialtöne für die Klangfarbe wesentlich ist. Moderne Arbeiten haben den Begriff um viele weitere Facetten ergänzt. So wissen wir heute, dass auch temporale und spektrale Merkmale in die Klangfarbenwahrnehmung hineinspielen. Dieser Artikel bietet einen Überblick zu klassischen Ergebnissen und neueren Entwicklungen der Klangfarbenforschung. Nach einer Diskussion der Definition von Klangfarbe werden insbesondere semantische Attribute der Klangfarbe, die Methode der Klangfarben-Räume und die akustische Merkmalsextraktion vorgestellt. Eingehend wird der zentrale Aspekt der klangfarblichen Helligkeitswahrnehmung und ihre Wechselwirkung mit Tonhöhe und Lautheit diskutiert. Letztlich wird eine auditorische Illusion auf Basis von klangfarblicher Helligkeit präsentiert.

### Einleitung

Was wäre die Musik ohne den Kontrast von Klängen verschiedener Instrumente? Man könnte wohl behaupten, Symphonieorchester, Big Bands und die meisten Formen von Musikensembles verdanken ihre Existenz der menschlichen Faszination für Klangfarben. Gleiches gilt für Instrumentenbauer, Schöpfer von Synthesizern sowie verschiedensten anderen Mitteln der elektronischen und computerbasierten Klangerzeugung. Die Klangfarbe als Aspekt der auditorischen Wahrnehmung ist also von zentraler Bedeutung in unserer Musikkultur. Dies ist keineswegs ein neuzeitliches Phänomen. Die berühmten Ausgrabungen von frühen Musikinstrumenten des Tübinger Archäologen Nicholas Conard aus Höhlen auf der schwäbischen Alb [1], bei denen aus Vogelknochen und Mammutelfenbein hergestellte Flöten gefunden wurden, zeigen, dass der Mensch schon vor mehr als 35.000 Jahren eine Faszination für Klang und klangliche Innovation hegte. Man stelle sich vor: draußen herrscht Eiszeit, drinnen wird den Klängen der neuesten Flöten gelauscht. Die Klangfarbe steht insgesamt für eine Sammlung

### Acoustical and perceptual foundations of timbre

Timbre lends individual sound events a characteristic quality and provides information on the sound source and sound excitation. For example, timbral cues allow instruments to be heard in the tangle of an orchestral sound or to identify the voice of a familiar person. Helmholtz's classic conception of tone perception laid the foundation for timbre research and showed that the relative strength of the partial tones is essential for timbre. Modern works have added many other facets to the term, so that today we know that temporal and spectral features also play a role in timbre perception. This article provides an overview of classical results and recent developments in research on timbre. After a brief discussion of the definition of timbre, the article reviews semantic attributes of timbre, the method of timbre spaces, as well as acoustic feature extraction for describing timbral properties. The central aspect of timbral brightness perception and its interactions with pitch and loudness are discussed in detail. Finally, an auditory illusion based on timbral brightness is presented.

von Attributen der auditorischen Wahrnehmung, die einzelnen Klangereignissen neben der Tonhöhe und Lautheit eine charakteristische Qualität verleihen und Hinweise auf die Klangerzeugung und -quelle liefern. Klangfarbe erlaubt es uns, den Klang einer Flöte von dem einer Stimme zu unterscheiden, Klänge als warm, rau oder schrill zu empfinden oder die Stimme einer Freundin in einem lauten Restaurant wieder zu erkennen. Die Klangfarbe vieler akustischer Musikinstrumente variiert mit dem (Tonhöhen-)Register und der Spielstärke (d.h. der musikalischen Dynamik), was bedeutet, dass die meisten akustischen Klangerzeuger eine Vielzahl verschiedener Klangfarben hervorbringen können. Die wichtigsten der Klangfarbe zugrunde liegenden akustischen Merkmale sind anhand der Form der spektrotemporale Hüllkurve (grober Energieverlauf über Zeit und Frequenz) eines akustischen Signals ermittelbar. Dies beinhaltet Merkmale wie den spektralen Schwerpunkt (spectral centroid), der als eine Art Erwartungswert des linearen Amplitudenspektrums berechnet werden kann und die Helligkeit eines Klanges beeinflusst, die Dauer des Einschwing-

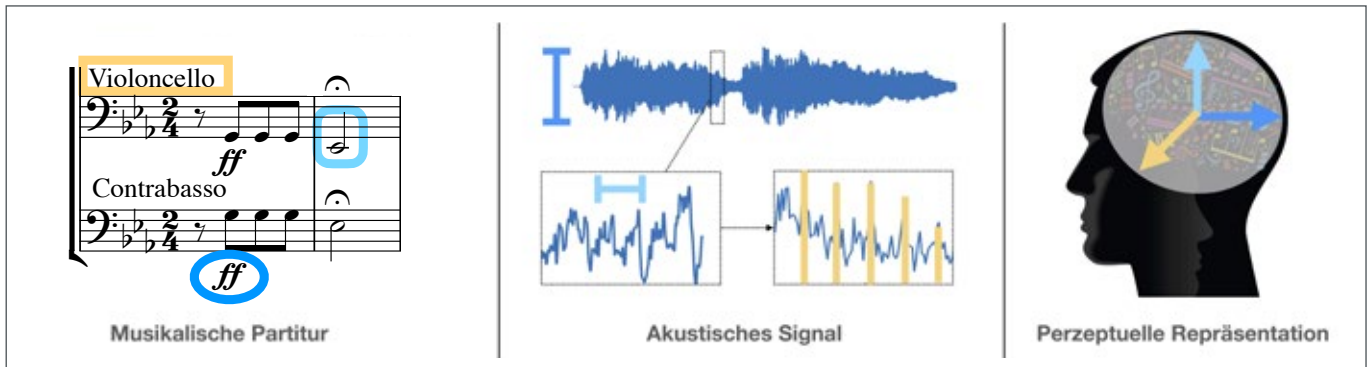


Abb. 1: Die musikalischen Dimensionen Instrumentation, Tonhöhe und Dynamik beeinflussen maßgeblich die akustischen Eigenschaften des Spektrums, der Periode und der Amplitude mit den entsprechenden Wahrnehmungsdimensionen der Klangfarbe, Tonhöhe und Lautstärke.

vorgangs (attack time), die die Impulsivität eines Klanges abbildet oder feinere zeitliche oder zeitlich-spektrale Modulationen, die die Rauigkeit eines Klanges bestimmen. Im weiteren Verlauf des Artikels werden verschiedene für die Klangfarbenwahrnehmung relevante akustische Merkmale vorgestellt und diskutiert.

#### Zum Begriff der Klangfarbe

Hörforscher haben sich lange schwer damit getan, den Begriff der Klangfarbe allgemeingültig zu definieren (in diesem Artikel verwende ich den Begriff Klangfarbe synonym mit dem englischen timbre). Schon Hermann von Helmholtz sieht im Vergleich zu anderen auditorischen Wahrnehmungsdimensionen insbesondere bei der Klangfarbe Erklärungsbedarf: *“Was wir unter Stärke des Tons und unter Tonhöhe verstehen, brauche ich nicht zu erklären. Unter Klangfarbe verstehen wir diejenige Eigenthümlichkeit, wodurch sich der Klang einer Violine von dem einer Flöte, oder Clarinette, oder menschlichen Stimme unterscheidet, wenn alle dieselbe Note in derselben Tonhöhe hervorbringen.”* (S. 20) Diese trotz allem recht eingängige Definition mag als Vorgänger der berühmt berüchtigten Definition des American National Standards Institute gesehen werden: *“Timbre. That attribute of auditory sensation which enables a listener to judge that two non-identical sounds, similarly presented and having the same loudness and pitch, are dissimilar [sic]. NOTE-Timbre depends primarily upon the frequency spectrum, although it also depends upon the sound pressure and the temporal characteristics of the sound”* [2, S. 35]. In seinem umfassenden Buch zur auditorischen Szenenanalyse kritisierte Albert Bregman diese Definition heftig [3]: *“This is, of course, no definition at all. [...] The problem with timbre is that it is the name for an ill-defined wastebasket category. [...] I think the definition ... should be this: ‘We do not know how to define timbre, but it is not loudness and it is not pitch.’ [...] What we need is a better vocabulary concerning timbre.”* (S. 92–93) Kommentare wie diese ließen viele Forscher im

Zweifel, ob der Begriff überhaupt zu etwas gut ist.

Mit einem konstruktiven Mindset lässt sich jedoch feststellen, dass der Begriff der Klangfarbe keineswegs Abfalleimer, sondern vielmehr ein Sammelbegriff ist, in dem verschiedene Funktionen der auditorischen Wahrnehmung zusammengefasst sind. Sicherlich bedarf es weiterer begrifflicher Unterscheidungen, um die einzelnen Aspekte des Sammelbegriffs genauer zu spezifizieren [4]. Die Klangfarbe kann Schallereignisse qualifizieren und identifizieren. Das bedeutet, die Klangfarbe liefert Cues, um auditorischen Ereignissen eine bestimmte Qualität zu verleihen (die raue Stimme, der fette Bass). Zudem liefert die Klangfarbe Hinweise zur Identifikation oder Spezifikation der Identität einer Klangquelle und der Art und Weise der Klangerzeugung (die Geige, die gezupft wurde). Hierbei ist festzuhalten, dass (ähnlich wie bei der Tonhöhenwahrnehmung) Klangfarbe nur für verschmolzene (d. h. als zusammen gehörig wahrgenommene) auditorische Ereignisse ermittelt wird. Keineswegs sollte man also etwa von der Klangfarbe der Beatles sprechen; der sogenannte Sound einer bestimmten Band oder eines musikalischen Genres entsteht gerade durch das Zusammenspiel und die Konfiguration der Klangfarben perzeptuell separater (aber nicht notwendigerweise zeitlich separater) Klangereignisse.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist, dass sich im Falle vieler Musikinstrumente die Klangfarbe als Funktion von (Tonhöhen-)Register und Spielstärke systematisch verändert. Beispielsweise hat eine Klarinette in ihren verschiedenen Registern sehr verschiedene klangfarbliche Ausprägungen. Es macht also wenig Sinn, von der „einen“ Klangfarbe der Klarinette zu sprechen, denn es sind in Wirklichkeit viele. Ähnliches gilt für Klangerzeuger ohne klar ausgeprägte Tonhöhen, wie z. B. Trommeln oder Gongs. Selbst aber für synthetisch erzeugte Klänge (somit strikt kontrolliert) wurden bereits zahlreiche perzeptuelle Wechselwirkungen zwischen den Attributen Tonhöhe, Lautstärke und Klangfarbe festgestellt. Diese

akustischen und perzeptuellen Wechselwirkungen werden im weiteren Verlauf des Artikels unter die Lupe genommen. Als Vorgriff sei gesagt, diese Wahrnehmungsdimensionen sind natürlich nicht voneinander unabhängig, sondern bilden ein zusammenhängendes Inventar.

Zur Definitionsfrage ließe sich schließlich noch die Perspektive von Stephen McAdams heranziehen [5], der schon im Titel der bisher größten Konferenz zur Klangfarbe im Jahr 2018, *Timbre is a many-splendored thing*, die Vielseitigkeit des Phänomens betont. Die Frage, was Klangfarbe nun im Kern sei, so McAdams, könnte aber auch in eine Sackgasse führen. Produktiver sei die Frage, was man mit Klangfarbe in Musik und Forschung anstellen kann. Dies könnte man unterstreichen, hat doch der Begriff der Klangfarbe in den letzten Jahren für ein dynamisches Forschungsgeschehen Pate gestanden, das viele akademische Disziplinen miteinander verbunden hat, wie z. B. die Akustik, Signalverarbeitung, Musikinformatik, Musikpsychologie und auditorische Neurowissenschaften.

#### Themen des Artikels

In diesem Übersichtsartikel werden zuerst einige klassische Grundpfeiler der Klangfarbenforschung dargestellt: Die Helmholtzsche Konzeption der Klangfarbe, grundlegende Arbeiten zu semantischen Attributen für Klangfarben sowie sogenannte Klangfarben-Räume. Daran anknüpfend werden neuere akustische Modelle der Klangfarbenwahrnehmung diskutiert. Akustische Merkmale oder Deskriptoren wie z. B. der spektrale Schwerpunkt werden in diesem Abschnitt im Detail erklärt. Letztlich wird auf die Frage eingegangen, inwiefern ein wichtiger Aspekt der Klangfarbe, nämlich die auditorische Helligkeit, als unabhängig und andersartig von der Tonhöhenwahrnehmung betrachtet werden kann. Dieser Überblick erhebt keineswegs einen Anspruch auf Vollständigkeit; interessierte Leser mögen hierfür weitere Quellen konsultieren [6–8].

### **Grundpfeiler der Klangfarbenforschung**

#### Klangfarbe im Helmholtzschen Sinne

1863 veröffentlichte Hermann von Helmholtz die erste Ausgabe seines Buches *Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik* [9]. Die Arbeit wird heute als der einflussreichste Beitrag zur Hörforschung des 19. Jahrhunderts betrachtet. Helmholtzs wichtigstes konzeptionelles Werkzeug war Fouriers Theorem, das bekanntlich postuliert, dass jede periodische Funktion als unendliche Reihe trigonometrischer Funktionen dargestellt werden kann. Ohm und Helmholtz wandten das Theorem auf die Beschrei-

bung von Schall an und demonstrierten damit seine Nützlichkeit für akustische Probleme [10]. Hier implizierte das Fouriersche Theorem, dass die unendliche Komplexität von Schwingungsbewegungen, die Klängen innewohnen, auf eine endliche Anzahl von Parametern reduziert wurde, nämlich die Amplituden und Phasen von trigonometrischen Funktionen, die den Partialtönen entsprechen.

Durch Versuche in Klangsynthese und Physiologie kam Helmholtz zu dem Schluss, dass das Fouriersche Theorem die physikalische und physiologische Realität exakt beschreibt. Er verwendete hierfür z. B. gestimmte Resonatoren, um Partialtöne aus einem Gesamtklang herauszufiltern und zu verstärken. Damit zeigte er, dass Partialtöne nicht nur mathematische Fiktion, sondern physikalische Realität waren, die manipuliert und erlebt werden konnten. In Bezug auf die Physiologie stellte Helmholtz fest, dass es verschiedene Teile des Ohrs geben muss, die durch Töne unterschiedlicher Frequenz in Schwingung versetzt werden. Damit begründete er die einflussreiche Idee des Ohrs als Mechanismus zur Frequenzanalyse [11]. Bezüglich der Klangfarbe postulierte Helmholtz, dass die Qualität des musikalischen Teils eines zusammengesetzten Tons ausschließlich von der Anzahl und der relativen Stärke seiner Teiltöne abhängt und in keiner Weise von deren Phasendifferenz (oder anderen zeitlichen Merkmalen). Nach Helmholtz ist die Klangfarbe also durch die Form des Spektrums eines Tons festgelegt. Diese Perspektive war für seine Zeit bahnbrechend, da dadurch dem Klangunterschied zwischen verschiedenen Instrumenten eine konkrete akustische Basis gegeben wurde.

Hier ist festzuhalten, wie eng Helmholtz sein Studienobjekt definiert hatte, in dem er sich auf den von ihm sogenannten „musikalischen Teil eines Tons“ beschränkte. Diesen definierte er als das, was heute wohl als steady-state eines Tons bezeichnet werden würde, d. h. als eine stationäre Phase des Tons, in der wenige Änderungen auftreten. Durch diese unrealistische Annahme völlig stationärer Klänge war sein Begriff der Klangfarbe in der Tat eine starke Vereinfachung dessen, was heute als Klangfarbe verstanden wird. Offensichtlich wurden zeitliche Aspekte der Klangfarbe wie z. B. der zeitliche Verlauf oder Einschwing-Transienten bei diesem Ansatz nicht berücksichtigt. Doch war sich Helmholtz dieser Tatsache durchaus bewusst: *„Wenn wir im Folgenden von musikalischer Klangfarbe reden, sehen wir zunächst von diesen Eigenthümlichkeiten des Anfangs und Endes ab, und berücksichtigen nur die Eigenthümlichkeiten des gleichmäßig andauernden Klages.“* (S. 116) Das bedeutet, dass Klangfarbe im Helmholtzschen Sinne nur ein kleiner Teil dessen ist, was heute unter dem Phänomen verstanden wird.

### Semantische Attribute von Klangfarben

Kein anderer Aspekt eines Tons regt solch reichhaltige semantische Assoziationen an wie die Klangfarbe. Schon Helmholtz war an den hier zugrundeliegenden akustischen Merkmalen interessiert: *“Es stellen sich dabei gewisse allgemeine Regeln heraus für diejenigen Anordnungen der Obertöne, welche den in der Sprache als weich, scharf, schmetternd, leer, voll oder reich, dumpf, hell, usw. unterschiedenen Arten der Klangfarbe entsprechen.”* (S. 118) Diese metaphorischen Beschreibungen mögen nicht entscheidend für die Wahrnehmung der Klangfarbe sein – man kann Klangfarben wahrnehmen, erkennen oder sich vorstellen ohne sie mit Worten beschreiben zu müssen. Jedoch spielen diese Begriffe sicher eine wichtige Rolle in der Phänomenologie und Ästhetik der Klangfarben. Außerdem könnte die Art und Weise, wie über Klangfarbe gesprochen wird, weitere Informationen über die Wahrnehmungsdimensionen der Klangfarbe offenlegen.

Systematische Forschung zur Klangfarbe und ihren semantischen Assoziationen entstand in den 1970er Jahren. In empirischen Studien erwies sich die semantische Differentialmethode (SD) [12] als überaus nützliches Werkzeug. Semantische Differentiale sind verbal verankerte Skalen, die typischerweise entweder aus zwei entgegengesetzten beschreibenden Adjektiven wie hell – dunkel oder aus einem Adjektiv und seiner Negation wie hell – nicht hell aufgebaut sind. Eine Reihe von Klängen kann nun nacheinander anhand mehrerer solcher Skalen beurteilt werden, die dann durch Faktoranalyse auf eine kleine Anzahl von Faktoren und Faktorladungen reduziert werden. Dafür werden oft die Teststimuli in Tonhöhe, Lautstärke und Dauer angeglichen.

In einer einflussreichen SD-Studie verwendete von Bismarck [13] im Jahr 1974 synthetische Spektren, die Vokal- und Instrumentenklänge imitierten. Diese wurden von Probanden auf verbalen Skalen beurteilt, die zur Beschreibung solcher Klangfarben als geeignet erschienen. Die Faktoranalyse ergab einen vierdimensionalen Raum. Dessen erste Dimension wurde durch das Differential stumpf – scharf gebildet, das fast die Hälfte der Gesamtvarianz in den Daten erklärte und gut mit dem spektralen Schwerpunkt der Testtöne korrelierte. Der unter anderem von Zwicker weiterentwickelte Begriff der Schärfe [14] geht auf diese Untersuchungen zu semantischen Attributen der Klangfarbe zurück.

Mit dem Schärfebegriff ergab sich jedoch für die englisch sprechende Forschungsgemeinschaft ein Übersetzungsproblem. In einem Experiment mit englisch sprechenden Probanden stellten Kendall und Cartrette [15] fest, dass Bewertungen auf dem Differential dull – sharp unzuverlässig waren. Dies wurde

darauf zurückgeführt, dass das Wort sharp im Englischen in Bezug auf Tonhöhe und Intonation, aber nicht für Klangfarbe benutzt wird.

Jüngere SD-Studien mit englisch sprechenden Probanden haben gezeigt, dass der Begriff der Helligkeit ein weiteres zentrales semantisches Attribut für Klangfarben darstellt [16]. Die Helligkeit zeigt eine Verwandtschaft mit Schärfe, und Helligkeitsurteile korrelieren mit dem spektralen Schwerpunkt von Tönen. Neben der Helligkeit haben sich außerdem die semantische Dimension der Reichhaltigkeit (fullness) und der Rauigkeit (roughness) als zentral erwiesen [17].

Die meisten SD-Studien sind in der Regel sehr sparsam in Punkto der Anzahl an Dimensionen, die sie hervorbringen. Es gibt jedoch auch Studien, die explizit die Vielfalt der sprachlichen Beschreibungsweisen betonen. Eine jüngere Studie dieser Art schlug ein Modell mit 20 potentiell redundanten semantischen Dimensionen vor [18]: Polternd / tief, leise / singend, wässrig / flüssig, direkt / laut, nasal, schrill / laut, perkussiv, rein / klar, metallisch, kratzig / körnig, klingelnd, funkelnd / brillant, luftig / atmend, resonant / lebendig, hohl, holzig, gedämpft / verschleiert, anhaltend / gleichmäßig, offen, konzentriert / kompakt. Ob diese Liste an Begriffen nun zwingend notwendig für die Beschreibung der orchestralen Farbenvielfalt ist, sei dahin gestellt. Bemerkenswert ist jedoch, wie viele Attribute darin auftauchen, die in erster Linie erstmal nichts mit Klang zu tun haben. Viele Begriffe sind vom Sehsinn, Tastsinn oder etwa aus Begrifflichkeiten für Materialeigenschaften abgeleitet und werden dann scheinbar mühelos mit klanglichen Eigenschaften assoziiert. Was die perzeptuelle und neuronale Grundlage dieser erstaunlichen Assoziationsfähigkeit ist, bleibt eine offene Forschungsfrage.

### Klangfarben-Räume

Obwohl Studien mit semantischen Differentialen dank der Methode der Faktoranalyse ein Stück weit von einzelnen Begriffspaaren abstrahieren können und somit generelle semantische Faktoren aufzudecken versuchen, sind die elementaren Eingangsdaten immer begrifflich geprägt. Es existieren aber auch alternative Methoden, die ganz ohne semantische Beschreibungen und Urteile auskommen. Hierfür begannen Studien in den 1970er Jahren die Technik der sogenannten multidimensionalen Skalierung [19,20] (MDS) zu benutzen. Gefüttert mit einer Matrix von Unterschiedlichkeitsdaten erzeugt MDS eine räumliche Konfiguration von Punkten, welche die ursprünglichen Unterschiedlichkeitsdaten abbildet. Das bedeutet, sehr unterschiedliche Datenpaare werden vom MDS-Algorithmus räumlich weit entfernt angeordnet, sehr ähnliche Paare entsprechend

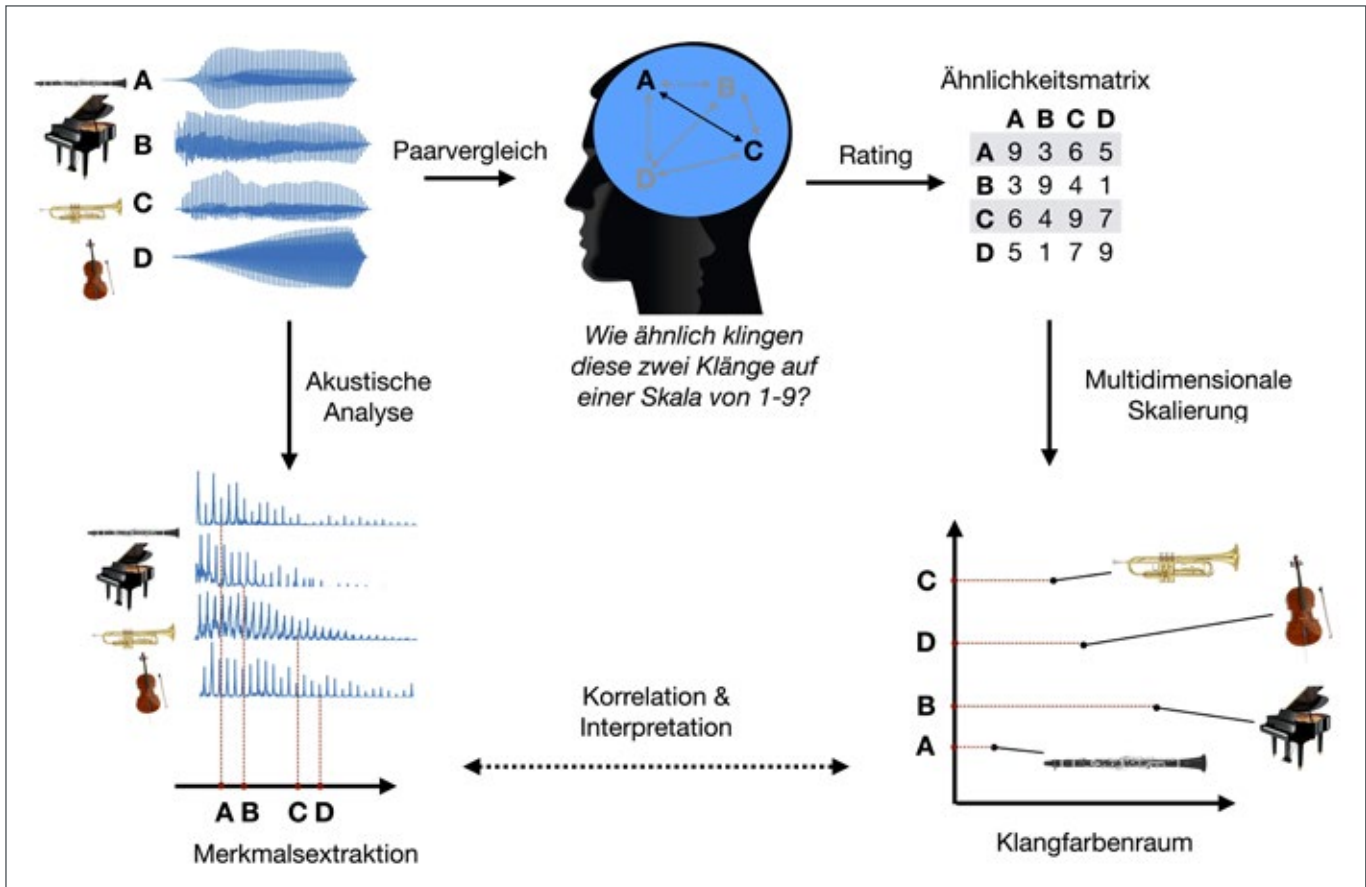


Abb. 2: Schematik zum methodischen Ansatz der Klangfarben-Räume.

nah aneinander. Wenn nun Probanden eine Reihe von Tönen bzgl. ihrer Verschiedenheit bewerten, so ist es mit MDS möglich, aus diesen Daten eine räumliche Darstellung abzuleiten. Diese Darstellungen werden oft Klangfarben-Raum oder timbre space genannt, siehe Abbildung 2. Um die Beeinflussung der Beurteilungen durch andere auditorische Attribute auszuschließen, werden die zu beurteilenden Töne normalerweise in Tonhöhe, Lautstärke und Dauer angeglichen. Mit MDS ist es also möglich, auf agnostische Weise, d. h. ohne Vorannahme von relevanten akustischen Merkmalen oder semantischen Attributen, wesentliche akustische und perzeptuelle Merkmale der Klangfarbenwahrnehmung zu explorieren. Die MDS-Methode war ein wertvolles Werkzeug für die moderne Klangfarbenforschung von Musikinstrumentenklängen. Doch wurde MDS ebenso für die Charakterisierung von Sprachqualität [21], von Industrieproduktklängen und des Sounddesigns [22] sowie der Musikwahrnehmung von Trägern von Cochlear-Implantaten [23] genutzt. Wichtige Beiträge entstanden in den 1970er Jahren. Nach ersten Anwendungen von Reinier Plomp [24] und David Wessel [25], verwendete John Grey [26] synthetisch emulierte Klänge von Orchesterinstrumenten, die mittels additiver Synthese auf der Basis von zeitvarianten Amplituden- und Frequenzverläufen von Par-

tialtönen erzeugt wurden. Greys Klangfarben-Raum hatte eine dreidimensionale Struktur. Seine Interpretation der zugrundeliegenden akustischen Dimensionen bezog sich auf die spektrale Energieverteilung für die erste Dimension, die Einschwingssynchronität von Partialtönen für die zweite Dimension und dem spektralen Schwerpunkt während des Einschwingvorgangs als dritte Dimension.

