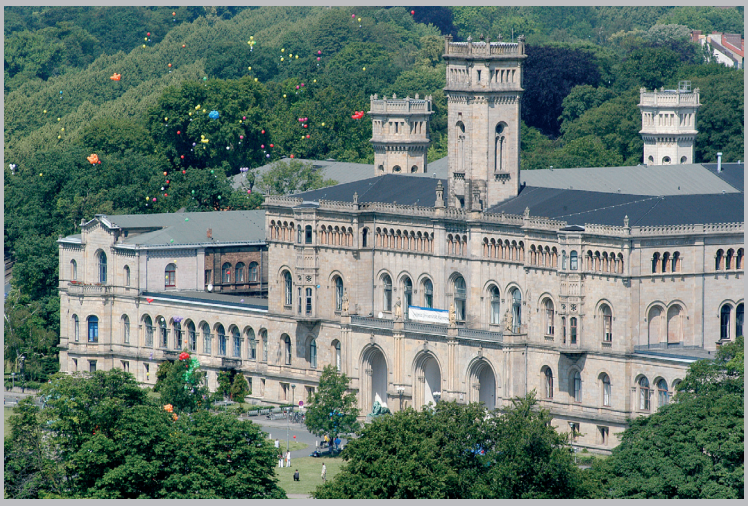
DAGA 2020 HANNOVER

PROGRAMM

16. - 19. MÄRZ 2020

- 50 JAHRE DAGA -



46. JAHRESTAGUNG FÜR AKUSTIK

DEGA

Leibniz Universität Hannover

NAGA Niedersächsische Arbeitsgemeinschaft Akustik

Internationales Jahr der Akustik 2020

Norsonic

norsonic Tippkemper

Schallpegelmesser Nor145

Bauakustik / Raumakustik
- ISO 16283 integriert
- ISO 717 integriert

Immissionsschutz / Monitoring
- GPS und 4G-Modem integriert
- Richtungserkennung (Noise Compass)
- Wetterstation

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

– Programm –

DAGA 2020 – 46. Deutsche Jahrestagung für Akustik
16. bis 19. März 2020 in **Hannover**

www.daga2020.de

Veranstaltungsort

Hannover Congress Centrum (HCC)
Theodor-Heuss-Platz 1-3
30175 Hannover
www.hcc.de

(Anfahrt sowie Raumpläne siehe Seite 387)

Veranstalter

- Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. (DEGA)
- Leibniz Universität Hannover – Institut für Kommunikationstechnik (LUH/IKT)
- Niedersächsische Arbeitsgemeinschaft Akustik (NAGA)

unter Mitwirkung von

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

Wissenschaftliche Tagungsleitung

- Jürgen Peissig, Leibniz Universität Hannover, Institut für Kommunikationstechnik
- Sabine C. Langer, Technische Universität Braunschweig, Institut für Akustik

Organisationsteam

Jürgen Peissig, Sabine C. Langer, Tobias Bohne, Felix Fischer, Jasmin Hörmeyer, Robert Hupke, Song Li, Aidin Nojavan, Stephan Preihs, Tobias Ring, Andreas Schmelt, Volker Wittstock, Teresa Lehmann, Julia Schneiderheinze

Wissenschaftlicher Beirat

Eckart Altenmüller, Gunther Brenner, Jan Delfs, Tim Fingscheidt, Thomas Haase, Christian Koch, Armin Lohrengel, Hans-Peter Monner, Waldo Nogueira, Stephan Preihs, Raimund Rolfes, Jörg Seume, Michael Sinapius, Jens Twiefel, Jörg Wallaschek, Volker Wittstock

Kontakt

Teresa Lehmann und Julia Schneiderheinze
Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V.
Telefon: +49 (0)30 340 60 38-03
Fax: +49 (0)30 340 60 38-10
E-Mail: tagungen@dega-akustik.de

Impressum:

Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V.
- Geschäftsstelle -
Alte Jakobstraße 88
10179 Berlin
Telefon: +49 (0)30 340 60 38-00
Homepage: www.dega-akustik.de
E-Mail: dega@dega-akustik.de

Bildnachweis

Titelseite:
Kuppelsaal, © Frank Aussieker/HCC
Welfenschloss, © Clemens Born/LUH

Seite 35:
Kuppelsaal, © Frank Aussieker/HCC
Geburtstagstorte, Birthday cake, Ruth Black/stock.adobe.com
Future Meeting Space, © HCC

Kartenmaterial:
Open Streetmap

Gebäude- und Geländepläne
Mit freundlicher Genehmigung des HCC, © HCC (bearbeitet)

Logo:
inani-design / Ina Platte / www.inani-design.de

Druck:

LASERLINE GmbH

Auf einen Blick

Online DAGA-Planer / Webapp

→ *http://app2020.daga-tagung.de* (kein Download nötig)

Aktualisierte Programmübersicht, Abstracts, Late Poster, Autorenverzeichnis, Rahmenprogramm, Suche, Lage- und Raumpläne, Erstellen eines persönlichen Zeitplans

W-LAN im Konferenzbereich

Netzwerk: DAGA2020
(Zugang ohne Passwort)

Öffnungszeiten von Ausweisausgabe und Tagungsbüro

16. März 2020: 11:30 - 17:00 Uhr
17. März 2020: 08:00 - 17:00 Uhr
18. März 2020: 08:00 - 17:00 Uhr
19. März 2020: 08:00 - 16:00 Uhr

Öffnungszeiten der Medienannahme

16. März 2020: 11:30 - 17:00 Uhr
17. März 2020: 08:30 - 17:00 Uhr
18. März 2020: 08:00 - 17:00 Uhr
19. März 2020: 08:00 - 14:00 Uhr

Kurzfristige Programmänderungen finden Sie:
- in der DAGA-App (s. oben)
- an den örtlichen Raumanzeigen und Tafeln

Grußwort der Tagungsleitung

Hannover klingt - 50 Jahre DAGA

Hannover – UNESCO-City of Music, Stadt der Chöre und des Klangs – im Jubiläumsjahr ist Hannover im Herzen Deutschlands erstmals Gastgeber der DAGA: Seien Sie herzlich eingeladen zur DAGA 2020 und zum Jubiläum „50 Jahre DAGA“.

Das Hannover Congress Center (HCC) bietet für diese Jubiläumsveranstaltung einen besonderen Rahmen: Festlicher Kuppelsaal, historische Tagungsräume und „Future Meeting Spaces“ laden ein zu wissenschaftlichen Präsentationen, zur Begegnung, fachlichem Austausch und zum kreativen Miteinander.

In der Region Hannover, im Braunschweiger Land und im Harz leben wir Akustik mit Herzblut: An der Leibniz Universität Hannover (LUH), der Medizinischen Hochschule Hannover (MHH) und der Hochschule für Musik, Theater und Medien Hannover (HMTMH), aber auch in vielen Initiativen und Industrieunternehmen existieren umfangreiche Forschungsaktivitäten im Bereich des Hörens, der Elektroakustik und Audiotechnik, der Technischen Akustik sowie der Musik- und Klangforschung. Zu nennen ist hier insbesondere der Beitrag von LUH und MHH im Exzellenzcluster Hearing4all in der niedersächsischen Kooperationspartnerschaft Auditory Valley.

Zwischen Harz und Heide, Oker und Leine bietet die Region weitere Vielfalt der Akustikforschung – insbesondere an den außeruniversitären Forschungseinrichtungen wie dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB), der Technischen Universität Clausthal und nicht zuletzt an der Technischen Universität Braunschweig. An allen Hochschulstandorten der Region begeistern wir uns darüber hinaus mit besonderer Leidenschaft für profunde Lehre und Ausbildung der Akustiker und Akustikerinnen von morgen.

Den Aufgaben von heute und den Fragen der Zukunft widmen wir uns gemeinsam unter dem Dach der NAGA – dem Akustik-Verbund der Forschungsstandorte Braunschweig, Clausthal und Hannover. Die DAGA 2020 wurde geplant, organisiert

und durchgeführt von Kolleginnen und Kollegen der in der NAGA organisierten Institute und Einrichtungen. Wir alle freuen uns sehr darauf, Gastgeber der „Jubiläums - DAGA“ in Hannover zu sein.

Freuen Sie sich mit uns auf eine stimmungsvolle Abendveranstaltung mit Musik im Lichthof des Welfenschlosses, dem Hauptgebäude der Leibniz Universität Hannover, auf ein Konzert des international bekannten Mädchenchors Hannover im Chorzentrum Christuskirche sowie auf eine besondere Jubiläumsveranstaltung „50 Jahre DAGA - Akustik in Deutschland“ im Kuppelsaal des HCC - dem größten klassischen Konzertsaal Deutschlands.

Seien Sie herzlich Willkommen zur DAGA 2020 in Hannover!

Jürgen Peissig und Sabine C. Langer

Inhaltsverzeichnis

Auf einen Blick 3
Grußwort 4
Zeitpläne 10
Termine und Highlights rund um die DAGA 26
Vorkolloquien, Plenarvorträge und strukturierte Sitzungen . 26
Die Aktivitäten der jungen DEGA 29
Sitzungen (Fachausschüsse etc.) 30
Rahmenprogramm 32
Jubiläumsaktivitäten 36
Fachexkursionen 38
Hinweise für Autoren 40
Aussteller und Sponsoren 43
Auszeichnungen der DEGA 48
Plenarvorträge 52
Vorkolloquien am Montag 56
Design for Acoustics 56
Immersive Audioverfahren, Elektroakustik und Audiologie . 60
Künstlerische Akustik mit Performance 64
Fachvorträge und Poster am Dienstag 66
Bauakustik 1 66
Lärmentstehung und Ausbreitung 69
Lärm (Poster) 72
Strömungsakustik - Berechnung 72
Strömungsakustik (Poster) 76
MEMS-Lautsprecher - ein Paradigmenwechsel 76
Ultraschall 80
Ultraschall (Poster) 83
Numerische Akustik 1 87
Numerische Akustik (Poster) 90
Lehre der Akustik 91
Lehre der Akustik (Poster) 94
Akustische Messtechnik und Sensorik 1 95
Geräuschbeurteilung 98
Geräuschbeurteilung (Poster) 101
Infraschall 102
Infraschall (Poster) 105
Akustik gestern heute und morgen 106

Virtuelle Akustik 1 110
Virtuelle Akustik (Poster) 112

Fachvorträge und Poster am Mittwoch 118
Bauakustik 2 118
Bauakustik (Poster) 122
Bauakustik 3 122
Mikrofonarrays in Theorie und Praxis 1 126
Lärm am Arbeitsplatz 129
Lärm am Arbeitsplatz (Poster) 133
Fluglärm 136
Lärm durch Windenergie 140
Fahrzeugakustik 1 144
Fahrzeugakustik 1 (Poster) 149
Fahrzeugakustik 2 151
Fahrzeugakustik 2 (Poster) 154
Fahrzeugakustik 3 155
Strömungsakustik - Simulation 158
Strömungsakustik - experimentelle Methoden 163
Überströmte Schallabsorber 167
Elektroakustik und Audiosignalverarbeitung 170
Elektroakustik und Audiosignalverarbeitung (Poster) 175
Maschinelles Lernen und Künstliche Intelligenz für die vibroakustische Modellbildung 1 178
Maschinelles Lernen und Künstliche Intelligenz für die vibroakustische Modellbildung (Poster) 182
Maschinelles Lernen und Künstliche Intelligenz für die vibroakustische Modellbildung 2 184
Körperschall 187
Raumakustik 1 191
Raumakustik (Poster) 195
Raumakustik 2 197
Numerische Akustik 2 199
Technik und Methoden für den Luftultraschall: Quantitative und qualitative Analyse 204
Numerische Akustik 3 207
Technische Akustik 1 210
Technische Akustik 1 (Poster) 214
Technische Akustik 2 217
Technische Akustik 2 (Poster) 221
Musikalische Akustik 1 222
Akustische Messtechnik und Sensorik 2 224
Akustische Messtechnik und Sensorik (Poster) 228

AUDICTIVE: Auditory Cognition in Interactive Virtual Environments 1 . . . 230
AUDICTIVE: Auditory Cognition in Interactive Virtual Environments (Poster) . . . 234
AUDICTIVE: Auditory Cognition in Interactive Virtual Environments 2 . . . 236
Lärmwirkungen . . . 239
Aktive akustische Systeme . . . 243
Aktive akustische Systeme (Poster) . . . 245
Meeresakustik und Wasserschall 1 . . . 246
Sprache und Audio im KFZ . . . 250
SFB1330 Hörakustik: Perzeptive Prinzipien, Algorithmen und Anwendungen . . . 253
Psychoakustik 1 . . . 258
Psychoakustik (Poster) . . . 261
Psychoakustik 2 . . . 263
Philosophie in der Akustik . . . 266
Virtuelle Akustik 2 . . . 270
Soundscape . . . 272
Soundscape (Poster) . . . 274
6DoF Spatial Audio Recording and Rendering . . . 275
6DoF Spatial Audio Recording and Rendering (Poster) . . . 278
Binauraltechnik . . . 279

Fachvorträge und Poster am Donnerstag . . . 282
Tieffrequenter Trittschall . . . 282
Mikrofonarrays in Theorie und Praxis 2 . . . 285
Lärmschutz 1 . . . 289
Lärmschutz 2 . . . 293
Kfz-Lärm - neue Probleme und Lösungen . . . 297
Fahrzeugakustik 4 . . . 300
Physik der Strömungsakustik 1 . . . 304
Physik der Strömungsakustik 2 . . . 308
Audiotechnik . . . 311
Audiotechnik (Poster) . . . 314
Schwingungstechnik . . . 315
Raumakustik 3 . . . 319
Raumakustik 4 . . . 323
Kavitation in Forschung und Anwendung 1 . . . 328
Kavitation in Forschung und Anwendung 2 . . . 331
Musikalische Akustik 2 . . . 334
Musikalische Akustik (Poster) . . . 337
WHO-Leitlinien zum Umgebungslärm . . . 338

Sprachverarbeitung 343
Sprachverarbeitung (Poster) 346
Audiologische Akustik 348
Meeresakustik und Wasserschall 2 352
Humanschwingungen 356
Psychoakustik 3 360
Description and implementation of audiovisual scenes for hearing research and beyond 364
Augmented Acoustic Reality 1 367
Augmented Acoustic Reality (Poster) 370
Augmented Acoustic Reality 2 372

Verzeichnis der Autoren 375

Anreise, Lagepläne, Mittagsverpflegung 387
Anreise zum Tagungsgelände 387
Wegbeschreibungen 389
Hinweise zur Verpflegung 390
Geländeplan 392

Montag, 16. März 2020

	Vorkolloquium: **Design for Acoustics**
	Blauer Saal (1. OG alter Gebäudeteil, s. Innenumschlag hinten)
13:00	Begrüßung
13:05	Inkermann, Huth, Vietor: Design for Acoustics – Premises and Fields of Research (56)
13:30	Langer, Rothe: Design for Acoustics – Entwickeln und Konstruieren in einem akustik-gerechten Produktentstehungsprozess (56)
13:55	Adams, Bös, Melz: Beiträge der Maschinenakustik zu einem Design for Acoustics (57)
14:20	Kaffeepause
14:35	Sladeczek, Fiedler, Brix, Bös: Auralisation in der virtuellen Produktentwicklung als Werkzeug für 'Design for Acoustics' (58)
15:00	Utzig, Fuchs, Weisheit, Marburg: Prognose von Knarzgeräuschen mit Hilfe der Methode der Harmonischen Balance (58)
15:25	Kropp, Forssen, Mauriz: Urban Sound Planning (59)
15:50	Abschluss und Übergang zur Postersession
16:00	Diskussion am Poster

	Vorkolloquium: **Immersive Audioverfahren, Elektroakustik und Audiologie**
	Roter Saal (1. OG alter Gebäudeteil, s. Innenumschlag hinten)
13:00	Einführung
13:05	Hupke, Nophut, Preihs, Peissig: Towards Immersive Distributed Performances (60)
13:30	Li, Schlieper, Peissig: Impact of Reverberation and Head Movement on Externalization of 3D sound images (60)
13:55	Bergner, Preihs, Peissig: Soundscape Reproduction for Qualitative Assessment (61)
14:20	Schlieper, Li, Peissig: Headphone Characteristics and their Influence on the Externalization in Binaural Reproduction (61)
14:45	Kaffeepause
15:00	Gajecki, Nogueira: Enhancement of Interaural Level Differences and Binaural Band Selection Improves Sound Localization in Bilateral Cochlear Implant Users (62)
15:25	Hinrichs, Gajecki, Ostermann, Nogueira: Coding of Electrical Stimulation Patterns for Binaural Sound Coding Strategies for Cochlear Implants (62)
15:50	Luberadzka, Grimm, Hohmann: Interactive Rendering of Virtual Acoustic Environments and its Applications in Audiology (63)
16:15	Kipping, Nogueira: A Computational Model of Auditory Nerve Fiber Responses to Electric-Acoustic Stimulation (63)

	Vorkolloquium: **Künstlerische Akustik mit Performance**
	Ort: HMTMH, Neues Haus 1, Hörsaal 202, *Wegbeschreibung siehe S. 388*
14:00	Begrüßung
14:05	Düvel, Kopiez: Zum Verwechseln ähnlich? - Simulationen von Instrumentenklängen (64)
14:35	Janevska: Elektroakustische Performance (64)

Die Teilnahme an den Vorkolloquien ist kostenfrei.

15:00-16:30	**„Icebreaker - junge DEGA“** (S. 29, HCC-Restaurant, auf der Galerie (ausgeschildert))
17:00	**DEGA-Mitgliederversammlung** (S. 30, Blauer Saal)

Dienstag, 17. März 2020

Kuppelsaal

9:00 **Eröffnung und Preisverleihung**
- Grußworte und Musik
- Verleihung der Helmholtz-Medaille an Prof. Reinhard Lerch (S. 48)
- Verleihung der Rudolf-Martin-Ehrenurkunde des NALS
- Verleihung des Lothar-Cremer-Preises an Dr. Kai Siedenburg (S. 49)
- Verleihung der DEGA-Studienpreise an Anne Heimes, M.Sc. und an Liv Moretto Sørensen, B.Sc. (S. 50)

10:15 Kaffeepause

10:30 **Plenarvortrag Reinhard Lerch** (Empfänger der Helmholtz-Medaille): **„Symbiose von Computersimulation und Experiment bei der Entwicklung akustischer Systeme“** (52)

11:15 **Plenarvortrag Kai Siedenburg** (Empfänger des Lothar-Cremer-Preises): **„Die Farbe macht die Musik: Akustische und perzeptuelle Merkmale der Klangfarbenwahrnehmung“** (52)

12:00 Mittagspause

– Vorträge

	Nieders.-halle	Blauer Saal	Roter Saal	Bonatz Saal	Neuer Saal	Runder Saal
	Bauakustik 1	**Lärmentsteh. u. Ausbreit.**		**Ström.-ak. Berechnung**	**MEMS-Lautsprecher**	**Ultraschall**
13:20	Körper: Wahrnehmbarkeit DIN 4109-5 (66)		Research in Shorts (29)	Liberson: Kopfspaltgeräusch Ventilator (72)	Stoppel: Integrierter MEMS-Lautspr. (76)	Wilkens: Hydrophonkalibrierung (80)
13:40	Meier: Schallschutz Außenlärm (66)	Tschakert: Schallquelle Fliegenklatschen (69)	Research in Shorts (29)	Dietrich: Schallquellenlokalisation (73)	Ehrig: Push-Pull MEMS-Lautspr. (77)	Schwarz: Ultraschall-Temperaturmess. (81)
14:00	Wieland: Passiver Schallschutz (67)	Bartolomaeus: Einfügedämpfung Zeitbereich (70)	Research in Shorts (29)	Dierke: Implizites CAA Zeitverfahren (74)	Mayrhofer: Advanced DSR (78)	Feldmann: Inverse Probleme mit AD (81)
14:20	Stange-Kölling: Vergleichsmessungen (67)	Liepert: Meteorologie bei Ausbreitung (70)	Research in Shorts (29)	Mößner: Validierung Lärmvorhersagen (74)	Rusconi Clerici: MEMS speakers technology (78)	Lugovtsova: Vermiedene Kreuzung (82)
14:40	Bietz: Anwend. Referenzabsorber (68)	Müller: Typgrenzwerte in-use (71)	Research in Shorts (29)	Biedermann: Modellierung Rotorakustik (75)	Preuss: Thermoviskose Verluste (79)	Abi Raad: Vibrations in ultrasonic welds (83)
15:00	Schäfers: Fugenschalldämmung (68)	Posterkurzvorträge (Seite 14)	Research in Shorts (29)	Posterkurzvorträge (Seite 14)	Beer: Schallausbreitung bei MEMS (79)	Posterkurzvorträge (Seite 14)