Vielleicht die einflussreichste klassische MDS-Studie wurde von Stephen McAdams und Koautoren verfasst [27]. In dieser Studie mit 18 synthetischen Instrumentenklängen wurden viele Möglichkeiten des sogenannten CLASCAL-Algorithmus der MDS [28] ausgenutzt, welche die Modellierung verschiedener Probandenklassen möglich macht (diese gewichten die verschiedenen MDS-Dimensionen unterschiedlich). Ausserdem konnte jedem einzelnen Stimulus ein sogenannter Spezifitäts-Wert zugewiesen werden, der die idiosynkratische Verschiedenheit von Stimuli quantifiziert, d. h. eine Verschiedenheit, die nicht gut anhand den von allen Stimuli geteilten kontinuierlichen Dimensionen der MDS dargestellt werden kann. Drei Audio-Deskriptoren wurden als beste Kandidaten für die psychophysische Interpretation der MDS-Dimensionen angesehen: die logarithmische Einschwingzeit, der spektrale Schwerpunkt sowie der spektrale Flux (mittlere Korrelationen zwi-

schen benachbarten Kurzzeitamplitudenspektren). Somit suggerierte diese Studie, dass temporale, spektrale und spektrotemporale Merkmale für die Wahrnehmung von Instrumentenklangen wesentlich sind. Mittlerweile haben eine Reihe von MDS-Studien bestätigt, dass der spektrale Schwerpunkt und die Einschwingzeit für die Ähnlichkeitswahrnehmung die zwei wichtigsten akustischen Korrelate darstellen [29]. Die Einschwingzeit scheint besonders wichtig für Stimulus-Sets zu sein, die sowohl kontinuierlich und impulsiv angeregte Töne enthalten, da diese zwei Klassen von Tönen von der Einschwingzeit robust separiert werden. In diesem Sinne ergänzten diese Studien den Helmholtzschen Ansatz, indem sie zeigten, dass die zeitlichen Merkmale wie die Einschwingzeit ein salientes klangfarbliches Merkmal ist. Gleichzeitig wirft die geringe Dimensionalität von vielen der so generierten Klangfarbenräume – normalerweise beobachten Studien etwa zwei bis drei Dimensionen – Zweifel an der Vollständigkeit dieser Räume auf. Auf der einen Seite ist es leicht vorstellbar, dass klangfarbliche Nuancen von diesen wenigen Dimensionen nicht erfasst werden. Auf der anderen Seite könnten diese resultierenden niedrigdimensionalen Räume möglicherweise auch Einschränkungen in der Fähigkeit der Hörer widerspiegeln, Ähnlichkeits-Bewertungen für viele mehrere Wahrnehmungsfaktoren gleichzeitig vorzunehmen [30].

Eine subtile, aber wichtige Grundvoraussetzung von MDS ist, dass die wahrgenommene Ähnlichkeit zwischen zwei Tönen unabhängig von der Präsentationsreihenfolge sein sollte: Ob erst Klang A, dann Klang B oder erst Klang B, dann Klang A gehört wird, sollte keinen Unterschied machen, sonst wäre eine räumliche und somit von vorn herein symmetrische Darstellung unzulässig. Hier ist es wichtig zu wissen, dass asymmetrische Ähnlichkeitsurteile in der Psychologie nicht ungewöhnlich sind. In seinen klassischen Arbeiten legte Amos Tversky [31] überzeugend dar, dass Ähnlichkeitsurteile oft gerichtet sind, so dass etablierte, saliente Stimuli als Referenzen agieren: Wir sagen *Nord-Korea ist wie das kommunistische China* (jedoch nicht andersherum) oder *Ich spiele Fußball wie Lionel Messi* (jedoch wahrscheinlich nicht andersherum). In der Klangfarbenforschung wurde die Symmetrie der Ähnlichkeitsbewertungen erst jüngst überprüft [32]. In der Studie wurden zwei Kategorien von Stimuli benutzt, nämlich akustische und synthetische Instrumententöne. Im Ergebnis konnte festgestellt werden, dass Urteile in der Regel symmetrisch sind. Allerdings wurde beobachtet, dass Ähnlichkeitsurteile dedizierte Asymmetrien aufwiesen, wenn die Töne eines zu bewertenden Paares aus verschiedenen Kategorien (akustisch vs. synthetisch) stammten. Dies deutet

darauf hin, dass die Voraussetzung von Symmetrie und damit die Anwendbarkeit des MDS-Ansatzes insbesondere für Studien mit heterogenen Stimuli nicht uneingeschränkt gültig ist.

## Akustische Merkmale

### Audio-Deskriptoren

Ein wichtiges Mittel, um Hörversuche mit den zugrundeliegenden akustischen Eigenschaften der Stimuli zu verknüpfen, ist die Extraktion von akustischen Merkmalen anhand von Audio-Deskriptoren. In Abbildung 3 wird die Berechnung von einigen für die Beschreibung von Klangfarben zentralen Merkmalen angedeutet. In der oberen Reihe wird ein einfacher harmonischer, amplitudenmodulierter Tonkomplex dargestellt (500 Hz Grundfrequenz), in der unteren Reihe ein aufgenommener Klavierton (C4, 262 Hz Grundfrequenz). Die elementarste Darstellung des Signals ist die Wellenform (links). Die graue gestrichelte Linie deutet hier das Ende des Einschwingvorgangs der Töne an. Die logarithmierte Dauer des Einschwingvorgangs (log attack time) wurde in zahlreichen Klangfarben-Räumen für die Beschreibung der Impulsivität von Tönen benutzt [33].

Eine weitere elementare Darstellung des Signals ist das mittels der Fourier-Transformation gewonnene Amplituden-Spektrum. In Abbildung 3 (Mitte links) korrespondiert die graue Linie mit dem spektralen Schwerpunkt (spectral centroid). Dieser liegt für den synthetischen Tonkomplex zwischen dem vierten und fünften Partialton und beim Klavierton genau auf dem zweiten Partialton. Der spektrale Schwerpunkt entspricht numerisch dem ersten Moment der spektralen Leistungsdichte des Signals und korreliert (jedoch nicht als einziger Deskriptor) mit der wahrgenommenen Helligkeit von Tönen [34]. Ein weiterer auf der Spektralverteilung basierender Deskriptor ist das Stärkeverhältnis von geraden und ungeraden Partialtönen (odd-even-ratio) [35], welches z. B. für die hohl-klingenden Töne des tiefen Registers der Klarinette relevant ist.

In Abbildung 3 (Mitte rechts) sind die Spektrogramme der Signale dargestellt. Im Spektrogramm ist der Verlauf der akustischen Energie über die Zeit klar sichtbar, was z. B. die statische Natur des synthetischen Signals und das schnelle Abklingverhalten der hohen Partialtöne des Klaviers illustriert. Der sogenannte spectral flux Deskriptor [27] quantifiziert solche Veränderungen über die Zeit, nämlich durch Korrelation benachbarter Kurzzeitamplitudenspektren (d. h. Spalten des Spektrogramms). In der Literatur werden die erwähnten Deskriptoren und viele andere Deskriptoren meist auf Basis des Spektrogramms berechnet, womit diese Deskriptoren noch eine zeitliche Dimension erhalten.

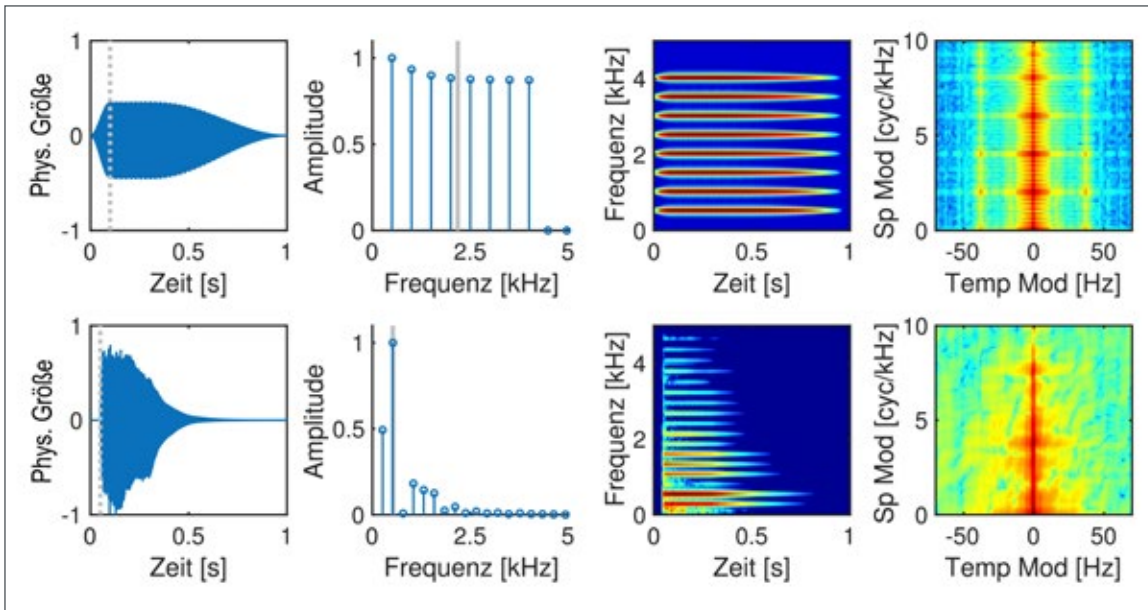


Abb. 3: Repräsentationen eines akustischen Signals. Oben: synthetisches Signal ( $F_0$ : 500 Hz), unten: Klavierton ( $F_0$ : 262 Hz). Von links nach rechts: Wellenform, Amplitudenspektrum, Spektrogramm, Modulationsspektrum.

Eine große Anzahl weiterer numerischer Deskriptoren wurden in der Literatur und insbesondere im Bereich des Music Information Retrieval benutzt, um klangfarbliche Aspekte von Instrumententönen zu beschreiben. Dazu gehören z. B. die spektrale Breite (spectral spread), die Rauschhaltigkeit, die spektrale Entropie, die Inharmonizität, der spektrale Crestfaktor oder die Stärke von Frequenzmodulationen [33]. Es zeigt sich jedoch, dass viele dieser Deskriptoren stark miteinander korrelieren und nur begrenzt unabhängige Informationen codieren. Beispielsweise beschreiben der spektrale Schwerpunkt und die spektrale Breite als der erste und zweite Moment der Spektralverteilung prinzipiell unterschiedliche akustische Eigenschaften. Doch da die Spektren von Instrumententönen in Richtung der tiefen Frequenzen beschränkt sind, sind diese Deskriptoren in der Praxis oft hoch korreliert – die spektrale Breite ist hoch, wenn auch der Schwerpunkt hoch ist. In einer Analyse einer Reihe von Instrumententönen fanden Geoffrey Peeters und Koautoren zehn statistisch relativ unabhängige Cluster von Deskriptoren [36]. Insofern unterliegen akustische Deskriptoren einer Art abnehmenden Grenznutzen.

#### Modulationsspektrum

Die Nutzung klassischer Audio-Deskriptoren setzt voraus, dass klangfarbliche Qualitäten anhand einzelner akustischer Maße bestimmt werden können. Die Helligkeit ist hierfür ein gutes Beispiel, die anhand des spektralen Schwerpunkts recht gut vorhergesagt werden kann. Ein konzeptuell anders ausgerichteter Ansatz könnte aber auch lauten, dass die Klangfarbe holistisch als Gestalt wahrgenommen wird, d. h. durch

ein komplexes spektrotemporales Muster. Diese Idee hat in jüngerer Zeit an Popularität gewonnen und wird oft mit Hilfe des Modulationsspektrums (siehe Abbildung 3, rechts) operationalisiert. Letzteres bildet die gemeinsame temporale und spektrale Variation im Spektrogramm ab und kann u. a. durch eine zweidimensionale Fourier-Transformation vom logarithmierten Amplituden-Spektrogramms berechnet werden [37]. Auf der x-Achse sind zeitliche Modulationen (in Hz) aufgetragen, auf der y-Achse finden sich spektrale Modulationen (Perioden/kHz). Für den synthetischen Ton zeigt das Modulationsspektrum Energiemaxima auf der y-Achse an, die bei Vielfachen von 2 Perioden/kHz liegen. Diese entsprechen dem Kehrwert der Grundfrequenz des Signals (0,5 kHz) und sind Folge der harmonischen Partialtonstruktur des Signals. Das Modulationsspektrum zeigt außerdem klare vertikale Komponenten bei  $\pm 40$  Hz an, was der dem Signal aufgeprägten Amplitudenmodulation entspricht und dessen Rauigkeit widerspiegelt. Diese Modulationen sind jedoch weder in der Wellenform noch dem Spektrogramm eindeutig erkennbar. Das Modulationsspektrum könnte konzeptionell als eine Art Erweiterung der vielfältig genutzten Mel-frequency cepstral coefficients gesehen werden. Während Letztere die Form des Spektrums codieren (d. h. spektrale Modulationen), codiert das zweidimensionale Modulationsspektrum die Form des Spektrogramms über die Zeit und die Frequenz ab (d. h. spektrotemporale Modulationen).

Luc Arnal und Koautoren [38] zeigten, dass mit Hilfe des Modulationsspektrums die menschlichem Schreien inhärente Rauigkeit robust charakterisiert werden konnte und dass Aktivität in der Amygda-

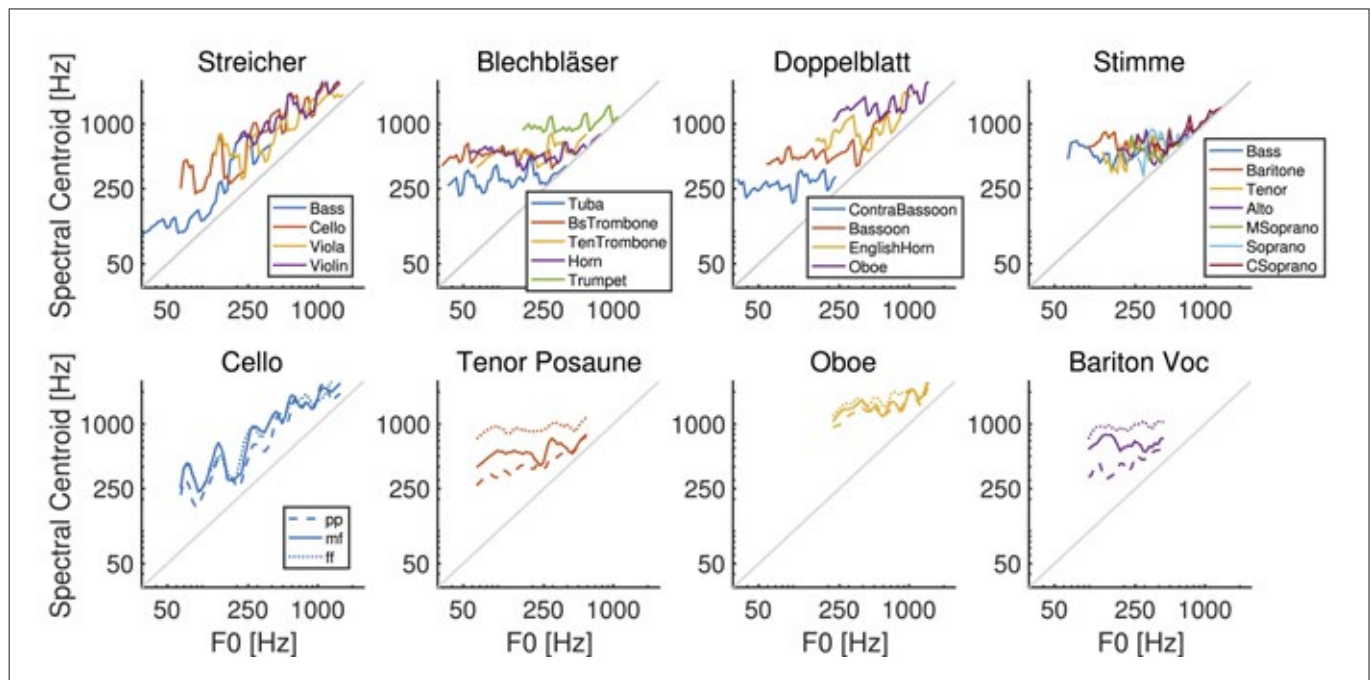


Abb. 4: Messung des spektralen Schwerpunkts bei verschiedenen Instrumenten und Instrumentenfamilien gemittelt über Spielstärken pianissimo (pp), mezzo forte (mf) und fortissimo (ff) (oben) sowie für einzelne Instrumente und Spielstärken (unten).

la, dem Emotionszentrum des Gehirns, mit dem Auftreten von Energie im Modulationsspektrum im Bereich um 70 Hz korrelierte. In Bezug auf Klangfarbenräume zeigten Taffeta Elliot und Koautoren [39], dass die Position von Tönen mit Hilfe von Modulationsspektren und eines Regressionsmodells ebenso gut vorausgesagt werden konnte wie mit klassischen Audio-Deskriptoren. Für die Identifikation von Musikinstrumenten gibt es mittlerweile ebenfalls auf der Modulationsanalyse beruhende Ansätze, die relativ präzise die Identifikationsleistung humaner Probanden nachbilden können [40].

Zusammenfassend könnte man also sagen, die derzeitige Herausforderung in der Nutzung von der akustischen Merkmalsanalyse scheint nicht zu sein, möglichst viele Informationen aus dem Signal zu extrahieren. Die Herausforderung scheint eher darin zu liegen, Ansätze zu finden, die für die jeweils betrachtete Aufgabe gerade relevanten Informationen aus Audio-Deskriptoren oder Modulationsrepräsentationen herausfiltern können, so dass diese für die Nutzer interpretierbar bleiben.

### Zusammenhang von Klangfarbe, Tonhöhe und Lautstärke

Eine Limitation vieler Arbeiten zur Klangfarbenwahrnehmung ist, dass diese oft bei nur einer Tonhöhe und einer Spielstärke durchgeführt wurden. Dies mag ein erster Startpunkt sein, erlaubt die Angleichung der Tonhöhe und Lautheit es doch auszuschließen, dass Messergebnisse durch Faktoren konfundiert werden, die erst einmal nicht spezifisch für

die Klangfarbe sind. Dies würde der negativen Definition der Klangfarbe als Überbleibsel des Tons bei angeglichenen Tonhöhe und Lautstärke entsprechen. Dieser Ansatz bedarf jedoch der Ergänzung, da viele akustische Eigenschaften von Instrumententönen stark abhängig von diesen Produktionsfaktoren sind. Im Folgenden werden zuerst akustische und danach perzeptuelle Facetten dieses Phänomens beleuchtet.

### Akustischer Zusammenhang von Spektrum, Grundfrequenz und Spielstärke in Instrumententönen

In Abb. 4 wird der Zusammenhang von Tonhöhe und spektralem Schwerpunkt sowie Spielstärke illustriert. Die Abbildung zeigt Messungen für die Instrumentengruppen der Streicher, Blechbläser, Doppelblatt-Bläser und der (klassischen) Gesangsstimme. Die entsprechenden Aufnahmen sind der Vienna Symphonic Library ([www.vsl.co.at](http://www.vsl.co.at)) entnommen. In der oberen Reihe werden Messungen gemittelt über drei Stufen der Spielstärke, unten werden Messungen für einzelne Instrumente spezifisch für jede Spielstärke gezeigt.

Offenbar gibt es für die verschiedenen Instrumentengruppen einen andersartigen Zusammenhang von Grundfrequenz  $F_0$  und spektralem Schwerpunkt. Bei den Streichern steigt der Schwerpunkt trotz einiger Varianz in den Messungen relativ linear an. Höhere Töne werden tendenziell auf leichteren Saiten gespielt, was zu einer Erhöhung des spektralen Schwerpunktes führt. Deutlich zu sehen ist hier, dass im tieferen Register der Kontrabass (oben links, blaue Linie) einen deutlich tieferen spektralen

Schwerpunkt verglichen zum Cello (rote Linie) besitzt, was die vergleichsweise dunkle Klangfarbe des Kontrabasses begründet.

Bei den Blechbläsern und den Doppelblatt-Instrumenten sieht man zumindest bis auf die höchsten Register keine so starke Verschiebung des spektralen Schwerpunktes mit der Tonhöhe. Dies entspricht dem Umstand, dass diese Instrumente recht gut als Quelle-Filter-Modell beschrieben werden können. Die Tonhöhe beeinflusst allein das Quell-Signal, während der spektrale Schwerpunkt als grober Lageparameter des Spektrums zum Großteil durch den Filter, d. h. die physikalischen Eigenschaften des Instruments, determiniert wird. Für diese beiden Instrumentengruppen ist es auch deutlich, dass kleinere Instrumente in der Regel höhere spektrale Schwerpunkte haben, was dazu passt, dass z. B. die Trompete eine deutlich hellere Klangfarbe verglichen mit der Posaune oder gar der Tuba hat. Die Gültigkeit des Quelle-Filter-Modells voraussetzend hat Roy Patterson [41] entsprechend vorgeschlagen, dass die Instrumentenfamilie die Form der spektralen Einhüllenden bestimmt und sich diese Form mit kleiner werdenden Instrumenten der gleichen Familie in Richtung höherer Frequenzen verschiebt. Für die Gesangsstimme trifft dies in den hier betrachteten Messwerten aber nicht zu; man kann hier unabhängig vom Stimmregister sehr ähnliche Schwerpunkte beobachten.

Die Analyse zeigt ebenfalls, dass Erhöhungen der Spielstärke zu Änderungen im Spektrum von Tönen führt. Mit größerer Spielstärke erzeugte Klänge haben nicht nur prinzipiell eine größere Energie bei allen Klangkomponenten, das Spektrum breitet sich auch zu höheren Frequenzen aus, da mehr Schwingungsmodi des physikalischen Systems angeregt werden. Das impliziert insbesondere den höheren spektralen Schwerpunkt, wie in Abbildung 4 (unten) abgebildet. Doch erscheint die Stärke dieser Änderungen jedoch von Instrument zu Instrument unterschiedlich. Während die Tenor-Posaune und der Bariton extreme bis zu 500 Hz große Änderungen aufweisen, sind die Unterschiede bei dem Cello oder der Oboe geringer.

Die Messungen des spektralen Schwerpunkts können natürlich nur einen ersten groben Anhaltspunkt liefern. Für viele weitere Illustrationen der akustischen Eigenschaften der Töne von Orchesterinstrumenten sei auf das Buch von Jürgen Meyer [42] verwiesen. Was diese Darstellungen jedoch belegen, ist, wie viele Eigenheiten im Verlauf allein schon des spektralen Schwerpunkts über Tonhöhe und Spielstärke auftreten. Möglicherweise sind es gerade diese akustischen Eigenheiten oder deren Kovarianz, die es Hörern überhaupt ermöglicht, Musikinstrumente

anhand nur kurzer Töne oder Phrasen im Gewirr des Orchester- oder Ensembleklangs zu erkennen.

#### Perzeptuelle Wechselwirkung von Helligkeit, Tonhöhe und Lautstärke

Man könnte nun fragen, ob der eben dargestellte Zusammenhang zwischen akustischen Parametern in der Wahrnehmung eine Analogie findet. Inwiefern sind die elementaren auditorischen Wahrnehmungsdimensionen miteinander verwoben? Diese Frage hat mittlerweile zu spannenden Forschungsarbeiten in der Psychoakustik, Musikwahrnehmung und kognitiven Neurowissenschaften geführt.

Eine Studie, die den Einfluss der Helligkeit auf die musikalische Intervallwahrnehmung sehr deutlich macht, kommt von Russo und Thompson [43]. Probanden mit und ohne musikalischer Ausbildung beurteilten hier musikalische Intervalle als ab- oder aufsteigend. Bei kongruenter Variation der Helligkeit, d. h. gleichzeitiger Aufwärts- oder Abwärtsbewegung von Grundfrequenz und spektralem Schwerpunkt wurden die Intervalle von beiden Probandengruppen ausnahmslos als größer beurteilt im Vergleich zu inkongruenten Bewegungen. Das bedeutet, wenn sich beide Parameter in verschiedene Richtungen bewegten, fand eine Reduktion der wahrgenommenen Größe der Bewegung statt. Dies liefert bereits wichtige Hinweise, dass die Attribute Tonhöhe und klangfarbliche Helligkeit nicht getrennt verarbeitet werden, sondern perzeptuell interagieren.

Emily Allen und Andrew Oxenham [44] untersuchten, inwiefern Helligkeits- und Tonhöhenwahrnehmung sich gegenseitig beeinflussen können, wenn beide Dimensionen durch die Variation des spektralen Schwerpunkts oder der Grundfrequenz strikt kontrolliert werden. Insbesondere wurde in dieser Untersuchung durch vorangehende Messungen von Diskriminationsschwellen dafür gesorgt, dass die experimentell genutzten Einheiten von spektralem Schwerpunkt und Grundfrequenz für alle Probanden dieselbe Wahrnehmungsstärke besaßen. Im Hauptexperiment mussten Probanden synthetische Stimuli anhand von Differenzen des spektralen Schwerpunkts oder der Grundfrequenz unterscheiden, während Variation in der jeweils anderen Dimension von den Probanden ignoriert werden sollte. Die Ergebnisse zeigten erneut, dass die Unterscheidungsschwellen umso geringer waren, je kleiner die Variation in der zu ignorierenden Dimension war. Musiker zeigten insgesamt eine feinere Unterscheidungsfähigkeit, doch der Unterschied zu Probanden ohne musikalisches Training hing nicht von dem getesteten Parameter ab (spektraler Schwerpunkt vs. Grundfrequenz). In einer Folgestudie [45] wurden die neuronalen Korrelate dieser Unterscheidungsfähigkeit mit Hilfe der

funktionellen Magnet-Resonanz-Tomographie untersucht. Im Ergebnis konnte keine stabile anatomische Unterscheidung der Regionen des auditorischen Kortex festgestellt werden, die sich für die sensorische Kodierung von Grundfrequenz und spektralem Schwerpunkt verantwortlich zeigten.

Während die Wahrnehmung von Helligkeit und Tonhöhe eng verwandt erscheinen, was auch auf die teilweise tonotopische Repräsentation beider Attribute im auditorischen Kortex zurückzuführen sein mag, stellt sich doch auch für Lautheits-basierte Aspekte der Wahrnehmung die Frage nach Wechselwirkungen. Eine Studie ist hier der Frage nachgegangen, inwiefern die Klangfarbe die Beurteilung der Spielstärke (d. h. musikalische Dynamik) beeinflusst. Für die Wahrnehmung der Stärke eines Tons, d. h. ob er als zart und leise oder laut und kraftvoll empfunden wird, ist natürlich nicht nur der Wiedergabepegel verantwortlich, sonst würden ja Dynamikunterschiede in komprimierter Musik verschwinden, was nicht der Fall ist. Wie oben erläutert verändert sich die Spektralverteilung über Stufen der Spielstärke hinweg und der spektrale Schwerpunkt verschiebt sich nach oben. Doch zu welchem Maß diese klangfarblichen Cues und der Wiedergabepegel die wahrgenommene Dynamik beeinflussen, war lange unbekannt. Fabiani und Friberg [46] untersuchten diesen Zusammenhang. In einem Experiment testeten sie verschiedene Tonhöhen, Schallpegel, Instrumentierungen (Klarinette, Flöte, Klavier, Trompete und Violine) und den Dynamikstufen entsprechenden klangfarblichen Cues (d. h. mit Tönen, die mit den Spielstärken pp, mf und ff aufgenommen waren). Probanden wurden gebeten, die wahrgenommene Dynamik jedes Stimulus auf einer Skala von pp bis ff anzugeben. Ergebnisse zeigten, dass interessanterweise der Wiedergabepegel wie auch die klangfarblichen Cues eine ähnlich große Rolle für die Bewertung von Dynamik spielten. Die einzige Ausnahme war hier die Flöte, wo ein geringerer Einfluss der Klangfarbe festgestellt wurde.