	Raum 7	Raum 8	Raum 11	Raum 12	Raum 27	Future A	Future B
	Numerische Ak. 1	**Lehre der Akustik**	**Messtec. + Sensorik 1**	**Geräuschbeurteilg.**	**Infraschall**	**Gestern, h., morgen**	**Virtuelle Akustik 1**
13:20	Baydoun: Struktur-akustische Moden (87)	Biedermann: DFG-Förderung (91)	Ponschab: Druckmess. geführte Wellen (95)	Trimpop: Bewuchs-abhängige Korrektur (98)	Friedrich: Infraschall-Schwellen (102)	Knöfel: Literarische Akustikszenen (106)	Pörschmann: Directivity speakers (110)
13:40	Chocholaty: Boden-Bauwerk-Interaktion (87)	Spors: Open education resources (91)	Boonen: Kundt tube four-pole matrix (95)	Kasess: Wahrnehmg. Pumpen (99)	Krahé: Infraschall Geräuschszenario (103)	Engeln: Sprechmaschine (107)	Dreier: Aircraft auralization methods (110)
14:00	Ram: Isogeometr. Energie-BEM (88)	Rokita: Forschendes Lernen initiieren (92)	Tietz: Schäume im Impedanzrohr (96)	Fritzsche: Prognose tieffr. Geräusche (99)	Grossarth: UBA Infraschall Psychologie (103)	Költzsch: Deutsche Akustiker 20. Jhd. (107)	Stienen: Auralization indiv. wavefronts (111)
14:20	Beiroth: Isogeometr. Patch-Ansatz (89)	Llorca-Bofí: Architectural acoustics edu. (92)	Schlieper: MEMS Impedanzmessrohr (97)	Versümer: Leise Geräusche (100)	Elmenhorst: Kurzzeitiger Infraschall (104)	Von Estorff: Digitalisierung in der Lehre (108)	Gerken: Real-time 3D rendering (111)
14:40	Burgschweiger: Redukt. FEM-Schalen (89)	Hubert: Plasma-Lautspr. in der Lehre (93)	Mick: Akustische Materialmessung (97)	Dernbach: Acoustic flatspot-ID with ML (101)	Blumendeller: Tieffreq. Geräusche WEA (104)	Gatt: Freiheit (108)	Pausch: LS reproduction error metrics (112)
15:00	Posterkurzvorträge (Seite 15)	Posterkurzvorträge (Seite 15)	Posterkurzvorträge (Seite 15)	Posterkurzvorträge (Seite 15)	Posterkurzvorträge (Seite 15)	Schulz: Studentische Projekte (109)	Posterkurzvorträge (Seite 15)

Dienstag, 17. März 2020

– Poster-Kurzvorträge (S. 41)

15:00 Poster

Neuer Saal	Blauer Saal		Bonatz Saal	Runder Saal	
MEMS-Lautsprecher	**Lärm**		**Ström.-ak. Berechnung**	**Ultraschall**	
Fischer: Linearization of MEMS-LS (Late-P., s. App)	Lee: Straßenschluchten (72)	Schelle: Lärmbelast. im Einzelhandel (Late-P., s. App)	Czwielong: Sensibilität von Axiallüftern (76)	Diekmeyer: US-Messung an Elastomeren (83)	Walther: Optische Mikrofone (86)
	Marschner: Lärmmessung im Straßenverkehr (Late-P., s. App)	Reiter: Einflüsse auf SPB-Messung (Late-P., s. App)	Riedel: Akustischer Druck Hörgerät (Late-P., s. App)	Schmelt: Fehlstellenimitaten in der ZfP (84)	Hufschläger: Plasmaakustischer Empfänger (86)
	Maly: Schienenkopfkonditionierung (Late-P., s. App)	Bruhn: Helmholtz-Resonator (Late-P., s. App)		Stein: Impedanzmessrohr für Ultraschall (85)	
	Jelelati: TVE in Serial Recall Tasks (Late-P., s. App)			Beltran: Diffusion Ultraschall Beton (85)	

15:20 - 16:00 **Poster-Forum**, Foyers und Glasgang

Kuppelsaal: "50 Jahre DAGA"

16:00 **Jubiläumsveranstaltung**
mit Festreden, Musik und weiteren Programmpunkten (36)

17:40 **Plenarvortrag Eckart Altenmüller:**
„Musik hören als konstruktive neuronale Modellierung" (53)

19:00 **Geselliger Abend im Lichthof des Welfenschlosses**
Hauptgebäude der Leibniz Universität, Welfengarten 1, siehe S. 32

	Raum 7	Raum 8	Raum 11	Raum 12	Raum 27	Future B	
	Numerische Ak.	**Lehre der Akustik**	**Messtec. + Sensorik**	**Geräuschbeurteilg.**	**Infraschall**	**Virtuelle Akustik**	
15:00 Poster	Jonkeren: Schallabstrahlung WEA-Turm (90)	Krumme: Klangsynthese und -analyse (94)	Falkhofen: Entwicklung Kalibriersyst. (Late-P., s. App)	Holstein: Akustik von Entladungen (101)	Baumgart: Schwindel durch Infraschall (105)	Greif: Kann man Raumformen hören (112)	Helmholz: Updates on ReTiSAR (115)
	Li: Diffuser Geometry Optimization (Late-P., s. App)	Miltenberger: Master Ing.-akustik (Late-P., s. App)		Schössow: Lästigkeit WEA-Schall (Late-P., s. App)	Töpken: Low sonic boom simulator (106)	Schäfer: Low freq. binaural models (113)	Piper: Auraliz. of coupled rooms (116)
	Zarnekow: Gear Noise Transf. with FEM (Late-P., s. App)	Aspöck: ACOUCOU online courses (Late-P., s. App)		Poschadel: WEA-Schallszenenklassif. (s. App)		Hölter: Krümmung von LSAs (114)	Winter: LS directivity aliasing WFS (116)
	Sreekumar: Parallel acoust. simulat. (Late-P., s. App)					Bau: Improving HRTF grids (114)	Ackermann: Simul. historische Geräte (117)
						Grothe: Transfer function bassoon (115)	Schwark: Parameteriz. of HRTFs (s. App)

Mittwoch, 18. März 2020 (Vormittag)

– Vorträge

	Nieders.-halle	Blauer Saal	Roter Saal	Bonatz Saal	Neuer Saal	Runder Saal
	Bauakustik 2	**Lärm am Arbeitsplatz**	**Fahrzeug-akustik 1**	**Ström.-akus. Simulation**	**Elektroak. + Signalverarb.**	**Körperschall**
08:40			Schilp: High freq. mount stiffness (144)	Schade: Rotor-Stator-Interaktions-lärm (158)	Vater: Dämpfung DML (170)	
09:00	Saß: Bauteilkatalog Paneele (118)	Selzer: Belastung Mehrperso-nenbüro (129)	Troge: Hochfrequenz-Lagerprüfung (144)	Moreau: Rotor Shielding Prediction (159)	Bakardjiev: DEA-Lautsprecher-antrieb (171)	Vortrag entfällt (Torsten Kohrs)
09:20	Lux: Akust. Performance VIG (118)	Müller: Akustik in Schwimmbä-dern (129)	Wegerhoff: Versuch und Simulation (145)	Sultani: Hydroakustik-Propeller (160)	Beyer: Simulation realer Arrays (172)	Schrader: Long acoustic black hole (187)
09:40	Drechsler: Teilgeöffnete Fenster (119)	Sukowski: Leseaufgabe für Lärmstudien (130)	Pause	Appel: CAA-basierte Vorhersage (160)	Pause	Zimmermann: Bettungen unendl. Balken (188)
10:00	Ruff: Schallleistung Lüftungsgerät (119)	Pause	Duvigneau: Einfluss RB auf Modalanalyse (146)	Pause	Du: Variable directivity loudsp (172)	Pause
10:20	Pause	Schmitz: Messung Hüftendopro-these (131)	Anisovich: Matrix inversion for TPA (146)	Gorenflo: Schallfelder an Resonatoren (161)	Zenker: Optim. Rand-bedämpfung (173)	Tietze: Schwingun-gen und Innenpegel (188)
10:40	Kluth: Schwingun-gen Balkonplatten (120)	Wolff: Messung luftgeleiteter US (131)	Lohmann: Fahrz.-akustik EFEM/EBEM (147)	Witte: Strö-mungsschall Radialpumpe (161)	Schneider: Evolution Kunstköpfe (173)	Kamenzky: Radgenaue Lärmmessung (189)
11:00	Heidemann: Trittschall-dämmung Balkon (120)	Köpfli Wicki: Berufe mit Hörschadenri-siko (132)	Knieper: Akustik E-Achs-Getriebe (147)	Piepiorka: Hydroakustik Radialpumpe (162)	Rajbamshi: Zufällige zeitvariante Filter (174)	Kleinfeller: STI in gefügten Strukturen (190)
11:20	Öhler: Progn. Installations-geräusch (121)	Husstedt: Attenuation custom ear molds (133)	Burkhardt: Blocked force in 6 DOF (148)	Kreuzinger: AFSI Fahrzeugun-terboden (163)	Balazs: Large time-freq. analysis (174)	Hülsebrock: Identifikation Leiterplatten (190)
11:40	Posterkurz-vorträge (Seite 18)	Posterkurz-vorträge (Seite 18)	Posterkurz-vorträge (Seite 18)	Pause	Posterkurz-vorträge (Seite 18)	Posterkurz-vorträge (Seite 18)

	Raum 7	Raum 8	Raum 11	Raum 12	Raum 27	Future A	Future B
	Numerische Ak. 2	**Technische Akustik 1**	**Messtec. + Sensorik 2**	**Lärmwirkungen**	**SFB 1330 Hörakustik**		**Virtuelle Akustik 2**
08:40	Waubke: Finite elements in 2.5D (199)			Kleinhenrich: Stapediusreflex (239)	Brand: Binaural intelligibility (253)	Future Lab: Open Space (36)	Kohnen: Limits of spatial perception (270)
09:00	Kohlsche: Ersatzmodell für Akustiksim. (199)		Faulhaber: Mechanik poröser Schäume (224)	Hudasch: Pfander-Kriterium u. AHAAH (240)	Rennies-Hochmuth: Release from masking (253)	Future Lab: Open Space (36)	Hupke: Reflexionsfaktor (270)
09:20	Schultz: Model order reduction (200)	Georgi: Akustik von Kunststoffen (210)	Goudarzi: Reflection Coeff. Estimation (225)	Langenbucher: Empfindl.-analyse (241)	Biberger: Perception in complex scenes (254)	Future Lab: Open Space (36)	Hahn: Discrete time SH expansion (271)
09:40	Eser: Optimierung E-Motor-Lärm (200)	Schmerler: Aluminiumschaumstrukturen (211)	Sgrieß: 1/r-Test mit Impulsen (225)	Schlittmeier: Störwirkung von Sprache (241)	Schädler: Spatial SRT simulation model (255)	Future Lab: Open Space (36)	Lemke: Adj. Schallfeldoptimierung (271)
10:00	Bahrke: Verkleidungsmodellierung (201)	Prager: Materialparameter für FKV (212)	Pause	Ascone: LF and HF sensitivity (242)	Pause	Future Lab: Listening (36)	Posterkurzvorträge (Seite 19)
				Aktive Systeme			**Soundscape**
10:20	Pause	Abawi: Absorption Aerogelgranulate (212)	Joshi: Transmission loss correlation (226)	Schiller: Mehrkanal-Steuerung für ANC (243)	Denk: Headph. loudness mismatch (255)	Future Lab: Open Space (36)	Meyer: Hearing Hannover (272)
10:40	Jelich: BEM Block-Krylow (202)	Pause	Brezas: Future revision of ISO 9614 (226)	Höber: Movable quiet zones (243)	Luberadzka: Voice estimation (256)	Future Lab: Open Space (36)	Lippold: Soundscape Planning (272)
11:00	Heitmann: Backscatter Modell für LES (202)	Busse: Akustik von Polymerbauteilen (213)	Schmelzer: Dynamische Steifigkeit (227)	Hölscher: Teststand Schalleinstrahlung (244)	Schepker: Transparent hearing device (256)	jDEGA Mentoring Kick-Off (29)	Hohmann: 3D-Aufnahmen Soundscapes (273)
11:20	Neifeld: Strahlgeräuschvorhersagen (203)	Holstein: Straßenbahnakustik (214)	Bardt: Messung: In-Concha Ohrhörer (227)	Mohamady: Secondary path in ANC (245)	Enghofer: An unreal framework (257)	jDEGA Mentoring Kick-Off (29)	Kunz: Simulation Soundscape (274)
11:40	Pause	Posterkurzvorträge (Seite 19)	Posterkurzvorträge (Seite 19)	Posterkurzvorträge (Seite 19)	Pause	jDEGA Mentoring Kick-Off (29)	Posterkurzvorträge (Seite 19)

Mittwoch, 18. März 2020 (Mittag)

– Poster-Kurzvorträge (S. 41)

	Nieders.-halle	Blauer Saal	Roter Saal	Runder Saal	Neuer Saal	
	Bauakustik	**Lärm am Arbeitsplatz**	**Fahrzeug-akustik 1**	**Körperschall**	**Elektroak. + Signalverarb.**	
11:40 Poster	Bader: Gebäude-dichtheit (122)	Arendt: Excel-Tool Lärmexposition (133)	Rembold Petraglia: Vehicle sound (149)	Hanisch: Eisenbahn-brückendämpfer (s. App)	Ohlenbusch: Emergency siren local. (175)	Scheffe: Anlagen für Hörgeschädigte (177)
		Sickert: Hörgeräte im Lärmbereich (134)	Xu: System-auslegung (149)	Prasad: Granulare Dämpfer WEA (s. App)	Potchinkov: Messung Zeilenlaut-spr. (175)	Lorenz-Kier.: Induktive Voll-versorgung Halle (178)
		Dantscher: Exposition Waffentypen (135)	Altinsoy: Elektromotor Tonhaltigkeit (150)		Herzog: Holographie Zeilenlautspr. (176)	Beckenbauer: Lautsprecher-blenden (s. App)
		Cieslak: HF-exposimeter development (135)	Philippen: NVH Simulator HiL/SiL ASD (s. App)		Nieland: Automat. Mikrofonmischer (177)	

12:00 Mittagspause

– Vorträge

	Nieders.-halle	Blauer Saal	Roter Saal	Bonatz Saal	Neuer Saal	Runder Saal
	Bauakustik 3	**Fluglärm**	**Fahrzeug-akustik 2**	**Ström.-akus. experiment.**	**Vibroakust. Modellbild. 1**	**Raum-akustik 1**
13:40	Weinzierl: Messung Abwassergeräusche (122)	Lindmaier: UBA-Fluglärm-strategie (136)	Doleschal: Dröhnen im Fahrzeuginneren (151)	Hu: Assessm. Knowles sensor (163)	Schmid: Stochastische FEM (178)	Judd: Geometric diffraction (191)
14:00	Förster: Empfangsplatten-methode (123)	Hesse: Schalltrans-missionsverhalten (137)	Uhl: Unterboden-verkleidungen (151)	Fischer: RMA komplexe Strömungen (164)	Li: Sound event recognition (179)	Schmid: Schallfeldre-konstrukt. Bayes (192)
14:20	Schneider: Schalldämmung Mauerwerk (123)	Blinstrub: Flugbahnen im Vorentwurf (137)	Pfaffelhuber: TPA Reifen-Fahrb.-geräusch (152)	Kohlenberg: Flammen-transferfunktion (164)	Lukashevich: ACM industry environments (179)	Stephenson: Nicht-Diffusität Hallraum (192)
14:40	Naumann: Stoßstellen Ziegelwand (124)	Myck: Zivile Überschall-flugzeuge (138)	Poulos: Model reduction (152)	Klähn: Umfangsinhomogenitäten (165)	Nustede: Akust. Ereigniserkennung (180)	Rechenberger: Histor. Kammermusiksäle (193)
15:00	Huber: Bauteilprognose mittels FEM (125)	Isermann: Pegelverteilungen für Fluglärm (139)	Korte: Fensterprüfstand (153)	Schneehagen: Tragflügel mit Seitenplatten (166)	Schäfer: Neural networks localization (180)	Lorenz-Kierakiewitz: Redoute Beethoven (194)
15:20	Châteauvieux-Hellwig: Prognoseverfahren für BIM (125)	Raitor: Flugbahndiskretisierung (139)	Berk: Akust. Systemabstimmung (153)	Geyer: Low-noise blade tips (166)	Ren: Identifikation mit SINDy (181)	Vercammen: Konzertsaal Arnheim (194)
15:40	Pause	Strümpfel: Aircraft Noise Model. (140)	Posterkurz-vorträge (Seite 20)	Pause	Posterkurz-vorträge (Seite 20)	Posterkurz-vorträge (Seite 20)

	Raum 8		Raum 11	Raum 12		Future B	Future B
	Techn. & physikal. Ak.		**Messtec. + Sensorik**	**Aktive Systeme**		**Virtuelle Ak. (10:00)**	**Soundscape**
	Bschorr: Longitud. Wellengl. (214)	Piscoya: Bewegter Monopol (217)	Simanowski: Membranbewegung (228)	Heinemann: Lärmreduz. in Fahrz. (245)		Kroener: HRTF measurem. sim. (s. App)	Thönnessen: Umgebungen in VR (274)
Poster	Bschorr: Transvers. Wellengl. (215)	Bürgel: Cues of lead voice (215)	Raabe: Akustik und Verdunstung (228)	Hajilou: ANC of vibrat. plate (s. App)			
11:40	Bschorr: Alternative (Late-P., s. App)	Tran: Vibro-acoustic optimization (s. App)	Weigand: Messdatenarchiv (229)	Schubert: Akt. Körperschallred. (s. App)			
	Claes: Absorptionsmessung (216)		Kujawski: An extens. for Acoular (230)				

	Raum 7	Raum 8	Raum 11	Raum 12	Raum 27	Future A	Future B
	Luftultraschall	**Technische Akustik 2**	**AUDICTIVE 1**	**Meeresakustik 1**	**Psychoakustik 1**	**Philosophie**	**6DoF Audio**
13:40	Liebetrau: Akust. Leckagendetektion (204)	Radestock: Schalldämmmaß Sandwiche (217)	Brandenburg: Behavior in bin. synthesis (230)	Abshagen: Tiefwasserkanal (246)	Ohlmann: Wahrnehmg. Latenzen (258)	Gatt: PA-Methode (266)	Pause
14:00	Gaal: Luftultraschallwandler für ZfP (204)	Roloff: CFK-Struktur und Kavität (218)	Mirkovic: Visual cues and attention (231)	Stoltenberg: Zielmaß Stahlkörper (246)	Herweg: Tonale Komponenten (258)	Fischer: Würde und Lärmschutz (267)	Blochberger: Multi-perspective analysis (275)
14:20	Bodi: Schallfeldformung in Luft (205)	Kiefer: Fluidgekoppelte Platten (219)	Begau: Audiovisuelle Sprache (231)	Wachter: FSAI Schleppantenne (247)	Becker: Psychoacoustic tonality (259)	Ebner: Ingenieurwesen u. Philosophie (267)	Kuntz: Wiedergabe ü. offenes Array (275)
14:40	Kling: Luftultraschallfelder (206)	Hoppen: Helmholtz-Res. Biegebalken (219)	Oberem: Cue types in listening tests (232)	Lewitz: Dünnschichthydrophone (247)	Verhey: Tonhaltigkeit u. Hörvermögen (259)	Wolff: philosoph. Brückenschlags (268)	Enge: Audiovisuelle Plausibilität VR (276)
15:00	Steinhausen: ACUT Transmitter (206)	Busch: Theory to practice by Fresnel (220)	Hladek: Self-orienting and speech (233)	Von Pein: Offshore Rammschall HF (248)	Rieger: Dissonanzbewertung (260)	Haverkamp: Subjektive Raumzeit (269)	Müller: 6DoF audio rendering (277)
15:20	Wöckel: Materialkenn. (207)	Wagner: Akustik Wärmepumpenmodell (220)	Wöstmann: Real-Life auditory cognition (233)	Klages: Formoptim. Impulshammer (249)	Claaßen: Tonhaltigkeit Berechnung (260)	Androsch: Anthropologische Akustik (269)	Schörkhuber: Triplet-based 6DoF rendering (277)
15:40	Pause	Posterkurzvorträge (Seite 21)	Posterkurzvorträge (Seite 21)	Wisch: Unterwassertel. (249)	Posterkurzvorträge (Seite 21)	Future Lab: Listening (36)	Posterkurzvorträge (Seite 21)