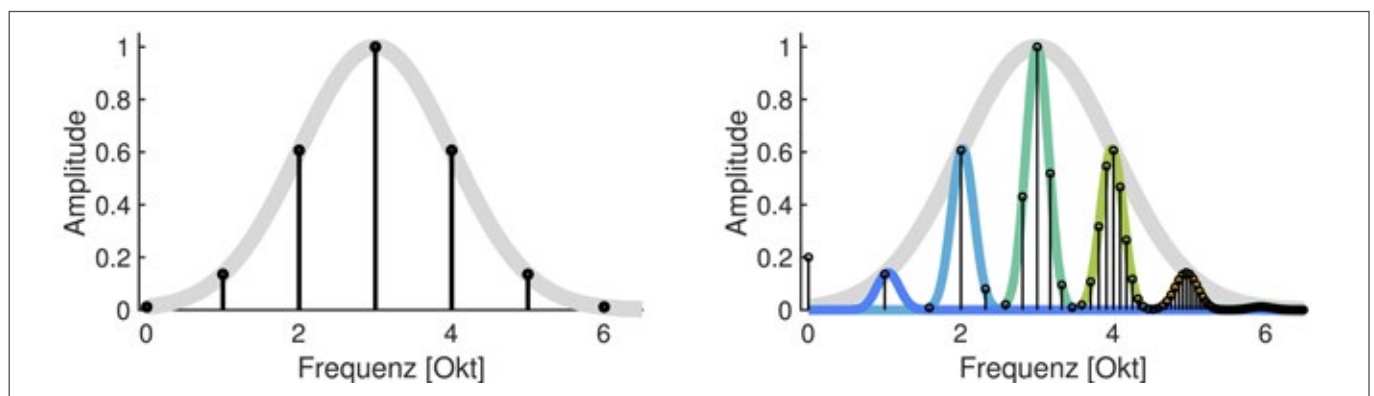
Die Tonhöhe war hauptsächlich für die Klarinette, Flöte und das Klavier relevant, wo höhere Tonhöhen höhere dynamische Bewertungen erhielten. Urteile zur Dynamik von Instrumententönen basieren daher sowohl auf der Lautstärke und Klangfarbe, als auch in geringem Maße auf der Tonhöhe.

Insgesamt zeigen sich also direkte Wechselwirkungen von sowohl klangfarblicher Helligkeit und Tonhöhe, als auch Klangfarbe und Facetten der Lautstärkewahrnehmung. Die weitere Erforschung dieses Themenkomplexes stellt eine wichtige Herausforderung für zukünftige Arbeiten der Psychoakustik dar.

#### Eine auf Helligkeitswahrnehmung basierende Shepard-Illusion

Die enge Verwandtschaft der Tonhöhe und Helligkeitswahrnehmung wird im Folgenden anhand der berühmten Shepard-Illusion illustriert. Seit ihrer Einführung vor mehr als 50 Jahren [47] spielen Shepard-Töne eine wichtige Rolle bei der Untersuchung der Wahrnehmung von Tonhöhen. Shepard-Töne sind Tonkomplexe, die durch die Überlagerung von Partialtönen im Oktavabstand konstruiert werden. Die Amplituden dieser Partialtöne sind durch eine Gaußsche Funktion bestimmt. Abbildung 5 zeigt eine Schematik des resultierenden Spektrums. Diese Konstruktionsweise hat zur Folge, dass ein um eine Oktave verschobener Shepard-Ton mit dem ursprünglichen (nicht verschobenen) Shepard-Ton identisch ist. Dies ermöglicht die Paarung der Partialtöne im Oktavabstand und der Gauß-förmigen spektralen Hüllkurve. Somit sind alle Intervalle zwischen Shepard-Tönen immer kleiner als eine Oktave. Wenn nun Shepard-Töne, z. B. in Halbtönen, schrittweise nach oben verschoben werden, merkt der Zuhörer meist nicht, dass das Karussell nach einer Oktave wieder am Ursprung angekommen ist, denn jeder einzelne Schritt führte ja aufwärts. Letztlich kann somit der Eindruck einer schier endlos aufsteigenden Bewegung entstehen. Dieses Phänomen ist

Abb. 5: Spektrum des klassischen Shepard-Tons (links) und des vom Autoren für die Helligkeitswahrnehmung modifizierten Stimulus (rechts). Auf der x-Achse ist die Frequenz auf logarithmischer Skala mit der Einheit Oktaven aufgetragen, auf der y-Achse die Amplitude.



die sogenannte Shepard-Illusion (online sind eine Vielzahl von Demonstrationen verfügbar). Selbstverständlich funktioniert die Shepard-Illusion auch mit absteigenden Tonfolgen oder sogar kontinuierlichen Glissandi.

Ein weiterer faszinierender Aspekt der Shepard-Töne ist die Mehrdeutigkeit in der Richtungswahrnehmung von sequentiell abgespielten Paaren von Shepard-Tönen im Tritonus- bzw. Halb-Oktav-Abstand. Bei diesen Intervallen ist es im Durchschnitt in etwa gleich wahrscheinlich, dass Hörer Verschiebungen nach oben oder unten berichten [48]. Neuere Studien haben hier insbesondere ein Augenmerk auf die Rolle des vorhergehenden auditorischen Kontextes gelegt. Claire Chambers, Daniel Pressnitzer und Kollegen haben gezeigt, dass ein solcher Kontext die Wahrnehmung von Halb-Oktav-Intervallen stark beeinflussen kann [49]. Wenn der Kontext aus Shepard-Tönen bestand, die eher höher lagen als der erste Ton des Halb-Oktav-Intervalls (z. B. +2, +4, +3 Halbtöne), so wurde das Halb-Oktav-Intervall von der Vielzahl von Probanden nach oben gehend wahrgenommen. Wenn nun tiefer liegende Shepard-Töne als Kontext präsentiert wurden (z. B. -3, -4, -2 Halbtöne), so wurde das Halb-Oktav-Intervall überwiegend als nach unten gehend gehört.

Interessierte Leserinnen und Leser mögen sich fragen, was dies mit Klangfarben zu tun hat. Die Antwort lautet, dass das gleiche Wahrnehmungsmuster für die Wahrnehmung von Helligkeit demonstriert werden kann [50]. Eine solche Analogie liefert wichtige Hinweise für das Verständnis des Zusammenhangs von Tonhöhen und Helligkeitswahrnehmung. In Abbildung 5 (rechts) findet sich das Spektrum des entsprechenden Stimulus (Klangbeispiele können auf der Website des Autors gefunden werden: [uol.de/en/medipysics-acoustics/divisions/music-perception-and-processing/research](http://uol.de/en/medipysics-acoustics/divisions/music-perception-and-processing/research)). Wie sich erkennen lässt, sind die Partialtöne dieses adaptierten Shepard-Stimulus nun nicht mehr im Oktavabstand, sondern Teil einer natürlichen Obertonreihe (d. h. natürliche Vielfache der Grundfrequenz). Die Amplituden dieser Partialtöne werden nun durch zweierlei bestimmt: Einerseits der bereits bekannten globalen spektralen Einhüllenden, andererseits von einer lokalen Einhüllenden, die Oktav-zyklisch ist. Die Verschiebung dieser lokalen spektralen Einhüllenden bewirkt nun eine Veränderung der Helligkeit, jedoch nicht der Grundfrequenz. Da somit die Wahrnehmung der Tonhöhe konstant gehalten wird, ergibt sich insgesamt eine Oktav-zyklische Verschiebung der Helligkeit eines Tons bei gleichbleibender Tonhöhe. Die Shepard-Illusion funktioniert also nicht nur für die Tonhöhenwahrnehmung, sondern auch im Bereich der Helligkeitswahrnehmung. In Hörexperimenten hat sich

gezeigt, dass Halb-Oktav-Verschiebungen der lokalen spektralen Einhüllenden nun ebenso geteilte Meinungen hervorruft wie für klassische Shepard-Töne. Und sogar die Auswirkungen eines vorhergehenden Kontextes sind identisch. Ob der zuletzt präsentierte Ton als mehr oder weniger hell im Vergleich zum Vorgänger gehört wird, entscheidet maßgeblich der vorhergehende Kontext [50].

Diese überraschende Analogie unterstreicht die Ähnlichkeiten zwischen Tonhöhen und Helligkeitswahrnehmung. Interessanterweise haben neuere Arbeiten zur Tonhöhenwahrnehmung in Frage gestellt, ob die Tonhöhenwahrnehmung durch einen einheitlichen Mechanismus zur Ermittlung der Periodizität eines Tons verstanden werden kann [51]. Vielmehr scheint es, dass insbesondere die perzeptuelle Verarbeitung von kleineren Tonhöhen-Intervallen besser durch einen „spectral tracking“ Mechanismus erklärt werden kann, der konzeptionell nicht mehr stark verschieden von denen der Helligkeitswahrnehmung zugrundeliegenden Verarbeitungsschritten erscheint.

Es ist zu bemerken, dass eine gewisse Skepsis bzgl. der klassischen Unterscheidung von Tonhöhe und Klangfarbe nichts ganz Neues ist. Schon der Komponist Arnold Schoenberg räsionierte am Ende seiner Harmonielehre im Jahr 1911 [52] in eine ähnlich gehende Richtung: *Ich kann den Unterschied zwischen Klangfarbe und Klanghöhe, wie er gewöhnlich ausgedrückt wird, nicht so unbedingt zugeben. Ich finde, der Ton macht sich bemerkbar durch die Klangfarbe, deren eine Dimension die Klanghöhe ist. Die Klangfarbe ist also das große Gebiet, ein Bezirk davon ist die Klanghöhe.* Anschließend spekulierte er, dass doch auch Melodien bestehend aus dem Kontrast verschiedener Klangfarben in kompositorischer Reichweite wären. Obwohl Klangfarbenmelodien nicht Teil des Standard-Repertoires der Musik geworden sind, so ist doch die kompositorische Relevanz der Klangfarbe im 20. und 21. Jahrhundert insgesamt enorm gewachsen und ist dabei, auch in der Musikwissenschaft und Musiktheorie eine zunehmende Rolle zu spielen [53–55].

## Zusammenfassung und Ausblick

Dieser Artikel hat einen Überblick über klassische Ergebnisse und neuere Entwicklungen der Klangfarbenforschung gegeben. Die Klangfarbe umfasst eine Sammlung von Attributen der auditorischen Wahrnehmung, die einzelnen Klangereignissen charakteristische Qualitäten verleiht und Hinweise auf die Klangquelle und -erzeugung liefert. Helmholtzs klassische Konzeption der Tonempfindungen legte ein Grundstein für die Akustik und Musikwahrnehmung. Diese Konzeption besagt, dass die relative Stärke der Partialtöne für die Klangfarbe wesentlich

ist. In der Behandlung von neueren Entwicklungen wurde nach einem Überblick über akustische Merkmalsextraktion der Fokus auf die klangfarbliche Helligkeit gelegt, die ein zentraler Aspekt der Klangfarbe darstellt. Die akustische Grundlage der Helligkeitswahrnehmung wurden erläutert und ihre Wechselwirkungen mit der Tonhöhe und Aspekten der Lautheit illustriert. Letztlich wurden Ähnlichkeiten zwischen der Tonhöhen- und Helligkeitswahrnehmung anhand einer neuartigen, auf die Helligkeit übertragene Shepard-Illusion diskutiert. Die Klangfarbenforschung erscheint derzeit recht produktiv und dynamisch. Wie oben angedeutet gilt es noch viele elementare Aspekte der Klangfarbenwahrnehmung besser zu verstehen. Hier verdienen insbesondere die Wechselwirkungen mit anderen auditorischen Attributen Beachtung sowie eine gründlichere akustische Modellierung von Instrumententönen als Funktion der Tonhöhe und Spielstärke. Doch es gilt, auch bisher noch unbeantwortete Fragen zu stellen, z.B. welche Rolle die Klangfarbe in der Musikwahrnehmung von Schwerhörigen spielt und ob Klangfarbenforschung dazu beitragen kann, Hörgeräte für Musik zu optimieren. Diese Fragen versprechen spannende und vielfältige Herausforderungen für die nächsten Jahre.

## Literatur

- [1] Conard, N. J.; Malina, M.; Münzel, S. C.: New flutes document the earliest musical tradition in southwestern Germany. *Nature* 460 (7256), pp. 737–740, 2009.
- [2] ANSI: Psychoacoustic terminology: Timbre. 1960 / 1994.
- [3] Bregman, A. S.: *Auditory Scene Analysis: The Perceptual Organization of Sound*. MIT Press, Cambridge, MA, 1990.
- [4] Siedenburg, K.; McAdams, S.: Four distinctions for the auditory “wastebasket” of timbre. *Frontiers in Psychology* 8 (1747), 2017.  
<http://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01747>.
- [5] Thoret, E.; Goodchild, M.; McAdams, S., eds.: *Timbre 2018: Timbre is a many splendored thing*. McGill University, 2018.
- [6] Siedenburg, K.; Saitis, C.; McAdams, S.; Popper, A. N.; Fay, R. R.: *Timbre: Acoustics, Perception, and Cognition*. Springer Handbook of Auditory Research. Springer Nature, Heidelberg, Germany, 2019.
- [7] Schneider, A.: Perception of timbre and sound color. In: *Springer Handbook of Systematic Musicology*, pp. 687–725. Springer, 2018.
- [8] Handel, S.: Timbre perception and auditory object identification. In: *Hearing*, edited by B. C. Moore. *Handbook of Perception and Cognition*, pp. 425–461. Academic Press, San Diego, CA, 1995.
- [9] von Helmholtz, H.: *Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik*. Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, Germany, 1863.
- [10] Muzzulini, D.: *Genealogie der Klangfarbe*. Peter Lang, 2006.
- [11] Lyon, R. F., *Human and Machine Hearing: Extracting Meaning from Sound*. Cambridge University Press, Cambridge, MA, 2017.
- [12] Osgood, C. E.: The nature and measurement of meaning. *Psychological Bulletin* 49(3), p. 197, 1952.
- [13] von Bismarck, G.: Timbre of steady sounds: A factorial investigation of its verbal attributes. *Acta Acustica united with Acustica* 30(3), pp. 146–159, 1974.
- [14] Fastl, H.; Zwicker, E.: *Psychoacoustics: Facts and models*. 3rd ed., Springer, 2006.
- [15] Kendall, R. A.; Carterette, E. C.: Verbal attributes of simultaneous wind instrument timbres: I. von Bismarck’s adjectives. *Music Perception* 10(4), pp. 445–467, 1993.
- [16] Saitis, C.: The semantics of timbre. In: *Timbre: Acoustics, Perception, and Cognition*, edited by K. Siedenburg, C. Saitis, S. McAdams, A. N. Popper, and R. R. Fay, pp. 119–149. Springer, 2019.
- [17] Zacharakis, A.; Pasteris, K.; Reiss, J. D.: An interlanguage study of musical timbre semantic dimensions and their acoustic correlates. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal* 31(4), pp. 339–358 (2014).
- [18] Reymore, L.; Huron, D.: Using auditory imagery tasks to map the cognitive linguistic dimensions of musical instrument timbre qualia. *Psychomusicology: Music, Mind, and Brain* 30(3), pp. 124–144, 2020.
- [19] Shepard, R.: The analysis of proximities: Multidimensional scaling with an unknown distance function. I. *Psychometrika* 27(2), pp. 125–140, 1962.
- [20] Kruskal, J. B.: Multidimensional scaling by optimizing goodness of fit to a nonmetric hypothesis. *Psychometrika* 29(1), pp. 1–27, 1964.
- [21] Kreiman, J.; Gerratt, B. R.; Precoda, K.; Berke, G. S.: Individual differences in voice quality perception. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 35(3), pp. 512–520, 1992.
- [22] Susini, P.; Lemaitre, G.; McAdams, S.: Psychological measurement for sound description and evaluation. In: *Measurement with persons: Theory, methods, and implementation areas*, edited by B. Berglund, G. B. Rossi, J. T. Townsend, and L. R. Pendrill, pp. 227–253. Psychology Press, New York, NY, 2012.
- [23] Marozeau, J.; Lamping, W.: Timbre perception with cochlear implants. In: *Timbre: Acoustics, Perception, and Cognition*, pp. 273–293. Springer, 2019.
- [24] Plomp, R.: Timbre as a multidimensional attribute of com-

- plex tones. In: *Frequency Analysis and Periodicity Detection in Hearing*, edited by R. Plomp and G. F. Smoorenburg, pp. 397–414. Suithoff, Leiden, The Netherlands, 1970.
- [25] Wessel, D. L.: Psychoacoustics and music: A report from Michigan State University. *PACE: Bulletin of the Computer Arts Society* 30, pp. 1–2, 1973.
- [26] Grey, J. M.: Multidimensional perceptual scaling of musical timbres. *The Journal of the Acoustical Society of America* 61(5), pp. 1.270–1.277, 1977.
- [27] McAdams, S.; Winsberg, S.; Donnadieu, S.; De Soete, G.; Krimphoff, J.: Perceptual scaling of synthesized musical timbres: Common dimensions, specificities, and latent subject classes. *Psychological Research* 58(3), pp. 177–192, 1995.
- [28] Winsberg, S.; De Soete, G.: A latent class approach to fitting the weighted Euclidean model, CLASCAL. *Psychometrika* 58(2), pp. 315–330, 1993.
- [29] McAdams, S.: The perceptual representation of timbre. In: *Timbre: Acoustics, Perception, and Cognition*, edited by K. Siedenburg, C. Saitis, S. McAdams, A. N. Popper, and R. R. Fay, pp. 23–57, Springer, 2019.
- [30] Siedenburg, K.; Fujinaga, I.; McAdams, S.: A comparison of approaches to timbre descriptors in music information retrieval and music psychology. *Journal of New Music Research* 45(1), pp. 27–41, 2016.
- [31] Tversky, A.: Features of similarity. *Psychological Review* 84(4), pp. 327–352, 1977.
- [32] Siedenburg, K.; Jones-Møllerup, K.; McAdams, S.: Acoustic and categorical dissimilarity of musical timbre: Evidence from asymmetries between acoustic and chimeric sounds. *Frontiers in Psychology* 6(1977), 2016. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01977>.
- [33] Caetano, M.; Saitis, C.; Siedenburg, K.: Audio content descriptors of timbre. In: *Timbre: Acoustics, Perception, and Cognition*, edited by K. Siedenburg, C. Saitis, S. McAdams, A. N. Popper, and R. R. Fay, pp. 297–333. Springer, 2019.
- [34] Schubert, E.; Wolfe, J.: Does timbral brightness scale with frequency and spectral centroid? *Acta Acustica united with Acustica* 92(5), pp. 820–825, 2006.
- [35] Caclin, A.; McAdams, S.; Smith, B. K.; Winsberg, S.: Acoustic correlates of timbre space dimensions: A confirmatory study using synthetic tones. *The Journal of the Acoustical Society of America* 118(1), pp. 471–482, 2005.
- [36] Peeters, G.; Giordano, B. L.; Susini, P.; Misdariis, N.; McAdams, S.: The Timbre Toolbox: Extracting audio descriptors from musical signals. *The Journal of the Acoustical Society of America* 130(5), pp. 2.902–2.916, 2011.
- [37] Chi, T.; Ru, P.; Shamma, S.: Multiresolution spectrotemporal analysis of complex sounds. *The Journal of the Acoustical Society of America* 118(2), pp. 887–906, 2005.
- [38] Arnal, L. H.; Flinker, A.; Kleinschmidt, A.; Giraud, A.-L.; Poeppel, D.: Human screams occupy a privileged niche in the communication soundscape. *Current Biology* 25(15), pp. 2.051–2.056, 2015.
- [39] Elliott, T.; Hamilton, L.; Theunissen, F.: Acoustic structure of the five perceptual dimensions of timbre in orchestral instrument tones. *The Journal of the Acoustical Society of America* 133(1), pp. 389–404, 2013.
- [40] Siedenburg, K.; Schädler, M. R.; Hülsmeyer, D.: Modeling the onset advantage in musical instrument recognition. *The Journal of the Acoustical Society of America* 146(6), pp. EL523–EL529, 2019.
- [41] Patterson, R. D.; Gaudrain, E.; Walters, T. C.: The perception of family and register in musical tones. In: *Music perception*, edited by M. Riess Jones, R. R. Fay, and A. Popper, pp. 13–50. Springer, New York, NY, 2010.
- [42] Meyer, J.: *Akustik und musikalische Aufführungspraxis: Leitfaden für Akustiker; Tonmeister; Musiker; Instrumentenbauer und Architekten*. Bochinsky, Bergkirchen, Germany, 1995.
- [43] Russo, F.; Thompson, W.: An interval size illusion: The influence of timbre on the perceived size of melodic intervals. *Attention, Perception, & Psychophysics* 67(4), pp. 559–568, 2005.
- [44] Allen, E.J.; Oxenham, A. J.: Symmetric interactions and interference between pitch and timbre. *Journal of the Acoustical Society of America* 135(3), pp. 1.371–1.379, 2014.
- [45] Allen, E.J.; Burton, P. C.; Olman, C. A.; Oxenham, A. J.: Representations of pitch and timbre variation in human auditory cortex. *Journal of Neuroscience* 37(5), pp. 1.284–1.293, 2016.
- [46] Fabiani, M.; Friberg, A.: Influence of pitch, loudness, and timbre on the perception of instrument dynamics. *The Journal of the Acoustical Society of America* 130(4), pp. EL193–EL199, 2011.
- [47] Shepard, R. N.: Circularity in judgments of relative pitch. *The Journal of the Acoustical Society of America* 36(12), pp. 2.346–2.353, 1964.
- [48] Deutsch, D.: The processing of pitch combinations. In: *The Psychology of Music*, edited by D. Deutsch, 3 ed., pp. 249–325. Academic Press, San Diego, CA, 2013.
- [49] Chambers, C.; Akram, S.; Adam, V.; Pelofi, C.; Sahani, M.; Shamma, S.; Pressnitzer, D.: Prior context in audition informs binding and shapes simple features. *Nature Communications* 8, p. 1.5027, 2017.
- [50] Siedenburg, K.: Timbral Shepard-illusion reveals perceptual ambiguity and context sensitivity of brightness perception. *Journal of the Acoustical Society of America* 143(2), pp. EL93–EL98, 2018.
- [51] McPherson, M. J.; McDermott, J. H.: Diversity in pitch perception revealed by task dependence. *Nature Human Behaviour*, 2(1), pp. 52–66, 2017.
- [52] Schoenberg, A.: *Theory of Harmony [Harmonielehre]*. University of California Press (R. E. Carter, Trans. from original German edition, 1911), Berkeley, CA, 1911/1978.
- [53] Barriere, J.-B.: *Le timbre: Métaphore pour la composition*, pp. 293–299, 1991.
- [54] Rehding, A.: *Timbre/techné*. In: *The Oxford Handbook of Timbre*, edited by A. Rehding and E. Dolan, Oxford University Press, 2018.
- [55] Fink, R.; Latour, M.; Wallmark, Z.: *The relentless pursuit of tone: Timbre in popular music*. Oxford University Press, 2018. ■



**Dr. Kai Siedenburg**  
*Carl von Ossietzky Universität,  
 Department für  
 medizinische  
 Physik und Akustik,  
 Oldenburg*

# Zur Verringerung der Sprachverständlichkeit

**durch Mund-Nasen-Schutz-Maßnahmen gegen COVID-19-Infektionen unter praxisnahen raumakustischen Bedingungen**

Klaus-Hendrik Lorenz-Kierakiewicz

Die für diese Untersuchung durchgeführten Messungen ergaben, dass durch die Verwendung von Mund-Nasen-Schutz-Maßnahmen (MNS) unter Praxisbedingungen Verringerungen der Sprachverständlichkeit resultieren, die im Nahbereich akzeptabel ausfallen können, zumindest in Räumen mit ausreichend Absorption, deren Nachhallpegel und Nachhallzeit nicht zu hoch liegen. In größeren Abständen jedoch und insbesondere in Räumen mit einem zu hohen Nachhallpegel, verursacht durch zu wenig Absorption für eine ausreichende Sprachverständlichkeit, erschweren die Eigenschaften der MNS-Maßnahmen die sprachliche Kommunikation zusätzlich. Insbesondere verringert die Kombination von Masken mit weiteren Maßnahmen wie Schirmen oder Visieren (Reihenschaltung) die Sprachverständlichkeit, wobei die Verringerung umso stärker ausfällt, je geringer die Sprachverständlichkeit aufgrund der raumakustischen Verhältnisse auch ohne MNS-Maßnahmen bereits ist.

Die einzelnen MNS-Maßnahmen und Kombinationen davon zeigen charakteristische Einfügedämpfungen des Direktschalls und je nach Maßnahme ausgeprägte, charakteristische Dämpfungsspektren und stellen in Bezug auf die Sprachverständlichkeit einen zusätzlichen Malus im physikalischen Übertragungsweg an der Sendeseite dar.

Besonders nachteilig für größere Abstände unter widrigen raumakustischen Bedingungen ist der Einsatz eines Visiers zusätzlich zu Masken, da es hochfrequente Nutzenergie in das Nachhallfeld umleitet. So werden nicht nur potenziell infektiöse Tröpfchen, sondern auch hochfrequente Direktschallanteile effektiv blockiert.

Das Ausmaß der Verringerung der Sprachverständlichkeit durch MNS-Maßnahmen liegt dabei in der Größenordnung wie Nicht-Muttersprachlichkeit [5].

## Einführung

Derzeit sieht sich die Menschheit der Pandemie der SARS-CoV-2 Coronavirus-Krankheit-2019 (COVID-19) ausgesetzt. Als inzwischen allgegenwärtige Maßnahme ist ein Tragen von Mund-Nasen-Schutz-

## Reduction of Speech Intelligibility by Mouth and Nose Protection Masks

The measurements performed for this examination reveal, that the use of mouth and nose masks and measures in practical circumstances results in reductions of speech intelligibility. These reductions can be acceptable in near field distances at least in rooms with enough absorption, where reverberation time and level are not too high.

However, in larger distances between speaker and receiver and especially in rooms with a reverberation level too high caused by an insufficient absorption to achieve adequate speech intelligibility, the properties of mouth and nose masks and measures reduce the communication further. Especially serial combinations of masks with shields or screens diminish the speech intelligibility even more, whereby the reduction is all the higher the lower the speech intelligibility is due to the room acoustical conditions even without additional masks or measures.

The mouth and nose masks and measures and combinations exhibit characteristic insertion attenuations to the direct sound and dependent on the measure characteristic attenuation spectra, and regarding speech intelligibility act as additional malus in the physical transmission path near the source.

Detrimental at larger distances between speaker and receiver within adverse room-acoustical conditions is the use of face shields additional to protection masks especially, because it redirects high-frequency useful direct energy into the reverberation field blocking not only the potential infective aerosols and droplets, but also the high-frequency direct sound components effectively.

The extent of the reduction of the speech intelligibility by mouth and nose masks and measures is comparable to the reduction of intelligibility in a foreign language, see e.g. [5].

Maßnahmen zur Reduktion der Verbreitung des Erregers über deren Hauptübertragungsweg – die respiratorische Abgabe und Aufnahme virushaltiger Flüssigkeitspartikel (Tröpfchen bzw. Aerosole), die beim Atmen, Sprechen, Singen, Husten und Niesen

entstehen – häufig verpflichtend, z. B. in Schulen, Geschäften und dem öffentlichen Personennahverkehr. Die zu verwendenden Mund-Nasen-Schutz-Maßnahmen sind dabei von mannigfaltiger Form und Ausführung (Einweg-Alltagsmasken, Baumwollmasken, FFP2-Masken mit und ohne Filter etc.). Eine Reihe davon wurde in die nachfolgend beschriebene Untersuchung einbezogen. Auf eine nähere Betrachtung von Schalls jedweder Art wurde dabei jedoch verzichtet. Verwandte Maßnahmen sind Visiere / Face Shields und transparente Scheiben (Screens), wie sie von der Anbringung an Kassen, Schaltern und Verkaufstresen bekannt sind, sowie die Verwendung von mehr als einer Schutzmaßnahme zugleich nach Art einer Reihenschaltung, z. B. von Einwegmasken und Scheiben, oder Visieren mit Baumwoll-Masken. Man könnte sagen, Mund-Nase-Schutz-Maßnahmen sind vor beinahe aller Munde, und den jüngsten Entwicklungen zufolge wird sich daran wohl so schnell auch nicht viel ändern. Verbunden mit der Verwendung solcher MNS-Maßnahmen ist eine auch für Laien deutlich hör- und wahrnehmbare Verringerung der Sprachverständlichkeit, welche bislang in Vor-Pandemiezeiten unter Laborbedingungen für medizinische Masken, z. B. aus dem OP-Gebrauch betrachtet wurden [1, 2]. Die alltägliche Erfahrung zeigt, dass diese merkliche Verringerung der Sprachverständlichkeit z. T. recht erhebliche Ausmaße annehmen kann, wenn solche Maßnahmen in alltäglichen Umgebungen eingesetzt werden. Das mag neben anderen Ursachen mit ein Grund dafür sein, dass trotz eines dann höheren Infektionsrisikos insbesondere Mund-Nase-Schutzmasken auch wieder abgesetzt werden, um die gewohnte und gewünschte Verständlichkeit wieder herzustellen (was aus infektionsmedizinischer Sicht natürlich nicht zu empfehlen ist).

Ziel der in diesem Beitrag vorzustellenden Untersuchung ist es, Aussagen zum Ausmaß der Verschlechterung der messbaren Indikatoren der Sprachverständlichkeit durch Mund-Nase-Schutzmaßnahmen treffen zu können.

Abb. 1: Ansicht von Messlautsprecher und Einwegmaske samt Scheibe im Zweipersonenbüro



Zur Untersuchung des Verlusts der Sprachverständlichkeit durch die betrachteten Mund-Nasen-Schutz-Maßnahmen in alltäglich genutzten Räumen unterschiedlicher Größe und Nachhallzeit wurden messtechnisch die Effekte von verschiedenen Schutzmaßnahmen in verschiedenen Räumen, Entfernungen und Kombinationen auf die Werte der Indikatoren der Sprachverständlichkeit Speech Transmission Index (STI) nach DIN EN IEC 60268-16 [3] und Articulation Loss of Consonants ( $AL_{cons}$ ) [4]) erfasst. Dabei erwies sich, dass die Mund-Nase-Schutz-Maßnahmen nach Art einer frequenzabhängigen Einfügedämpfung mit Auswirkungen auf die Richtcharakteristik direkt in den physikalischen Übertragungsweg von Sprachschall auf dem akustischen Übertragungsweg zwischen Sender (Mund des Sprechers) und Hörer eingebracht werden und diesen zu Ungunsten der Sprachverständlichkeit beeinflussen.

### Durchführung der Messungen der Indikatoren der Sprachverständlichkeit

Zur messtechnischen Untersuchung der Indikatoren der Sprachverständlichkeit wurden Impulsantworten des Messaufbaus in festen Abständen und Kombinationen aus vier verschiedenen Mund-Nase-Schutz-Masken (siehe Abb. 1, 3, 4, 6), eines Schutzvisiers („Face Shield“, Abb. 5) und einer Schutzscheibe („Screen“, eine handelsübliche, transparente Scheibe mit den Abmessungen 500x500x2 mm, siehe Abb. 1, 3, 4) in den fünf unterschiedlichen Räumen insgesamt sechs Zuständen gemessen und daraus die Messgrößen STI und  $AL_{cons}$  aus den gemessenen Impulsantworten im Messsystem bestimmt.

Um die Mund-Nase-Schutz-Maßnahmen realitätsnah zum Einsatz und – wie in der Realität auch mit mehr oder weniger gutem Sitz – anbringen zu können, wurde ein Messlautsprecher in einen Kunstkopf eingepasst (Abb. 2). In jeder Messsituation wurde zunächst der Zustand nur mit Messlautsprecher ohne Schutzmaßnahmen als Referenzwert erfasst.

Abb. 2: Ansicht des Messlautsprechers im Besprechungsraum, 4 m Abstand



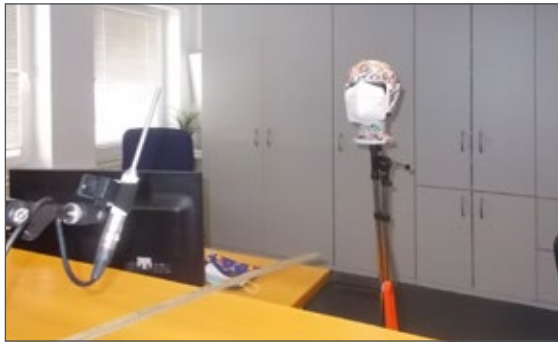


Abb. 3: Ansicht von Messlautsprecher im Kunstkopf mit FFP2-Einwegmaske „KN95“ am Empfang, 1 m Abstand

Für jeden der fünf betrachteten Räume

- Zweipersonenbüro
- Besprechungsraum
- Empfang
- Treppenhaus (wie vorgefunden und in modifizierter Situation)
- Kirche als Stellvertreter für hallige Räume wie z. B. größere Bau- und Supermärkte

und jede der maximal vier Entfernungen (1 m, 2 m, je nach Raum auch 4 m und 8 m) wurden verschiedene Kombinationen von Schutzmaßnahmen auf ebensolche Weise messtechnisch erfasst. Die Wahl der Masken bzw. der Schutzmaßnahmen, sowie der Kombinationen davon erfolgte auf Grund der Nutzung des Raumes und der damit verbundenen Art und dem Umfang der Schutzmaßnahmen, wie sie auch in der Praxis vorkommen können und je nach Umgebung alltäglich sind.

Zur Messung der Indikatoren der Sprachverständlichkeit wurden die mit einem Tiefpassfilter auf das Sprachspektrum vorgefilterten Messsignale (Maximalfolge vom Grad 16,  $F_s = 36 \text{ kHz}$ ) des Messsystems MLSSA 10 WI Rev9 verwendet. Diese wurden auf einen breitbandigen und in Bezug auf seine Richtcharakteristik einem Kopf ähnlichen Messlautsprecher gegeben (3 Zoll-Chassis AuraSound NS3-193-8A1 in geschlossenem Lautsprechergehäuse aus Aluminium mit den Abmessungen von ca.  $102 \text{ mm} \times 102 \text{ mm} \times 115 \text{ mm}$ ).

Abb. 5: Ansicht von Messlautsprecher mit Baumwollmaske und Visier in Treppenhaus, 2 m Abstand



Abb. 4: Ansicht von Messlautsprecher mit Baumwollmaske samt Trennscheibe in der Kirche

Der sonst üblicherweise für Messungen des Indikators für Sprachverständlichkeit STIPA verwendete Lautsprecher NTI Talkbox wäre mit einer Projektionsfläche von ca.  $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$  zu groß gewesen, um von üblichen Mund-Nase-Masken ausreichend bedeckt werden zu können. Von dem Messlautsprecher in 1,5 m Höhe über Fußbodenoberkante (FOK) wurden mit einem Schalldruckpegel von  $60 \text{ dB(A)}$  in 1 m Abstand (keine erhobene Stimmstärke) die Testsignale abgestrahlt. In einer Höhe über FOK von 1,2 m (für sitzende Position) bzw. 1,5 m (für stehende Position) wurden die durch Maßnahmen und Raum modifizierten Signale von einem 1/4-Zoll Klasse-1 Messmikrofon (Esper K4 mit Messkapsel Sennheiser KE4-211-2, phantomgespeist und vorverstärkt mit  $+30 \text{ dB}$  über ein Audio Interface AI 110 von Stage Accompany) registriert. Die Empfangspositionen befanden sich linear in Hauptabstrahlrichtung des Lautsprechers ( $0^\circ$ ) in 1 und 2 m Abstand, im Treppenhaus und Besprechungsraum auch in 4 m Entfernung, so-

Abb. 6: Ansicht von Kopf mit FFP2-Einwegmaske mit Filter im modifizierten Treppenhaus, 1 m Abstand



wie in der Kirche auch in 4 und 8 m Abstand vom Sender (Abbildung 7).

### Untersuchte Prüflinge: MNS-Maßnahmen

Folgende Mund-Nasen-Schutz-Maßnahmen und Kombinationen davon wurden auf ihre die Sprachverständlichkeit verringernde Wirkung gegenüber der Referenz (in den Kopf eingelassener Messlautsprecher ohne zusätzliche Maßnahmen) untersucht, siehe Tabelle 1 und Abbildungen 1 bis 6.

### Beschreibung der betrachteten Messräume

Es wurde in fünf unterschiedlichen Räumen in insgesamt sechs Zuständen gemessen, welche im Folgenden beschrieben werden (siehe Tabelle 2). Als worst-case-Szenario wurde ein Kirchenraum als Beispiel für große hallige Räume, wie Bau- oder Supermärkte, betrachtet. Die Grundrisse der verwendeten Räume sind Abbildungen 7 und 8 zu entnehmen, Ansichten den Abbildungen 1 bis 6. Die frequenzabhängigen Nachhallzeiten der Messsituationen der betrachteten Räume und Raumzustände sind Abbildung 9 zu entnehmen, die bei den Messungen vorherrschenden Hintergrundschallpegel Abbildung 10.

Kirche und Treppenhaus bestehen im Wesentlichen aus Massivbauteilen mit Fensteranteil; Zweipersonen-Büro, Besprechungsraum und Empfangsbereich aus tapezierten Massivwänden mit Lochfassade und einer Abhangdecke mit dem bewerteten Schallabsorptionsgrad von ca.  $\alpha_w \sim 0,65$ , sowie nutzungsüblichem Holzwerkstoffmobiliär; im Büroraum kommt noch ein Teppichboden aus Nadelfilz hinzu.

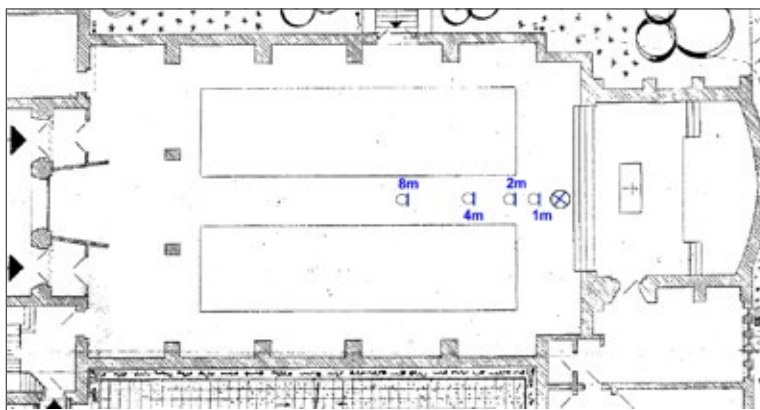


Abb. 7: Grundriss der Kirche St. Antonius in Düsseldorf-Hassels mit Messpositionen 1 bis 8 m

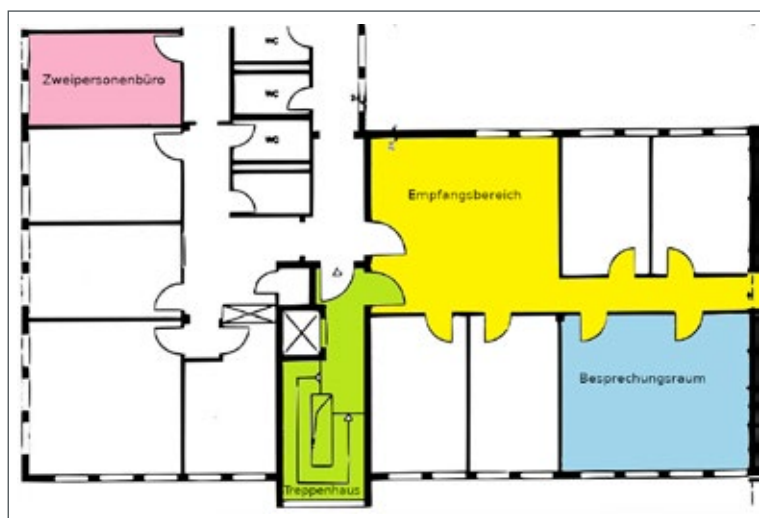


Abb. 8: Grundrisse der Messräume Büro, Besprechungsraum, Empfang und Treppenhaus

Tab. 1: Untersuchte Prüflinge: MNS-Maßnahmen und Kombinationen davon

| Nr. | Prüfling                   | Typ                              | Beschreibung             | siehe Abbildung |
|-----|----------------------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------|
| 1   | Einweg-Maske               | Disposable Face Mask             | soft skin                | 1               |
| 2   | Baumwoll-Maske             | Heimvertrieb Bonn-Oberkassel     | 11 cm x 22 cm, dreilagig | 4               |
| 3   | FFP2-Maske                 | Wisent BAU 4840 V FFP2 NR D      | mit Filter               | 6               |
| 4   | FFP2-Einwegmaske           | KN95 FFP2 NR                     | Aufdruck „KN 95“         | 3               |
| 5   | Transparente Scheibe       | OttoWolff OWOCOR(R)              | 0,5 m x 0,5 m x 2 mm     | 1, 4            |
| 6   | Face Shield / Schutzvisier | Distributor Conrad Electronic SE | 32g, Antibeschlag-Schutz | 5               |
| 7   | Einwegmaske+Scheibe        | 1. + 5.                          |                          |                 |
| 8   | Einwegmaske +Visier        | 1. + 6.                          |                          |                 |
| 9   | Baumwollmaske + Scheibe    | 2. + 3.                          |                          | 4               |
| 10  | Baumwollmaske + Visier     | 1. + 6.                          |                          | 5               |

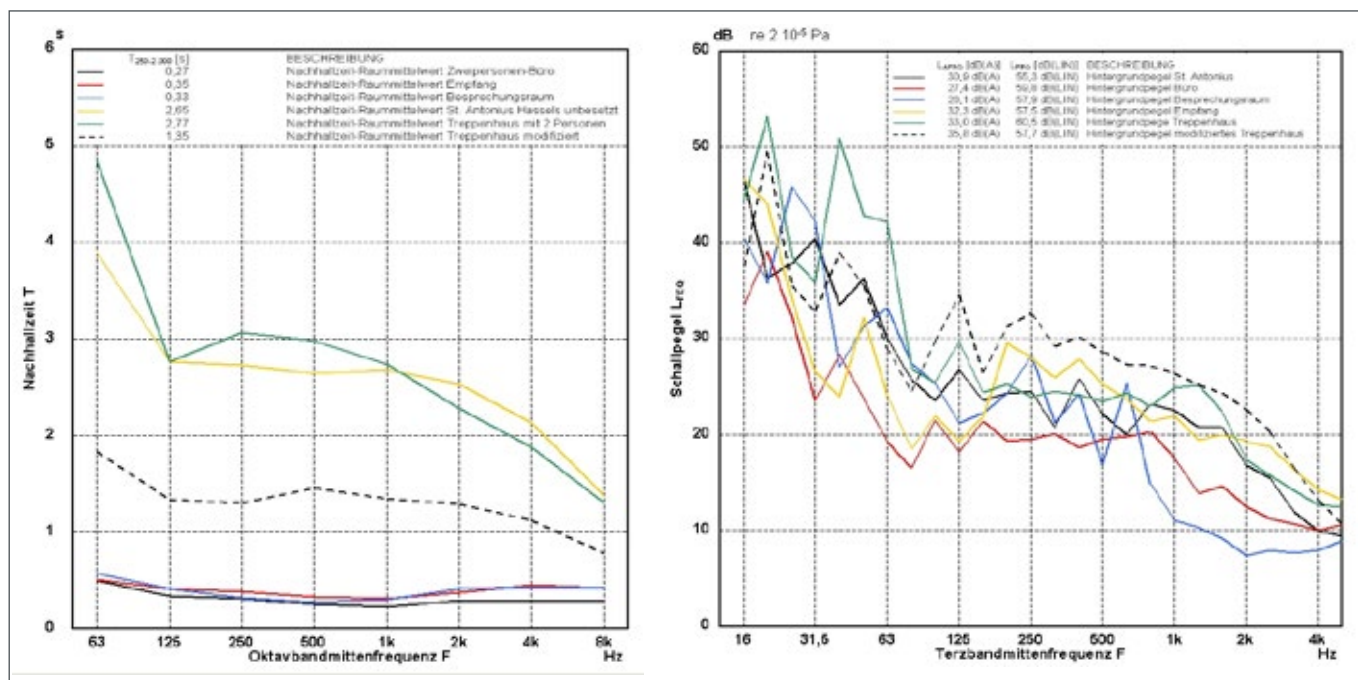


Abb. 9 und 10: Nachhallzeit-Raummittelwerte der untersuchten Räume / Zustände in Oktavbändern und Hintergrundpegelspektren der untersuchten Räume / Zustände in Terzbändern.

Der Besprechungsraum verfügt über drei Breitband-Absorbermodule ( $0,6\text{ m} \times 0,6\text{ m} \times 0,14\text{ m}$ ) aus Mineralwolle, bespannt mit einem akustisch durchlässigen Bespannstoff, und Laminatboden sowie vollflächigen Untertischabsorbern aus Schaumstoff der Dicke 30 mm. Das Treppenhaus, im vorgefundenen Zustand sehr hallig mit hohen Werten von Nachhallzeit und Stärkemaß, wurde im Nachgang der ersten Messungen durch den Einsatz von acht mobilen Breitbandabsorbermodulen aus bespannter Mineralwolle der Abmessungen  $0,6\text{ m} \times 0,6\text{ m} \times 0,14\text{ m}$  (drei Stück) und  $0,8\text{ m} \times 0,8\text{ m} \times 0,14\text{ m}$  (fünf Stück) temporär raumakustisch behandelt (siehe Abbildung 6), indem diese Breitbandabsorber radial in den Raumkanten auf dem Boden positioniert wurden. Somit konnten dem Raum  $8,5\text{ m}^2$  Absorberfläche temporär für erneute

Messungen hinzugefügt und damit die Absorptionsmenge darin (inkl. 2 Personen) nahezu verdoppelt werden, um einen in Bezug auf die Nachhallzeit und den Nachhallpegel deutlich weniger halligen Raumzustand zusätzlich erfassen zu können (siehe Tabelle 1). Bekanntlich sind die ersten Quadratmeter Absorptionsfläche die effektivsten ( $T_{\text{diff}} \sim 1/A$ ). (Nebenbemerkung: Ein vergleichbarer Effekt kann erreicht werden, wenn in einem Treppenhaus mit ansonsten reflektierender Ausstattung die Untersichten der Podeste gut absorbierend ausgestattet werden, um dem Raum ökonomisch ein Mindestmaß an Absorberfläche zu verleihen). Der in Tabelle 2 aufgeführte Wert des theoretischen Stärkemaßes  $G_{\text{theo}}$  wurde hier simplifizierend zur Orientierung aus der modifizierten Diffusfeldtheorie nach Kuttruf und Barron bestimmt.

Tab. 2: Messtechnisch betrachtete Räume und deren Daten

| Raum                 | Länge<br>L [m] | Breite<br>B [m] | Höhe<br>H [m] | Volumen<br>V [m <sup>3</sup> ] | Störpegel<br>$L_{\text{AFEQ}}$ [dB(A)] | Nachhallzeit<br>$T_{30\text{Mid}}$ [s] | $G_{\text{theo}}$<br>[dB] | Abbildung |
|----------------------|----------------|-----------------|---------------|--------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------|-----------|
| Zweipersonen-Büro    | 5,1            | 3,2             | 2,5           | 40                             | 27                                     | 0,26                                   | +23                       | 1         |
| Besprechungsraum     | 6,4            | 4,9             | 2,5           | 78                             | 28                                     | 0,33                                   | +21                       | 2         |
| Empfangsbereich      | 6,4            | 5,9             | 2,5           | 95                             | 32                                     | 0,34                                   | +21                       | 3         |
| St. Antonius Hassels | 35,0           | 16,5            | 10,6          | 5.300                          | 31                                     | 2,65                                   | +12                       | 4         |
| Treppenhaus          | 4,8            | 3,0             | 9,6           | 140                            | 33                                     | 2,77                                   | +28                       | 5         |
| Treppenhaus, modif.  | 4,8            | 3,0             | 9,6           | 140                            | 36                                     | 1,35                                   | +25                       | 6         |

In der Kirche wurde in anderweitigen Messungen ein Stärkemaß  $G_{10m}$  (1 kHz) von +10,7 dB messtechnisch im hier auch vorliegenden unbesetzten Zustand ermittelt. Für die anderen Räume liegt der für die Ermittlung des Stärkemaßes maßgebliche Abstand 10 m von der Quelle entfernt außerhalb der Räume, weshalb die Angabe informativen und illustrativen Charakter bezüglich der Stärke der vorliegenden Nachhallfelder hat.

### Messergebnisse

Für die einzelnen MN-Schutz-Maßnahmen und Kombinationen davon ergaben sich dabei in den verschiedenen Räumen bzw. raumakustischen Bedingungen charakteristische Reduktionen der Sprachverständlichkeit und damit einhergehend Verringerungen des STI-Wertes und Erhöhungen des  $AL_{cons}$ . Im Folgenden sind in den Abbildungen 11 bis 16 die Messergebnisse des STI und  $AL_{cons}$  mit den

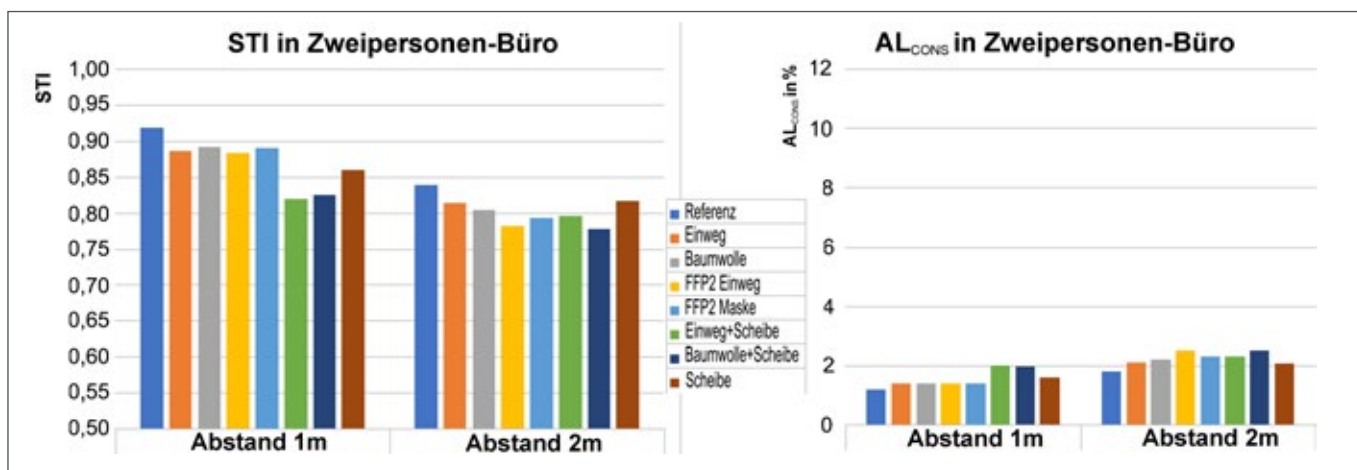


Abb. 11: Messwerte Indikatoren der Sprachverständlichkeit STI,  $AL_{cons}$  im Zweipersonenbüro

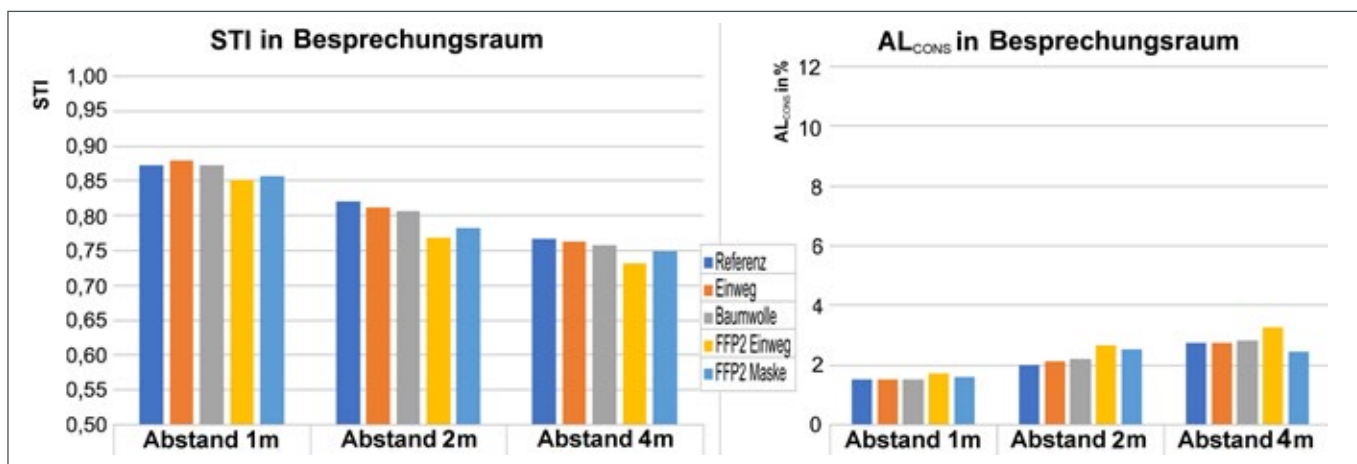


Abb. 12: Messwerte Indikatoren der Sprachverständlichkeit STI,  $AL_{cons}$  im Besprechungsraum