Mittwoch, 18. März 2020 (Nachmittag)

– Poster-Kurzvorträge (S. 41)

			Roter Saal	Neuer Saal		Runder Saal
			Fahrzeug-akustik 2	**Vibroakust. Modellbild.**		**Raumakustik**
			Badel: Manipulation Wummern (154)	Schultz: Machine learn. early reflect. (182)	Beering: Feature Selection Study (s. App)	Höbel-Müller: Emotion recognition (195)
15:40 Poster			Domke: Klang alter Motorräder (155)	Gebhardt: Generalisierung von CNNs (182)		Behrens: Variable Akustikelemente (196)
			Rotermund: Simulation Verbundglas (s. App)			Berzborn: Directional Grouping Modes (196)
				Wenzel: Einflüsse von Störgrößen (183)		Colella Gomes: Room Acoust. Eval. (s. App)

16:00 - 16:40 **Poster-Forum**, Foyers und Glasgang
16:00 - 16:40 Future Lab: Open Space (siehe S. 36)

– Vorträge

	Nieders.-halle	Blauer Saal	Roter Saal	Bonatz Saal	Neuer Saal	Runder Saal
	Mikrofon-Arrays 1	**Lärm durch Windenergie**	**Fahrzeug-akustik 3**	**Überströmte Absorber**	**Vibroakust. Modellbild. 2**	**Raum-akustik 2**
16:40	Lübeck: Spatial undersampling red. (126)	Hörmeyer: Propagation of WTN (140)	Oetjen: Vibrationen Psychoakustik (155)	Czwielong: Axialventilatoren MPP-Rohr (167)	Gürbüz: Deep learning based design (184)	Lautenbach: Orchesterproberäume (197)
17:00	Batke: HOA-Mikrofonarray (127)	Martens: Refraktionseffekte WEA (141)	Djukic: Tonhöhe Syntheseparameter (156)	Floss: MPP under grazing flow (168)	Kreuter: Dynamic loads prediction (184)	Schanda: Raumakustik Unterrichtsraum (197)
17:20	Poets: MEMS Microph. array design (127)	Schady: Geräuschimmission WEA (142)	Röhrich: Lästigk. Funktionsgeräusche (157)	Rossignol: Aeroakustik Coanda-Flügel (168)	Tsokaktsidis: KFZ-Innengeräusch und KI (185)	Weinzierl: Geräusche Konzertsaal (198)
17:40	Lehmann: Beamforming mit FM-BEM (128)	Elsen: WEA im komplexen Gelände (142)	Schneider: Benchmark für Tonhaltigkeit (157)	Buck: Schalldämpferkonstruktionen (169)	Stender: Deep learning brake sounds (185)	Kliesch: Unsicherheit Klarheitsmaß (198)
18:00	Heloui de Araujo: Rotation array analysis (128)	Martinez: AM bei WEA Richtung/ Abstand (143)	Richter: Einfluss Rauheit Schiene (158)	Bake: Schalldämpferdesign (170)	Lauschkin: CNN für Materialparameter (186)	

19:00 **Konzert mit dem Mädchenchor Hannover**
Christuskirche, Conrad-Wilhelm-Hase-Platz 1, siehe S. 33

		Raum 8	Raum 11	Raum 27			Future B
		Technische Akustik 2	**AUDICTIVE**	**Psychoakustik**			**6DoF Audio**
Poster 15:40		Mai: Absorptionsschalldämpfer (221)	Loh: Child experiment ASA (234)	Eurich: Aufmerks. Silbenrate (261)	Sutojo: Feature-Based Seg. (s. App)		Zotter: Signal-independent 6DoF (278)
			Schutte: Motion distance discr. (235)	Llorca-Bofí: 3D drawings (262)	Huber: Listening Effort Pred. (s. App)		Doma: Distortion HRTF resonan. (279)
			Aichinger: Health parameters (235)	Schwendicke: Vibroakust. Beats (262)	Blank: Lautheitswahrnehm. (s. App)		
			Rummukainen: Min. audible angle (236)	Heroldt: Bewertung Güterzüge (s. App)	Schütze: räumliche Kommunik. (s. App)		

	Raum 7	Raum 8	Raum 11	Raum 12	Raum 27	Future A	Future B
	Numerische Ak. 3	**Musikal. Akustik 1**	**AUDICTIVE 2**	**Sprache im Kfz**	**Psychoakustik 2**		**Binauraltechnik**
16:40	Schaal: Sound on graphics cards (207)	Merchel: Gitarrenmessung (222)	Heimes: Sound insulation auralization (236)	Preißner: DNN-based speech enhanc. (250)	Holzhäuser: Tonalitätsvorhersage KNNs (263)	Future Lab: Open Space (36)	Braren: Pinna Geometry Modification (279)
17:00	Kronowetter: Interaktion Metaatome (208)	Plitzner: Musikal. Fingerabdruck (222)	Muhammad: Work performance in VR (237)	Reimes: Perceived listening effort (251)	Schaffert: Rauigkeit spektr. Prominenz (264)	Future Lab: Open Space (36)	Nowak: Approx. HRTFs with IIRs (280)
17:20	Steuck: BEM vs. radiosity: L und T60 (208)	Ulveczki: Coupled xylophone model (223)	Kirsch: Spatial resolution of reverb (237)	Hübschen: Selbstwahrnehmg. Sprecher (251)	Atamer: Dishwasher annoyance (264)	Future Lab: Open Space (36)	Poschadel: Binaural synth. communic. (280)
17:40	Sittl: Transferfunkt. im Außenraum (209)	Kob: Instrumentenabstrahlung (224)	Oberfeld-Twistel: Audio-vis. Straßenszene (238)	Baumann: Baby cry recognition (252)	Hots: Räuml. Lautheitsgewichtung (265)	Future Lab: Reflection (36)	Kitanovic: VR-Ton-Wiedergabesysteme (281)
18:00	Hahn: Akustik im Vokaltrakt (210)		Fallahi: Localization no visual cue (239)		Fichna: Loudness and distance perc. (265)		

Donnerstag, 19. März 2020 (Vormittag)

– Vorträge

	Nieders.-halle	Blauer Saal	Roter Saal	Bonatz Saal	Neuer Saal	Runder Saal
	Tieffreq. Trittschall	**Lärmschutz 1**	**Kfz-Lärm**	**Physik der Ström.-ak. 1**	**Audiotechnik**	**Raum-akustik 3**
08:40	Zeitler: Tieffrequenter Trittschall (282)	Hirsch: Cmet und Behörden (289)	Gebhardt: Reale Kfz-Emissionen (297)	Becker: Turbulente kinetische Energie (304)		Kokabi: Generatives Design (319)
09:00	Alphei: Wahr-nehmung Trittschall (282)	Bock: Lärmschutz im Städtebau (289)	Heinrichs: Verhaltensbe-dingter Lärm (298)	Kaltenbacher: Lighthill's analogy (305)	Dürre: Audio production in 5G? (311)	Hoffmeier: Sprachver-ständlichkeit (320)
09:20	Wolters: Psy-choakustik Massivtreppe (283)	Probst: Revision ISO 9613-2 (290)	Kühner: Unnötiger Lärm (298)	Kreuzinger: CAA-CFD vollgekoppelt (305)	Thielen: In-Ear Monitoring über WLAN (312)	Böldt: Modeling audience noise (320)
09:40	Hettler: Tieffrequenter Trittschall (283)	Bernschütz: Freizeitlärm tieffrequent (291)	Samani: Psy-choacoust. motorcycles (298)	Maeder: Changing perspectives in CAA (306)	Naujoks: Adaptiver Flachlautspre-cher (312)	Wilczek: Room acoustics restaurants (321)
10:00	Rabold: Planung Holzdecken (284)	Roskosch: Schalldämm-maß tieffrequent (291)	Altinsoy: Verordnung AVAS (299)	Ewert: Black-Hole-Analogie (307)	Schmidt: Lautsprecher-papier (313)	Weigand: Validierung Schirmauf-bauten (321)
10:20	Koehler: Trittschall in Hantelbereei-chen (284)	Strigari: Wirksamkeit LSW-Aufsätze (292)	Laib: Lästigkeitsbe-wertung E-Pkw (299)	Masovic: Lorentz-invariant Lagrangians (307)	Sukalo: Baggally Verstärker-Topologie (313)	Ahnert: Enhancement-System Suhl (322)
10:40	Burkhart: Dröhnende Estriche (285)	Hoppe: Parameter Poröser Medien (293)	Pause	Pause	Posterkurz-vorträge (s. unten)	Von Berg: Raumakustis-che Hörexpertise (323)

– Poster-Kurzvorträge (S. 41)

10:40 Poster					Neuer Saal	
					Audiotechnik	
					Kolacz: Assistive listening over WiFi (314)	Jacobsen: Comb Filter Mitigation in HAs (s. App)
					Phan: Uniform microphone array (314)	
					Marafioti: Audio Synthese für ML (315)	

11:00 - 11:40 **Poster-Forum**, Foyers und Glasgang
11:00 - 11:40 Future Lab: Open Space (siehe S. 36)

	Raum 7	Raum 8	Raum 11	Raum 12	Raum 27	Future A	Future B
	Kavitation 1	**Musikal. Akustik 2**	**Sprachverarbeitung**	**Meeresakustik 2**	**Psychoakustik 3**		**Augmented Reality 1**
08:40	Sarac: Cavitation in flow tubes (328)		Bleiholder: End-2-End Conversation (252)	Nissen: MIMO-Burst-Kommunik. (352)	Kies: Stream segregation of vowels (360)	Future Lab: Listening (36)	Baumgartner: Externalis.-modell (367)
09:00	Rossello: Laser bubbles in strong fields (329)	Siedenburg: Spectral envelope (334)	Möller: Netzwerk Sprachübertragung (343)	Kochanska: UAC DSSS systems (353)	Georgi: Sprachartigkeit im Hintergrund (360)	Future Lab: Open Space (36)	Steffens: Perception of directivity (367)
09:20	Ohl: Bubbles shockw. interaction (329)	Goldmann: Hörverlust und polyph. Musik (334)	Michael: Effects delay and packet loss (343)	Sotnik: Adaptive Unterw.-netzwerke (353)	Fintor: Memory for heard text (361)	Future Lab: Open Space (36)	Ahrens: AV scene analysis (368)
09:40	Reuter: Bubble collapse pressures (330)	Lincke: Blending in concert halls (335)	Kranzusch: FADE in reverb. conditions (344)	Galka: Kurzzeit-Leistungsspektren (354)	Steuer: Timbre recognition (362)	Future Lab: Open Space (36)	Li: mobile 3D HRTF (368)
10:00	Koch: Extremely fast bubble jets (330)	Krasteva: Harmonisches Produktdesign (336)	Neudek: Speaker change detection (344)	Schäl: Tracking in SONAR-Systemen (354)	Laback: Simultanmaskierung AM (362)	Future Lab: Open Space (36)	Denk: Hearthrough transparency (369)
10:20	Riahi: NP synthesis in bubbles (331)	Görlach: Analyse-Synthese Publikum (336)	Jokisch: Speech at UAV presence (345)	Ye: SAS and CSAS imaging (355)	Papadogianni-K.: Beat perception (363)	Future Lab: Listening (36)	Klein: Room classification for AR (370)
10:40	Pause	Posterkurzvorträge (s. unten)	Posterkurzvorträge (s. unten)	Posterkurzvorträge (s. unten)	Glass: Dental clinics acoustics (364)	Future Lab: Open Space (36)	Posterkurzvorträge (s. unten)

	Raum 8		Raum 11		Raum 12	Future B	
	Musikal. Akustik		**Sprachverarbeitung**		**Meeresak. Wassers.**	**Augmented Reality**	
10:40 Poster	Bolles: Grammophon-Effekt (337)	Reuter: Schallabstrahl. Flöte (s. App)	Pucher: Formant tracking in STx (346)	Behrens: Sprachdialogsyst. Kinder (s. App)	Juretzek: German Noise Reg. (s. App)	Brandner: Directivity of a grand piano (370)	Urbaniak: Soundwalks in VR (372)
	Siddiq: Klangfarbenähnlichk. (s. App)	Gilbert: Rückprall Trommelst. (s. App)	Cretti: Neuronenbas. Vocoder (346)		Euhus: Betracht. Unsicherh. (s. App)	Werner: Audio AR in museum (371)	Sloma: ACR Multiple-Attrib. Test (s. App)
	Pozhamka.: Blending, Ensemble s. (s. App)	Kob: toneholes model pipe (s. App)	Hülsmeier: Periodicity benefit FADE (347)		Schmidt: MarinEARS (s. App)	Edner: FPGA-bas. Zeitumkehr (371)	

Donnerstag, 19. März 2020 (Mittag/Nachmittag)

11:40 NH. B	**Plenarvortrag Wilfried Kausel:** „Musikalische Akustik und Virtuelle Realität - wissenschaftliche Forschung an der mdw, der Universität für Musik und darstellende Kunst Wien“ (54)
12:30	Mittagspause

– Vorträge

	Nieders.-halle	Blauer Saal	Roter Saal	Bonatz Saal	Neuer Saal	Runder Saal
	Mikrofon-Arrays 2	**Lärmschutz 2**	**Fahrzeug-akustik 4**	**Physik der Ström.-ak. 2**	**Schwing.-technik**	**Raum-akustik 4**
14:00	Jekosch: Rotation beliebiger Arrays (285)		Klaus: Einfluss Rad-querschnitte (300)	Freidhager: Turbocharger compressor (308)	Beinstingel: Getrie-beschwingun-gen (315)	Aoki: Scattering of perforated plate (323)
14:20	Herold: Tracking Drohnen mit Array (286)	Baumgart: Einzelfallge-rechtigkeit (293)	Stampka: Vorhersage der TDR mit FDM (301)	Rucz: Helmholtz resonator in 3D (309)	Geweth: Messung Dämpfung (316)	Hengst: Streifender Schalleinfall (324)
14:40	Nowak: Inverse sound localization (287)	Reichart: Schutzkon-zept Großbau (294)	Steinbach: Stationär-Geräusche E-Fzg. (301)	Schoder: Convective wave operators (309)	Sun: Stochastic stability analysis (316)	Müller-Giebeler: Hybrid impedance meas. (324)
15:00	Pause	Eggers: Grundlagen Lärmkumu-lation (294)	Pause	Pause	Liu: Squeeze film bearing (317)	Bratz: Schafwoll-Absorber (325)
15:20	Becker: Schallfeldex-trapolation (287)	Chudalla: Verfahren Lärmkumulati-on (295)	Mann: STIPA im Zug (302)	Sarradj: Vorderkanten-schall (310)	Pause	Pause
15:40	Paszkiewicz: Mikrofonarray-Verfahren (288)	Pause	Caillet: STI with background noise (302)	Herff: Noise sources of swirl burners (310)	John: Modalanalyse Druckbehälter (317)	Weese: Nicht-Diffusität Hallraum (326)
16:00	Mellert: WEA-Abstrahlung Mic Array (288)	Wehr: Machine Learn. Rollgeräusch (296)	Bodden: Active Sound Hybridfahr-zeuge (303)	Satcuna-nathan: Porous material (311)	Chandra: Uncertainty in dynamics (318)	Bechtel: Array-Messungen (326)
16:20		Czuka: Dämpfung Bewuchsstrei-fen (296)	Neubauer: Inequidistant planetary gears (303)		Gröhlich: Iterative eigenvalue solver (318)	Ramos Ruiz: Flächigen Naturschall-absorber (327)
16:40			Liu: Tire non-uniform vibration (304)		Lindner: Elas-tizitätsmodul von Beton (319)	Fuchs: Breitband-Schall-absorber (328)

17:00 Nieders.-halle B: **Abschlussveranstaltung mit Spezialitäten der DAGA 2021 aus Wien**

	Raum 7	Raum 8	Raum 11	Raum 12	Raum 27	Future A	Future B
	Kavitation 2	**WHO-Leitlinien**	**Audiolog. Akustik**	**Human-schwing.**	**Audiovisu. Scenes**		**Augmented Reality 2**
14:00	Tervo: Cavitation of moving bubbles (331)	Wothge: Bewertung WHO-Leitlinien (338)	Epp: Spont. otoacoustic emissions (348)	Rosen-kranz: Taktiles Design (356)	Ewert: Audiovisual scenes (364)	Future Lab: Open Space (36)	Neidhardt: Matching rooms perceptually (372)
14:20	Reese: Jets bei perforierten Flächen (332)	Boegli: Umsetzung WHO-Empf. (338)	Kramer: Sprach-verst. trueLoud-ness (348)	Alma: Multimodal texture rendering (356)	Grimm: Virtual environm. TASCAR (365)	Future Lab: Open Space (36)	Frank: Augmented practice room (373)
14:40	Stephens: Modelling sound field (333)	Van Kempen: Noise and health (339)	Angermeier: Bimodale Laufzeitan-passung (349)	Krause: Modulationen und Vibrationen (357)	Weitnauer: Object-based broadcas-ting (365)	Future Lab: Open Space (36)	Ahrens: Fernfelddi-rektivität (373)
15:00	Ohl: Transverse wave cavitation (333)	Popp: WHO-Leitlinien Ing.-Büros (339)	Weißgerber: Irrelevant Sound Effect mit CI (350)	Pause	Weinzierl: Memorand. Audiopro-duktion (366)	Future Lab: Open Space (36)	Wühle: Schallpro-jektor (374)
15:20		Pause	Pause	Maravich: Multimodale Lästigkeit (358)	Brinkmann: Early reflections coding (366)	15:30-16:40 Future Lab: Reverbera-tion (36)	
15:40		Fiebig: Wirksam-keit von Maßnah-men (340)	Seeber: ITD coding for CIs (350)	Schwen-dicke: Fingerkorre-lation (358)		15:30-16:40 Future Lab: Reverbera-tion (36)	
16:00		Schulte-Fortkamp: Noise guidelines (341)	Uppen-kamp: Funktionelle Bildgebung (351)	Alvarez Romeo: 1-DOF force feedb. (359)		15:30-16:40 Future Lab: Reverbera-tion (36)	
16:20		Jäcker-Cüppers: Bewertung Guidelines (341)	Thuren Lindahl: BM compressi-on and SDT (352)	Scholz: Hand-Arm-Vibrationen (359)		15:30-16:40 Future Lab: Reverbera-tion (36)	
16:40		Schrecken-berg: Gesund-heitswirkun-gen (342)					

Termine und Highlights rund um die DAGA

Vorkolloquien am 16. März 2020

- *Design for Acoustics*
  (Sabine C. Langer und Sebastian Rothe), siehe S. 56
- *Immersive Audioverfahren, Elektroakustik und Audiologie*
  (Jürgen Peissig und Waldo Nogueira), siehe S. 60
- *Künstlerische Akustik mit Performance*
  (Eckart Altenmüller), siehe S. 64

Vortragsübersicht siehe S. 10.
Die Teilnahme am Vorkolloquium ist kostenfrei.