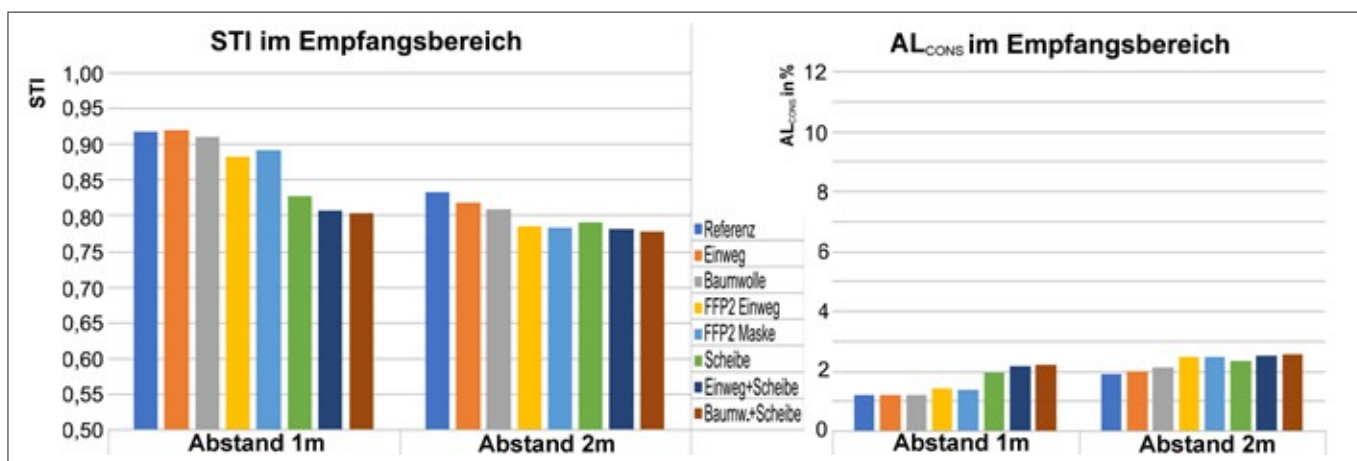
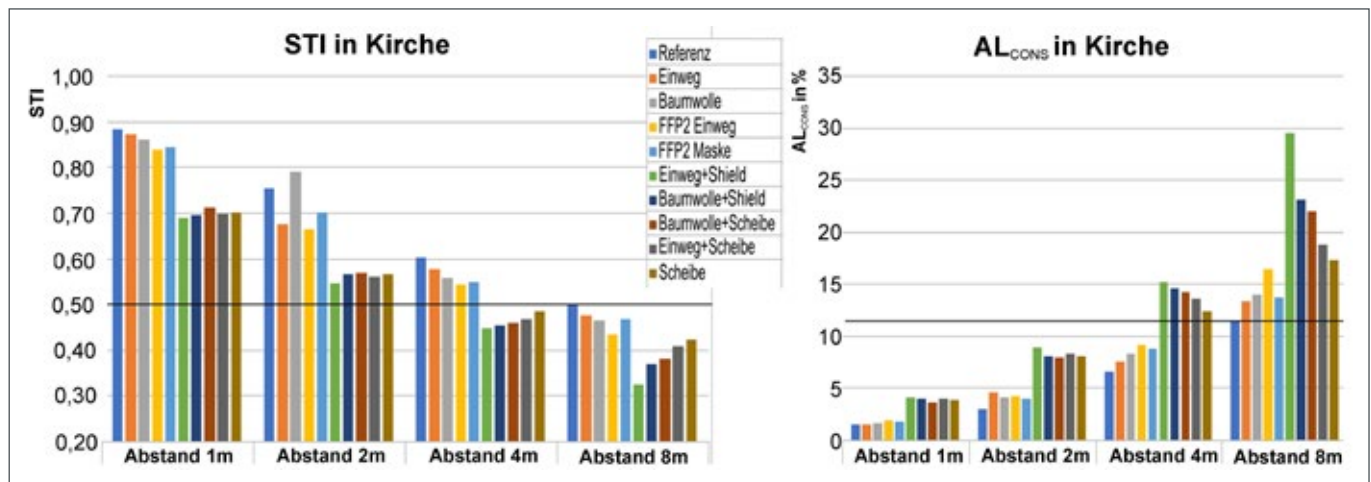
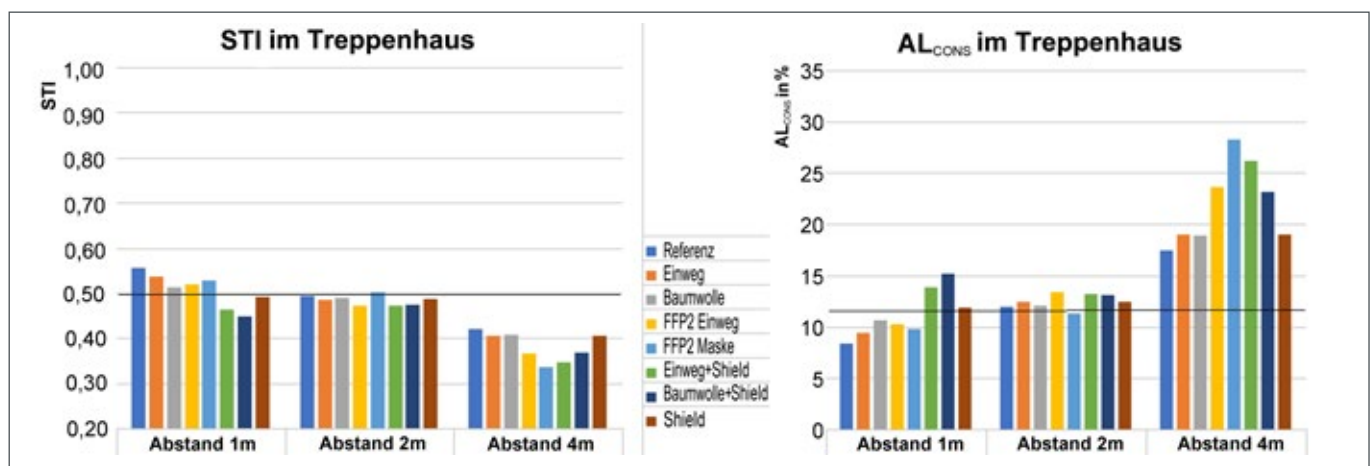
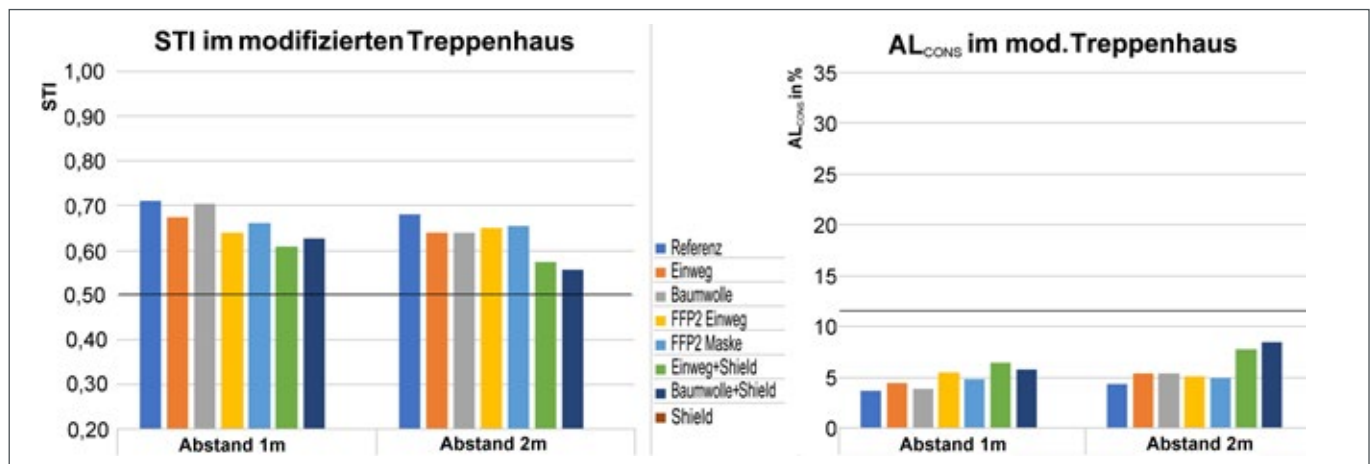


Abb. 13: Messwerte Indikatoren der Sprachverständlichkeit STI,  $AL_{cons}$  im Empfangsbereich

Abb. 14: Messwerte Indikatoren der Sprachverständlichkeit STI,  $AL_{CONS}$  in der Kirche St. AntoniusAbb. 15: Messwerte Indikatoren der Sprachverständlichkeit STI,  $AL_{CONS}$  im TreppenhausAbb. 16: Messwerte Indikatoren der Sprachverständlichkeit STI,  $AL_{CONS}$  im modifizierten Treppenhaus

untersuchten MNS-Maßnahmen in den betrachteten Räumen bzw. Raumzustände in Balkendiagrammen dargestellt.

Die Ergebnisse lassen sich zusammenfassen wie folgt:

- Die Einweg- und die Baumwollmaske verringern die Sprachverständlichkeit am geringsten – dies entspricht auch der alltäglichen Wahrnehmung;
- die FFP2-Masken verringern die Sprachverständlichkeit stärker, da dichter / mit Filter;

- die Maßnahmen Visier und Scheibe blockieren den Direktschall z. T. signifikant;
- in Kombination ergeben sich deutlich stärkere Verringerungen der Sprachverständlichkeit;
- je schlechter die raumakustischen Bedingungen für die Sprachverständlichkeit sind (geringes Direktschall-Nachhallverhältnis), desto stärker verringern alle betrachteten Maßnahmen die Sprachverständlichkeit, insbesondere die Maß-

nahmenkombinationen;

- sind die raumakustischen Bedingungen günstig für Sprachverständlichkeit (geringe Nachhallzeiten, also ausreichend Absorption im Raum), ist die Verringerung der Sprachverständlichkeit durch die MNS-Maßnahmen in einem akzeptablen Bereich für normalhörende Muttersprachler.

Je nach räumlichen Bedingungen und Abstand kann so bei einem physikalischen Übertragungsweg, welcher in Bezug auf die Sprachverständlichkeit als noch ausreichend verständlich zu bewerten ist, durch MNS-Maßnahmen und insbesondere Maßnahmenkombinationen eintreten, dass eine Bewertung als ausreichend sprachverständlich ( $STI > 0,45$  bzw.  $ALcons < 15\%$ ) nicht mehr möglich ist. Solche Übertragungswege sind dann nicht mehr ausreichend verständlich, was dazu führen mag, dass intuitiv Kompensationsmaßnahmen in solchen Situationen ergriffen werden können, wie z.B. eine Verringerung des Abstands oder gar ein Abnehmen der MNS, wenn das Gegenüber darauf hinweist, dass man nicht verstanden wird - beides ist natürlich aus infektionstechnischer Sicht keine gute Idee.

Das Ausmaß der Verringerung der Sprachverständlichkeit durch MNS-Maßnahmen liegt dabei in der Größenordnung wie Nicht-Muttersprachlichkeit [5]. Wenn diese oder Schwerhörigkeit noch hinzukommen, kann durch die Verwendung der MNS-Maßnahmen die Sprachverständlichkeit je nach raumakustischen Bedingungen stark beeinträchtigt werden. Mit einer Kombination von MNS-Maßnahmen dürften insbesondere inklusive Nutzungen

bezüglich der Sprachverständlichkeit problematisch werden, zumal eine Verwendung von Masken auch das Lippenlesen unmöglich macht.

### Zur akustischen Wirkung der MNS

Zur Analyse der Ursachen der Verringerung der Sprachverständlichkeit durch die MNS-Maßnahmen wurden die in 1 m vom Lautsprecher durchgeführten Impulsantwortmessungen aus dem Raum mit dem geringsten Nachhallpegel (dem Kirchenraum) auf ihren Einfluss auf Übertragungspegel und -frequenzgang untersucht, und zwar sowohl in Bezug auf die Pegelreduktion als Einfügedämpfung des Gesamt- und des Maximal(=direkt)pegels der Impulsantworten. Dazu wurden die Gesamtpegel der Raumimpulsantworten im kalibrierten Maximalfolgensystem ermittelt, sowie die Abnahme der Pegel der Direktschallanteile (siehe Tabelle 3). Die Direktschallanteile wurden außerdem frequenzabhängig in einer 512-Punkte-FFT untersucht und die resultierenden geglätteten Direktschallspektren in Abbildung 17 überlagert dargestellt.

Die akustische Wirkung der MNS auf den Übertragungsweg besteht also im Wesentlichen aus einer gewissen, maßnahmenspezifischen Pegelverringern (Einfügedämpfung) und einer für die Maßnahmen bzw. -kombination charakteristischen Wirkung als Tiefpassfilter mit je nach Maßnahme ausgeprägter Höhenreduktion (siehe Abbildung 17). Ferner ist von einer starken Beeinflussung der Richtcharakteristik auszugehen, die hier aber nicht näher im Detail betrachtet wurde, auch wenn die Veränderung der Richtcharakteristik mit Maske und Visier sicher

Tab. 3: Einfügedämpfung der MNS-Maßnahmen und -kombinationen, Einzahlwerte [dB]

| Maßnahme /<br>Maßnahmenkombination | Gesamtpegel $L_F$<br>in 1 m [dB(LIN)] | Pegelabnahme $\Delta L$<br>gesamt [dB(LIN)] | Pegelabnahme $\Delta L$<br>Direktschall [dB(LIN)] |
|------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| keine Maßnahme                     | 64,8 (=60 dB(A))                      | Referenz                                    | Referenz                                          |
| Baumwollmaske                      | 63,4                                  | -1,4                                        | -1,0                                              |
| Einwegmaske                        | 63,2                                  | -1,6                                        | -0,7                                              |
| FFP2-Maske KN95                    | 62,2                                  | -2,6                                        | -2,5                                              |
| FFP2-Maske mit Filter              | 62,4                                  | -2,4                                        | -2,7                                              |
| Transparente Scheibe               | 62,6                                  | -2,2                                        | -1,8                                              |
| Einwegmaske + Scheibe              | 63,0                                  | -1,8                                        | -2,4                                              |
| Baumwollmaske + Scheibe            | 62,3                                  | -2,5                                        | -2,6                                              |
| Einwegmaske + Visier               | 63,0                                  | -1,8                                        | -1,4                                              |
| Baumwollmaske + Visier             | 63,2                                  | -1,6                                        | -2,0                                              |

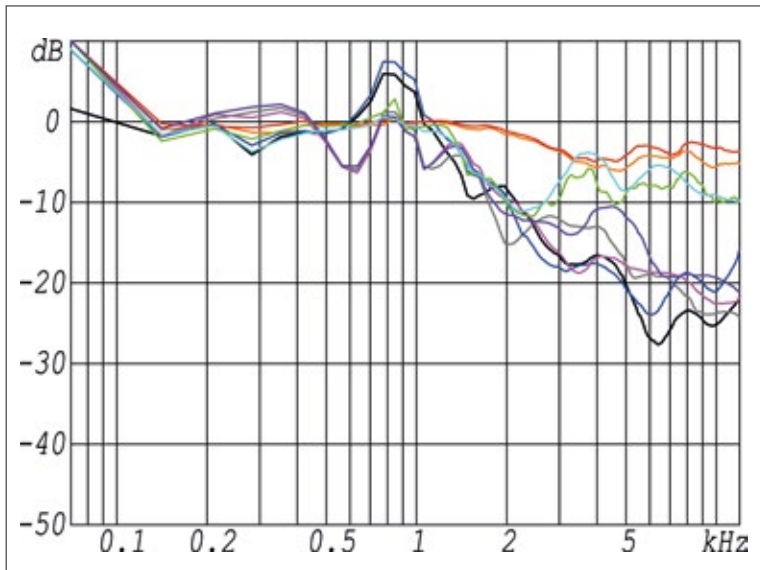


Abb. 17: Einfügedämpfungsspektren der Maßnahmen und Kombinationen; 0-dB-Linie: Referenz, alle in 1 m Abstand, 512-Punkte-FFT, geglättet; rot: Einwegmaske; orange: Baumwollmaske; cyan: FFP2-Maske mit Filter; grün: FFP2-Maske KN95; violett: Scheibe alleine; grau: Baumwollmaske + Scheibe; pink: Einwegmaske + Scheibe; blau: Einwegmaske + Visier; schwarz: Baumwollmaske + Visier.

hochinteressant wäre, da sie zu einer Verringerung des Direktschalls und einer Erhöhung des Diffusschalls führt, und zwar bei der Scheibe und insbesondere dem Visier:

In beiden Fällen werden sicherlich hochfrequente Anteile auch an harten Kanten gebeugt, aber ein größerer Teil der Direktenergie eben auch blockiert bzw. unter Erhöhung des Diffusschalls umgeleitet. Eine Auswirkung ist eine in den halligen zwei Raumbeispielen deutliche Beeinflussung der Werte des Parameters Deutlichkeitsmaß  $C_{50}$ , welche unter raumakustisch widrigen Bedingungen, wie der Kirche oder dem unmodifizierten Treppenhaus, in Abhängigkeit der verwendeten MNS-Maßnahme durchaus um mehrere dB zusätzlich abnehmen.

Diese Eigenschaften der MNS-Maßnahmen führen also konform einer informationstheoretischen Beschreibung der Sprachverständlichkeit zu einem zusätzlichen reduzierenden multiplikativen Faktor der Wahrscheinlichkeit der korrekten Erkennung des Gesprochenen, siehe z. B. [4].

### Ausblick: Möglichkeiten für Kompensationsmaßnahmenprinzipien

Wir werden wohl noch länger mit diesem Virus und auch mit den hier untersuchten und vergleichbaren MNS-Maßnahmen leben müssen, und somit auch mit Auswirkungen dieser Maßnahmen auf die Sprachverständlichkeit. Daher sei es an dieser Stelle erlaubt, auf mögliche Prinzipien für Kompensationsmaßnahmen hinzuweisen: Generell empfiehlt

es sich, bei der Verwendung von MNS-Maßnahmen langsamer und deutlicher zu sprechen und bewusster zu artikulieren – also den Part an der sprachlichen Informationsübertragung nach Möglichkeit zu verbessern, den man als Verwender von MNS-Maßnahmen selbst unter Kontrolle hat, inklusive einer spektral veränderten Sprechweise: mehr Energie für die hohen Frequenzen zugunsten der Konsonanten als bedeutungsunterscheidende Einheiten der lautsprachlichen Kommunikation. Einfach lauter zu sprechen, hilft mitnichten, den Pegelverlust durch die Einfügedämpfung zu kompensieren. Bei Maßnahmen, welche die Richtcharakteristik verändern, also insbesondere bei der Kombination von Schutzmasken und Visieren, kann lautes Sprechen insbesondere auch den Nachhallpegel erhöhen, was für die Sprachverständlichkeit kontraproduktiv ist. Da Lippenlesen durch Masken unmöglich gemacht wird und auch die Mimik stark beeinträchtigt wirkt, kann es ggf. situativ helfen, die Kommunikation durch Gesten zu unterstützen.

Zu hallige, für Sprache ungünstige Räume sollten und können mit ausreichend Absorption verständlicher gemacht werden – wie das Beispiel des hier durch wenige  $m^2$  hinzugefügte Absorber modifizierten Treppenhauses zeigt, können gerade in Räumen mit sehr wenig Absorption durch geeignete raumakustische Maßnahmen wesentliche Verbesserungen der raumakustischen Randbedingungen erreicht werden, welche dafür sorgen können, dass die zusätzlichen Einbußen der Sprachverständlichkeit durch die MNS-Maßnahmen die resultierende Gesamtsprachverständlichkeit nicht inakzeptabel verschlechtern.

Bei der raumakustischen Planung von Räumen, in denen bekannterweise MNS-Maßnahmen verwendet werden, und der Anspruch einer ausreichenden Sprachverständlichkeit besteht, können bei der raumakustischen Planung von Maßnahmen strengere Anforderungen als Richtschnur dienen, als in normalen Situationen ohne diese Maßnahmen angesetzt würden, z. B. bei Räumen der Nutzungsklasse „A“ der DIN 18041:2016 [6] die Nutzungskategorien A3 bzw. A4 anstelle von A2 / A3.

Für Schwerhörige könnten auch mehr kleine lokale Induktionsanlagen z. B. an Schaltern in halligen Räumen mit widrigen raumakustischen Bedingungen realisiert werden.

Auch Beschallungsanlagen können Möglichkeiten der Kompensation darstellen, wenn sie auf den jeweiligen Raum und seine akustischen Eigenschaften sowie die zu versorgenden Wirkungsflächen gut angepasst geplant und realisiert werden.

Bei der Verwendung von Schutzscheiben sollten die harten Kanten nicht absorbierend ausgeführt wer-

den, um höheren Spektralanteilen die Möglichkeit zu lassen, an den Beugungskanten als neue Wellenfronten zur anderen Seite gebeugt abgestrahlt werden zu können.

Nicht zu empfehlen ist, für eine geringere Verschlechterung der Sprachverständlichkeit durchlässigere Masken zu verwenden oder auf die Verwendung von Mund-Nase-Schutz-Maßnahmen zu verzichten. Auch Abstandsverringerungen wären für den eigentlichen Zweck der MNS-Maßnahmen als Schutz vor Infektionen kontraproduktiv.

Vielleicht gelingt es ja findigen Produktentwicklern, Maßnahmen zu entwickeln, bei denen die Infektionswege sicher blockiert werden, die sprachliche Informationsübertragung jedoch nicht derart behindert wird wie mit einigen der hier untersuchten Maßnahmen. Dem Aspekt einer Begrenzung der Verringerung der Sprachverständlichkeit durch MNS-Maßnahmen sollte jedoch bei der Entwicklung neuer Produkte mehr Rechnung getragen werden.

### Danksagung

Dank für die Unterstützung bei der Erstellung der diesem Beitrag zugrundeliegenden Untersuchungen gilt der Kath. Kirchengemeinde St. Antonius und Elisabeth in Düsseldorf-Hassels, den Herren Kevin

Behrens und Chris Erkal für die tatkräftige und engagierte Hilfe bei der Durchführung und Auswertung der Messungen und der Peutz Consult GmbH für das zur Verfügung Stellen von Räumlichkeiten und Messequipment.

### Literatur

- [1] Radonovich, L. J. Jr.; Yanke, R.; Cheng, J.; Bender, B.: Diminished Speech Intelligibility Associated with Certain Types of Respirators Worn by Healthcare Workers. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, pp. 63-70, Taylor & Francis, London, Januar 2010.
- [2] Almiero, A. J.; Symons, D.; Morgan, J. W. III.; Shaffer, R. E.: Speech Intelligibility Assessment of Protective Facemasks and Air-Purifying Respirators. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, pp. 960-968, Taylor & Francis, London, Dezember 2016.
- [3] DIN EN 60268-16: 2012-05: Elektroakustische Geräte – Teil 16: Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex (IEC 60268-16:2011). Deutsche Fassung EN 60268-16:2011, Berlin, Beuth Verlag, 2012.
- [4] Peutz, V. M. A.; Kok, B.: Speech Intelligibility. 75th AES Convention Preprint 2089, pp. 1-19, Paris, März 1984.
- [5] Lorenz-Kierakiewicz, K.-H.: Werteänderungen von Indikatoren der Sprachverständlichkeit in nicht-muttersprachlichem Kontext. In: Fortschritte der Akustik – DAGA 2016, 42. Jahrestagung für Akustik, Aachen, S. 313-316.
- [6] DIN 18041: 2016-03: Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung. Berlin, Beuth Verlag, 2016. ■



**Klaus-Hendrik Lorenz-Kierakiewicz**  
Peutz Consult  
GmbH,  
Düsseldorf



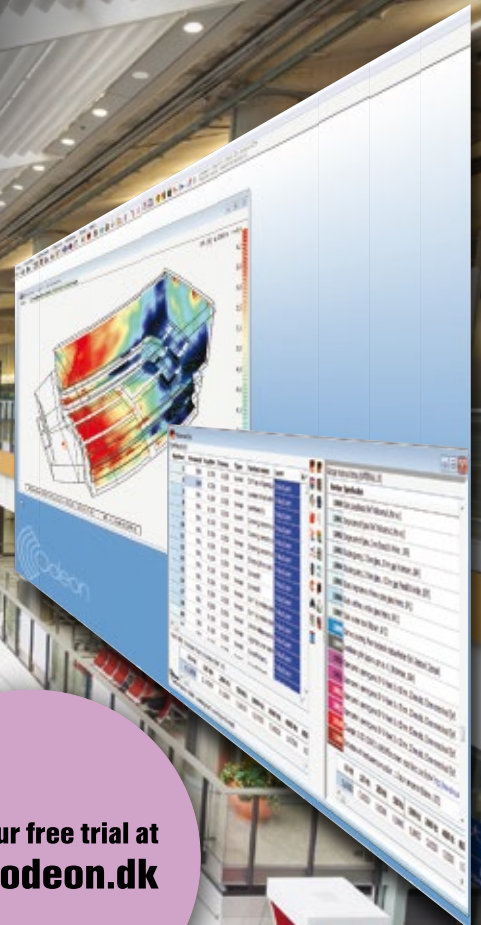
# Make better spaces with the complete software solution for room acoustics

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](http://www.odeon.dk)**



# Ehrungen der DEGA

Auf dem 13. DEGA-Symposium verlieh die DEGA folgende Auszeichnungen



## ■ Helmholtz-Medaille für Prof. Reinhard Lerch

Auf dem 13. DEGA-Symposium am 25. September 2020 in Braunschweig überreichte der Präsident der DEGA, Prof. Jesko Verhey, die Helmholtz-Medaille an den Preisträger, Prof. Dr.-Ing. Reinhard Lerch, für seine herausragenden Beiträge zu Forschung und Lehre auf vielfältigen Gebieten der Technischen Akustik.

Die Laudatio wurde gehalten von Prof. Manfred Kaltenbacher, Graz (siehe [folgende Seite](#)). ■



## ■ Lothar-Cremer-Preis für Dr. Kai Siedenburg

Auf dem 13. DEGA-Symposium am 25. September 2020 in Braunschweig überreichte der Präsident der DEGA, Prof. Jesko Verhey, den Lothar-Cremer-Preis an den Preisträger, Dr. Kai Siedenburg, für seine wegweisenden Arbeiten auf den Gebieten der Psychoakustik und Musikwahrnehmung.

Die Laudatio wurde gehalten von Prof. Stefan Weinzierl, Berlin (siehe Seite [54](#)). ■



## ■ DEGA-Studienpreise 2020

Im Rahmen des 13. DEGA-Symposiums wurden die folgenden herausragenden Abschlussarbeiten auf dem Gebiet der Akustik mit dem DEGA-Studienpreis ausgezeichnet:

- M.Sc. Anne Heimes (links)  
für ihre Masterarbeit „Filter Design for Sound Insulation Auralization“ an der RWTH Aachen, und an
- B.Sc. Liv Moretto Sørensen (rechts)  
für ihre Bachelor-Arbeit „Clustering in an array of nonlinear and active oscillators as a model of spontaneous otoacoustic emissions“ an der University of Copenhagen. ■

## ■ Laudatio für Prof. Reinhard Lerch

Sehr geehrtes Präsidium der DEGA, liebe Kolleginnen und Kollegen, lieber Reinhard!

Es ist mir eine große Ehre und eine besondere Freude, für dich hier und heute die Laudatio halten zu dürfen, anlässlich der Verleihung der Helmholtz-Medaille an dich als Anerkennung für deine herausragenden Beiträge/dein Lebenswerk in der numerischen Simulation, insbesondere der Finite-Elemente-Methode für gekoppelte Feldprobleme mit Schwerpunkt Vibro- und Strömungsakustik bis hin zu der Entwicklung mechatronischer Sensoren und Aktoren im Bereich der Akustik (Hörgeräte) und Ultraschalltechnik (medizinische Bildgebungssysteme basierend auf piezoelektrischen Wandlern).

Deine wissenschaftliche Karriere begann mit deiner Dissertation über Untersuchungen an Piezopolymer-Mikrofonen bei Prof. Dr. Gerhard Martin Sessler, dem Erfinder des Elektretmikrofones, der in diesem Kreis auch bestens bekannt ist (Helmholtz-Medaille 1993), an der TU Darmstadt. Diese Zeit hat dich sicherlich geprägt und auch wenn ich es nur von deinen Erzählungen kenne, so war die Symbiose aus Forschung, Lehre und gemeinsamen freizeitlichen Aktivitäten eines der wesentlichen Erfolgsrezepte, welche du in den vielen Jahren, in welchen ich in deinem Forschungsteam mitwirken durfte, ideal umgesetzt hast. Nach deiner Dissertation warst du von 1981 bis 1991 im Forschungszentrum der Siemens AG in Erlangen zunächst wissenschaftlicher Angestellter und später Projektverantwortlicher für die Entwicklung elektromechanischer Sensoren und Aktoren mit Schwerpunkt piezoelektrischer Ultraschallarrays tätig. Noch heute bin ich von deinen Erzählungen über die Möglichkeiten und Ausrüstung, welche dir zu dieser Zeit zur Verfügung standen, begeistert. In dieser Zeit entstand auch eine deiner hochzitierten Publikationen „Simulation of piezoelectric devices by two- and three-dimensional finite elements“ (in IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency

Control, 1990), welche sicherlich zu den Grundbausteinen für deine internationale wissenschaftliche Anerkennung und deinen Bekanntheitsgrad zählt.

So wurdest du bereits 1991 zum Ordentlichen Universitätsprofessor und Vorstand des Instituts für Elektrische Messtechnik im Fachbereich Mechatronik der Johannes-Kepler-Universität Linz ernannt. In dieser Zeit warst du federführend am Aufbau des Mechatronik-Studiums beteiligt und setztest forschungsmäßig den Schwerpunkt auf die numerische Simulation gekoppelter Feldprobleme im Bereich Hör- und Ultraschall. Zudem entstand unter deiner Federführung der erste reflexionsarme Messraum an der Johannes-Kepler-Universität Linz, und das Institut erlangte einen internationalen Ruf im Bereich der Entwicklung akustischer Wandler von der Analyse und Optimierung mittels Finite-Elemente-Simulationen, dem Aufbau von Prototypen bis zur Vermessung ihrer elektromechanischen Eigenschaften. Im Jahr 1999 bist du dann dem Ruf an die Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg gefolgt, wo du bis 2019 den Lehrstuhl für Sensorik geleitet hast. Durch dein Geschick bei den Berufungsverhandlungen standen dir nicht nur enorme Geldmittel, sondern auch eine außergewöhnliche personelle Ausstattung zur Verfügung. Ich selbst hatte das Privileg, sofort eine Dauerstelle bei dir zu bekommen und dich beim Aufbau des neu gegründeten Lehrstuhls zu unterstützen. Die Anzahl der internationalen Publikationen, eingeladenen Vorträge und Doktorarbeiten, welche in deiner Zeit am Lehrstuhl entstanden, ist äußerst beeindruckend, so wie auch deine vielen nationalen und internationalen Auszeichnungen: Preis der ITG (1983), Outstanding Paper Award des IEEE (1990), Johann-Philipp-Reis-Preis der ITG (1991), BMW Scientific Award (1997), Distinguished Service Award des IEEE (2009) und nun die Helmholtz-Medaille. Diese Auszeichnungen unterstreichen deine nationalen und internationalen Forschungsaktivitäten und dein wissenschaftliches Renommee.

Neben deinen wissenschaftlichen Aktivitäten war es dir stets ein großes Anliegen,

exzellente Lehre zu machen. So warst du federführend an der Gestaltung des Curriculums Mechatronik an der Johannes-Kepler-Universität Linz beteiligt, und sowohl die Pflichtlehrveranstaltungen (Elektrische Messtechnik sowie Sensorik) wie auch die speziellen Lehrveranstaltungen (Technische Akustik, Digitale Signalverarbeitung, Numerische Simulation gekoppelter Felder, etc.) wurden mit großem Aufwand und Begeisterung etabliert. Die Symbiose aus Forschung und Lehre hast du dann auch an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg fortgesetzt und dich zunächst im Studium der Elektrotechnik-Elektronik-Informationstechnik engagiert. Es dauerte nicht lange, und schon entstand auch das Studium der Mechatronik und dann auch jenes der Medizintechnik, an welchen du wesentliche Beiträge geleistet hast. Neben dem Bereitstellen von hochwertigen Vorlesungs- und Übungsskripten war es dir ein großes Anliegen, auch Lehrbücher zu schreiben, die von der Theorie bis zu praktischen Beispielen und Programmen noch viele Jahre für Studierende sowie in der Praxis tätigen Ingenieurinnen und Ingenieuren von großem Nutzen sein werden. Besonders erwähnenswert sind hier die im Springer Verlag erschienen Bücher „Elektrische Messtechnik: Analoge, digitale und computergestützte Verfahren“ (7. Auflage) und „Technische Akustik: Grundlagen und Anwendungen“ (gemeinsam mit Gerhard Sessler und Dietrich Wolf).

Was wären wir, wenn wir nicht ausgezeichnete und umsichtige Mentorinnen und Mentoren hätten, die uns in unserem Streben voranbringen und mit Rat und Tat zur Seite stehen? Lieber Reinhard, du warst und bist für mich ein herausragender Mentor und natürlich auch für alle deine vielen jungen Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftler. Dabei zeichnet sich dein Mentoring durch drei wesentliche Eigenschaften, die du ideal verkörperst, aus: deine Besonnenheit, deine Ausgeglichenheit und deine stetige Bereitschaft, mit Rat und Tat zur Seite zu stehen. Davon habe ich persönlich ganz besonders profitiert und dafür möchte ich dir meinen ganz herzlichen

Dank aussprechen. Dieses Mentoring ist für die Forschung und Lehre insgesamt und im Speziellen für die Fachdisziplin Akustik ein ganz wichtiger Baustein, um junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler für die universitäre Forschung und Lehre zu begeistern. Wir alle wissen, wie begrenzt die Anzahl der universitären fixen Stellen nach einem Doktorat sind, und somit ist es umso wichtiger, dass durch ein herausragendes Mentoring die Zeit nach einer Doktorarbeit bis zu einer möglichen Professur an einer Universität bzw. einer fixen Anstellung in einer Forschungseinrichtung erfolgreich überbrückt werden kann.

Meine Damen und Herren, ich danke Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit und Dir, lieber Reinhard möchte ich nochmal ganz herzlich gratulieren! ■

*Manfred Kaltenbacher*

### ■ Laudatio für Dr. Kai Siedenburg

Meine Damen und Herren, ich freue mich, Ihnen den diesjährigen Lothar-Cremer-Preisträger der DEGA vorzustellen.

Kai Siedenburg wurde 1985 in Bremerhaven geboren, ging dort zur Schule und hat bereits das Abitur mit bestmöglichen Noten abgeschlossen, was sich als roter Faden durch seine ganze universitäre Laufbahn gezogen hat. Diese begann 2004 mit einem Jazz-Piano-Studium an der Berliner Universität der Künste. Bereits nach einem Jahr zog es ihn dann aber von der Kunst in die Wissenschaft. Er absolvierte ein Mathematik-Studium an der Berliner Humboldt-Universität, wo er seine Leidenschaft für die Musik durch ein Nebenfach Musikwissenschaft in sein Studium integrierte.

2008 verbrachte er ein Jahr als Fulbright-Stipendiat an der University of California in Berkeley. Am Center for New Music and Audio Technologies (CNMAT) war er mit seiner Leidenschaft für Musik, Mathematik und Signalverarbeitung am richtigen Platz und lernte mit David Wessel einen der Pioniere der Klangfarbenforschung kennen, was seine spätere akademische Laufbahn nachhaltig prägen sollte.

2009 kehrte er nach Berlin zurück, und dies war auch die Zeit, in der ich Kai kennenlernte, denn von 2009 bis 2011 arbeitete er als studentischer Mitarbeiter am Fachgebiet Audiokommunikation, wo er die Kurse zur digitalen Signalverarbeitung mit betreute. Bereits damals war offensichtlich, dass hier ein eigenständiger Kopf am Werk ist, der keine Rezepte sucht, um bestehendes Wissen zu reproduzieren, sondern der originelle Verbindungen zwischen den Disziplinen sucht, und der mit Mathematik und Signalverarbeitung ebenso mühelos umgehen kann wie er auch in einen künstlerischen und kulturwissenschaftlichen Diskurs auf Augenhöhe einsteigen kann. Diese Verbindung ist selten, zeichnet aber, soweit ich das überblicke, alle erfolgreichen Forscher in der Musikpsychologie und in der musikalischen Akustik aus. Zu den Vorbildern in dieser Hinsicht zählt sicher der Namensgeber dieses Preises; andere hat sich Kai Siedenburg konsequent als akademische Mentoren ausgesucht, darunter David Wessel in Berkeley oder Stephen McAdams in Montreal.

Schon aus seiner Diplomarbeit, die er in der Abteilung für Machine Learning, Data Mining und Intelligent Music Processing am Österreichischen Forschungsinstitut für Artificial Intelligence in Wien bei Gerhard Widmer schrieb, sind seine ersten Journal Publikationen im AES Journal und in den IEEE Transactions on Signal Processing hervorgegangen.

Die Doktorarbeit schrieb er im Music Perception and Cognition Lab bei Stephen McAdams an der McGill University in Montreal. Auch dort gibt es, ähnlich wie in Berkeley, eine selbstverständliche Nähe von Kunst und Wissenschaft, in diesem Fall von Music Composition, Music Performance, Music Technology und Music Perception, wie wir das in Deutschland überhaupt nicht kennen, wo Musikhochschulen und Universitäten ja schon institutionell streng getrennt sind. Seine Forschung zur Wahrnehmung und zum Gedächtnis für musikalische Klangfarbe hat er 2015 unter dem Titel Perspectives on memory for musical timbre als Dissertation verteidigt und in mehrere Beiträge

zu Fachzeitschriften wie das Journal of New Music Research, Frontiers in Psychology und Memory einfließen lassen. Mit einer Verbindung von kognitiver Psychologie und akustischer Merkmalsextraktion analysieren diese Arbeiten auf innovative Weise grundlegende Mechanismen der Klangfarbenwahrnehmung und des auditorischen Gedächtnisses.

Seit 2015 forscht er an der Universität Oldenburg als Post-Doktorand in einem Bereich, den man vielleicht als „Musikalische Psychoakustik“ oder als „Computational Music Psychology“ bezeichnen könnte, und für den er mit Erfolg eigene Mittel akquiriert hat: Zunächst durch ein Marie-Sklodowska-Curie-Fellowship der EU, und schließlich in 2020 durch ein Freigeist-Fellowship der Volkswagen-Stiftung. Ich bin mir ziemlich sicher, dass er der erste Akustiker ist, der sich in diesem Programm durchgesetzt hat, das ihm ermöglicht, in den kommenden fünf Jahren eine eigene Forschungsgruppe aufzubauen. Schwerpunkt seines Forschungsprogramms ist die Musikwahrnehmung von Menschen mit Schwerhörigkeit. Dazu gehört auch die Frage, wie dies evtl. schon bei der Produktion von Musik berücksichtigt werden kann, und nicht erst in einem Hörgerät, das naturgemäß primär auf die Verständlichkeit von Sprache hin ausgelegt ist.

Mit fällt kein Wissenschaftler ein, der dieses Thema kompetenter und kreativer bearbeiten könnte als Kai Siedenburg. Er ist nicht nur durch seinen bisherigen akademischen Werdegang, sondern auch durch sein Versprechen auf die Zukunft in jeder Hinsicht ein würdiger Träger des Lothar-Cremer-Preises. Dafür, lieber Kai, auch von mir herzliche Glückwünsche! ■

*Stefan Weinzierl*

# Menschen

## Ehrungen und Gratulationen

### ■ Rudolf-Martin-Ehrenurkunde für Dr. Ullrich Isermann

Die Rudolf-Martin-Ehrenurkunde ist eine bedeutende Auszeichnung des DIN/VDI-Normenausschusses Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS). Im Rahmen des 13. DEGA-Symposiums in Braunschweig wurde die Urkunde an den diesjährigen Preisträger, Dr. rer. nat. Ullrich Isermann, durch den Fachbereichsleiter Akustik des NALS, Dr. Berthold M. Vogelsang, verliehen.

Ullrich Isermann studierte Physik an der Georg-August-Universität in Göttingen, wo er auch später zum Thema „Berechnung der Fluglärmimmissionen“ promovierte. Danach wechselte er zum Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Göttingen, wo er aufgrund der zunehmenden Aktivitäten zum Thema Fluglärm eine eigene Arbeitsgruppe zu diesem Thema gründete und leitet.

Ullrich Isermann ist ein renommierter Experte auf dem Gebiet der Entstehung und Minderung des Fluglärms und ein national und international gefragter Gesprächspartner.

An allen bedeutenden Fluglärmnormen war er maßgeblich beteiligt. Das ist keine leichte Aufgabe angesichts des hohen Konfliktpotenzials dieses Themas. Durch seine ruhige, sachliche Art schaffte er es aber immer, die Emotionen in geordnete Bahnen zu lenken. Gepaart mit seinem profunden Wissen trug er wesentlich zur hohen Qualität der Normenwerke zum Fluglärm bei. Der NALS möchte sich bei Ullrich Isermann für sein langjähriges großes Engagement in der Fluglärmnormung sehr herzlich bedanken und ihm als Zeichen dieser Anerkennung die Rudolf-Martin-Ehrenurkunde überreichen. ■

### ■ Wir gratulieren

zum 70. Geburtstag (Juli 2020):  
Prof. Dr. Werner Scholl,  
Leitung der DAGA-Tagung 2006

zum 90. Geburtstag (Aug. 2020):  
Prof. Dr. Heinrich Kuttruff,  
Träger der Helmholtz-Medaille (1996),  
DEGA-Ehrenmitglied,  
Leitung der DAGA-Tagung 1987,  
Mitglied des ICA-Vorstands (1978–1987),  
DEGA-Gründungsmitglied ■

## EINE RICHTIG KLANGVOLLE ZUKUNFT?

GEHÖRT BEI UNS  
ZUM GUTEN TON.



nur 7.999€



## SOUNDCAM 2.0

**Hörschall + Ultraschall (NEU)**  
**Echtzeit-Beamforming bis 100 kHz**

Anwendungsmöglichkeiten:  
Präventive Instandhaltung, Prozessüberwachung,  
Materialuntersuchung, Kavitation,  
Echoortung bei Tieren (Biosonar)



carcoustics

[www.carcoustics.com](http://www.carcoustics.com)

CAE Software und Systems GmbH

Tel.: +49 5241/21142-0 | Fax: +49 5241/21142-29

[info@cae-systems.de](mailto:info@cae-systems.de) | [www.cae-systems.de](http://www.cae-systems.de)



# Veranstaltungen

## ■ Veranstaltungshinweise

18.11.2020

Wie klingt die Stadt der Zukunft?

**Digitale Veranstaltung zum Tag gegen Lärm 2020**



In dieser Veranstaltung geht es um die Stadt der Zukunft, Verdichtung von Innenstädten und E-Mobilität als Beiträge zur Veränderung von städtischen Strukturen.

Expertinnen und Experten werden die Stadt der Zukunft bezogen auf die Erhöhung der Lebensqualität mit Blick auf die Beiträge der Akustik diskutieren, gerade auch unter Berücksichtigung der Pandemie bedingten aktuellen Entwicklungen. Die neuen Konzepte für die Stadt der Zukunft setzen auf die Veränderung der Umsetzung der Mobilität durch die Nutzung neuer öffentlicher Verkehrsmittel, aber auch die Umwandlung von Innenstädten geprägt durch autofreie Zonen. Die Frage des Klimawandels darf auch aus dieser Diskussion nicht ausgeblendet werden. Fraglich ist, welchen Beitrag die verstärkte Nutzung von Elektrofahrzeugen leistet, aber auch welche negativen Implikationen berücksichtigt werden müssen.

Das Umweltbundesamt konstatiert: „Im Hinblick auf eine nachhaltigere Entwicklung der Mobilität stehen insbesondere jüngere Menschen im Fokus der Diskussion. Bei dieser Personengruppe ist die Hoffnung groß, dass sie ein weniger stark auf das Auto ausgerichtetes Mobilitätsverhalten entwickelt, das auch in späteren Lebensphasen anhält. Dies würde einen wichtigen Beitrag zur Verkehrswende leisten. (...) Für die Umsetzung einer nachhaltigen Mobilität in einer bestimmten Lebensphase müssen rechtzeitig, das heißt in den davorliegenden Lebensphasen, die Grundlagen gelegt werden. Für eine erfolgreiche Verkehrswende ist Veränderung des Mobilitätsverhaltens notwendig.“

Die Organisation und die Durchführung der Veranstaltung wird durch den FA Lärm und den ALD unterstützt. Die Veranstaltung findet im Rahmen des 23. Tag gegen Lärm und des International Year of Sound 2020 statt.

### Koordination:

- Prof. Dr. Brigitte Schulte-Fortkamp, Aktionsleiterin des Tag gegen Lärm
- Prof. Dr. André Fiebig, TU Berlin

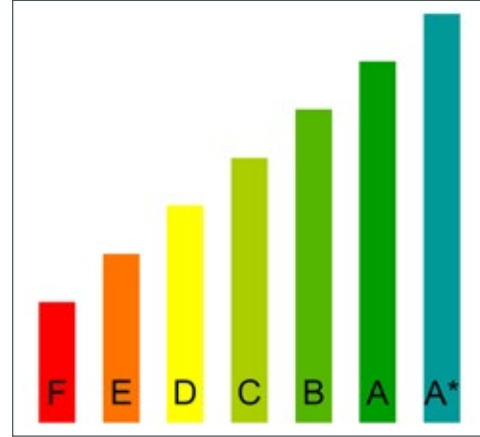
### Programm und Teilnahme:

siehe <https://www.dega-akustik.de/stadt-der-zukunft> ■

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 (<http://www.dega-schallschutzausweis.de>) erweitern wollen und sich über Details zur überarbeiteten DEGA-Empfehlung 103 informieren möchten.

### Leitung und Referent:

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

### Veranstaltungsort:

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

### Programm, Leistungen, Gebühren und Anmeldung:

siehe <https://www.dega-akustik.de/akademie-schallschutzausweis>.  
Dort finden Sie auch diejenigen Ingenieurkammern, die den Kurs als Fortbildungsveranstaltung anerkennen. ■

07.–11.12.2020

Forum Acusticum 2020

als E-Forum



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 als E-Forum durchgeführt.

Sie sind herzlich eingeladen, am Forum Acusticum 2020 teilzunehmen.

**Termin:**

07. bis 11. Dezember 2020 (Termin verschoben)

**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)



## WIE SCHAFFT MAN EIN ZUHAUSE MITTEN IN DER STADT? GEMEINSAM.

Der zunehmende Grad an Urbanisierung führt zwangsläufig zu steigenden Herausforderungen für den Lärm und Schallschutz und bedarf der Entwicklung intelligenter Lösungen. Mit der **REGUPOL comfort** Range, Trittschalldämmung und elastischer Schüttung, können Sanierungsobjekte schnell und sicher umgesetzt werden.

Fragen Sie die Experten.

[akustik@regupol.de](mailto:akustik@regupol.de)  
[www.regupol.com](http://www.regupol.com)

■ **Vorschau****15.–18.08.2021****DAGA 2021****47. Jahrestagung für Akustik****Herzliche Einladung in die sommerliche Musikhauptstadt Wien im August 2021**

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.

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.

Die DAGA 2021 wird maßgeblich geplant von Kolleginnen und Kollegen des Instituts für Schallforschung (ISF), einem Institut der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW).

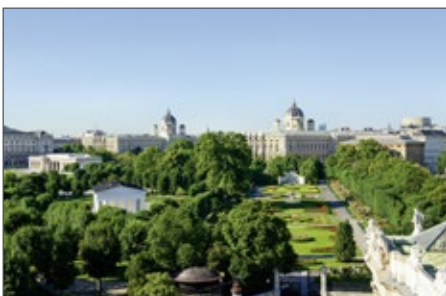
Aufgrund diesjähriger Erfahrungen haben wir die größte Chance, in Wien – nach 2,5 Jahren DAGA-Abstinenz – endlich wieder physisch zueinanderzufinden, die Arbeiten der KollegInnen zu begutachten, die Ausstellerfirmen näher kennenzulernen, am umfangreichen Fachexkursionsprogramm teilzunehmen, und an den beiden geplanten Abendveranstaltungen im lockeren Umfeld Kontakte zu knüpfen und zu pflegen.

Der August-Termin bietet die besondere Gelegenheit, einige weitere sommerliche Tage, gern mit Ihrer Begleitung, in der lebenswertesten Stadt der Welt, dem schönen Wien, zu verbringen. Hierzu planen wir ein flexibles Begleitpersonenprogramm und informieren über die kulturellen Highlights von Wien.

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](http://www.messecongress.at)**Aktueller Corona-Wetterbericht für Österreich**

Inzwischen sind in Österreich Großveranstaltungen mit bis zu 1.500 Teilnehmern nach Einreichung eines Hygiene-Konzeptes und behördlicher Genehmigung wieder erlaubt. Es gilt die Abstandsregel von einem Meter. Dank des flexiblen Raumkonzepts des Congress Centers der Messe Wien können die Vortragssäle sowie die Foyerflächen sehr weitläufig und mit großen Abständen zwischen den Sitzplätzen gestaltet werden. Wir rechnen daher mit einer komfortablen und räumlich entzerrten DAGA 2021 mit 1.000 Teilnehmern. Sollte die Pandemie auch im August 2021 noch zur Einschränkung der Teilnehmerzahl führen, besteht bei großem Interesse die Möglichkeit, die DAGA 2021 hybrid mit z. T. anwesenden und z. T. digitalen Teilnehmern zu gestalten.

**Neue Termine und Deadlines**

- 15. März 2021: Letzter Termin für die Anmeldung von Beiträgen (Vorträge und Poster)
- 15. Juni 2021: letzter Termin für die Anmeldung zu den günstigen „frühen“ Teilnahmegebühren
- 16. August 2021: DEGA-Mitgliederversammlung
- 15. Sept. 2021: Letzter Termin zur Einreichung des Manuskriptes

**Vorkolloquien am Sonntag, den 15.08.2021**

Die Teilnahme ist kostenfrei!

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

## Abendveranstaltungen



### Begrüßungsempfang im Wiener Rathaus am Sonntag, 15.08.2021

Open Air und zugleich regensicher begrüßt uns der Bürgermeister in der grünen Oase des Wiener Rathauses, dem Arkadenhof.

### Geselliger Abend in der WU-Mensa am Dienstag, 17.08.2021

Famose und großzügige Architektur mitten in der Stadt: Die Mensa der neuen Wirtschaftsuniversität Wien bietet den perfekten Platz für ein Picknick im Grünen. Die großzügige Terrasse lädt auf einen lauen Sommerabend ein. Der Abend wird musikalisch gestaltet durch die traditionelle Jam-Session (alle Genres!)

## Fachexkursionen

Derzeit sind die folgenden Exkursionen geplant. Details erfahren Sie demnächst unter

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

- Akustik Center Austria – Holzforschung
- Tonstudiokomplex Synchron Stage Vienna / Rosenhügel
- Future Art Lab der Musikuniversität Wien
- Historische Musikautomaten im Kunsthistorischen Museum

## Reichhaltiges Programm für Begleitpersonen sowie für einen erweiterten Wien-Aufenthalt



Wir werden ein flexibles Programm mit umfangreichen Empfehlungen für Ihre Begleitung und Familie bereitstellen.

Weitere Informationen dazu finden Sie bald unter

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

Hier ein erster Auszug:

### Für Naturbegeisterte und Familien:

- Wiener Naschmarkt – Er ist Wiens größter innerstädtische Markt und zählt aufgrund seiner Geschichte und Lage zu den Sehenswürdigkeiten.

- zahlreiche Parks, wie im Schloss Schönbrunn oder der Donaupark.
- Wiener Prater – Ein Vergnügungspark mit all den Fuhrwerken, die wir aus unserer Zeit kennen, sowie grünes Naherholungsgebiet.
- die Spanische Hofreitschule – Sehen Sie sich eine der regelmäßigen Darbietungen der Bereiter und Ihrer Lipizzaner begleitet von klassischer Wiener Musik an.

### Für Musikbegeisterte:

- Wiener Sängerknaben – Besuchen Sie ein Konzert in der Wiener Hofmusikkapelle oder im Konzertsaal MuTh.
- Musikerspaziergänge zu den Originalschauplätzen: Auf den Spuren berühmter Musiker.
- Wiener Staatsoper – Aufgrund der Politik des Hauses spielt fast jeden Tag eine andere Oper. Ebenso werden Karten zu erschwinglichen Preisen angeboten.
- Bösendorfer – Erleben sie Wiener Klavierbaukunst vor Ort in der Manufaktur oder buchen Sie ein Konzert im Stadtsalon.
- ORF Backstage – Buchen Sie eine Führung auf dem Gelände des Staatssenders.

## Anmeldung und Gebühren

Ab Januar 2021 können Sie sich unter

<https://www.daga2021.eu/registrierung> anmelden.

## Beitragsanmeldung

Vorträge und Poster können ab Januar 2021 bis zum 15. März 2021 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 im Winter 2021 an dieser Stelle: <https://www.daga2021.eu/ausstellung>

## Kontakt und Information

Teresa Lehmann und Julia Schneiderheinze

Deutsche Gesellschaft für Akustik e. V.

E-Mail: [tagungen@dega-akustik.de](mailto:tagungen@dega-akustik.de)

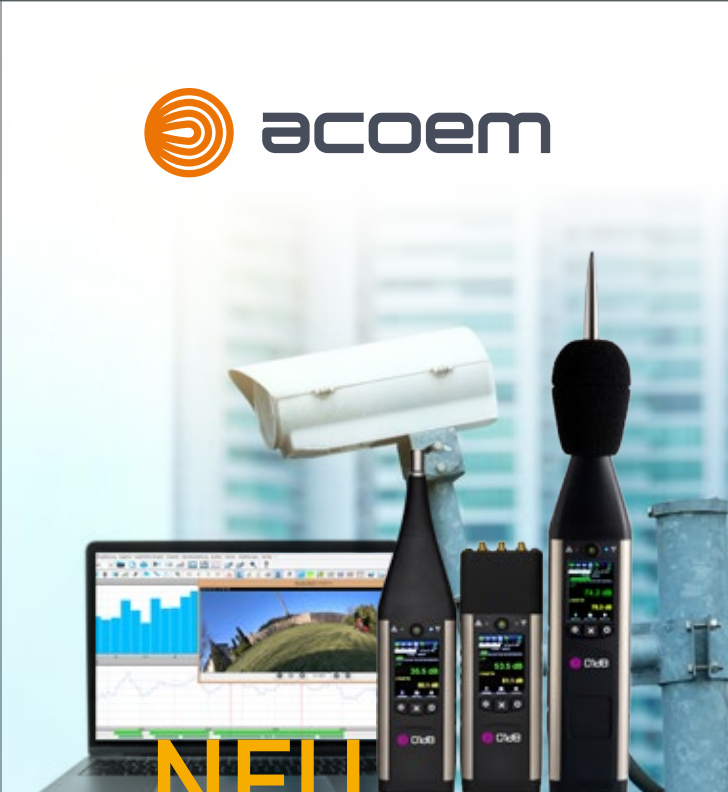
Webseite: <http://www.daga2021.eu>

Tel: 030 / 340 60 38 03 oder -04 ■

## ■ Kalender

- **19.–21.10.2020 als E-Symposium:**  
Symposium „Quiet Drones“,  
siehe <https://www.quietdrones.org/>
- **23.–25.10.2020 in Stuttgart:**  
6. Herbstworkshop der „jungen  
DEGA“,  
siehe Seite 64 und <https://www.dega-akustik.de/junge-dega>
- **26.10.2020 in Hannover:**  
DEGA-Akademie-Kurs „Raumakus-  
tik kompakt“,  
siehe  
<http://www.dega-akustik.de/aktuelles>
- **30.–31.10.2020 in Detmold:**  
Musikermmedizinisches Symposium  
und Thementag „Musik und Hörbe-  
einträchtigung“  
siehe <https://www.hfm-detmold.de/bthvn2020-detmold/im-himmel-werde-ich-hoeren/>
- **18.11.2020 als E-Veranstaltung:**  
„Wie klingt die Stadt der Zukunft?“ –  
Veranstaltung zum Tag gegen Lärm  
2020  
siehe Seite 56 und  
<https://www.dega-akustik.de/stadt-der-zukunft>
- **SAVE THE DATE:**  
**24.11.2020 als E-Veranstaltung:**  
ALD-Veranstaltung „Buy Quiet“  
siehe (in Kürze)  
<https://www.ald-laerm.de>
- **26.11.2020 in Stuttgart:**  
DEGA-Akademie-Kurs „DEGA-  
Schallschutzausweis“,  
siehe Seite 56 und  
<https://www.dega-akustik.de/akademie-schallschutzausweis>
- **07.–11.12.2020 als E-Forum:**  
Forum Acusticum 2020,  
siehe  
<https://fa2020.universite-lyon.fr/>
- **28.04.2021 bundesweit:**  
24. Tag gegen Lärm,  
siehe <http://www.tag-gegen-laerm.de>
- **21.–23.06.2021 in Madeira (P):**  
Euronoise 2021,  
siehe <https://www.spacustica.pt/euronoise2021/index.html>
- **01.–04.08.2021 in Washington, DC (USA):**  
Inter-Noise 2021,  
siehe <https://internoise2021.org/>
- **15.–18.08.2021 in Wien (A):**  
Jahrestagung DAGA 2021,  
siehe Seite 58f und  
<https://www.daga2021.eu>

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



**acoem**

**NEU**

**Hören und Sehen**

- Anschluss an DUO, FUSION & CUBE
- Synchronisation von Bild und ‚Ton‘
- Identifizierung von Lärmquellen

**01dB.com**

**ACOEM GmbH Tel. 0811-899498-25 [vertrieb@acoem.com](mailto:vertrieb@acoem.com)**

# DEGA

## Nachrichten und Mitteilungen aus der Fachgesellschaft

### ■ Protokoll der Mitgliederversammlung

am Freitag, den 25. September 2020 um 14:30 Uhr im Online-Format

#### 1. Begrüßung

Der Präsident der DEGA, Jesko Verhey, eröffnet die Mitgliederversammlung, begrüßt die ca. 82 anwesenden Mitglieder und stellt die Beschlussfähigkeit fest. Anhand des „Gesetzes zur Abmilderung der Folgen der Covid-19-Pandemie im Zivil-, Insolvenz- und Strafverfahrensrecht“ (Artikel 2, §5) findet diese Mitgliederversammlung erstmals im Online-Format statt.

#### 2. Genehmigung der Tagesordnung

Die Einladung mit Tagesordnung wurde allen Mitgliedern im Akustik Journal Nr. 02/20 fristgerecht zugestellt. Diese Tagesordnung wird ohne Ergänzungen angenommen.