Plenarvorträge

- Reinhard Lerch (Empfänger der Helmholtz-Medaille):
  „Symbiose von Computersimulation und Experiment bei der Entwicklung akustischer Systeme“ (S. 52)
- Kai Siedenburg (Empfänger des Lothar-Cremer-Preises):
  „Die Farbe macht die Musik: Akustische und perzeptuelle Merkmale der Klangfarbenwahrnehmung“ (S. 52)
- Eckart Altenmüller:
  „Musik hören als konstruktive neuronale Modellierung“ (S. 53)
- Wilfried Kausel:
  „Musikalische Akustik und Virtuelle Realität - wissenschaftliche Forschung an der mdw, der Universität für Musik und darstellende Kunst Wien“ (S. 54)

Strukturierte Sitzungen

- *6DOF Spatial Audio Recording and Rendering*, S. 275
  - Franz Zotter -
- *Akustik gestern heute und morgen*, S. 106
  - Jörn Hübelt -
- *AUDICTIVE: Auditory Cognition in Interactive Virtual Environments*, S. 230 - Janina Fels, Torsten Kuhlen, Steven van de Par, Alexander Raake, Sabine Schlittmeier -
- *Augmented Acoustic Reality*, S. 367
  - Stefan Weinzierl, Jürgen Peissig -
- *Description and implementation of audiovisual scenes for hearing research and beyond*, S. 364
  - Lubos Hladek, Stephan Ewert, Bernhard Seeber -

- *Humanschwingungen* S. 356
  - Magdalena Scholz, Ercan Altinsoy -
- *Kavitation in Forschung und Anwendung*, S. 328
  - Robert Mettin, Claus-Dieter Ohl -
- *Kfz-Lärm - neue Probleme und Lösungen*, S. 297
  - Michael Jäcker-Cüppers, Ercan Altinsoy -
- *Lärm am Arbeitsplatz*, S. 129
  - Sandra Dantscher -
- *Maschinelles Lernen und Künstliche Intelligenz für die vibroakustische Modellbildung*, S. 178 - Christian Adams, Kian Sepahvand -
- *Meeresakustik und Wasserschall*, S. 246 und 352
  - Jan Abshagen, Gerhard Schmidt -
- *MEMS-Lautsprecher - ein Paradigmenwechsel*, S. 76
  - Daniel Beer -
- *Mikrofonarrays in Theorie und Praxis*, S. 126 und 285
  - Jan-Mark Batke -
- *Philosophie in der Akustik*, S. 266
  - Monika Gatt, Marcus Maeder -
- *Physik der Strömungsakustik*, S. 304
  - Jan Delfs, Manfred Kaltenbacher -
- *SFB1330 Hörakustik: Perzeptive Prinzipien, Algorithmen und Anwendungen*, S. 253
  - Steven van de Par, Jan Rennies-Hochmuth, Volker Hohmann -
- *Sprache und Audio im KFZ*, S. 250
  - Hans-Wilhelm Gierlich, Gerhard Schmidt -
- *Technik und Methoden für den Luftultraschall: Quantitative und qualitative Analyse*, S. 204 - Ralf Steinhausen, Christian Koch -
- *Tieffrequenter Trittschall*, S. 282
  - Ulrich Schanda, Martin Schneider -
- *Überströmte Schallabsorber*, S. 167
  - Lars Enghardt, Stefan Becker -
- *WHO-Leitlinien zum Umgebungslärm*, S. 338
  - André Fiebig, Dirk Schreckenberg -

Das **Abfotografieren oder Abfilmen** der Vortragsfolien während der DAGA ist generell nicht gestattet.

Tagungsband

ab April 2020 verfügbar, Teilnehmer werden per E-Mail benachrichtigt
→ *www.dega-akustik.de/publikationen/tagungsbaende*

HEAD acoustics

Ihr weltweiter Partner

für Sound Design, Schall & Schwingungen,
Audio- und Sprachqualität, Psychoakustik,
Soundscape, Standardisierung u.v.m.

Wir freuen uns auf Ihren Besuch!

SOUND.
VOICE.
PASSION.

www.head-acoustics.com

Für Studierende/ Promovierende: Die Aktivitäten der jungen DEGA

Alle Fachgruppenmitglieder und -interessenten sowie Studierende, Promovierende und Berufseinsteiger sind herzlich eingeladen:

- *junge DEGA – Icebreaker:*
  Montag, den 16. März 2020, 15:00 - 16:30 Uhr,
  HCC-Restaurant, auf der Galerie, s. Innenumschlag

  Beim „Icebreaker“ bietet sich schon vor Beginn der eigentlichen Tagung die Möglichkeit eines gegenseitigen Kennenlernens.

- *Kneipenabend*
  Montag, den 16. März 2020, ab 19:00 Uhr
  Brauhaus, Schmiedestraße 13, www.brauhaus.net

  Der inzwischen traditionelle Kneipenabend der jungen DEGA heißt bereits am Vorabend der DAGA Eröffnung alle jungen, jüngeren und jung gebliebenen Akustiker*innen herzlich willkommen.

- *Meeting der jungen DEGA:*
  Dienstag, den 17. März 2020, 12:00 bis 13:20 Uhr
  Raum 27/28, siehe Innenumschlag hinten

- *Research in short(s)*
  Dienstag, den 17. März 2020, ab 13:20 Uhr, Roter Saal

  Science Slam zu unterhaltsamen wissenschaftlichen Projekten für alle Tagungsteilnehmenden. Beitragsanmeldungen bitte bis
  NEU: 12. März 2020 an *5minuten@daga2020.de*
  Den drei Gewinnern winken Sachpreise von Sennheiser.

- *Vortrag: DFG-Förderung der frühen wissenschaftlichen Karriere*
  Dienstag, 17. März 2020, 13:20 Uhr, Raum 8

  Überblicksvortrag zu Förderformaten und Beratungsmöglichkeiten von Dr. Wieland Biedermann (DFG; Abstract siehe S. 91)

- *Mentoring Kick-Off*
  Mittwoch, 18. März 2020, 11:00 Uhr, Future Meeting Space A

  Offizielle Auftaktveranstaltung des Mentoring Programms der jungen DEGA, bei dem sich die Mentor*innen und Mentees, die sich zum Programm angemeldet haben, austauschen und kennen lernen können. Auch alle, die an dem Programm Interesse haben sind herzlich eingeladen.

- *Infomesse in der Firmenausstellung*
  Mittwoch, den 18. März 2020, ab 12:30 Uhr, Niedersachsenhalle A (beim Catering)

  Eine Infomesse für Studierende, Promovierende und Neugierige mit Partnern aus Forschung, Industrie sowie Lehre.

Sitzungen während der Tagung

Vorläufige Terminübersicht; die Angaben können sich ggf. noch ändern. Die endgültigen Anfangszeiten und Räume der Sitzungen werden im nächsten Akustik Journal veröffentlicht.

Montag, 16. März 2020

15:00 - 16:30	„junge DEGA - Icebreaker“	HCC-Restaurant
17:00	DEGA-Mitgliederversammlung	Blauer Saal

Dienstag, 17. März 2020

12:00 - 13:20	DEGA-Fachgruppe „junge DEGA“	Raum 27
12:00 - 13:00	DEGA-Fachausschuss Lärm: Wirkungen und Schutz	Blauer Saal
12:00 - 13:20	DEGA-Fachausschuss Elektroakustik	Neuer Saal
12:00 - 13:00	DEGA-Fachausschuss Ultraschall	Runder Saal
12:40 - 13:20	DEGA-Fachausschuss Lehre der Akustik	Raum 8
12:40 - 13:20	DEGA-Fachausschuss Virtuelle Akustik	Future Space B

Mittwoch, 18. März 2020

12:00 - 13:00	DEGA-Fachausschuss Hörakustik	Raum 27
12:40 - 13:40	DEGA-Fachausschuss Fahrzeugakustik	Roter Saal
12:40 - 13:40	DEGA-Fachausschuss Strömungsakustik	Bonatz Saal

Donnerstag, 19. März 2020

12:30 - 14:00	Arbeitsring Lärm der DEGA (ALD)	Blauer Saal
12:30 - 14:00	DEGA-Fachausschuss Bau- und Raumakustik	Niedersachsenhalle
12:30 - 13:15	DEGA-Fachausschuss Sprachakustik	Raum 11
13:15 - 14:00	DEGA-Fachausschuss Musikalische Akustik	Raum 8
12:30 - 14:00	DEGA-Fachausschuss Physikalische Akustik	Bonatz Saal

Weitere Gremiensitzungen (nicht öffentlich)

Vorläufige Terminübersicht (Stand: Februar 2020). Die Angaben können sich ggf. noch ändern. Die endgültigen Anfangszeiten und Räume der Sitzungen werden in den Einladungen an die jeweiligen Gremien bekannt gegeben.

Montag, 16. März 2020

09:00 - 12:30	DEGA-Vorstandsrat	Bonatz Saal
13:00 - 15:00	Treffen der DEGA-Fachausschüsse und -Fachgruppen	Bonatz Saal

Mittwoch, 18. März 2020

16:00 - 16:40	DEGA-Hochschulbeirat	Raum 3
17:00 - 18:00	Beirat der DEGA-Fördermitglieder	Raum 3

Donnerstag, 19. März 2020

10:40 - 11:40	DAGA-Beirat	Raum 3
13:00 - 14:00	NALS-Förderkreis	Raum 3

Rahmenprogramm

- **Eröffnungsveranstaltung**
  - Dienstag, 17. März 2020, 9:00 - 10:30 Uhr, Kuppelsaal -

  Grußworte, Musik und Preisverleihungen, Details siehe S. 12

- **Geselliger Abend** im Welfenschloss der Leibniz-Universität
  - Dienstag, 17. März 2020, Beginn 19:30 Uhr, Einlass 19:00 Uhr - Wegbeschreibung siehe S. 389

  Die Abendveranstaltung im Lichthof des Hauptgebäudes der Leibniz-Universität wird musikalisch gestaltet durch ein Jazzquartett und die traditionelle Jam-Session der DAGA Allstars. An der Jam-Session interessierte Mitspieler(innen) melden sich zur Koordination bitte bei Malte Kob: kob@hfm-detmold.de

  Chormitglieder für den DAGA-Projektchor gesucht!
  Anlässlich des DAGA-Jubiläums haben Teilnehmerinnen und Teilnehmer der DAGA erstmals die Chance, in einem DAGA-Chor mitzusingen und zum geselligen Abend ein spezielles Geburtstagsständchen aufzuführen. Die Probe findet am Dienstag, 17. März, von 15:20 bis 16:00 Uhr im Future Meeting Space B unter Leitung von Martin Klemenz statt. Bei Interesse melden Sie sich bitte unter Angabe Ihre Stimmgruppe (Sopran, Alt, Tenor, Bass) bei Teresa Lehmann (*tagungen@dega-akustik.de*). Die Noten werden Ihnen vorab per E-Mail zugeschickt.

Bitte bringen Sie Ihren DAGA-Tagungsausweis zur Vorlage beim Einlass zum geselligen Abend mit!
Weitere Tickets für Begleitpersonen zum Geselligen Abend können für 50,- € am Tagungsbüro gekauft werden.

© Heike Köhn - Hauptgebäude der LUH (Ort der Abendveranstaltung)

- **Kulturkirche Christuskirche: Umnutzung einer Kirche von nationaler Bedeutung zu einem musikalischen Aufführungsort.**
  - Mittwoch, 18. März 2020, 19:00 - 21:00 Uhr -
  Wegbeschreibung siehe S. 389

  Nach der Begrüßung durch Frau Pastorin Sonnenburg und einem erläuterndem Vortrag des Akustiplaners Herr Vladimir Szynajowski über die Umgestaltung der Christuskirche der Nordstädter Gemeinde Hannovers hören Sie eine Konzertkostprobe des Mädchenchors Hannover unter der Leitung von Frau Prof. Gudrun Schröfel.

  Die Christuskirche Hannover wurde 1859 bis 1864 von dem Architekten Conrad Wilhelm Hase als Residenzkirche Georgs V. erbaut. Sie gehört als neugotische Musterkirche des evangelischen Kirchenbaus heute zu den Baudenkmalen nationaler Bedeutung. Im Jahr 2013 wurde ein neues Konzept entwickelt und die Kirche für die Aufführungen von Chören sowie als Probezentrum und Domizil des Mädchenchors Hannover umgebaut.
  Das Konzept zum Umbau der Christuskirche wurde ab 2011 entwickelt, zum Jahresanfang 2012 begannen die Bauarbeiten. Im September 2014 zum 150. Jubiläum der Christuskirche konnte sie wieder in Nutzung genommen werden. Der Umbau ist allerdings weiterhin nicht abgeschlossen, in 2020 soll der letzte Bauabschnitt beginnen.
  Das neue Konzept erforderte umfangreiche Planung und Umbaumaßnahmen in vielen Disziplinen. Neben dem raumakustischen Konzept für die unterschiedlichen Nutzungsprofile, (Chorsaal, Proberaum, Gottesdienst), mussten auch die weiteren Bereiche der Bauphysik sowie der technischen Gebäudeausrüstung an das neue Konzept angepasst werden.

  Im Anschluß wird der Mädchenchor Hannover die Kirche zum Klingen bringen mit Werken aus verschiedensten Epochen, unter anderem von Knut Nystedt, Robert Schumann, Claude Debussy und Wolfgang Amadeus Mozart (vollständiges Programm: siehe App).

  Zum Abschluß besteht die Möglichkeit zur Diskussion mit dem Architekten und dem Akustikplaner und die Besichtigung des in den Kirchenraum integrierten Probenraums des Mädchenchors Hannover.

  Begrenzte Teilnehmerzahl! Kostenlose Tickets können am Tagungsbüro abgeholt werden. Diese gelten bei Eintritt bis 18:45 Uhr. Nach 18:45 Uhr werden die Restplätze vor Ort für Teilnehmer ohne Ticket freigegeben.

WIE MACHT MAN DAS DACH ZUM ERLEBNISRAUM?

GEMEINSAM.

REGUPOL Trittschallschutz

Dachterrassen werden immer häufiger zu beliebten Treffpunkten. Geschickt genutzt sind sie attraktiv für Mieter, Gastronomie und andere moderne Nutzungskonzepte. Dabei ist der Trittschallschutz gem. DIN 4109 sorgfältig zu planen. Zum Beispiel mit **REGUPOL sound & drain**.

Fragen Sie die Experten.

akustik@regupol.de
www.regupol.com

REGUPOL

DIE DAGA WIRD 50 JAHRE ALT!

Di, 17.03.20, ab 19 Uhr, Welfenschloss

- Zum geselligen Abend -
Geburtstagsständchen des DAGA-Chors
und Geburtstagstorte

Di, 17.03. - Do, 19.03.20:

- Ausstellung von Messtechnik -
aus den 70er Jahren
→ Future Meeting Space A

- Future Lab -
Begegnungen, Reflektionen und
Visionen
→ Future Meeting Space A

- Interaktives Display -
mit DAGA-Landkarte, DAGA-Quiz, Fotos und mehr
→ Hauptfoyer

Mit besonderer Unterstützung durch den Platin-Sponsor SENNHEISER

Jubiläumsaktivitäten

- **Festveranstaltung „50 Jahre DAGA“**
  - Dienstag, 17. März 2020, 16:00 - 17:30 Uhr, Kuppelsaal -

  Mit bunten Showeinlagen werden wir die vergangenen 50 Jahre Revue passieren lassen. Es erwarten Sie unter anderem die Uraufführung der DAGA-Hymne, Interviews zur Tagungsgeschichte und unterhaltsame Musik-, Video- und Tanzeinlagen. Den krönenden Abschluss bildet ein inspirierender Plenarvortrag von Prof. Dr. med. Eckart Altenmüller (HMTMH) zum Thema „Musik und neuronale Modellierung“ (Abstract siehe S. 53.

- **Future Lab**
  - Mi 8:40 bis Do 16:45 Uhr, Future Meeting Space A -

  Das Future Lab ist ein offener Raum für Begegnung, kreativen Austausch und Diskussion. Es ist ein Ort, an dem Ideen landen und reifen können. Das Future Lab bietet auch die Möglichkeit zum Innehalten und zum Sortieren von Eindrücken des reichhaltigen Tagungsprogramms. Es lädt insbesondere dazu ein, sich jenseits gewohnter Denkmuster zu begeben und sich vom eigenen und gemeinsamen Ideenreichtum inspirieren zu lassen. Das Future Lab wird durch die Tagungsgäste gestaltet. Wir laden sehr herzlich ein!

  – *Future Lab: Open Space*
    – Mi 08:40-10:00, 10:20-11:00 und 16:00-17:40 –
    – Do 09:00-10:20 und 11:00-15:30 –
  – *Listening (Contact Future)*
    – Mi 10:00 und 15:40 Uhr, Do 8:40 und 10:20 Uhr (je 20 Min.) –
    Innehalten. Still werden. Lauschen. Ein Workshopexperiment, das einlädt, die Zukunft zu gestalten.
  – *Reflection (Zwischenreflektion)*
    – Mi 17:40-18:00 Uhr –
    Zur Halbzeit des Future Labs laden wir zu einer Fishbowl-Diskussion ein. Wir reflektieren gemeinsam mit Teilnehmerinnen und Teilnehmern des Future Labs den bisherigen Verlauf.
  – *Reverberation (Ausklang)*
    – Do 15:30-16:40 Uhr –
    Zum Ausklang des Future Labs laden wir zu einem World-Café ein. In kleinen Gruppen diskutieren wir Ideen, die während des Future Labs aufgetaucht sind, denken sie weiter, bringen weitere Perspektiven ein und führen die Erkenntnisse zusammen.

- **interaktives Display**
  - Montag bis Donnerstag, 16.-19. März 2020, im Hauptfoyer -

  Tauchen Sie in die Welt der DAGA ein: Mit einer DAGA-Landkarte, dem DAGA-Quiz, einer Fotoshow und vielem mehr. Teilnehmende am DAGA-Quiz haben die Möglichkeit, einen MOMENTUM Wireless Kopfhörer zu gewinnen (Wert: 399 Euro, bereitgestellt mit freundlicher Unterstützung der Sennheiser electronic GmbH & Co. KG.)

- **Ausstellung mit Messgeräten aus der Zeit der ersten DAGA**
  - Di - Do, 09:00 - 18:00 Uhr, Future Meeting Space A -

  Vor 50 Jahren fand die erste DAGA statt. Die Organisator*innen der DAGA 2020 nehmen dies zum Anlass um den Zeitgeist von damals aufleben zu lassen. Für viele Akustiker*innen steckt dieser Zeitgeist auch in den um 1970 herum verwendeten Messgeräten, deren virtuose Handhabung durch häufig täglichen mehrstündigen Gebrauch erlernt wurde. Dadurch kann eine Beziehung zu den Messgeräten entstehen, die mit der von Musiker*innen zu ihren Instrumenten vergleichbar ist. Durch die Ausstellung mit den Messgeräten aus der Zeit der ersten DAGA soll eine Möglichkeit geschaffen werden, sich in diese Zeit zu versetzen oder an diese Zeit zu erinnern.

Fachexkursionen

Siehe auch *app.daga2020.de*

Anmeldung jeweils vor Ort am Tagungsbüro, begrenzte Teilnehmerzahl. Der Treffpunkt wird nach Anmeldung bekannt gegeben.

- **Tonstudio Tessmar Hannover**

  Termin: Mittwoch, 18. März, 14:00-15:00 Uhr

  Das Tonstudio Tessmar ist eines der größten Studios Deutschlands. Auf insgesamt über 1000 qm bietet das Tonstudio Tessmar modernste Technik für Audioproduktionen jeglicher Art. Der große Aufnahmesaal mit seinen bis zu 8 m hohen Decken und einer Fläche von 187 qm wird aufgrund seiner variablen Raumakustik sowohl für Rock- und Pop-Produktionen als auch für die Aufnahme von mittelgroßen Orchestern genutzt. Ein Schwerpunkt der Studioarbeit liegt bei 3D-Audioproduktionen auf Lautsprecherbasis, wie auch in der Führung in drei Einzelgruppen anschaulich präsentiert wird.
  → *www.tonstudio-tessmar.de/*

- **Klangort Hannover: Eine Entdeckertour für die Ohren**

  Exkursion mit Dr. Stefanie Krebs (Tonspur Stadtlandschaft)
  Präsentiert von der Hörregion Hannover

  Hörregion Hannover

  Termin: Mittwoch, 18. März, 13:00-14:00 Uhr

  Thema der ca. einstündigen Führung ist die gebaute Stadt Hannover als Klangort: Straßen, Plätze und Gebäude bilden einen Resonanzkörper, der die Geräusche der Stadt in unterschiedlicher Weise zum Klingen bringt. Die Klangführung öffnet die Ohren für besondere Klangphänomene der Stadt, ihrer Geschichte und erläutert sie in Verbindung mit Hannovers städtebaulicher Situation. Das Ohr erlebt dabei u.a. eine Schwelle der Stille, einen klanglichen Tauchgang, ein Soundkarussell sowie lauschige Winkel.

- **Alles unter einem Dach – Das Deutsche HörZentrum der HNO-Klinik an der Medizinischen Hochschule Hannover**

  Termine: Dienstag, 17. März, 14:00-15:30 Uhr
  Mittwoch, 18. März, 10:00-11:30 Uhr

  Die HNO-Klinik der Medizinischen Hochschule Hannover und das DHZ sind international bekannt für das weltweit größte Cochlea-Implantat (CI)-Programm mit mehr als 10.000 CI-Patienten seit der ersten Implantation und etwa 600 neuen CI-Patienten jährlich. Unter einem Dach bietet das DHZ neueste diagnostische Methoden und Therapien, umfassende technische Beratung und Betreuung, pädagogisches und logopädisches Hörtraining sowie die Versorgung mit Hörsystemen auf international höchstem Niveau. Vom konventionellen Hörgerät über implantierbare Hörgeräte (Mittelohrimplantate) oder Innenohrimplantate wie das CI bis zu zentral-auditorischen Implantaten bietet das DHZ Hilfe bei allen Hörstörungen. In enger Zusammenarbeit mit der Industrie werden die Hörsysteme weiterentwickelt. Neben der Routineversorgung von Cochlea-Implantat Patienten werden einzelne Forschungsvorhaben von den Forschergruppen vorgestellt. Zu sehen gibt es einen Echtzeit-CI-Simulator, mit dem Signalverarbeitungsstrategien von CI Systemen hörbar gemacht werden können. Ferner gibt es Einblicke in objektive Messverfahren (EEG) zur Darstellung des Hörvorgangs mit dem Ziel, Hörsysteme zukünftig im Closed-Loop-Verfahren anzupassen. Ebenfalls werden Entwicklungen zu virtuellen akustischen Szenarien gezeigt.