#### 3. Bericht des Vorstands

Einleitend fasst Herr Verhey die wichtigsten Ereignisse und Entwicklungen seit der letzten Mitgliederversammlung (d. h. seit März 2019) zusammen:

- Die DEGA hat derzeit ca. 2.000 persönliche Mitglieder.
- Seit Juli 2019 ist ein neuer Vorstand im Amt.
- Für die Leitung der Tagung DAGA 2019 in Rostock geht ein Dank an Sascha Spors und Frank-Hendrik Wurm.
- Im Jahr 2019 hat die DEGA ihr 30-jähriges Jubiläum begangen. Hierzu wurden 14 neue Ehrenmitglieder ernannt, darunter die DEGA-Gründungsmitglieder. Die höchste Auszeichnung der DEGA, die Helmholtz-Medaille, wurde erstmals zweimal im Jahr vergeben: an Diemer de Vries und an Sonoko Kuwano.
- Die DEGA hat die Tagung ICA 2019 / EAA Euroregio in Aachen und das Symposium ISMA 2019 in Detmold erfolgreich veranstaltet sowie die EAA Summer School in Leuven mitgestaltet. Alle Veranstaltungen rund um die ICA 2019 fanden inter-

national einen großen Anklang. Ein besonderer Dank hierfür geht vor allem an Michael Vorländer, Janina Fels und Malte Kob.

- Das Jahr 2020 ist geprägt durch die Corona-Krise, so dass viele Veranstaltungen ausfielen oder verschoben werden mussten. Vor allem musste die Tagung DAGA 2020 in Hannover eine Woche vor Beginn abgesagt werden. Für die umfangreichen Vorbereitungen gilt Jürgen Peissig und Sabine Langer ein besonderer Dank.
- Der Vorstandsrat der DEGA hat kürzlich zwei neue Preise der DEGA eingeführt, nämlich den DEGA-Lärmschutzpreis und den DEGA-Preis für Kommunikationsräume (weitere Informationen siehe Seite 7 in dieser Ausgabe).

Es folgen Berichte der übrigen Mitglieder des Vorstands über die Aktivitäten der DEGA, die in ihrer jeweiligen Verantwortung liegen:

- Frau Langer berichtet, dass die Tagung DAGA 2020 besondere Veranstaltungen und Rückblicke zum Jubiläum „50 Jahre DAGA“ umfasst hätte. Der Tagungsband ist trotz der Absage dennoch erschienen, inklusive eines Sonderteils „50 Jahre DAGA“. Bezüglich des „Tag gegen Lärm“ dankt sie Brigitte Schulte-Fortkamp für die Aktionsleitung. Frau Schulte-Fortkamp fasst daraufhin den Tag gegen Lärm 2019 zusammen: Neben vielen Einzelveranstaltungen hob sie den Wettbewerb „So klingt meine Welt“ besonders hervor, bei dem u. a. die besten Video-Einsendungen als YouTube-Video veröffentlicht wurden. Ebenso fand ein Expertenworkshop zu den WHO-Leitlinien statt. Der Tag gegen Lärm 2020 wurde hingegen abgesagt; hierbei wurde die zentrale Veranstaltung zur „Stadt der Zukunft“ verschoben und wird demnächst online stattfinden.
- Herr Behler erläutert, dass vier neue Projekte vom Vorstand seit der

DAGA 2019 bewilligt wurden:

- fünfter Workshop „junge DEGA“ im November 2019
- sechster Workshop „junge DEGA“ im Oktober 2020
- Überarbeitung des „DEGA-Mindestkanons“ zur Akustik-Ausbildung
- Film-Projekt „Faszination Akustik – eine Reise durch die Welt des Schalls“
- Herr Becker verweist auf die derzeit 79 Fördermitglieder. Zur Präsentation von Firmen-Produkten fanden im letzten Jahr zwei große Firmenausstellungen statt (DAGA 2019 und ICA 2019). Zum „International Year of Sound 2020-2021“ hat die DEGA bisher u. a. herausgegeben: zwei YouTube-Videos, eine Pressemitteilung und ein Editorial im Akustik Journal.
- Herr Sarradj berichtet, dass die „Acta Acustica“ seit Januar 2020 als „Open Access“-Zeitschrift herausgegeben wird. Dem neuen Editor-in-Chief, Manfred Kaltenbacher, wünscht er viel Erfolg. Durch die Umstellung ist das Archiv der Zeitschrift derzeit leider nicht kostenlos für Mitglieder zugänglich; dieser Mangel soll laut EAA in absehbarer Zeit behoben werden. Die DEGA-eigene Zeitschrift „Akustik Journal“ hat sich nach zwei Jahren gut etabliert; bei der kürzlich erneuten Ernennung des Chefredakteurs (Detlef Krahé) und des Redaktionsbeirats wurde auch das Amt eines stellvertretenden Chefredakteurs (Christian Koch) neu eingerichtet. Alle Mitglieder sind aufgerufen, Artikel für die Zeitschrift einzureichen. Ferner erläutert er, dass die Webseite <http://www.schallschutzausweis.de> neu gestaltet wurde; ein Login ist hierfür nicht mehr nötig.
- Herr Seeber beglückwünscht die DFG-Fachkollegiaten im Fach Akustik, die im Herbst 2019 wieder- bzw. neu gewählt wurden (Birger Kollmeier

und Janina Fels). Innerhalb der Schriftenreihe „Geschichte der Akustik“ sind zwei neue Hefte erschienen (Heft 10: Zwicker/Cremer/Heckl, Heft 11: Meyer/Barkhausen/Reichardt); ein besonderer Dank geht hierfür an Herrn Költzsch. Ferner verweist er auf deutlich erweiterte Inhalte im Dissertationsregister (mit einem Dank an Herrn Sonntag). Das Online-Lehrangebot „TU9 MOOC Communication Acoustics“ erreicht derzeit über 1.000 Studierende weltweit.

Herr Klemenz erläutert, dass Martin Ochmann seit Herbst 2019 Schatzmeister der International Commission for Acoustics (ICA) ist und die DEGA-Geschäftsstelle ihn bei dieser Aufgabe unterstützt. Er berichtet, dass im Jahr 2019 drei Kurse der DEGA-Akademie stattgefunden haben, nämlich „Grundlagen der Technischen Akustik“ (Berlin), „Bauakustik“ (Braunschweig) und „DEGA-Schallschutzausweis“ (Aachen). Er dankt allen Kursleiterinnen und Kursleitern für ihren Einsatz. Im Jahr 2020 werden wieder die Kurse „Bauakustik“ (Braunschweig), „DEGA-Schallschutzausweis“ (Stuttgart) sowie ein neuer Kurs „Raumakustik kompakt“ (Hannover) angeboten. Im zurückliegenden Jahr hat die DEGA sechs „Young Scientist Grants“ vergeben; Reisekostenzuschüsse wurden im laufenden Jahr 2020 bisher nicht vergeben.

#### 4. Finanzbericht

Herr Behler und Herr Klemenz erläutern den Finanzrechnungsbildungsbericht für das Jahr 2019 sowie den vom Vorstand aufgestellten und vom Vorstandsrat genehmigten Finanzplan für 2020, jeweils unterteilt in Ein- und Ausgaben. Er erläutert auch die sich daraus ergebenden Rücklagen der DEGA.

Das Jahr 2019 wurde mit einem deutlichen Überschuss abgeschlossen, und es wurde insgesamt ein Jahresumsatz von mehr als 1 Mio. Euro erzielt. Dies liegt vor allem an der hohen Teilnehmerzahl der internationalen Tagung ICA 2019 in Aachen. Ebenso fielen die Ausgaben für diese Tagung geringer aus als erwartet. Die sonstigen Positionen entsprechen im

Wesentlichen der Planung.

Die Rücklagen haben sich gegenüber dem Jahr 2018 um den o.g. Gewinn entsprechend erhöht.

Die Planung für das Jahr 2020 sieht hingegen einen merklichen Verlust vor. Dieser ist größtenteils dadurch bedingt, dass bei der abgesagten Tagung DAGA 2020 ein Teil der Einnahmen wegfällt, auch wenn viele Teilnehmende ihre Gebühren dankenswerterweise nicht zurückgefordert haben und die Gebühren von Autorinnen und Autoren, die ein Manuskript eingereicht haben, wie angekündigt nicht zurückerstattet wurden. Bei den Ausgaben konnte vor allem gegenüber dem Hannover Congress Centrum eine vergleichsweise geringe Storno-Zahlung erzielt werden. Auch die Einnahmen und Ausgaben der DEGA-Akademie werden aufgrund der Corona-Krise vergleichsweise gering ausfallen. Hinzu kommt, dass die DEGA bei der Auslandstagung DAGA 2021 keine finanzielle Verantwortung übernehmen wird und die diesbezüglichen Einnahmen im Herbst 2020 entfallen werden. Dieser scheinbare zusätzliche Verlust wird aber in 2021 wieder ausgeglichen.

Generell ist festzustellen, dass die Corona-Krise sämtliche Bereiche des öffentlichen Lebens hart getroffen hat, und auch die DEGA muss in diesem Jahr hohe finanzielle Verluste hinnehmen. Zur Kompensation reichen die Rücklagen aus; Maßnahmen zur Konsolidierung sind in den kommenden Jahren aber sicherlich erforderlich.

#### 5. Bericht der Rechnungsprüfer

Bei der letzten Mitgliederversammlung wurden Stephan Lippert und Thomas Geyer als Rechnungsprüfer wiedergewählt. Herr Geyer berichtet, dass die Kasse der DEGA auch im Geschäftsjahr 2019 wieder einwandfrei und übersichtlich geführt wurde. Für alle Einzelbuchungen und Rücklagen sind Belege vorhanden. Es wurden umfangreiche Stichproben vorgenommen, vor allem bezüglich der Tagung ICA 2019. Unregelmäßigkeiten wurden hierbei nicht festgestellt. So empfiehlt er die Entlastung des Vorstands. Herr Verhey dankt Herrn Geyer und Herrn Lippert für den Bericht.

#### 6. Entlastung des Vorstands

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

#### 7. Wahl der Rechnungsprüfer

Herr Lippert und Herr Geyer haben sich beide bereit erklärt, als Rechnungsprüfer der DEGA weiterhin zur Verfügung zu stehen. Beide werden ohne Gegenstimmen in dieses Amt gewählt, und Herr Verhey dankt ihnen für ihre Bereitschaft.

#### 8. Berichte aus den Fachausschüssen und Fachgruppen

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

- FG „junge DEGA“ (Dorothea Lincke): Mentoring-Programm gestartet (mehrere virtuelle Treffen, 11 Tandems, Dank an Mentorinnen und Mentoren), 6. Herbstworkshop in Stuttgart unter Hygiene-Auflagen im Oktober 2020
- FG ALD – Arbeitsring Lärm der DEGA (Michael Jäcker-Cüppers): erneute Einwerbung und Bewilligung von UBA-Zuschüssen, Rückblick auf drei Workshops in 2019 („Motorradlärm“, „Lärmaktionsplanung 3. Stufe“ und „Innenstadtverdichtung“), Initiierung des neuen DEGA-Lärmschutzpreises, drei geplante Veranstaltungen in 2020/21 (teils virtuell)
- FA Bau- und Raumakustik (Christian Nocke): Leitung neu gewählt, neue Geschäftsordnung verabschiedet, kürzlich virtuelle FA-Sitzung, drei neue Memoranden demnächst veröffentlicht bzw. geplant (zu tieffrequenter Trittschallübertragung, zu gebäudetechnischen Anlagen und zur ASR A3.7 „Lärm“)
- FA Elektroakustik (Daniel Beer): Rückblick auf Herbstsitzung 2019 in Backnang (zum Thema „variable Raumakustik“), Artikel im Akustik

Journal zum Thema „MEMS-Lautsprecher“, demnächst Herbstsitzung, vsl. online

- FA Fahrzeugakustik (Ercan Altinsoy): Rückblick auf virtuelle FA-Sitzung im Juni 2020, demnächst virtueller Herbstworkshop 2020
- FA Hörakustik (Janina Fels): Beteiligung von FA-Mitgliedern bei vielen Tagungen, neue Geschäftsordnung verabschiedet, neue Projekt-Ideen, virtuelle FA-Sitzung im Oktober 2020
- FA Lärm – Wirkungen und Schutz (André Fiebig): Rückblick auf Herbstworkshop 2019 „Lärm am Arbeitsplatz“ in St. Augustin, neue Geschäftsordnung verabschiedet, Mitwirkung beim Tag gegen Lärm 2020, zwei virtuelle Treffen in 2020, Workshop „Psychoakustik und Lärmschutz“ für 2021 geplant
- FA Lehre der Akustik (Malte Kob, stellv.): aktuelles Projekt „Überarbeitung des DEGA-Mindestkanons“ (mit Erweiterung auf Master-Inhalte), Ausweitung des Studienführers „EAA Schola“
- FA Musikalische Akustik (Malte Kob): Rückblick auf Symposium ISMA 2019 in Detmold (hierzu ist Online-Tagungsband erschienen), demnächst Special Issue zur musikalischen Akustik im „Journal of the Acoustical Society of America“, neue Arbeitsgruppe „Online-Lehrinhalte“
- FA Physikalische Akustik (Joachim Bös): neue Geschäftsordnung verabschiedet, Herbstworkshop in Bad Honnef erst wieder in 2021, im Herbst 2020 virtuelle FA-Sitzung
- FA Sprachakustik (Janto Skowronek): neben regulärer FA-Sitzung (August 2021) auch virtuelle Sitzung im Frühjahr 2021 geplant
- FA Strömungsakustik (Marc Schneider, stellv.): DEGA-Akademie-Kurs „Strömungsakustik“ weiterentwickelt (d.h. als zwei getrennte Kursteile konzipiert, verschoben von Herbst 2020 auf Herbst 2021)
- FA Ultraschall (Claus-Dieter Ohl): Rückblick auf Workshop 2019 in Drübeck zum Thema „Komplexe Aspekte der Kavitation“, nächster Workshop vsl. 2021

- FA Virtuelle Akustik (Bernhard Seiber, stellv.): Rückblick auf den europäischen Studierenden-3D-Audiowettbewerb, Webseite zum Projekt „Stimulus-Datenbank“ veröffentlicht, DEGA-Symposium zur virtuellen Akustik für 2021 geplant

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

## 9. Verschiedenes

Herr Verhey dankt Sabine Langer und Tobias Ring für die Ausrichtung des 13. DEGA-Symposiums, vor allem weil die Preisverleihungen und die Mitgliederversammlung nach der ausgefallenen DAGA in einem attraktiven Rahmen nachgeholt werden konnten. Ebenso

dankt er Gottfried Behler für die Bereitstellung der Web-Konferenz.

## 10. Termin der nächsten Mitgliederversammlung

Die nächste Mitgliederversammlung wird voraussichtlich am Montag, den 16.08.2021 während der DAGA 2021 in Wien stattfinden. Termin und Ort werden im Akustik Journal vier Wochen vorher bekannt gegeben.

Herr Verhey dankt allen Anwesenden und schließt gegen 16:00 Uhr die Mitgliederversammlung.

Berlin, den 29.09.2020 ■

*Martin Klemenz*  
(Geschäftsführer der DEGA)

*Jesko Verhey*  
(Präsident der DEGA)





Die **schalltechnisch optimalen**  
Unterdeckenabhängiger mit **sylomer®**

## ■ Fachausschüsse / Fachgruppen

### Fachgruppe „junge DEGA“



Vorsitzende:

Dorothea Lincke, Berlin  
dorothea.lincke@posteo.de

Der Sommer ist zu Ende und der Herbst bringt auch in diesem Jahr wieder den junge-DEGA-Herbstworkshop mit sich. Dank der großartigen Arbeit einiger Stuttgarter AkustikerInnen konnte abermals ein tolles Programm für den Herbstworkshop auf die Beine gestellt werden. So werden nun nach aktuellem Stand am Wochenende 23.–25. Oktober 2020 junge AkustikerInnen eine Führung durch die Baustelle von Stuttgart 21 und die Räumlichkeiten des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, einen Workshop an der Schule für Musikinstrumentenbau in Ludwigsburg und viele (hoffentlich) spannende selbst mitgebrachte Vorträge erleben. Das Ganze findet in diesem Jahr natürlich nur unter Einhaltung eines entsprechenden Hygienekonzeptes statt. Umso froher sind wir, dennoch die Möglichkeit zu haben, den Workshop durchzuführen. Der Austausch auf fachlicher und persönlicher Ebene ist am Ende doch auch mit Abstand schöner als über einen Bildschirm. Der Workshop ist aktuell ausgebucht; es gibt aber eine Nachrückliste. Die Anmeldung ist auf der Webseite der jungen DEGA zu finden. ■

*Dorothea Lincke  
Vincent Radmann*

### Arbeitsring Lärm der DEGA (ALD)



Vorsitzender:

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

#### Einladung zur 13. Mitgliederversammlung des ALD im Online-Format

Die diesjährige, für den 19.03.2020 geplante Mitgliederversammlung des ALD im Rahmen der DAGA in Hannover konnte leider nicht stattfinden, da diese Tagung 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 elektronischer Kommunikation abgehalten werden können, sind alle Mitglieder herzlich eingeladen, an der diesjährigen Mitgliederversammlung im Online-Format **am Donnerstag, den 5. November 2020 von 17:30 Uhr bis 19:30 Uhr** teilzunehmen.

Link zum Zugang:

<https://global.gotomeeting.com/join/317546885>

Die Verwendung eines Laptops oder eines PC mit Kamera und Mikrofon wird empfohlen. Bei einigen Browsern muss man bei der erstmaligen Benutzung von GoToMeeting eine App herunterladen, die dann ein separates Fenster aufmacht. Ansonsten werden außer dem Namen keine weiteren Daten abgefragt. Falls Sie nicht per Laptop oder PC, sondern per Telefon teilnehmen wollen, kontaktieren Sie bitte die DEGA-Geschäftsstelle (Telefonische Rückfragen: 030 / 340 60 38-00 und -02).

Es wird die folgende Tagesordnung vorgeschlagen:

1. Begrüßung
2. Prüfung der Beschlussfähigkeit
3. Genehmigung der Tagesordnung
4. Genehmigung des Protokolls der 12. Mitgliederversammlung
5. Bericht der ALD-Leitung
6. Planung der Arbeiten und Projekte 2020/2021
7. Verschiedenes
8. Zeit und Ort der nächsten Mitgliederversammlung

#### BMU/UBA-Förderung des ALD

Unter dem Titel „Urbanität-Lärm-Gesundheit – für eine gesunde Geräuschumwelt mit hohem Schutzniveau“ fördern BMU und UBA den ALD und das TGL-Projekt für den Zeitraum vom 01.09.2020 bis zum 31.03.2021. Das Projekt umfasst die folgenden Arbeitspakete:

- Information und Aufklärung der Bevölkerung zum Umgebungslärm
- Einwirkung auf die politischen Akteure zur Verbesserung bzw. Bewahrung des aktuell gültigen Schutzniveaus (u. a. Thema Gesamtlärm)
- Teilprojekt Vorrang für Lärmminde- rung an der Quelle (Veranstaltung zum Kauf und zur Beschaffung leiser Produkte)
- Teilprojekt Verkehrslärmschutz (Veranstaltung zum Schienenverkehrslärm)
- Tag gegen Lärm 2020/2021

#### Positionspapier des ALD „Lebenswerte Städte trotz Innenstadtverdichtung“

Die ALD-Leitung hat ihr Positionspapier zur Innenstadtverdichtung auf der Basis der Rückmeldungen von Mitgliedern und externen Kolleginnen und Kollegen finalisiert. Das Dokument ist auf den Internetseiten des ALD unter <https://www.ald-laerm.de/publikationen/ald-stellungnahmen-und-positionspapiere/2020> zu finden. ■

*Christian Beckert  
Michael Jäcker-Cüppers  
Dirk Schreckenber*

## Fachausschuss Bau- und Raumakustik



Vorsitzender:

Dr. Christian Nocke, Akustikbüro Oldenburg

info@akustikbuero-ol.de

### 56. Sitzung des Fachausschusses

Nach der Absage der DAGA 2020 in Hannover fand am 23. September 2020 von 9:30 Uhr bis 12:30 Uhr die erste online durchgeführte Sitzung des FA Bau- und Raumakustik statt. Die Verschiebung der Sitzung um einen Tag wurde aufgrund einer Terminvorgabe des NA Bau im DIN kurzfristig erforderlich. Vor der Sitzung wurde im Umlauf-Verfahren per E-Mail die Sitzung dahingehend vorbereitet, dass bereits im Juli 2020 die Geschäftsordnung geändert und die Wahl zur neuen Leitung des FA erfolgte. Mit der hervorragenden Unterstützung aus der DEGA-Geschäftsstelle konnten beide Vorgänge Anfang September abgeschlossen werden. Die Wahl ergab, dass Christian Nocke als neuer Vorsitzender, Tobias Kirchner als neuer Stellvertreter und Henning Alpei als bewährter und erprobter Stellvertreter gewählt wurden. Die neue Leitung dankt Martin Schneider und Klaus Focke für ihre geleistete Arbeit und die gute Einführung und Übergabe.

Zu der Sitzung am 23.09.2020 wurde per Mail am 08.09.2020 eingeladen. Die Tagesordnung war wie folgt:

#### 1. Bericht des Vorsitzenden

- Bericht VMPA-Fachkommission
- Verabschiedung der neuen Geschäftsordnung
- Neues aus der Normung

#### 2. Vorstellung der neuen FA-Leitung

#### 3. Memoranden des FA zu

- Tieffrequente Trittschallübertragung (Estrichdröhnen)
- Beurteilungspegel für gebäudetechnische Anlagen

- ASR A3.7 „Lärm“ und den anerkannten Regeln der Technik in der Raumakustik.

#### 4. Ort, Zeit und Themen der nächsten Sitzung

- FA-Sitzung im März 2021, statt DAGA bzw. Herbst-Sitzung
- Strukturierte Sitzungen zur DAGA 2021 im August 2021

#### 5. Sonstiges

Die beiden Memoranden zum Estrichdröhnen und zum Beurteilungspegel aus gebäudetechnischen Anlagen wurden bereits im März den Mitgliedern zur Kenntnis gegeben, mit der Einladung in der letzten Fassung übersandt und in der Sitzung abschließend diskutiert. Mit kleineren Änderungen werden die finalen Fassungen im Umlauf-Verfahren per E-Mail zur Abstimmung übersandt. Abstimmungen werden auf Vorschlag der Leitung des Fachausschusses nicht im Online-Meeting durchgeführt. Mit der Einladung wurde der erste Entwurf des neuen Memorandums zur Raumakustik bzw. dem Spannungsfeld zwischen ASR A3.7 „Lärm“ und den etablierten Regelwerken zur Raumakustik (DIN 18041:2016-03, VDI 2569:2019-10) verteilt.

### Memorandum zur ASR A3.7 „Lärm“ und den anerkannten Regeln der Technik in der Raumakustik

Mit der Bekanntgabe der Technischen Regel ASR A3.7 „Lärm“ im Mai 2018 ist für Planer und Berater im Bereich der Raumakustik ein weiteres Regelwerk erschienen, mit dem neben einer Reihe von Vorgaben auch raumakustische Anforderungen an Arbeitsräume formuliert werden. Die Vorgaben der ASR A3.7 sind teilweise deckungsgleich zu den Vorgaben anderer und fachlich anerkannter Regelwerke wie DIN 18041 „Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise zur Planung“ und VDI 2569 „Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro“. Im Detail und für einige Räume wie den explizit in der ASR A3.7 genannten Büros weichen die Anforderungen der ASR A3.7 von den Anforderungen und Empfehlungen von DIN 18041 und VDI 2569 ab. Der Fachausschuss Bau- und Raumakustik der DEGA hält es daher

für notwendig, mit diesem Memorandum eine fachliche Stellungnahme zur Einordnung der ASR A3.7 „Lärm“ im Hinblick auf die Praxis der raumakustischen Planung von Räumen abzugeben. Weiterhin wird Stellung bezogen zu der Frage nach den anerkannten Regeln der Technik für die Raumakustik.

Ein erster Entwurf wurde bei der Sitzung des Fachausschusses kurz vorgestellt und diskutiert. Aus fachlicher Sicht gibt DIN 18041:2016-03 die anerkannten Regeln der Technik im Bereich der Raumakustik für die in der Norm angeführten Räume wieder.

Für die Raumakustik von Büros besteht mit der Richtlinie VDI 2569 ein weiteres Regelwerk mit zusätzlichen Hinweisen und Empfehlungen.

Der in der Einleitung der ASR A3.7 angeführte „Stand der Technik“ für Mehrpersonen- und Großraumbüros sowie Callcenter wird für raumakustische Planungen nicht durch die Anforderungen der ASR A3.7 beschrieben. Die Anforderungen und Beschreibungen der ASR A3.7 können im Rahmen der Überprüfung von bestehenden Räumen bei Beschwerden über die akustische Situation herangezogen werden und stellen im Rahmen des Arbeitsschutzes einen Bewertungsmaßstab zur Akustik von Räumen dar. Entsprechend sollte die ASR A3.7 nur für eine Bewertung der Raumakustik herangezogen werden, wenn bei einer Planung kein anderer Bewertungsmaßstab für den entsprechenden Raum vorhanden ist.

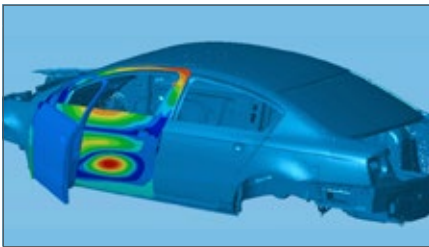
Alle sonstigen Arbeitsräume, in denen Sprachkommunikation stattfindet und die nicht als Büros oder Bildungsstätten einzuordnen sind, „sollen nach den Vorgaben der ASR A3.7 durch raumakustische Maßnahmen so gestaltet werden, dass ein mittlerer Schallabsorptionsgrad von 0,3 beim eingerichteten Raum erreicht wird.“ Unklar bleibt, welche Arbeitsräume für Sprachkommunikation in der ASR A3.7 genau gemeint sind. Sofern die Anforderungen bzw. Empfehlungen nach DIN 18041 oder VDI 2569 in der Planung nachgewiesen werden, kann auf eine Betrachtung der raumakustischen Anforderung der ASR A3.7 verzichtet werden. Ein erstes Meinungs-

bild ergab, dass die Notwendigkeit eines solchen Memorandums bestätigt wird. Der vorliegende Entwurf soll fortgeschrieben und überarbeitet werden und wird im Vorfeld zur nächsten Sitzung des Fachausschusses verteilt.

Die nächste Sitzung des Fachausschuss Bau- und Raumakustik ist für März 2021 geplant. Inwieweit gegebenenfalls eine Präsenz-Sitzung durchgeführt werden kann, ist zu gegebener Zeit zu entscheiden. Eine weitere Möglichkeit ist, dass die Sitzung als Hybrid-Treffen mit einigen Teilnehmern an einem Ort und der Möglichkeit der Online-Teilnahme durchgeführt wird. ■

*Christian Nocke  
Henning Alphe  
Tobias Kirchner*

### Fachausschuss Fahrzeugakustik



Vorsitzender:

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

Der Fachausschuss Fahrzeugakustik hat eine Online-Fachausschusssitzung am 18.06.2020 durchgeführt.

Der diesjährige Herbstworkshop des Fachausschusses findet am 10.11.2020 und am 24.11.2020 statt. Alle Mitglieder sind herzlich eingeladen.

Die Mitglieder erhalten zu einem späteren Zeitpunkt eine Einladung per E-Mail, in der ein Link und weitere Wahlinformationen enthalten sind. ■

*Ercan Altinsoy*

### Fachausschuss Lärm: Wirkungen und Schutz



Vorsitzender:

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

Im Rahmen von virtuellen Treffen des Fachausschusses Lärm wurde zuerst eine Sitzung im Juni zur allgemeinen Planung zukünftiger Veranstaltungen durchgeführt. Am 9. September wurde dann die jährliche ordentliche Mitgliederversammlung nachgeholt. Auf der Mitgliederversammlung wurde neben der Koordinierung verschiedener Aktivitäten des FA Lärm auch die Geschäftsordnung des Fachausschusses zur Abstimmung gestellt. Die Geschäftsordnung des FA Lärm wurde ohne Gegenstimmen verabschiedet und konnte danach durch Herrn Klemenz im Namen des Vorstands genehmigt werden.