Hinweise für Autoren

Mündliche Vorträge

Der Stundenplan des Hauptteils der Tagung richtet sich streng nach folgendem 20-Minuten-Raster:

- **15 min** Vortrag,
- **3 min** Diskussion und
- **2 min** Pause (Gelegenheit zum Wechsel des Vortragssaals).

Nur wenn dieses Zeitraster ausnahmslos eingehalten wird, ist bei der großen Zahl von Parallelsitzungen ein geordneter Tagungsablauf gesichert. Der zeitliche Ablauf wird durch signalgebende Uhren in den Vortragsräumen gesteuert; Zeitüberschreitungen sind nicht möglich. Die Sitzungsleiter werden Vorträge, die zu lange dauern, abbrechen.

Medientechnik

Für die mündliche Präsentation stehen in jedem Konferenzraum ein Laptop (mit aktuellen Versionen von Microsoft Windows, Microsoft PowerPoint und Adobe Reader), ein Beamer (Seitenverhältnis der Präsentation 16:9 oder 4:3) und eine tontechnische Anlage zur Verfügung. Das Abspielen von Audio-Beispielen im Rahmen eines Vortrags ist in jedem Hörsaal mit guter Monoqualität möglich.
Alles, was darüber hinaus an Technik benötigt wird, sollte bis spätestens 2 Wochen vor der DAGA per E-Mail an *tagungen@dega-akustik.de* angemeldet werden.

Es sollten möglichst keine eigenen Laptops zur Präsentation verwendet werden.

Zentrale Medienannahme

Vortragende werden gebeten, ihre Präsentation auf USB-Stick spätestens 30 Minuten vor Beginn der Vortragssitzung in der zentralen Medienannahme aufzuspielen (Niedersachsenhalle A, EG, siehe Innenumschlag hinten). Fachpersonal steht zur Unterstützung bereit.

In der Medienannahme können die Präsentationen auf korrekte Darstellung und Kompatibilität mit der installierten PowerPoint-Version geprüft werden. Es ist darauf zu achten, dass die verwendeten Speichermedien virenfrei sind.

Bei PowerPoint-Präsentationen empfehlen wir, zusätzlich sicherheitshalber eine rechnerunabhängige Variante zu erstellen (z.B. per „Exportieren“ - „Bildschirmpräsentation für CD verpacken“).

Weiterhin wird es die Möglichkeit geben, die Präsentation vorab über die DAGA-Webseite hochzuladen, um zeitliche Engpässe vor Ort zu vermeiden. Nähere Informationen dazu haben die Autoren in ihrer Acceptance-E-Mail erhalten.

Posterausstellung

Die Posterausstellung hat als Diskussionsforum während der Tagung einen hohen Stellenwert.
Sie besteht aus dem **Posterforum** (Zeiten s.u. im Kästchen) sowie einer **Kurzvorstellung** (1 Minute) innerhalb einer thematisch passenden Sitzung. Die Posterkurzvorträge sind in den tabellarischen Übersichten ab Seite 14 integriert. Im Anschluss an die Kurzvorträge wird die Möglichkeit zur intensiven Diskussion an den Postern geboten.

Darüber hinaus werden die Autoren gebeten, für Fragen und Diskussionen am jeweiligen Tag des Kurzvortrags bei ihren Postern zur Verfügung zu stehen, und zwar an folgenden Terminen:

Dienstag (17.03.2020),	15:20 - 16:00 Uhr	(S. 14-15)
Mittwoch (18.03.2020),	16:00 - 16:40 Uhr	(S. 18-21)
Donnerstag (19.03.2020),	11:00 - 11:40 Uhr	(S. 22-23)

Poster zu den Themen Lärm (am Arbeitsplatz), Fahrzeugakustik und Strömungsakustik: Oberes Foyer (1. OG neben dem Bonatzsaal). Alle weiteren Themen: Glasgang (EG, neben der Niedersachsenhalle)

Alle Teilnehmer der Tagung sind eingeladen, dieses Forum zu nutzen und mit den Autoren über ihre Arbeiten zu diskutieren.

Die Poster werden durchgängig ausgestellt. Wir bitten die Autoren, ihre Poster am Dienstag bis 10:00 Uhr aufzuhängen und am Donnerstag spätestens um 17:00 Uhr abzuhängen.

Das Format der Poster ist DIN-A0 hochkant. In der weiteren Gestaltung sind die Autoren frei. Stellwände und Befestigungsmaterial wird gestellt. Im Tagungsband wird einer Poster-Präsentation der gleiche Umfang eingeräumt wie einem mündlichen Beitrag.

Posterpreis

Die besten Poster werden mit einem Posterpreis ausgezeichnet. Die Bewertung erfolgt durch eine Jury, und die Bekanntgabe der Preisträger(innen) ist für Donnerstag vor dem Plenarvortrag vorgesehen.

Zur Bewerbung um den Posterpreis werden alle interessierten Poster-Autor(inn)en gebeten, ihr Poster in Form einer PDF-Datei bis spätestens **Montag, den 09.03.2020 per E-Mail an die DEGA-Geschäftsstelle** zu senden (dega@dega-akustik.de).

Voraussetzung für die Preisvergabe ist, dass das Poster während der DAGA-Tagung tatsächlich präsentiert wird.

Copyshop in Hannover für den A0-Posterdruck

- City Copy Shop
  Öffnungszeit: 8 - 18 Uhr
  Kurt-Schumacher-Straße 18
  www.citycopyshop.de
- druckteam
  Öffnungszeit: 9 - 18 Uhr
  Callinstraße 4
  www.druckteam.de
- Druck- & Servicecenter Hannover
  Öffnungszeit: 8 - 19:30 Uhr
  Sallstraße 76 / Ecke Geibelstraße
  www.druckservicecenter-hannover.de

Wichtige Fristen zur DAGA 2020

- 15. Februar 2020: letzter Termin zur Einreichung eines Late Posters
- 09. März 2020: Einsendeschluss für Bewerbungen für die DAGA-Posterprämierung (siehe S. 41)
- 12. März 2020 ***(verlängerte Frist)***: letzter Termin zur Anmeldung eines Beitrags für die Veranstaltung „Research in short(s)“ (siehe S. 29)
- 31. März 2020: letzter Termin zur Manuskript-Einreichung

  Bitte beachten Sie die Instruktionen und Vorlagen unter www.daga2020.de/autoren
- April 2020: E-Mail-Versand der Zugangsdaten zum Online-Tagungsband

Aussteller und Sponsoren

Herzlichen Dank an unsere Sponsoren:

Platin-Sponsoren

Sennheiser electronic GmbH &Co. KG

Regupol BSW GmbH

Gold-Sponsoren

Region Hannover Wirtschaftsförderung

Norsonic-Tippkemper GmbH

Silber-Sponsor

HEAD acoustics GmbH

Bronze-Sponsoren

Ecophon Deutschland GmbH

Müller-BBM Group

Weitere Sponsoren: GTA - Gesellschaft für Technische Akustik mbH; G.R.A.S. Sound & Vibration; Alara-Lukagro GmbH

Tagungsbegleitende Ausstellung

- 17. bis 19. März 2020, Foyerbereiche, Niedersachsenhalle -

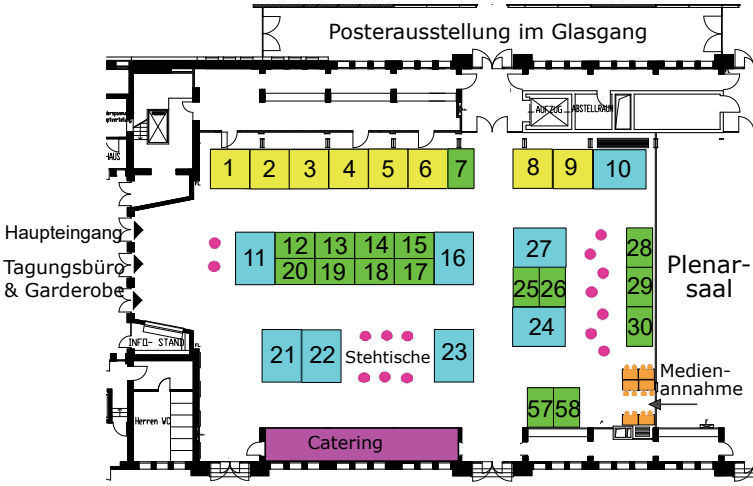
Ausstellerliste (die Standnummern stehen in Klammern):

- ACOEM GmbH (15)
- ADMESS Vertriebs GmbH (29)
- Airflow Lufttechnik GmbH (28)
- Akustikbüro K5 GmbH (12)
- Alara-Lukagro GmbH (26)
- AMC S.A. (11)
- BASF SE (8)
- BASWA acoustic Deutschland GmbH (1)
- Bertrandt AG (59)
- CAE Software und Systems GmbH (7)
- Calenberg Ingenieure GmbH (54)
- Cirrus Research plc. (58)
- d&b audiotechnik GmbH & Co. KG (40)
- DataKustik GmbH (5)
- DEKOZELL GmbH + Co. KG (13)
- DEWEsoft Deutschland GmbH (37)
- Driesen & Kern GmbH (51)
- Ecophon Deutschland GmbH (53)
- Fraunhofer-Institut für Digitale Medientechnologie IDMT (18)
- G.R.A.S.-Tippkemper GmbH (4)
- Gerriets GmbH (20)
- Gesellschaft für Akustikforschung Dresden (32)
- Getzner Werkstoffe GmbH (9)
- gfai tech GmbH (25)
- HBT-ISOL GmbH (6)
- HEAD acoustics GmbH (21)
- Hexagon - Free Field Technologies (50)
- IAC Acoustics Deutschland GmbH (19)
- IAV GmbH (52)
- imc Test & Measurement GmbH (34)
- Kistler Instrumente GmbH (39)
- Köchel Verifications GmbH (44)
- M Plan GmbH (49)
- m+p international Mess- und Rechnertechnik GmbH (38)
- Microflown Technologies B.V. (46 und 47)
- Microtech Gefell GmbH (33)
- Müller-BBM Group (27)
- Norsonic AS (3)
- Norsonic-Tippkemper GmbH (2)
- Novicos GmbH (10)
- Nti Audio GmbH (24)
- ODEON A/S (14)
- Oros GmbH (56)

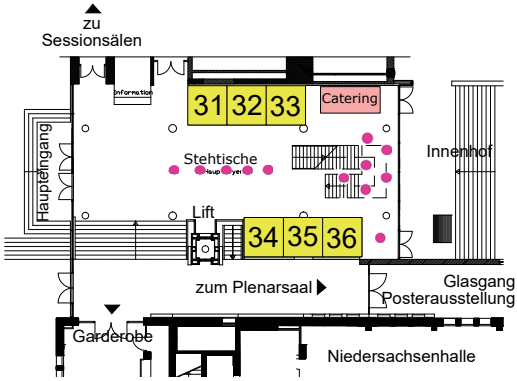
- PCB Synotech GmbH (42)
- Polytec GmbH (45)
- Qsources BVBA (43)
- Region Hannover - Hörregion (55)
- Regupol BSW GmbH (23)
- RTE Akustik + Prüftechnik GmbH (57)
- Sennheiser electronic GmbH & Co. KG (41)
- SINUS Messtechnik GmbH (31)
- SONOTEC GmbH (36)
- SoundPLAN GmbH (22)
- Soundtec GmbH (48)
- SPEKTRA GmbH Dresden (30)
- Stapelfeldt Ingenieurgesellschaft mbH (35)
- SVANTEK Deutschland GmbH (16)
- TU Chemnitz, Institut für Print- und Medientechnik (60)
- Wölfel Engineering GmbH & Co. KG (17)

Übersichtspläne zur Ausstellung

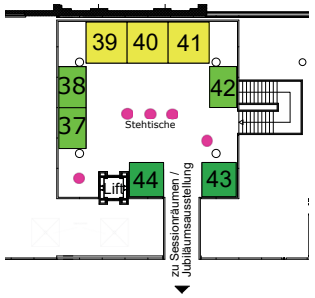
Niedersachsenhalle



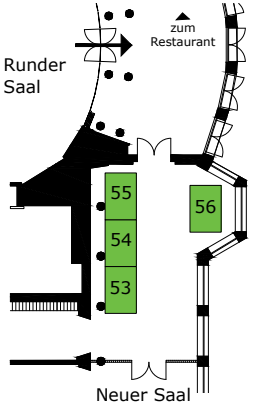
Hauptfoyer im Erdgeschoss



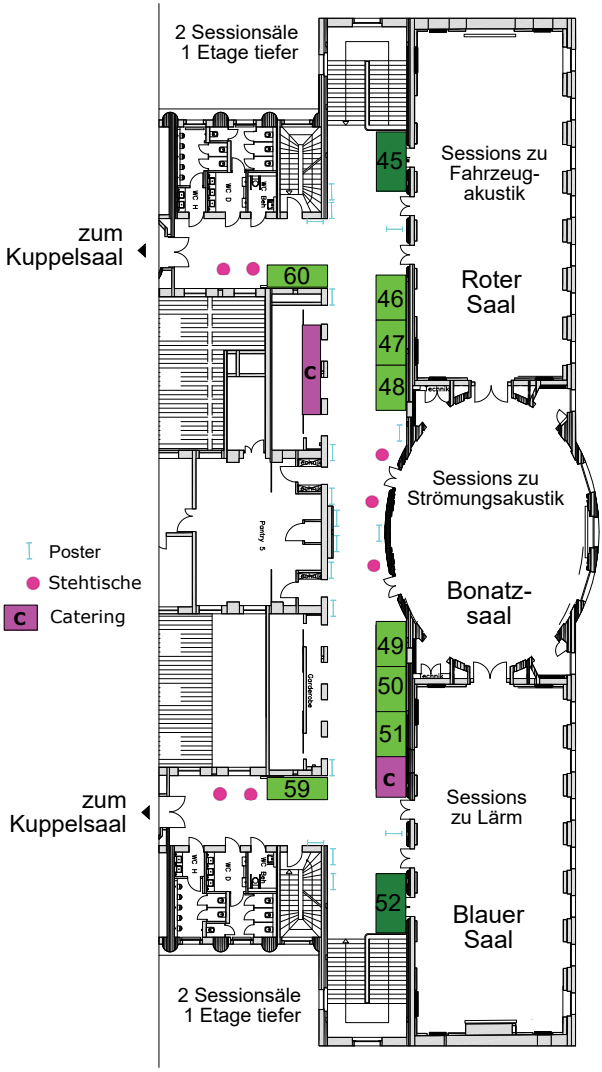
Hauptfoyer im Obergeschoss



Foyer der unteren Säle



Foyer der oberen Säle



Stellenanzeigen und Auslage von Werbung

Am Tagungsort dürfen Stellenanzeigen (A4-Format) nur am zentralen schwarzen Brett neben dem Tagungsbüro ausgehängt werden.

Werbeauslagen auf den Cateringflächen und Stehtischen sind nicht erwünscht und werden unverzüglich entsorgt.

Auszeichnungen der DEGA

Helmholtz-Medaille für Prof. Reinhard Lerch

Die Helmholtz-Medaille der Deutschen Gesellschaft für Akustik wird im Jahr 2020 an Prof. Dr.-Ing. Reinhard Lerch verliehen. Er erhält die Medaille als Anerkennung für seine herausragenden Beiträge zu Forschung und Lehre auf vielfältigen Gebieten der Technischen Akustik.

Nach seiner Promotion an der TU Darmstadt zum Thema „Piezopolymer-Mikrofone“ ging er zunächst für 10 Jahre als Mitarbeiter der Siemens AG an das Forschungszentrum Erlangen. Im Jahr 1991 nahm er den Ruf an die Johannes-Kepler-Universität Linz an. Dort wurde er Vorstand des Instituts für Elektrische Messtechnik, und er war einer der Gründungsväter des ersten Mechatronik-Ingenieurstudienganges im deutschsprachigen Raum. 1999 erfolgte der Ruf an die Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, wo er bis September 2019 den Lehrstuhl für Sensorik (LSE) geleitet hat. Im Jahr 2015 wurde er auch Direktor des Erlanger Siemens-„Center of Knowledge Interchange“. Ehrenamtlich hat er sich vor allem im Vorstand der Informationstechnischen Gesellschaft (ITG) im VDE engagiert. Auch im IEEE und im Fachverband für Automatisierungstechnik hat er verschiedene Ämter innegehabt, und er hat die Tagung DAGA 2015 mit organisiert.

Das Spektrum seiner fachlichen Schwerpunkte reicht von der numerischen Simulation gekoppelter Feldprobleme mit Schwerpunkt Vibro- und Strömungsakustik bis hin zur Entwicklung mechatronischer Sensoren und Aktoren im Bereich der Akustik (Hörgeräte) und Ultraschalltechnik. Vor allem seine Forschungsarbeiten im Bereich der piezoelektrischen Wandlertechnik für Ultraschall-Bildgebungssysteme haben international Maßstäbe gesetzt.

Neben seinem weit verbreiteten Vorlesungs- und Übungsbuch zur elektrischen Messtechnik hat er vor allem mit dem Buch „Technische Akustik - Grundlagen und Anwendungen“ gemeinsam mit seinen Ko-Autoren Sessler und Wolf ein umfassendes Standardwerk herausgebracht.

Unter seinen bisherigen Auszeichnungen findet sich der Preis der ITG (1983), der Outstanding Paper Award des IEEE (1990), der Johann-Philipp-Reis-Preis der ITG (1991), der BMW Scientific Award (1997) und der Distinguished Service Award des IEEE (2009). Zudem wurde er 2012 zum IEEE Fellow ernannt.

Die Deutsche Gesellschaft für Akustik freut sich, Reinhard Lerch für sein umfangreiches Schaffen in Forschung und Lehre mit der Helmholtz-Medaille auszeichnen zu können.

Der Vorstand der DEGA

Lothar-Cremer-Preis für Dr. Kai Siedenburg

Der Lothar-Cremer-Preis der Deutschen Gesellschaft für Akustik wird im Jahr 2020 an Dr. Kai Siedenburg verliehen. Herr Siedenburg erhält diesen Preis für junge Nachwuchswissenschaftler als Anerkennung für seine wegweisenden Arbeiten auf den Gebieten der Psychoakustik und Musikwahrnehmung.

Nach seinem Studium der Mathematik und Musikwissenschaft an der Humboldt-Universität zu Berlin wechselte Kai Siedenburg für seine Promotion an die McGill University in Montreal (Kanada). Seine interdisziplinären Forschungsarbeiten zur Wahrnehmung der musikalischen Klangfarbe führten zu einer erfolgreichen Dissertation und zu mehreren angesehenen Publikationen. Durch die Kombination von Methoden der kognitiven Psychologie und der akustischen 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-Doc zur Psychoakustik und Musikpsychologie und hat hierbei mehrmals eigene Forschungsmittel akquiriert: Nach einem Marie-Sklodowska-Curie-Fellowship der EU ermöglicht ihm ein kürzlich erworbener Freigeist-Fellowship der Volkswagen-Stiftung, in den nächsten fünf Jahren eine eigene Forschungsgruppe aufzubauen. Schwerpunkt dabei ist die Musikwahrnehmung von Menschen mit Schwerhörigkeit. Darüber hinaus hat er die Organisation von Fachkonferenzen vorangetrieben, und er ist Herausgeber eines Springer Handbooks of Auditory Research.

So hat sich Kai Siedenburg zu einem interdisziplinären Forscher entwickelt, der die besten Voraussetzungen selbst geschaffen hat, seine internationale wissenschaftliche Karriere erfolgreich fortzuführen. Die DEGA freut sich, ihn hierfür mit dem Lothar-Cremer-Preis auszuzeichnen.