Darüber hinaus wurde beschlossen, dass sich der FA Lärm, neben dem Arbeitsring Lärm der DEGA, aktiv an der Organisation und Durchführung an einer Veranstaltung der Aktion „Tag gegen Lärm“ beteiligt. Diese Veranstaltung zum Thema „Wie klingt die Stadt der Zukunft?“ wird im November online mit Vorträgen und moderierten Diskussionen stattfinden. Nähere Informationen zum Termin und zum Programm finden Sie auf der Seite [56](https://www.dega-akustik.de/stadt-der-zukunft) und in Kürze unter <https://www.dega-akustik.de/stadt-der-zukunft>.

Darüber hinaus plant der FA Lärm, aufgrund der Verschiebung der DAGA, einen Frühjahrsworkshop im nächsten Jahr in Kooperation mit dem Arbeitsring Lärm der DEGA zu organisieren und durchzuführen. Die Mitglieder des FA Lärm votierten bei der Mitgliederversammlung für einen Workshop zum Themenfeld „Psychoakustik und Lärmschutz“. Dabei sollen Beiträge der Psychoakustik zur Charakterisierung von

wahrnehmungsbezogenen Phänomenen diskutiert werden, die u. a. für die Lärmkartierung und Lärmaktionsplanung, für den Schutz von ruhigen Gebieten oder bezüglich der Störwirkung von Einzelereignissen auf Zeiten mit erhöhter Empfindlichkeit bedeutsam sind. Wir würden uns sehr freuen, wenn Sie sich aktiv am geplanten Frühjahrsworkshop beteiligen möchten, z. B. in Form eines Vortrages oder eines Diskussionsbeitrages. Bei Interesse zur Mitwirkung oder bei Anmerkungen zum geplanten Workshop können Sie sich jederzeit an die Leitung des FA Lärm wenden.

Auch an der DAGA 2021 möchte sich der FA Lärm wieder mit der Organisation von strukturierten Sitzungen beteiligen. Dabei werden voraussichtlich die Themen „Lärm am Arbeitsplatz“, „Lärm lauter Fahrzeuge“ und „Soundscape“ in Kooperation mit weiteren Fachausschüssen und Fachgruppen durch den FA Lärm geplant und organisiert. Nähere Informationen zu den geplanten strukturierten Sitzungen zur DAGA 2021 und zum geplanten Frühjahrsworkshop erhalten Sie in Kürze im Rahmen eines Newsletters des FA Lärm. ■

*André Fiebig  
Frederik Gast*

### Fachausschuss Strömungsakustik



Vorsitzender:

Prof. Dr. Manfred Kaltenbacher, Technische Universität Graz  
manfred.kaltenbacher@tugraz.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 bis 02.10.2020 in Erlangen, abzusagen und auf das Jahr 2021 zu verschieben.

Geplante Aktivitäten:

- Strukturierte Sitzung auf der WCCM (World Congress on Computational Mechanics) 2020 (nun rein online im Januar 2021) „Aeroacoustics: Modeling and Numerical Simulation“, organisiert von Stefan Becker und Manfred Kaltenbacher
- Online-Treffen des Fachausschusses Anfang 2021
- zwei strukturierte Sitzungen sind für die DAGA 2021 in Wien geplant ■

*Manfred Kaltenbacher*

## Fachausschuss Virtuelle Akustik



Vorsitzender:

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

Der vierte Europäische Studierenden-3D-Audiowettbewerb wird 2020 wieder vom FA-VA mitorganisiert. Die Anzahl der Einreichungen ist mit 42 im Vergleich zum Vorjahr gestiegen. Eine 24-köpfige Jury wurde zur Auswahl von nominierten Stücken zusammenge-

trommelt. PreisträgerInnen stellen ihre Stücke in einer Preisverleihung vor, die gemeinsam mit dem VDT als Live-Event in der virtuellen Öffentlichkeit ausgetragen wird. Dabeisein ist kostenlos und dazu wird ausdrücklich ermuntert. Interessierte können die Veranstaltung per Kopfhörer im Internet-Stream mit Webcam-Headtracking miterleben oder die preisgekrönten Stücke damit nachhören. Gemeinsames Erleben der Stücke auf Lautsprecheranlagen wird verschiedenenorts in Form kleiner, lokaler Break-out-Sessions organisiert, 9. Oktober, 19:00 CET, siehe <https://tonmeister.org/de/vdt-live/>. ■

*Franz Zotter*

## ■ Fachausschüsse und Fachgruppen der DEGA stellen sich vor (Teil 3)

### Fachausschuss Musikalische Akustik

Kann Akustik nicht nur physikalisch sondern auch musikalisch sein? Aber ja!

Das Gebiet der Musikalischen Akustik ist allerdings – ähnlich wie die Psychoakustik – nicht an physikalische oder technische Randbedingungen wie z.B. Ultraschall, Fahrzeugakustik oder Hörakustik gebunden, sondern verbindet unterschiedliche Bereiche der Akustik mit der künstlerisch-musikalischen Erzeugung, Übertragung, Aufnahme oder Wahrnehmung von Klängen. So reicht das Spektrum der im DEGA-Fachausschuss Musikalische Akustik (FAMA) behandelten Themen von der Physik und Messtechnik der Schallerzeugung aller Arten von Musikinstrumenten über die Akustik von Probenräumen und Aufführungsstätten und die Hörbelastung von Orchestermusiker\*innen bis zur Beurteilung und Synthese musikalischer Klänge.

Wenn auch die Zahl der aktiven Mitglieder dieses Fachausschusses im Vergleich zu anderen mit 60 recht überschaubar ist, so sind die Aktivitäten auf der DAGA (strukturierte Sitzungen, DAGA All Stars Jam Session) und auch international (Organisation z. B. der ISMA 2019 sowie Beiträge auf Fachtagungen) doch recht beeindruckend.

Mitglieder des Fachausschusses forschen, lehren und publizieren häufig gemeinsam, was die gegenseitige Wertschätzung und Kooperationsbereitschaft der FAMA-Mitglieder belegt. Häufig sind die Forschungsgebiete und methodischen Ansätze der Musikalischen Akustik stark überlappend mit anderen Fachausschüssen, so dass häufig auch gemeinsame Aktivitäten, wie z. B. Workshops, stattfinden.

Im Herbst veranstaltet der Fachausschuss traditionell eine Exkursion z. B. zu Instrumentenbauer\*innen oder Workshops mit fachlich nahe stehenden Institutionen wie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG). In den letzten Jahren war der Workshop „Physik trifft Musik“, der gemeinsam von junger DEGA und junger DPG veranstaltet wurde, ein Highlight, das baldmöglichst wiederholt werden wird.

Interessent\*innen können jederzeit, d. h. auch außerhalb der DAGA bzw. der Mitgliederversammlung, dem Fachausschuss beitreten. Eine E-Mail an den gegenwärtigen Vorsitzenden des Fachausschusses Musikalische Akustik, Prof. Dr.-Ing. Malte Kob (kob@hfm-detmold.de), reicht hierzu. Neumitglieder sind herzlich willkommen!

*Malte Kob*



Bild vom Instrumentenbau-Workshop auf der ISMA 2019  
(<https://www.isma2019.de>)

## ■ Mitglieder / Fördermitglieder

Derzeit hat die Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V.

- 2.000 persönliche Mitglieder
- und 79 Fördermitglieder (Stand September 2020).

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

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

- ACOEM GmbH, Hallbergmoos
- Akustikbüro Schwartzberger und Burkhart, Pöcking / Weimar
- ALN Akustik Labor Nord GmbH, Kiel
- AMC Schwingungstechnik, Asteasu (E) / Nürnberg
- Amorim Deutschland GmbH, Delmenhorst
- 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
- Laim Consult GmbH, Bargteheide
- Lehrstuhl Strömungsmaschinen, Universität Rostock
- Lignotrend Produktions GmbH, Weilheim-Bannholz
- Metecno Bausysteme GmbH, Blankenhain
- Microflow Technologies BV, Arnhem (NL)
- Microtech Gefell GmbH, Gefell
- Möhler + Partner Ingenieure AG, München
- Molex CVS Bochum GmbH, Bochum
- Müller-BBM Gruppe, Planegg bei München
- Norsonic Tippkemper GmbH, Oelde-Stromberg
- Novicos GmbH, Hamburg
- NTi Audio GmbH, Essen
- Odeon A/S, Lyngby (DK)
- PCB Synotech GmbH, Hückelhoven
- Peiker acoustic GmbH, Friedrichsdorf
- 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



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

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

### Als idealer Bewerber sind Sie:

- vertraut mit den einschlägigen Normen und Richtlinien des Immissionsschutzes
- erfahren mit der Lärmprognose unter Anwendung von Software
- weder im deutschsprachigen noch im englischsprachigen Raum auf den Mund gefallen
- mit Begeisterung dabei, abwechslungsreiche Projekte durchzuführen
- qualitätsbewusst, kundenorientiert und technikbegeistert

### Ihre Aufgaben:

- Sie identifizieren technologische Trends und beraten unsere Entwicklung an der Schnittstelle zwischen Anwender und Entwicklung
- Sie bringen Ideen für hilfreiche Funktionen und deren Umsetzung mit ein
- Sie helfen unseren Kunden bei komplexen technischen Problemstellungen
- Sie unterstützen bei der Softwareanwendung im Rahmen verschiedenster nationaler und internationaler Projekte
- bei Interesse unterstützen Sie in diversen Fachgremien und bei der Normungstätigkeit

- durch Produktdemonstrationen vermitteln Sie Ihr Expertenwissen (z. B. via Webpräsentation oder in Beratungsgesprächen)

### Unser Angebot:

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

### Haben wir Sie neugierig gemacht?

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

Wenn Sie Rückfragen zu der Position haben, rufen Sie uns gerne an unter +49 8105 77467 0

Alle personenbezogenen Formulierungen in dieser Stellenanzeige sind geschlechtsneutral zu betrachten.

# Normen/Richtlinien

Neue Regelwerke zu den Themen Akustik und Lärminderung (Juni 2020 – Sept. 2020)

| Bezeichnung                                   | Titel                                                                                                                                                                                                                                                     | Preis*   |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>Fachgebiet Audiologie / Medizintechnik</b> |                                                                                                                                                                                                                                                           |          |
| DIN EN ISO 389-7                              | Akustik – Standard-Bezugspegel für die Kalibrierung von audiometrischen Geräten – Teil 7: Bezugshörschwellen unter Freifeld- und Diffusbedingungen (ISO 389-7:2019); Deutsche Fassung EN ISO 389-7:2019                                                   | 86,35 €  |
| DIN EN IEC 60601-2-66, VDE 0750-2-66          | Medizinische elektrische Geräte – Teil 2-66: Besondere Festlegungen für die Sicherheit einschließlich der wesentlichen Leistungsmerkmale von Hörgeräten und Hörerätesystemen (IEC 60601-2-66:2019); Deutsche Fassung EN IEC 60601-2-66:2020               | 111,09 € |
| E DIN EN ISO 389-3/A1                         | Akustik – Standard-Bezugspegel für die Kalibrierung audiometrischer Geräte – Teil 3: Äquivalente Bezugs-Schwellenkraftpegel für reine Töne und Knochenleitungshörer; Änderung 1 (ISO 389-3:2016/DAM 1:2020); Deutsche Fassung EN ISO 389-3:2016/prA1:2020 | 30,23 €  |
| <b>Fachgebiet Bau- und Raumakustik</b>        |                                                                                                                                                                                                                                                           |          |
| DIN 4109-5                                    | Schallschutz im Hochbau – Teil 5: Erhöhte Anforderungen                                                                                                                                                                                                   | 74,38 €  |
| E DIN ISO 20189                               | Akustik – Stellwände und einzelne Objekte zur Verwendung in Innenräumen – Auslegung der Schallabsorption und Schalldämmung von Bauteilen aufgrund von Messungen im Prüfstand (ISO 20189:2018); Text Deutsch und Englisch                                  | 92,74 €  |
| E DIN EN ISO 10052                            | Akustik – Messung der Luftschalldämmung und Trittschalldämmung und des Schalls von haustechnischen Anlagen in Gebäuden – Kurzverfahren (ISO/DIS 10052:2020); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 10052:2020                                           | 102,65 € |
| E DIN EN ISO 10140-1                          | Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 1: Anwendungsregeln für bestimmte Produkte (ISO/DIS 10140-1:2020); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 10140-1:2020                                                             | 127,67 € |
| E DIN EN ISO 10140-2                          | Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 2: Messung der Luftschalldämmung (ISO/DIS 10140-2:2020); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 10140-2:2020                                                                       | 74,38 €  |
| E DIN EN ISO 10140-3                          | Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 3: Messung der Trittschalldämmung (ISO/DIS 10140-3:2020); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 10140-3:2020                                                                      | 74,38 €  |
| E DIN EN ISO 10140-4                          | Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 4: Messverfahren und Anforderungen (ISO/DIS 10140-4:2020); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 10140-4:2020                                                                     | 74,38 €  |
| E DIN EN ISO 10140-5                          | Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 5: Anforderungen an Prüfstände und Prüfeinrichtungen (ISO/DIS 10140-5:2020); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 10140-5:2020                                                   | 112,75 € |
| <b>Fachgebiet Elektroakustik / Messgeräte</b> |                                                                                                                                                                                                                                                           |          |
| DIN EN 62760                                  | Audio-Wiedergabeverfahren für normalisierten Lautstärkepegel (IEC 62760:2016 + A1:2019); Deutsche Fassung EN 62760:2016 + A1:2019                                                                                                                         | 97,93 €  |

| Bezeichnung                                      | Titel                                                                                                                                                                                                                                                                          | Preis*   |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| E DIN EN 60268-7/A1                              | Elektroakustische Geräte – Teil 7: Kopfhörer und Ohrhörer (IEC 100/3316/CDV:2019); Deutsche und Englische Fassung EN 60268-7:2011/prA1:2019                                                                                                                                    | 55,55 €  |
| <b>Fachgebiet Lärmschutz</b>                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                |          |
| DIN EN ISO 80000-8                               | Größen und Einheiten – Teil 8: Akustik (ISO 80000-8:2020); Deutsche Fassung EN ISO 80000-8:2020                                                                                                                                                                                | 67,90 €  |
| E DIN 45680                                      | Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräuschemissionen                                                                                                                                                                                                                      | 97,93 €  |
| E DIN EN ISO 11690-1                             | Akustik – Richtlinien für die Gestaltung lärmarmer maschinenbestückter Arbeitsstätten – Teil 1: Allgemeine Grundlagen (ISO/FDIS 11690-1:2020); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 11690-1:2020                                                                            | 102,65 € |
| E DIN EN ISO 11690-2                             | Akustik – Richtlinien für die Gestaltung lärmarmer maschinenbestückter Arbeitsstätten – Teil 2: Lärminderungsmaßnahmen (ISO/FDIS 11690-2:2020); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 11690-2:2020                                                                           | 107,65 € |
| VDI 2058 Blatt 2                                 | Beurteilung von Lärm hinsichtlich Gehörgefährdung                                                                                                                                                                                                                              | 81,06 €  |
| <b>Fachgebiet Maschinen- und Fahrzeugakustik</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                |          |
| DIN EN 16475-1                                   | Abgasanlagen – Zubehörteile – Teil 1: Schalldämpfer für Abgasanlagen – Anforderungen und Prüfverfahren; Deutsche Fassung EN 16475-1:2020                                                                                                                                       | 86,35 €  |
| DIN EN 60704-3                                   | Elektrische Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke – Prüfvorschrift für die Bestimmung der Luftschallemission – Teil 3: Verfahren zur Bestimmung und Nachprüfung angegebener Geräuschemissionswerte (IEC 60704-3:2019, modifiziert); Deutsche Fassung EN 60704-3:2019 | 92,74 €  |
| DIN EN 60704-2-3                                 | Elektrische Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke – Prüfvorschrift für die Bestimmung der Luftschallemission – Teil 2-3: Besondere Anforderungen für Geschirrspülmaschinen (IEC 60704-2-3:2017); Deutsche Fassung EN 60704-2-3:2019 + A11:2019                       | 86,35 €  |
| DIN EN ISO 20361                                 | Flüssigkeitspumpen und -pumpenaggregate – Geräuschmessung – Genauigkeitsklassen 2 und 3 (ISO 20361:2019); Deutsche Fassung EN ISO 20361:2019 + A11:2020                                                                                                                        | 97,93 €  |
| E DIN EN 60704-2-4/AA                            | Elektrische Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke – Prüfvorschrift für die Bestimmung der Luftschallemission – Teil 2-4: Besondere Anforderungen an Waschmaschinen und Wäscheschleudern; Deutsche und Englische Fassung EN 60704-2-4:2012/prAA:2019                  | 42,88 €  |
| E DIN EN IEC 60704-2-16-100                      | Elektrische Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke – Prüfvorschrift für die Bestimmung der Luftschallemission – Teil 2-16: Besondere Anforderungen an Wäschetrockner; Deutsche und Englische Fassung EN IEC 60704-2-16:2019/prAA:2019                                 | 42,88 €  |
| E DIN EN IEC 60704-2-18                          | Elektrische Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke – Prüfvorschrift für die Bestimmung der Luftschallemission – Teil 2-18: Besondere Anforderungen an elektrische Wassererwärmer (IEC 59C/243/CD:2019); Text Deutsch und Englisch                                     | 74,38 €  |
| E DIN ISO 10494                                  | Turbinen und Turbosätze – Messung der Luftschallemission – Hüllflächenverfahren der Genauigkeitsklasse 2 bzw. 3 (ISO 10494:2018); Text Deutsch und Englisch (Einspruchsfrist: 24.11.2020)                                                                                      | 112,75 € |

\*) Download

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

# Publikationen

## Übersicht

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

|                                                | Name                                                                                                                  | gedruckt              | online          |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------|
| <b>Zeitschrift</b>                             | Akustik Journal (drei Ausgaben pro Jahr)                                                                              | 0 € <sup>1)</sup>     | X               |
|                                                | Acta Acustica®                                                                                                        |                       | X               |
| <b>Tagungsbände</b>                            | DAGA-Tagungsbände „Fortschritte der Akustik“ (1970–2020)                                                              |                       | X <sup>2)</sup> |
|                                                | Proceedings ICA / INTER-NOISE                                                                                         |                       | X <sup>3)</sup> |
| <b>Empfehlungen und Memoranden</b>             | 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               |
| <b>Schriftenreihe „Geschichte der Akustik“</b> | 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 € <sup>4)</sup> |                 |
|                                                | Heft 6: Von der Luftsirene bis zur russischen Aeroakustik                                                             | 29,95 € <sup>4)</sup> |                 |
|                                                | Heft 7: Lord Rayleigh, Sir Horace Lamb, Sir James Lighthill                                                           | 10,00 € <sup>4)</sup> |                 |
|                                                | Heft 8: Große Wissenschaftler mit Beiträgen zur Akustik                                                               | 32,95 € <sup>4)</sup> |                 |
|                                                | Heft 9: Kundt, Waetzmann, Schuster                                                                                    | 39,95 € <sup>4)</sup> |                 |
|                                                | Heft 10: Eberhard Zwicker, Lothar Cremer und Manfred Heckl                                                            | 32,95 € <sup>4)</sup> |                 |
|                                                | Heft 11: Erwin Meyer, Heinrich Barkhausen und Walter Reichardt                                                        | 14,00 € <sup>4)</sup> |                 |

|                                        | Name                                                                                            | gedruckt | online |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------|
| <b>Fachgebiet Lärm</b>                 | 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      |
| <b>Fachgebiet Musikalische Akustik</b> | 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      |
| <b>Fachgebiet Lehre der Akustik</b>    | Dissertationsregister Akustik                                                                   |          | X      |
|                                        | Studienführer „EAA Schola“                                                                      |          | X      |
|                                        | Youtube-Video „Faszination Akustik – Eine Reise durch die Welt des Schalls“                     |          | X      |
| <b>Fachgebiet Hörakustik</b>           | Kompendium zur Durchführung von Hörversuchen in Wissenschaft und industrieller Praxis (Entwurf) |          | X      |

<sup>1)</sup> für Mitglieder

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

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

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

# Impressum

Akustik Journal Nr. 03 / Oktober 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](mailto: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](http://www.dega-akustik.de)

## ISSN

2569-1597 (Print)

2569-1600 (Online)

## Chefredaktion

Prof. Dr.-Ing. Detlef Krahé

E-Mail: [chefredaktion-aj@dega-akustik.de](mailto:chefredaktion-aj@dega-akustik.de)

## Redaktionsbeirat

Prof. Dr.-Ing. habil. Ercan Altinsoy

Dr. rer. nat. Judit Angster

Prof. Dr.-Ing. habil. Stefan Becker

Prof. Dr. phil. André Fiebig

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

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

Prof. Dr.-Ing. Schew-Ram Mehra

## Redaktionsassistentz

Dipl.-Ing. Evelin Baumer

Dr.-Ing. Martin Klemenz

## Anzeigen

Julia Schneiderheinze (M.A.)

E-Mail: [jschneiderheinze@dega-akustik.de](mailto:jschneiderheinze@dega-akustik.de)

## Layout und Satz

Dipl.-Ing. Evelin Baumer

E-Mail: [ebaumer@dega-akustik.de](mailto:ebaumer@dega-akustik.de)

## Gestaltungskonzept

Heilmeyer und Sernau Gestaltung

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

## Druck

Laserline GmbH

Web: [www.laser-line.de](http://www.laser-line.de)

## Hinweis:

Ab Oktober 2020 sind in der Redaktion neue Mitglieder im Amt. Genauere Informationen erhalten Sie in der kommenden Ausgabe des Akustik Journals.

## Bildnachweise

S. 1 – Titelseite: © Roman Wack, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP), Stuttgart ; S. 5 – Aktuelles: DAGA 2021, Logo © Ina Platte, inani-design.de; S. 5 – Aktuelles: 13. DEGA-Symposium, Logo © Dr. Tobias Ring, Braunschweig; S. 5 – Aktuelles: International Year of Sound, Logo © mit freundlicher Genehmigung der International Commission for Acoustics (ICA); S. 7 – Aktuelles: International Year of Sound, Logo © mit freundlicher Genehmigung der International Commission for Acoustics (ICA); S. 52 – Ehrungen der DEGA: Lothar-Cremer-Preis für Dr. Kai Siedenburger © Dr. Tobias Ring, Braunschweig; S. 52 – Ehrungen der DEGA: DEGA-Studienpreise 2020 © Dr. Tobias Ring, Braunschweig; S. 56 – Veranstaltungen: „Wie klingt die Stadt der Zukunft?“, Logo © iStock.com / sinopics; S. 58 – Veranstaltungen: DAGA 2021, Logo © Ina Platte, inani-design.de; S. 58 – Veranstaltungen: DAGA 2021, Blick auf Burgtor, Theseustempel und Museen © WienTourismus / Christian Stemper; S. 58 – Veranstaltungen: DAGA 2021, Messe Wien Exhibition & Congress Center © WienTourismus / Christian Stemper; S. 59 – Veranstaltungen: DAGA 2021, Wiener Rathaus © WienTourismus / Christian Stemper; S. 59 – Veranstaltungen: DAGA 2021, Aussicht vom Pratersturm © WienTourismus / Paul Bauer; S. 65 – DEGA: Fachausschuss Bau- und Raumakustik © Silvia Crisman / fotolia.com; S. 66 – DEGA: Fachausschuss Fahrzeugakustik © Novicos GmbH, Hamburg; S. 66 – DEGA: Fachausschuss Lärm: Wirkungen und Schutz © A.F.X. Süß, Berlin, Copyright DEGA e. V.; S. 66 – DEGA: Fachausschuss Strömungsakustik © Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, Braunschweig; S. 67 – DEGA: Fachausschuss Virtuelle Akustik © Franz Zotter, Graz; S. 67 – DEGA: Fachausschüsse und Fachgruppen der DEGA stellen sich vor, ISMA 2019 © Noam Amir, Tel Aviv, Israel

**SEMINAR**

# **AEROAKUSTIK-SIMULATION – SCHALLENTSTEHUNG IN STRÖMUNGEN**

**EINFÜHRUNG IN DIE MECHANISMEN UND SIMULATIONS-  
MÖGLICHKEITEN DER SCHALLENTSTEHUNG UND  
-AUSBREITUNG IN STRÖMUNGSVORGÄNGEN.**

- Einblick in die Theorie der Aeroakustiksimulation.
- Simulationsverfahren für durch Strömung verursachten Lärm.
- Analyse-, Auswertungs- und Validierungsmöglichkeiten.
- Bewertung qualitativer und quantitativer Ergebnisse.

Weitere Informationen & Anmeldung  
**[www.cadfem.net/aeroakustik-seminar](http://www.cadfem.net/aeroakustik-seminar)**

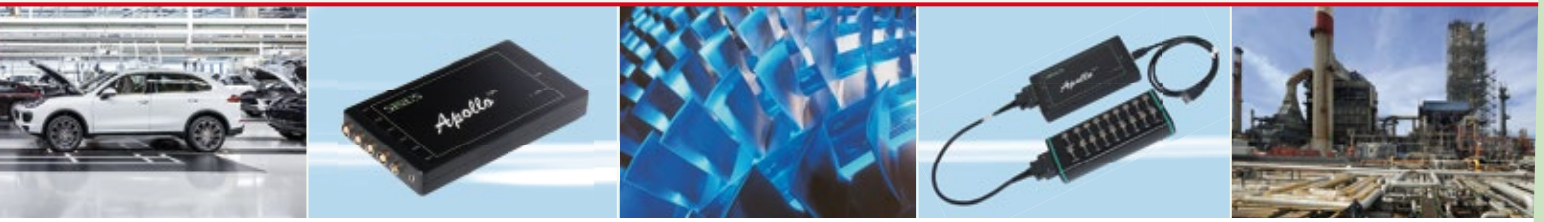
**REFERENTIN**

Berechnungsingenieurin &  
CFD-Expertin CADFEM GmbH  
**Dr.-Ing. Barbara Neuhierl**



## Apollo\_I<sub>t</sub>: über USB anschließen und messen

**SINUS**  
Messtechnik GmbH



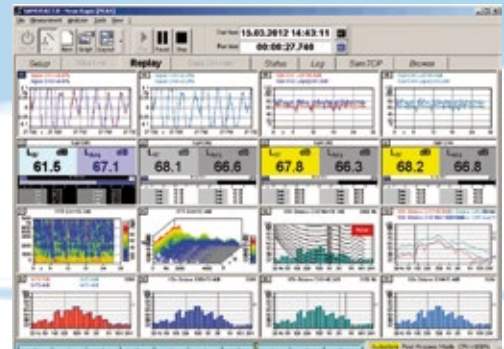
### Apollo macht Ihren PC zum Vibro - Akustik - Analysator

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

- Versionen:
- 2/4-Kanal Apollo\_I<sub>t</sub> wahlweise mit BNC oder LEMO7 Eingangsbuchsen
  - 8-Kanal Apollo\_I<sub>t</sub> wahlweise mit NIM-CAMAC, SMB oder DSUB25 Eingangsbuchsen
  - 16-Kanal Apollo\_I<sub>t</sub> mit MDR Eingangsbuchse (Mini Delta Ribbon) und BNC-Splitterbox
  - Apollo\_Carrier mit 10 Steckplätzen für Apollo\_I<sub>t</sub> für bis zu 160 Kanäle, kaskadierbar



CAMAC    LEMO7    BNC    MDR



Apollo\_Carrier

mit 10 Apollo\_I<sub>t</sub> Steckplätzen, SYNC\_IN/OUT,  
USB Interface, abnehmbarer Batterie

### Software für Apollo Meßsysteme:

- **NEU:** SAMURAI 3 VibroAkustik-Software für Echtzeit- und Postprozess-Analysen
- SINUS MATLAB Toolbox (SMT) für die individuelle Programmierung mit MATLAB
- ARTeMIS Operational Modal Analyse
- ME'scope VibroAnalyse-Software
- LabVIEW Library für die individuelle Programmierung von Prüfsystemen
- Treiber für Windows und Linux
- Support für Python und C++

Apollo ist ein Markenzeichen der SINUS Messtechnik GmbH  
LabVIEW ist ein Markenzeichen von National Instruments  
ARTeMIS ist ein Markenzeichen von SVIBS  
ME'scope ist ein Markenzeichen von Vibrant

Kontakt

SINUS Messtechnik GmbH

Föpplstrasse 13  
04347 Leipzig

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

• [www.soundbook.de](http://www.soundbook.de)  
• [info@soundbook.de](mailto:info@soundbook.de)