Der Vorstand der DEGA

DEGA-Studienpreise

Mit dem DEGA-Studienpreis zeichnet die DEGA herausragende Abschlussarbeiten (Master, Bachelor, Diplom, Magister etc.) auf dem Gebiet der Akustik aus. Die Preisträgerinnen im Jahr 2020 sind:

- **M.Sc. Anne Heimes** für ihre Masterarbeit
  „Filter Design for Sound Insulation Auralization“
  an der RWTH Aachen (siehe Vortrag S. 236)
- **B.Sc. Liv Moretto Sørensen** 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 (siehe Vortrag S. 348)

DEGA Student Grants

Die DEGA vergibt wieder Zuschüsse zum Besuch der DAGA-Tagung, um jungen Akustikerinnen und Akustikern die Teilnahme zu erleichtern. Zur DAGA 2020 werden einen „DEGA Student Grant“ erhalten:

- Andrea Ebner, München (Vortrag S. 267)
- Felix Enghofer, München (Vortrag S. 257)
- Anton Huber, Rosenheim (Vortrag S. 125)
- Mirco Jonkeren, Hasbergen/Hannover (Poster S. 90)
- Lukas Klähn, Berlin (Vortrag S. 165)
- Fleming Kohlenberg, Berlin (Vortrag S. 164)
- Dorothea Lincke, Aalto/Berlin (Vortrag S. 335)
- Christopher Mai, Cottbus (Poster S. 221)
- Mattes Ohlenbusch, Oldenburg (Poster S. 175)
- Thomas Roloff, Braunschweig (Vortrag S. 218)
- Johannes Schmid, München (Vortrag S. 178)
- Jonas Schmid, München (Vortrag S. 192)
- Tobias Wilczek, Berlin (Vortrag S. 321)
- Liesa Zimmermann, Berlin (Vortrag S. 188)

Driesen + Kern

Schallpegelmessgeräte

für Lärmanalysen & perfekte Raumakustik

Features

- Für Außenbereiche und Innenräume
- Mit Oktav- u. Terzbandfilter
- Optional: Messung der Nachhallzeit gemäß ISO 3382:1997
- Gerichtsfeste Messungen durch PTB-Eichzulassung
- Aufzeichnung der statistischen Ln-Werte

Besuchen Sie uns gerne auf unserem Messestand Nr. 51

info@driesen-kern.de · Tel. 04192 / 8170-0 · www.driesen-kern.de

Plenarvorträge

Di. 10:30 Kuppelsaal Plenarvorträge Dienstag

Symbiose von Computersimulation und Experiment bei der Entwicklung akustischer Systeme

Reinhard Lerch
(Empfänger der Helmholtz-Medaille)
Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Sensorik

Die Entwicklung von (elektro-)akustischen Komponenten und Systemen, z. B. elektroakustischen Wandlern, basiert heute zunehmend auf Computersimulationen. Diesen Computersimulationen liegen zum Teil sehr ausgereifte Modellierungs- und numerische Berechnungs-Verfahren zugrunde, z. B. dedizierte Finite-Elemente-Analysen, die mittlerweile eine sehr präzise Vorhersage des akustischen Verhaltens selbst auch von komplexen Szenarien erlauben. Nachdem im Entwicklungs- und Optimierungs-Prozess von (elektro-)akustischen Komponenten in den letzten beiden Jahrzehnten das Virtual Prototyping Einzug gehalten hat, stellt sich die Frage nach den heutigen und künftigen Grenzen dieser Methodik. Im Vortrag wird daher exemplarisch über eine Reihe von repräsentativen Projekten berichtet, bei denen die rein auf Computersimulation abgestellte Entwicklung zum Scheitern verurteilt war und vielmehr erst das Hinzuziehen von Experimenten zum Erfolg führte. Anhand dieser Projektbeispiele soll der künftige Weg einer solchen hybriden Methodik (Computersimulation und Experiment) bei der Lösung von Problemstellungen aus dem Bereich der Technischen Akustik aufgezeigt werden. In diesem Zusammenhang wird auch der jeweilige Aufwand an Ressourcen bezüglich Hard- und Software sowie Personal für Simulation einerseits und Experiment andererseits diskutiert. Auch die Minimierung des Gesamtaufwands im Hinblick auf industrielle Entwicklungen wird erörtert.

Di. 11:15 Kuppelsaal Plenarvorträge Dienstag

Die Farbe macht die Musik: Akustische und perzeptuelle Merkmale der Klangfarbenwahrnehmung

Kai Siedenburg
(Empfänger des Lothar-Cremer-Preises)
CvO Universität Oldenburg, Dep. Medizinische Physik und Akustik

Die bemerkenswerten Fähigkeiten einem Musikinstrument in einem Ensembleklang zu folgen, den Charakter eines Klangs zu beurteilen (z.B. als ”schrill”, ”hell”, ”metallisch”, etc.) oder eine Person anhand ihrer Stimme zu erkennen, basieren zu einem großen Teil auf der perzeptuellen Verarbeitung von Klangfarben. Formal meist definiert als Überbleibsel von Tonhöhe und Lautheit, sammeln sich unter dem Begriff der Klangfarbe (Timbre) elementare Aspekte des Hörens. Für die Klangfarbe relevante akustische Merkmale werden insbesondere in der Form

der spektrotemporalen Einhüllenden von Signalen verortet. Durch Entwicklungen in der Klangsynthese, Musikkomposition und Produktion sowie im Sounddesign ist Klangfarbe zu einem zentralen Steuerungsparameter in der Akustik geworden. Dieser Vortrag fasst neueste Forschung zu den akustischen und perzeptuellen Merkmalen der Klangfarbenwahrnehmung zusammen. Die problematische Definition von Klangfarbe wird diskutiert und präzisere begriffliche Unterscheidungen werden vorgestellt. Klassische und neue Arbeiten zur Ähnlichkeitswahrnehmung von Klängen westlicher Orchesterinstrumente werden präsentiert und die zugrundeliegenden akustischen Merkmale untersucht. Ein besonderes Augenmerk wird auf den Aspekt der sogenannten auditorischen Helligkeit als eine der wichtigsten Komponenten der Klangfarbe gelegt. Es wird gezeigt, dass die klassische Shepard-Illusion (unendlich an/absteigende Folge von Tonhöhen) und deren Kontextabhängigkeit auf den Bereich der Helligkeitswahrnehmung von Klängen erweitert werden kann, was interessante Fragen zum Verhältnis von Tonhöhe und Klangfarbe aufwirft.

Di. 17:40 Kuppelsaal Plenarvorträge Dienstag

Musik hören als konstruktive neuronale Modellierung

Eckart Altenmüller

Hochschule für Musik, Theater und Medien Hannover

Klänge und Musik hören und emotional erleben ist ein aktiver, Bedeutung konstruierender Vorgang. Musik wahrnehmen ist daher immer auch Gehörbildung und auditives Lernen, das von neuroplastischen Veränderungen der Hirnfunktion und -Struktur begleitet ist und als neuronale Modellbildung mit Erzeugung von Erwartungen und deren Befriedigung oder Täuschung verbunden ist. Dabei ist jede anspruchsvolle Klangwelt, - aus jedem Musikgenre -, zunächst fremd, komplex, und unerschöpflich. Im Prozess des Hörens erschließt sich non-verbal das Werk. Vertrautes taucht aus dem Nebel der Klangwolken auf, wandelt in Metamorphosen seine Gestalt (ein ”Thema” erscheint z.B. als ”Variation” in einem anderen ”Tongeschlecht”) ermutigt zum Ordnen, schafft nach und nach Sicherheit und gibt uns schließlich die befriedigende Gewissheit, etwas Neues erlernt zu haben. Die Überführung von Unsicherheit in Sicherheit, von Fremdem in Vertrautes kann uns in rauschähnliche Zustände, in Flow und Glück versetzen. In meinem Vortrag werde ich die Neurobiologie dieser Vorgänge erläutern, und insbesondere auf die Ergebnisse der neuen neuronalen Netzwerkanalysen und auf die Implikationen der Erkenntnisse für emotionale Wahrnehmung von Klängen und für ästhetische Konzepte eingehen.

Do. 11:40 Niedersachsenhalle B Plenarvortrag Donnerstag

Musikalische Akustik und Virtuelle Realität - wissenschaftliche Forschung an der mdw, der Universität für Musik und darstellende Kunst Wien

Wilfried Kausel
Universität für Musik und darstellende Kunst Wien

Die musikalische Akustik war immer schon ein multidisziplinäres Forschungsgebiet, das Vibroakustik, Aeroakustik, Raumakustik, Messtechnik, Signalverarbeitung, Klanganalyse, physiologische Akustik und Psychoakustik in sich vereint. Derzeit scheinen sich aber die Schwerpunkte von der physikalischen in die virtuelle Realität zu verschieben. Anfänglich ging es um das Verstehen der physikalischen Zusammenhänge, die mit der Klangentstehung in den verschiedenen Musikinstrumenten verknüpft sind. Später rückte die Qualität von Musikinstrumenten und von musikalischen Klängen ins Zentrum des Interesses und man begann, mit Hilfe von Computermodellen Klang- und Spieleigenschaften aus Bauplänen und Materialeigenschaften zu berechnen. Das ermöglichte die Computeroptimierung von Musikinstrumenten und eröffnete dem Instrumentenbau damit die Möglichkeit, gewünschte Eigenschaften ohne kosten- und zeitintensive Versuchsreihen zu erzielen. Auch die Rekonstruktion von Geometrie- und Materialparametern sowie die Klangsynthese virtueller Instrumente rückte in den Bereich der Möglichkeiten. Die Berechnung realistischer Schallfelder in der Virtuellen Realität erfordert schließlich Modelle für die räumliche Schallabstrahlung sowie die Adaptierung von raumakustischen Simulationsverfahren für leistungsfähige massiv parallele GPU Architekturen, um jene Echtzeitfähigkeit realistisch werden zu lassen, die der Besucher eines virtuellen Orchesterkonzertes benötigt oder die gemeinsames Musizieren an mehreren Orten der Welt möglich macht. Die Forschungsprojekte am Institut für musikalische Akustik der mdw während dessen 40-jährigen Bestehens spiegeln die Evolution dieses Fachgebietes sehr gut wider.

For reliable and repeatable measurements the first time, every time!

High-performance NVH microphones from GRAS cover all your needs

Stand #4

www.gras.dk

GRAS Sound & Vibration

Vorkolloquium Design for Acoustics

Mo. 13:00 Blauer Saal Vorkolloquium: Design for Acoustics

Begrüßung

Mo. 13:05 Blauer Saal Vorkolloquium: Design for Acoustics

Design for Acoustics - Premises and Fields of Research

David Inkermann[a], Tobias Huth[b] und Thomas Vietor[c]
[a] *Technischen Universität Clausthal;* [b] *Technische Universität Braunschweig;* [c] *TU Braunschweig, Institut für Konstruktionstechnik*

Design for X means to fit a product to certain life cycle phases or to focus upon certain properties like acoustics. Therefore, methods and tools to handle conflicting requirements are provided within DfX. The core of a DfX approaches in most cases is a set of principles, telling how to design the product in accordance with activities and systems in the product's life. In order to originate a Design for Acoustics methodology we will analyse established DfX approaches like Design for Assembly to discuss requirements and fields of further research. Starting from a system perspective defining basic properties and classes of relations relevant for the acoustic behaviour, models and design activities affecting acoustics will be discussed. Aside from methodical and technical issues like computer support and the management of knowledge and information, requirements and skills to be addressed by engineers will be highlighted. Based on the analysis premises and fields for research towards a Design for Acoustics methodology and its integration into engineering design will be formulated.

Mo. 13:30 Blauer Saal Vorkolloquium: Design for Acoustics

Design for Acoustics - Entwickeln und Konstruieren in einem akustik-gerechten Produktentstehungsprozess

Sabine C. Langer und Sebastian Rothe
TU Braunschweig, Institut für Akustik

Dieser Beitrag zeigt auf, dass ein Paradigmenwechsel von der Lärmbekämpfung hin zum akustikgerechten Produktentstehungsprozess (Design for Acoustics) notwendig ist und wie dieser gelingen kann. Der von einem Produkt potentiell unerwünscht ausgehende Schall ist als Lärm eine unmittelbar wahrnehmbare Belastung der Umwelt und des Menschen. Möglichkeiten zur Vermeidung und Verminderung von Lärm wurden über Jahrzehnte in der Disziplin des Lärmarmen Konstruierens erforscht, gesammelt und erweitert. Die Regeln und die Vorgehensweisen sind hierbei zum Teil symptomatisch und greifen häufig erst spät, z.B. in der Entwurfsphase, „lärmbekämpfend" in die Produktentwicklung ein. Änderungen am Produkt bezüglich der häufig allenfalls als Nebenbedingung definierten akustischen Eigenschaften, haben hohe Änderungskosten zur Folge. Für ein intrinsisches akustisches Design eines Produktes muss hingegen bereits in der Produktplanung und anschließend

fortlaufend in jeder Phase des Produktentstehungsprozesses akustikgerecht entwickelt und konstruiert werden. In diesem Beitrag wird gezeigt, wie ein solcher Paradigmenwechsel realisiert werden kann und welche Herausforderungen für einen solchen Wandel zu bewältigen sind. Hierzu werden verschiedene akustikgerechte Entwicklungs- und Konstruktionsschritte beschrieben, die einen akustikgerechten Produktentstehungsprozess – ein Design for Acoustics – möglich machen.

Mo. 13:55 Blauer Saal Vorkolloquium: Design for Acoustics

Beiträge der Maschinenakustik zu einem Design for Acoustics

Christian Adams[a], Joachim Bös[b,c] und Tobias Melz[a,d]
[a] *TU Darmstadt, Fachgebiet SAM;* [b] *Fraunhofer IDMT;* [c] *TU Ilmenau, Industrielle Anwend. von Medientechnologien;* [d] *Fraunhofer LBF*

In der Maschinenakustik werden Methoden entwickelt, mit denen die Geräuschqualität von Maschinen sowohl auf der Komponenten- als auch auf der Systemebene verbessert werden soll. Zum einen müssen akustikrelevante Maschinenrichtlinien eingehalten werden. In der Maschinenakustik werden dazu bevorzugt primäre Schallminderungsmaßnahmen ergriffen, die den Schall bereits an der Quelle reduzieren. Zum anderen sollen die akustischen Eigenschaften von Produkten zunehmend gezielt ausgelegt werden (Design for Acoustics), wobei insbesondere in frühen Phasen der Produktentwicklung Entscheidungen über die akustische Auslegung getroffen werden sollen. Hierzu müssen Modelle entwickelt werden, die die akustischen Eigenschaften bereits in frühen Phasen der Produktentwicklung abbilden können. Gleichzeitig müssen solche Modelle effizient prognostizieren können, wie sich Parameteränderungen auf die akustischen Eigenschaften auswirken. So können Produkte in frühen Phasen der Produktentwicklung akustisch gestaltet werden. Dieser Beitrag zeigt aktuelle Forschungsarbeiten am Fachgebiet SAM der Technischen Universität Darmstadt, die zu einem Design for Acoustics beitragen, beispielsweise durch eine effiziente akustische Modellierung von Fahrzeugstrukturen, die Anwendung von Modellgesetzen oder den Einsatz von Maschinellem Lernen zur Modellierung schwingungsfähiger Systeme. Mehrere praxisnahe Beispiele zeigen, dass die in der Grundlagenforschung entwickelten Methoden auch in der industriellen Praxis angewendet werden können. Abschließend sollen Ideen für zukünftige Forschungsthemen im Kontext Design for Acoustics skizziert und gemeinsam mit dem Auditorium diskutiert werden.

Mo. 14:35 Blauer Saal Vorkolloquium: Design for Acoustics

Auralisation in der virtuellen Produktentwicklung als Werkzeug für 'Design for Acoustics'

Christoph Sladeczek[a], Bernhard Fiedler[a], Sandra Brix[a] und Joachim Bös[a,b]

[a] *Fraunhofer IDMT;* [b] *TU Ilmenau, Industrielle Anwend. von Medientechnologien*

In der industriellen Produktentwicklung werden akustische Produkteigenschaften heutzutage leider immer noch viel zu selten von Anfang an konsequent berücksichtigt und gezielt modelliert ("designt"). Dies liegt u. a. daran, dass es bislang nicht so einfach möglich ist, die Auswirkungen von Designänderungen auf die Geräuschentstehung unmittelbar hörbar und somit erlebbar zu machen. Hingegen kann man mithilfe gängiger CAD-Software relativ einfach sehr realistisch wirkende Visualisierungen, d. h. optische Darstellungen des künftigen Produkts, erzeugen. Hier setzt die sog. Auralisation, also die "Hörbarmachung" akustischer Produkteigenschaften, an. Numerische Simulationsdaten werden hierbei nicht nur wie üblich durch Falschfarbendarstellungen visualisiert, vielmehr werden räumliche Tonwiedergabeverfahren verwendet, um diese Daten direkt hörbar zu machen. Dabei spielt nicht nur die Simulation des strukturdynamischen und vibroakustischen Produktverhaltens, also der eigentlichen Geräuschquelle, eine wichtige Rolle, sondern auch eine realitätsnahe Berücksichtigung der akustischen Raum- und Umgebungseigenschaften. So ist es möglich, das Produkt für den selben Betriebszustand in unterschiedlichen Umgebungen zu erleben, um die psychoakustische Rückwirkung auf den empfundenen Produktklang direkt evaluieren zu können.

Der Beitrag beschreibt Anwendungsfälle, für die akustische Produkteigenschaften erfolgreich auralisiert werden konnten, und stellt die Herausforderungen dar, die einer breiten Anwendung dieses nützlichen Werkzeuges als Unterstützung beim "Design for Acoustics" derzeit noch im Wege stehen.

Mo. 15:00 Blauer Saal Vorkolloquium: Design for Acoustics

Prognose von Knarzgeräuschen mit Hilfe der Methode der Harmonischen Balance

Lukas Utzig[a,c], Arno Fuchs[b], Konrad Weisheit[a,c] und Steffen Marburg[c]

[a] *BMW Group;* [b] *ARRK Engineering;* [c] *TU München, Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme*

Hörbare Geräusche im Fahrzeuginnenraum tragen wesentlich zum Qualitätsempfinden eines potenziellen PKW Käufers bei. In den letzten Jahren wurden insbesondere unerwünschte Antriebs-, Motor- und Windgeräusche stetig reduziert. Dadurch treten bei der Entwicklung des Fahrzeuginterieurs immer mehr Störgeräusche in den Vordergrund. Diese müssen abgestellt werden, um eine angemessene Produktqualität zu

erreichen. Zur Prognose solcher Geräusche wurden bereits Simulationsverfahren auf Basis linearer Theorien entwickelt und sind Stand der Technik. Diese Berechnungen haben das Ziel, möglichst früh im Produktentwicklungsprozess Aussagen über das Störgeräuschrisiko zu treffen. Zur Prognose von Knarzgeräuschen im Speziellen liefern diese Methoden jedoch unzureichend genaue Ergebnisse, weshalb erste nichtlineare Verfahren unter Verwendung der Methode der Harmonischen Balance entwickelt wurden. Im Rahmen dieser Arbeit werden an einem Prüfstand Schwingungsmessungen an einer Türverkleidung durchgeführt. Parallel dazu wird ein 3d Finite-Elemente-Modell zur Vorhersage der vibroakustischen Eigenschaften aufgebaut und validiert. Dabei kommt die Methode der Harmonischen Balance zum Einsatz. Der Kontaktbereich wird mit Hilfe von Coulombscher Reibung beschrieben. Die physikalische Abbildung der Kontaktstelle ermöglicht es, die nichtlineare Systemantwort zu berechnen und damit eine Aussage bezüglich der abgestrahlten Schallleistung des Systems zu treffen. Somit kann das Auftreten von Knarzgeräuschen in frühen Phasen des Produktentwicklungszyklus bewertet werden.

Mo. 15:25 Blauer Saal Vorkolloquium: Design for Acoustics

Urban Sound Planning

Wolfgang Kropp, Jens Forssén und Laura Estévez Mauriz
Chalmers University of Technology

In any development project we have a unique chance to do everything right from the very beginning. This also is true for the design of our acoustic environment in urban development projects. However, often we fail to take this very first chance due to different reasons. First, the complexity to handle the sound environment in our cities demands a transdisciplinary approach to master the planning process of an urban acoustic environment with all its related aspects. Second, a key issue for such holistic urban planning is the successful communication between all people involved in the process, whereby tools and methods for communication are needed beyond todays state of the art. Third, one rarely finds acoustic experts mastering the whole spectrum of knowledge and tools inside the field of acoustic sound planning needed for such a task. The paper presents experiences and results from SONORUS, a European Training Network for young researches. The paper demonstrates methodologies and tools that could help to reach a state where the acoustic environment is part of the urban planning from the very beginning.

Vorkolloquium Immersive Audioverfahren, Elektroakustik und Audiologie

Mo. 13:00 Roter Saal Vorkolloquium: Immersive Audioverfahren

Begrüßung

Mo. 13:05 Roter Saal Vorkolloquium: Immersive Audioverfahren

Towards Immersive Distributed Performances

Robert Hupke, Marcel Nophut, Stephan Preihs und Jürgen Peissig
Leibniz Universität Hannover, Institut für Kommunikationstechnik

Networked Music Performances (NMP) have been a frequent topic in the audio community for decades and are enjoying increasing interest due to the availability of new mobile communications and network technology. Within the project ”Live Interactive PMSE Services” (LIPS) the Institute of Communications Technology (IKT) investigates novel concepts for NMPs aiming at the immersive audiovisual linking of live events at different geographic locations. This talk presents previous research in the field of NMP and discusses new approaches extending distributed performances by techniques of virtual acoustics and spatial audio reproduction. Topics to be covered in this talk are musical synchronicity of musicians, spatial audio recording and playback, as well as multichannel acoustic echo cancellation within a NMP.

Mo. 13:30 Roter Saal Vorkolloquium: Immersive Audioverfahren

Impact of Reverberation and Head Movement on Externalization of 3D sound images

Song Li, Roman Schlieper und Jürgen Peissig
Leibniz Universität Hannover, Institut für Kommunikationstechnik

Many studies have investigated the relationship between the amount of reverberation and the degree of externalization. In our current study, we have investigated the role of reverberation at each ear on perceived externalization. For a frontal sound source, the reverberation heard by both ears is equally important for externalization. However, the relative Influence of reverberation at the contralateral versus ipsilateral ear on externalization changes as the source moves laterally. Head movement is a critical dynamic cue that has been studied over the years. Several recent studies have shown that large head movements have an influence on perceived externalization, especially for frontal sound sources. In contrast, small head movements do not affect externalization. Based on these studies, we further investigated how the influence of head movements on externalization changes with different amounts of reverberation and movement trajectories. In this presentation, the impact of reverberation and head movement on perceived externalization will be discussed in depth.

Mo. 13:55 Roter Saal Vorkolloquium: Immersive Audioverfahren

Soundscape Reproduction for Qualitative Assessment

Jakob Bergner[a], Stephan Preihs[b] und Jürgen Peissig[b]

[a] *Leibniz Universtiät Hannover;* [b] *Leibniz Universität Hannover, Institut für Kommunikationstechnik*

The increasing availability of multi-channel microphone arrays, appropriate production tools as well as publishing platforms and formats simplifies the recording, production and reproduction of spatial sound fields and thus opens up novel fields of application for immersive audio. Besides the usage in music, arts and entertainment, immersive audio production is capable to contribute to many other application areas, for example to the conceptual field of soundscapes. A Soundscape is a construct of sound sources within an acoustic environment as well as an embedded context and including the human perception and thus combines physical, psychophysical and emotional components. It can exist as part of a situational and fugitive reality or as reproducible, technical representation of a real or virtual scenario, which can be utilized as reliable stimulus for perceptual assessment. Due to the multidimensional character of soundscapes, the recording, processing and reproduction is challenging in that way, that relevant perceptual properties have to be maintained during the whole processing chain. This lecture introduces the main concept of soundscapes with regard to the technical procedure of recording, processing and reproduction, including binaural reproduction via headphones and sound field reproduction with loudspeakers. It is embedded in general psychophysical considerations of situational sound perception and proposes current research strategies on this topic.

Mo. 14:20 Roter Saal Vorkolloquium: Immersive Audioverfahren

Headphone Characteristics and their Influence on the Externalization in Binaural Reproduction

Roman Schlieper, Song Li, Stephan Preihs und Jürgen Peissig

Leibniz Universität Hannover, Institut für Kommunikationstechnik

Three-dimensional (3D) audio reproduction via headphones is becoming increasingly popular due to the growing market for modern technologies such as Virtual Reality (VR) or Augmented Reality (AR). With the current trend towards new „smart“ products in the headphone segments equipped with Bluetooth, Active Noise Control and Hear-Through functionality, 3D audio is also making its way into the consumer market. This raises the question which characteristics of headphones are important for proper binaural synthesis and the associated externalization. To answer this question, we have measured and analyzed acoustical parameters of different types of headphones and stored them in a database. The analysis concentrates not only on the analysis of the absolute headphone transfer function (HpTF), but also on the inter- and intra-individual variability of the HpTF and the acoustic impedance. In addition, we conducted psychoacoustic experiments to investigate the influence of the acoustic

impedance of the headphones on the subjective perception of the own voice. This presentation is intended to give an overview of our current work. The individual headphone parameters, their measurement configuration and analysis will be discussed.

Mo. 15:00 Roter Saal Vorkolloquium: Immersive Audioverfahren

Enhancement of Interaural Level Differences and Binaural Band Selection Improves Sound Localization in Bilateral Cochlear Implant Users

Tom Gajecki und Waldo Nogueira
Medizinische Hochschule Hannover

Bilateral cochlear implant (BiCI) users have difficulties localizing sounds, mainly due to the distortion of interaural differences in level and in time (ILD and ITD). In this work, we aim at emphasizing ILD cues to improve sound source localization in BiCIs. In this work, an ILD enhancement method that emphasizes interaural differences in level to exploit the available electric dynamic range, and binaural band selection to keep coherent stimulating bands across ears are investigated to help BiCI listeners. Horizontal plane sound-source localization performance of five BiCI listeners was evaluated in a virtual sound field, under direct computer control of bilaterally synchronized stimulation. The results indicate that the participants were able to discriminate the direction of arrival more accurately for narrow azimuths when the ILD enhancement was applied, compared to the natural ILD and independently of binaural band selection. On the other hand, localization abilities improved for wider azimuths when using binaural band selection compared to independent band selection, regardless of whether ILD enhancement was applied or not. The outcomes of this work show that the proposed ILD enhancement method, besides binaural band selection, improves the localization of sound sources in the front horizontal plane.

Mo. 15:25 Roter Saal Vorkolloquium: Immersive Audioverfahren

Coding of Electrical Stimulation Patterns for Binaural Sound Coding Strategies for Cochlear Implants

Reemt Hinrichs[a], Tom Gajecki[b], Jörn Ostermann[a] und Waldo Nogueira[b]
[a]*Leibniz Universität Hannover;* [b]*Medizinische Hochschule Hannover*

Binaural sound coding strategies can improve speech intelligibility for cochlear implant (CI) users. These require a signal transmission between two CIs. As power consumption needs to be kept low in CIs, efficient coding or bit-rate reduction of the signals is necessary. In this work, it is proposed to code the electrical signals or excitation patterns (EP) of the CI instead of the audio signals captured by the microphones. For this purpose we designed a differential pulse code modulation based codec with zero algorithmic delay to code the EP of the advanced combination encoder (ACE) sound coding strategy for CIs. Our EP codec was compared to the G.722 64 kbit/s audio codec using the signal-to-noise ratio (SNR) as objective measure of quality. On two audio-sets the mean SNR

was 0.5 to 13.9 dB higher when coding the EP with the proposed coding method while achieving a mean bit-rate between 34.1 and 40.3 kbit/s.

Mo. 15:50 Roter Saal Vorkolloquium: Immersive Audioverfahren

Interactive Rendering of Virtual Acoustic Environments and its Applications in Audiology

Joanna Luberadzka[a], Giso Grimm[b] und Volker Hohmann[b]
[a] *CvO Universität Oldenburg;* [b] *CvO Universität Oldenburg, Dep. Medizinische Physik und Akustik*

Communication in everyday life is not a linear process from a sender to a receiver, but rather a feedback loop, containing the conversation partners and their behavior as well as the hearing device and the device user's behavior ("communication loop").Traditional lab-based experiments do not reflect this communication loop, which limits their ecological validity, i.e., the degree to which data and findings reflect real-life hearing-related function. Therefore, new evaluation methods which recreate this loop need to be developed for the ecologically valid evaluation of state of the art and future hearing devices. The basis of such methods is the interactive low-delay rendering of virtual acoustics. In this presentation, underlying rendering approaches and methods in the Toolbox for Acoustic Scene Creation and Rendering (TASCAR) are explained, and applications of this toolbox in the field of audiology are discussed.

Mo. 16:15 Roter Saal Vorkolloquium: Immersive Audioverfahren

A Computational Model of Auditory Nerve Fiber Responses to Electric-Acoustic Stimulation

Daniel Kipping und Waldo Nogueira
Medizinische Hochschule Hannover

Nowadays, it is often possible to preserve residual acoustic low-frequency hearing during the insertion of a cochlear implant (CI) in the same ear. Despite the benefits of the acoustic component, these CI users receiving combined electric-acoustic stimulation (EAS) also suffer from interactions between the two modalities. For instance, masking between electric and acoustic stimulation has been observed in auditory nerve fiber (ANF) spike trains in animals as well as in electrocochleography and psychophysical experiments in humans. To date, it remains unclear at which stage of the auditory pathway these masking effects arise (i.e. at the level of hair cells, the auditory nerve or more centrally). In this work we use a computational model to investigate the underlying interaction mechanisms in EAS users. Existing models simulate ANF spiking for sole acoustic or electric stimulation. We coupled a model of acoustically evoked spiking with a model of electrically induced spikes in order to simulate single-ANF responses to combined EAS. The results are largely consistent with experimental recordings from Miller et al. (2009) and Tillein et al. (2015).

Vorkolloquium Künstlerische Akustik mit Performance

Mo. 14:00 HMTMH, Saal 202 Vorkolloquium: Künstlerische Akustik

Begrüßung

Mo. 14:05 HMTMH, Saal 202 Vorkolloquium: Künstlerische Akustik

Zum Verwechseln ähnlich? - Simulationen von Instrumentenklängen

Nina Düvel und Reinhard Kopiez
Hochschule für Musik, Theater und Medien Hannover

Neben dem Erfinden von neuen Instrumenten mit originären Klängen wurde auch stets nach Möglichkeiten der Simulation ebendieser Klänge gesucht: Ob bei der Nachahmung des Klangs einer Stradivari-Violine durch einen Geigen-Neubau, bei der Aufnahme von Samples für die Reproduktion des Klanges eines Instruments am Computer, oder bei der Verwendung von Modeling-Amps, die die originalen Röhrenverstärker ersetzen sollten. Bei den Nachahmungen kommen jedoch verschiedene Techniken der Klangsynthese zum Einsatz. Stets stellen sich Fragen: Wie sehr ähnelt die Simulation dem Original? Lässt sich der Unterschied heraushören? Zwei empirische Studien aus unserer Arbeitsgruppe widmeten sich der Frage nach perzeptueller Unterscheidbarkeit: Kopiez et al. (2016) untersuchten, ob Hörer Live-Aufnahmen von Stravinskys Orchesterstück ”Le Sacre du Printemps” von Nachbildungen mittels der Vienna Symphonic Library unterscheiden konnten. Düvel et al. (2019) befassten sich mit den charakteristischen Klangeigenschaften von Gitarrenverstärkern und deren Simulationen durch den Kemper Profiling Amp. Hörer zeigten zwar eine richtige Tendenz bei den Zuordnungsaufgaben, waren jedoch weit von einer verlässlichen Unterscheidung zwischen Original und Simulation entfernt. Vor diesem Hintergrund ist die zunehmende Verbreitung klanglicher Simulationstechniken etwa bei Musicals oder Live-Konzerten der Rockmusik wahrscheinlich.

Mo. 14:35 HMTMH, Saal 202 Vorkolloquium: Künstlerische Akustik

Elektroakustische Performance

Marijana Janevska
Hochschule für Musik, Theater und Medien Hannover

Komponieren ist wie Selbstfindung. Jedes Stück stellt sich selbst viele Fragen. Durch sorgfältiges und geduldiges Zuhören und Analysieren, wohin die Materialien wollen und wie sie sich entwickeln und miteinander interagieren, findet das Stück seinen eigenen Weg, lebt sein eigenes Leben, führt einen und antwortet die Fragen, die für jedes Stück sehr verschieden, persönlich und einzigartig sind. „Purusha“ ist ein Stück für Toneband, das in der Programmiersprache Csound geschrieben ist. Es besteht ausschließlich aus synthetischen Klängen und Klangsynthese und untersucht sehr subtile Änderungen der Klangfarben und texturen durch

die Kombination von Sinuswellen, FM und granularer Synthese. „Purusha“ ist ein zentraler Begriff in der indischen Mythologie und Philosophie und wird übersetzt als Mensch, die aus der Dualität und der Wechselwirkung zwischen dem Materiellen und dem Geistigen oder dem Subtilen, zwischen dem Sichtbaren besteht und die unsichtbaren Kräfte, die uns zu einer organischen Einheit machen, zu einem Ganzen. Diese Kräfte und Energien zwischen zwei gegensätzlichen Materialien halten das Stück zusammen. „Silence(d)“ ist ein Stück für eine weibliche Stimme und Elektronik. Die Idee und Inspiration zu diesem Stück stammte aus einem früheren Projekt, in dem ich die Aufgabe hatte ein 30-Sekunden-Stück für stimme solo zum Thema Stille zu schreiben. Und sofort kam mir eine sehr wichtige Frage in den Sinn, die mich zu diesem Stück führte: Wie klingt die Stille der stummen Stimme? Diese Stille ist nicht ruhig und friedlich, aber sehr laut.

Fachvorträge und Poster am Dienstag, den 17.03.2020

Sitzung „Bauakustik 1“

Di. 13:20 Niedersachsenhalle B Bauakustik 1

Wahrnehmbarkeit von Geräuschen in Innenräumen nach DIN 4109-5

Steffen Körper
Umweltbundesamt

In Deutschland existieren verschiedene Regelwerke zum baulichen Schallschutz. Das wohl Wichtigste, ist die bauordnungsrechtlich in Bezug genommene DIN 4109 ”Schallschutz im Hochbau”. Der Teil 5 dieser Normreihe beinhaltet gegenüber den Mindestanforderungen erhöhte Anforderungen und wurde 2019 als Entwurf veröffentlicht. Der informative Anhang A der DIN 4109-5 enthält eine Wahrnehmbarkeitstabelle, die die Schallschutzqualität auch für Nicht-Akustiker verständlich machen soll. Die Wahrnehmbarkeitstabelle wird dabei mit einer ganzen Reihe von Einschränkungen dargestellt. Sie gilt für die Fälle üblicher Nachhallzeiten, Trennbauteilflächen und Raumvolumen und wurde für einen Hintergrundgeräuschpegel von 25 dB(A) ausgelegt. Wie genau kann eine allgemeine Wahrnehmbarkeitstabelle in einer Norm eine beliebige Bausituation beschreiben, vor allem, wenn der gesamte Schallschutznachweis auf bauteilbezogenen Kenngrößen basiert? Wie gut schützen das deutsche Mindestschallschutzniveau und das Schallschutzniveau des neuen Teils 5 ”erhöhte Anforderungen” wirklich vor Störgeräuschen aus den Nachbarwohnungen oder vor Geräuschen von draußen? Wo ist das Schallschutzniveau der DIN 4109-1 und der DIN 4109-5 sachgerecht und wo sollte ein anderes ggf. höheres Schallschutzniveau angestrebt werden? Im Beitrag werden diese Fragen behandelt und die der Wahrnehmbarkeitstabelle zugrundeliegenden Überlegungen erläutert sowie die damit verbundene bauakustische Qualität dargestellt.

Di. 13:40 Niedersachsenhalle B Bauakustik 1

Aktuelle Erkenntnisse zum Schallschutz gegen Außenlärm

Andreas Meier
Müller-BBM GmbH

Um die Zusammenhänge zum Schutz gegen Außenlärm besser zu verstehen wurden im Rahmen eines Forschungsprojektes Untersuchungen insbesondere für den Straßen- und Schienenverkehrslärm durchgeführt. Hierbei steht insbesondere im Vordergrund, wie aus den Einzahlangaben für den Schalldruckpegel in dB(A) und dem bewerteten Schalldämm-Maß möglicher Außenbauteile eine Prognose für den zu erwartenden Innenschalldruckpegel im Raum ermittelt werden kann. Die Ergebnisse sollen als Grundlage für einen neuen Regelungsvorschlag

für DIN 4109 zum Schallschutz gegen Außenlärm herangezogen werden. Der Beitrag fasst die bislang vorliegenden Erkenntnisse zusammen.

Di. 14:00 Niedersachsenhalle B Bauakustik 1

Passiver Schallschutz im Leicht- und Massivbau

Wilfried Wieland
W. Sorge Ingenieurbüro für Bauphysik

Die Grundlagen für die Berechnungen im passiven Schallschutz unterliegen derzeit aufgrund der Neufassung der DIN 4109 einem fachlichen Diskurs. Die Nachweisverfahren für den passiven Schallschutz, ob nach DIN 4109 oder VDI 2719, werden mittels Einzahlwerten für die Schalldämmung der Außenbauteile geführt.
Gerade die Vorgehensweise mittels Einzahlwerten lässt jedoch die Frage offen, ob diese Vorgehensweise auch im Leichtbau ausreichend robuste Ergebnisse bezüglich des Schutzzieles, sprich des zu erwartenden Innenpegels, liefert.
Der Vortrag beleuchtet die Ergebnisse der Innenpegelprognosen anhand der einschlägigen Regelwerke für den passiven Schallschutz unter Berücksichtigung aktueller Straßenverkehrslärmspektren. Hierbei wird das Augenmerk auf die spektrale Würdigung der Geräuschquelle, der Schalldämmung von Bauteilen und des resultierenden Innenpegels gelegt. Insbesondere die Unterschiede in Massiv- und Leichtbauweise sind Gegenstand der Betrachtung.

Di. 14:20 Niedersachsenhalle B Bauakustik 1

Schallschutz-Vergleichsmessungen in der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt im Jahr 2019

Sylvia Stange-Kölling und Volker Wittstock
Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Im Jahr 2019 fanden turnusgemäß die Schallschutz-Vergleichsmessungen der anerkannten Stellen für die Erteilung allgemeiner bauaufsichtlicher Prüfzeugnisse in der Physikalisch-Technische Bundesanstalt statt. Für diese Prüfstellen ist die regelmäßige Teilnahme an den Vergleichsmessungen verpflichtend. Eine freiwillige Teilnahme weiterer Prüfstellen, bevorzugt mit eigenen Prüfständen, ist möglich. Die Vergleichsmessungen haben sich über einen weiten Zeitraum als wichtiger Baustein der Qualitätssicherung etabliert. Sie setzen sich zusammen aus drei Teilmessungen sowie der Überprüfung von Lautsprechern und Hammerwerken. Die Messergebnisse der Prüfstellen werden mit einem Referenzwert der PTB verglichen. Als Teilaufgaben waren in diesem Jahr die Luft- und Trittschalldämmung einer sanierten Holzbalkendecke zu messen. Als Zusatzaufgabe wurde der Absorptionsgrad einer Probe im schiefwinkligen Hallraum bestimmt. Bei diesen Messungen wurde für alle Teilnehmer dieselbe Probe eingesetzt. Bei einigen Terzen kam es

dennoch zu unerwartet hohen Streuungen in den Ergebnissen, die weitere Untersuchungen notwendig machen. Die Ergebnisse der einzelnen Messungen werden in diesem Vortrag vorgestellt.

Di. 14:40 Niedersachsenhalle B Bauakustik 1

Untersuchungen zur Anwendbarkeit eines Referenzabsorbers für Absorptionsgradmessungen nach dem Hallraumverfahren

Heinrich Bietz und Volker Wittstock
Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Die Unsicherheit von Absorptionsgradmessungen nach dem Hallraumverfahren wird für viele Anwendungen als inakzeptabel hoch angesehen. Seit langem werden Möglichkeiten diskutiert, einen Referenzabsorber mit bekanntem oder bestimmbarem Absorptionsgrad einzusetzen, um die Vergleichbarkeit der Messergebnisse zu erhöhen. In jüngerer Zeit ist im Rahmen der Überarbeitung der Messnorm ISO 354 die Verwendung eines im aktuellen Normentwurf definierten Referenzabsorbers vorgeschlagen worden. Bei den in der PTB stattfindenden Schallschutz-Vergleichsmessungen wurden die Teilnehmer gebeten, als Zusatzaufgabe den Absorptionsgrad des Referenzabsorbers in einem Hallraum der PTB zu bestimmen, um Erfahrungen mit der praktischen Anwendbarkeit zu sammeln und Erkenntnisse über verschiedene Eigenschaften (Einbauwiederholbarkeit, zeitliche Konstanz, Klimaeinflüsse etc.) zu gewinnen. Bei der Auswertung der Ergebnisse wurde bei zwei Terzbändern eine außergewöhnlich hohe Streuung der Ergebnisse festgestellt, hierzu wurden einige zusätzliche Untersuchungen durchgeführt. Weiterhin wurden seitens der PTB verschiedene Konfigurationen von Absorbern, die einen weiten Bereich von Absorptionsgraden abdecken, in beiden Hallräumen der PTB gemessen. Es wurde untersucht, ob sich die Differenzen zwischen den gemessenen Absorptionsgraden durch die Verwendung des Referenzabsorbers signifikant verringern lassen. Im Beitrag werden die gewonnenen Erkenntnisse im Lichte der aktuellen Vorschläge zur Überarbeitung der ISO 354 diskutiert.

Di. 15:00 Niedersachsenhalle B Bauakustik 1

Einfluss der Einbausituation von Fenstern auf die Schalldämmung

Martin Schäfers[a], Stefanie Traub[b], Martin Schneider[b] und Berndt Zeitler[b]
[a] *Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.;* [b] *Hochschule für Technik Stuttgart*

Beim Schallschutz gegenüber Außenlärm spielt neben der Schalldämmung der Außenwandkonstruktion und der Fenster bei bestimmten Einbausituationen auch das Fugenschalldämm-Maß zwischen Außenwand und Fenster eine Rolle. Die neue Schallschutznorm DIN 4109 fordert für entsprechende Anschlussdetails einen rechnerischen Nachweis, bei dem das Fugenschalldämm-Maß explizit mit einfließt. Dieser Nachweis ist für einige marktübliche Außenwandkonstruktionen im Mauerwerksbau bisher nicht möglich, da keine Eingangswerte für die

Fugenschalldämm-Maße vorhanden sind. An dieser Stelle setzt die an der Hochschule für Technik Stuttgart betreute Bachelorarbeit von Frau Stefanie Traub an. Mit Hilfe von Schallmessungen im Türen- und Fensterprüfstand der HfT sowie anhand von rechnerischen Untersuchungen wird der Einfluss der Anschlusssituation von Fenstern in typischen ein- und zweischaligen Kalksandstein-Außenwandkonstruktionen ermittelt und die entsprechenden Eingangswerte für den rechnerischen Nachweis bestimmt. Die Betrachtungen zeigen darüber hinaus, dass der Einfluss des Fugenschalldämm-Maßes erst ab einer gewissen Höhe der Schalldämmung des Fensters zu berücksichtigen ist und dass die in DIN 4109 vorgenommene pauschale Unterteilung in kritische und nicht kritische Einbausituationen nicht gerechtfertigt erscheint. Es wird ein überblick über die durchgeführten Untersuchungen gegeben und die wesentlichen Ergebnisse werden vorgestellt.

Sitzung „Lärmentstehung und Ausbreitung“

Di. 13:40 Blauer Saal Lärmentstehung und Ausbreitung

Untersuchung der Schallentstehung bei der Nutzung von Fliegenklatschen

Roman Tschakert[a], Thomas Geyer[b], Gert Herold[a], Erik Schneehagen[c] und Berndt Zeitler[d]

[a] *TU Berlin, Fachgebiet Technische Akustik;* [b] *BTU Cottbus - Senftenberg, Fachgebiet Technische Akustik;* [c] *TU Berlin;* [d] *Hochschule für Technik Stuttgart*

Die Verwendung von Fliegenklatschen zur Beseitigung störender Insekten findet im Alltag weite Verbreitung. Obwohl es die heutige, handelsübliche Form der Fliegenklatsche bereits seit den 1950er Jahren gibt, ist eine Vielzahl verschiedener Ausführungen erhältlich. Das Benutzen von Fliegenklatschen kann jedoch zu sehr hohen, impulshaltigen Störpegeln führen. Diese sind unter anderem abhängig von der Form und Beschaffenheit der Fliegenklatsche, zum Beispiel der Größe und dem Material des Gitters. Um den Einfluss dieser Parameter auf die Schallentstehung beim Zuschlagen zu untersuchen, wurden akustische Messungen an verschiedenen Fliegenklatschen in drei voneinander unabhängigen Instituten durchgeführt. Aus den Ergebnissen lassen sich Empfehlungen für die Wahl vergleichsweise lärmarmer Fliegenklatschen ableiten. Im Beitrag werden die Untersuchungsmethoden beschrieben und die Ergebnisse aus den verschiedenen Forschungseinrichtungen miteinander verglichen.

Di. 14:00 Blauer Saal Lärmentstehung und Ausbreitung

Einfügedämpfung im Zeitbereich - Experimenteller Ansatz mit Korrelationsanalyse

Wolfram Bartolomaeus
Bundesanstalt für Straßenwesen

Zur messtechnischen Bestimmung der Einfügedämpfung wird üblicherweise eine harmonische Frequenzanalyse vorgenommen. Dazu wird z. B. der sich von einer Rauschquelle ausbreitende Schall hinter einem "eingefügten" Objekt - z. B. einer Lärmschutzwand - als Schalldruckpegel in Terzbändern gemessen und in Relation zur Situation ohne eingefügtem Objekt gebracht. Statt Rauschen können auch andere Signale, wie z. B. Sweeps, verwendet werden und die Analyse kann mit dem Verfahren der Raumimpulsantwort erfolgen. Aber auch hier erfolgt die Auswertung mittels Fourier-Transformation im Frequenzbereich. Dem gegenüber ist mit dem Korrelationsverfahren eine messtechnische Beurteilung der "Einfügung" alleine im Zeitbereich möglich. Dies wird durch eine Kombination der Korrelations-Analyse mit skalierbaren Fenstern nach Art der Wavelet-Analyse möglich. Für eine vorgegebene Geometrie aus Quelle, Hindernis und Empfänger sind die Laufzeiten der unterschiedlichen Schallstrahlen a priori bekannt. Durch Korrelation der an zwei Mikrofonen aufgenommenen Schallsignalen - Referenz und Messpunkt - kann zu vorgegebenen Laufzeitdifferenzen eine quantitative Analyse für unterschiedliche Wellenlängen durchgeführt werden, ohne vorher in den Frequenzbereich transformieren zu müssen. In einem maßstäblichen Versuch wurde die Einfügedämpfung eines Liniengitters von Hindernissen sowohl konventionell als auch mit Korrelationsanalyse ermittelt. Erste Ergebnisse werden vorgestellt.

Di. 14:20 Blauer Saal Lärmentstehung und Ausbreitung

Berücksichtigung meteorologischer Daten in der Schallausbreitungsrechnung und Abgleich mit Messergebnissen

Manfred Liepert[a], Viktor Skowronek[a], Martin Crljenkovic[a], Arthur Schady[b], Katharina Elsen[b], Fabio Strigari[c] und Michael Chudalla[c]
[a]*Möhler + Partner Ingenieure AG;* [b]*DLR, Institut für Physik der Atmosphäre, Wessling;* [c]*Bundesanstalt für Straßenwesen*

Die Schallausbreitung zwischen Emissionsort und Immissionsorten wird u.a. von den atmosphärischen Bedingungen (Wetter), der Umgebung (Topografie) und den Eigenschaften des Bodens bestimmt. Die physikalischen Prozesse, die hierbei eine Rolle spielen (z.B. Absorption, Reflexion, Refraktion), sind komplex, frequenzabhängig und treten vielfach in Kombination auf. Der Einfluss der wechselnden atmosphärischen Bedingungen (Windprofil, Temperaturschichtung, Luftfeuchte) bewirkt Schwankungen der Pegeldämpfung im Ausbreitungsweg, die bei Entfernungen größer 500m bis zu 25 dB oder mehr betragen können. In

einem Forschungsprojekt für die Bundesanstalt für Straßenwesen werden Einflüsse des Wetters auf die Schallausbreitung und deren Berücksichtigung in verschiedenen Berechnungsverfahren dargestellt und verglichen. Durch Langzeitmessungen an einem Autobahnabschnitt werden die Berechnungsergebnisse den Messungen bei den korrespondierenden meteorologischen Bedingungen gegenübergestellt. Diese Untersuchungen ermöglichen Aussagen über den Mehrwert der Berücksichtigung meteorologischer Informationen in der Ausbreitungsrechnung. Die bisherigen Ergebnisse und Vorschläge für die praxisgerechte Berücksichtigung der Meteorologie in Rechenmodellen werden vorgestellt.

Di. 14:40 Blauer Saal Lärmentstehung und Ausbreitung

Zusammenhang reduzierter Geräuschgrenzwerte mit den in-use Geräuschemissionen bei unterschiedlichen Verkehrssituationen

Stefan Müller[a], Christine Huth[a], Manfred Liepert[a] und Wolfram Bartolomaeus[b]

[a] *Möhler + Partner Ingenieure AG;* [b] *Bundesanstalt für Straßenwesen*

Die tatsächliche Geräuschbelastung der Bevölkerung ist alleinig anhand von Kfz-Typprüfungen nicht darstellbar. Neben den Geräuschemissionen ist für eine realistische Abschätzung der Lärmbelastung der Bevölkerung (Geräuschimmission) auch die Kenntnis des Mittelungspegels und der Pegelstatistik (z.B. 5- und 95-Perzentil) des Straßenverkehrs und für unterschiedliche Verkehrssituationen, wie flüssiger Verkehr und Stop-and-go-Verkehr, wichtig.

In einem Forschungsprojekt für die Bundesanstalt für Straßenwesen werden in einem ersten Schritt die ”in-use-Geräuschemissionen” an sechs verschiedenen Straßenarten (BAB, Ausfallstraße, Boulevard, Großstadt-Kreuzung, Kreisverkehr, Kleinstadt-Durchgangsstraße) für jeweils drei verschiedene Verkehrssituationen messtechnisch ermittelt. Während der Messungen werden insbesondere auffällige Pegelspitzen dokumentiert und Ihrer Ursache zugeordnet. Anschließend erfolgt eine Auswertung und Analyse der Messwerte und Pegelstatistik, um den Einfluss auffälliger Pegelspitzen auf die Geräuschsituation neben der Straße zu ermitteln. Dabei wird auch eine Lautheitsanalyse durchgeführt. Die Ergebnisse werden abschließend mittels Schallausbreitungsrechnungen auf den zu betrachtenden Immissionsort übertragen, wobei die Geräuschentwicklung in Abhängigkeit vom Auftreten von Pegelspitzen und die Geräuschentwicklung in Abhängigkeit von der Zusammensetzung verschiedener Verkehrssituationen betrachtet werden. Die bisherigen Ergebnisse werden vorgestellt.

Di. 15:00 Blauer Saal Lärmentstehung und Ausbreitung

Präsentation der Poster, die dieser Sitzung zugeordnet sind (s.u.)

Sitzung „Lärm (Poster)“
Kurzvorträge: Di. 15:00 (Blauer Saal); Poster-Forum: Di. 15:20

Di.-Do. Lärm (Poster)

Untersuchungen zur Schallausbreitung in Straßenschluchten
Alexander Lee und Berndt Zeitler
Hochschule für Technik Stuttgart
Lange Straßenschluchten prägen in Metropolen das Stadtbild. Dabei bilden Straßenoberfläche und beidseitig angrenzende Gebäude mit ihren annähernd schallharten Oberflächen eine Umgebung, die bei der Schallausbreitung für sehr viele Reflexionen sorgt. Bei diesen Bedingungen, insbesondere bei paralleler Gebäudeanordnung, zeigen sich wellentheoretische Phänomene, die mit einem Strahlenmodell nicht beschrieben werden können. Diese modale Schallausbreitung wird auch bei Lüftungskanälen beobachtet und schon intensiv untersucht. Die Ähnlichkeit zu Straßenschluchten besteht in dem rechteckigen Querschnitt, wobei drei der Seiten schallharte Oberflächen haben und eine Seite absorbierend wirkt. Letzteres, wird bei der Straßenschlucht durch den Himmel und im Lüftungskanal durch einen Kanalabsorber abgebildet. Für Straßenschluchten wird für die Ausbreitung entlang der Straßenachse, Messungen aus einem Maßstabsmodell mit Ergebnissen aus einer raumakustischen Simulation verglichen.

Sitzung „Strömungsakustik - Berechnung“

Di. 13:20 Bonatz Saal Strömungsakustik - Berechnung

Zur Längenskalenanisotropie in der Modellierung des Kopfspaltgeräusches von Axialventilatoren
Lev Liberson, Markus Lummer, Michael Mößner, Nils Reiche, Roland Ewert und Jan W. Delfs
DLR, Inst. für Aerodynamik und Strömungstechnik, Braunschweig
Günstige akustische Eigenschaften sind ein entscheidendes Wettbewerbskriterium bei modernen Ventilatoren. Für eine erfolgreiche Auslegung ist die akustische Vorhersagefähigkeit bereits in der Entwurfsphase zwingend erforderlich. An einem Axialventilator verursacht der Kopfspalt zwischen Schaufel und Mantelring eine markante Schallquelle, deren Ausprägung stark von den lokalen Strömungsbedingungen abhängt. Diese wiederum ergeben sich aus der Geometrie der Spaltregion. Die Physik der konvergenten Kopfspaltströmung ist durch eine starke konvektive Beschleunigung der turbulenten Wirbelstrukturen geprägt, die gemäß der ”Rapid Distortion Theory” durch große Werte des verjüngten Scherratentensors charakterisiert ist. Dieser Effekt führt zu einer starken Anisotropie in den Ein- und Zweipunktstatistiken der Wirbelstörungen, welche der maßgeblichen Wirbelschallquelle zugrunde liegen.

Diese müssen in einem qualitativen sowie quantitativen spektralen Modell des Kopfspaltgeräusches abgebildet werden. In einer fortlaufenden Untersuchung wird die Schallentstehung und Ausreitung am Kopfspalt mittels Akustischer Störungsgleichungen (APE) und stochastisch generierter Wirbelschallquellen innerhalb einer hybriden aeroakustischen Simulationsmethode berechnet. Dabei kommt der, auf der Discontinuous Galerkin Verfahren basierende, Propagationscode DISCO++ gekoppelt mit der Fast Random Particle Mesh Methode (FRPM) zur instationären, stochastischen Quellgenerierung zum Einsatz. Eine erweiterte Modellierung der anisotropen Wirbelschallquellen wird anhand des ummantelt eingebauten, fünfblättrigen Axialventilators "USI-7" diskutiert, wobei eine Gegenüberstellung mit experimentell ermittelten Daten sowie quellisotropen Simulationsergebnissen erfolgt.

Di. 13:40 Bonatz Saal Strömungsakustik - Berechnung

Lokalisierung von Schallquellen aus numerischen Daten

Philipp Dietrich, Marius Dörr und Marc Schneider
ebm-papst Mulfingen GmbH & Co. KG

Bei der Entwicklung neuer Ventilatoren ist neben den aerodynamischen Eigenschaften das erzeugte Geräusch von großer Bedeutung. Zur Optimierung des emittierten Geräusches spielt das Verständnis der Schallerzeugungsmechanismen als auch die Lokalisierung der Schallquellen eine bedeutende Rolle. Zur Lokalisierung von Schallquellen wird im Experiment häufig ein Mikrophon-Array verwendet. Neben der experimentellen Untersuchung der Akustik von Ventilatoren gewinnen numerische Verfahren (CAA - Computational Aero Acoustics) zunehmend an Bedeutung. Auf Basis der numerischen Daten kann ebenfalls ein Mikrophon-Array erzeugt und mit dem Beamforming-Verfahren Schallquellen lokalisiert werden. Zwar können mit numerischen Verfahren, aufgrund des hohen Rechenaufwands, typischerweise nur sehr kurze Zeitreihen untersucht werden; allerdings haben bestimmte experimentelle Randbedingungen einen untergeordneten bzw. vernachlässigbaren Einfluss. So können beispielsweise sehr große Arrays mit einer Vielzahl an Mikrophonen oder auch mit dem Ventilator mitrotierende Arrays realisiert werden. Dadurch lassen sich unterschiedliche Arrays einfach vergleichen und auch kombinieren. Neben der Anordnung der Mikrophone lassen sich auch die akustisch aktiven Oberflächen beeinflussen. So wurde eine Ventilatorschaufel in mehrere Teilflächen unterteilt und die Spektren sowie das Beamforming-Ergebnis einzeln ausgewertet. Über diese Methode können die Qualität des verwendeten Mikrophon-Arrays getestet und Schallentstehungsmechanismen analysiert werden.

Di. 14:00 Bonatz Saal Strömungsakustik - Berechnung

Implizite dispersions- und dissipationsarme Zeitintegration für volumenauflösende aeroakustische Simulationsverfahren

Jürgen Dierke[a] und Roland Ewert[b]

[a]*DLR Braunschweig;* [b]*DLR, Inst. für Aerodynamik und Strömungstechnik, Braunschweig*

Um den strukturierten finiten Differenzen "Computational AeroAcoustics" (CAA) Code PIANO zu beschleunigen, wurde eine implizite Methode zur Glättung der Residuen ("Implicit Residual Smoothing (IRS)") implementiert, um die CFL-Beschränkung des expliziten Zeitschrittes aufzuheben. Dieses Verfahren lohnt sich immer dann, wenn räumliche Gradienten aufgelöst werden müssen, aber die großen Wellenzahlen nicht akustisch relevant sind, z.B. für Wandauflösungen bei skalenauflösenden Simulationen, oder wenn die Geometrie eine feinere Gitterauflösung benötigt, als die notwendige Auflösung für Akustik und Quellen. Die Möglichkeiten des Verfahrens werden an Hand generischer Fälle gezeigt und erklärt, in diesem Fall an periodischen Testgittern mit Druck- und Dichtepulsen. Hierbei sind CFL-Zahlen größer 100 möglich. Ein Beispiel für den praktischen Nutzen ergibt sich für niederfrequenten Windkraftanlagenschall ($\sim$200Hz) in einem 1 Kubikkilometer großem Gebiet. Die notwendige Verfeinerung zur Auflösung der Windturbine würde einen expliziten Zeitschritt dramatisch reduzieren. Ein schnelles implizites Verfahren wird nur durch die erhöhte Punktanzahl moderat gebremst. Am Ende wird auf die Einschränkungen bei realen Problemen eingegangen. Als Beispiel wird hier auf den Vorflügellärm bei einer Hochauftriebsgeometrie bei Flugzeugen eingegangen. Da die Zusatzkosten mit einem Faktor von 2 überschaubar sind, lohnt sich das Verfahren schon ab einer CFL-Zahl von 2.

Di. 14:20 Bonatz Saal Strömungsakustik - Berechnung

Validierung von Verfahren zur Lärmvorhersage anhand von Triebwerkstönen eines Businessjets

Michael Mößner, Jan W. Delfs und Stephan-Michael Pott-Pollenske

DLR, Inst. für Aerodynamik und Strömungstechnik, Braunschweig

Fluglärm ist von hoher Bedeutung für die Entwicklung leiser Flugzeuge. So kann eine frühe Vorhersage der erwarteten Schallabstrahlung den Entwicklungsprozess erleichtern. Genaue Lärmberechnungen werden jedoch schnell sehr aufwändig, so dass vorzugsweise auf vereinfachte Methoden zurückgegriffen wird. Oft ist dabei nicht klar, wie stark die Vereinfachungen die Ergebnisse beeinflussen. Der Vergleich mit Messdaten kann helfen, einen Einblick zu bekommen, welcher Simulationsaufwand betrieben werden muss, um realitätsnahe Ergebnisse zu erhalten.

Der Beitrag gibt einen Einblick in die Bemühungen, Überflugsmessdaten eines Businessjets (Gulfstream G550) mit volumenaufgelösten sowie oberflächenbasierenden Simulationsverfahren zu vergleichen. Der Vergleich beschränkt sich dabei auf die vom Triebwerk abgestrahlten

Töne. Dabei werden Schwierigkeiten und Lösungsansätze vorgestellt, um die Simulationsverfahren in Zukunft für Flugzeugdesign einsetzen zu können.

Di. 14:40 Bonatz Saal Strömungsakustik - Berechnung

Aeroakustische Modellbildung an Niederdruck-Axialventilatoren mit Leading Edge Serrations

Till Biedermann[a], Marius Reich[b], C. O. Paschereit[c] und Frank Kameier[a]
[a] *Hochschule Düsseldorf, ISAVE;* [b] *Hochschule Düsseldorf, ZIES;* [c] *TU Berlin, ISTA*

Vorausgegangene Studien belegen den möglichen aeroakustischen Nutzen eines Transfers sogenannter Leading Edge Serrations von ebenen Tragflügeln hin zu rotierenden Anwendungen. Bedingt durch die erhöhte Komplexität rotierender Maschinen, folgen jedoch auch die zugrunde liegenden Wirkmechanismen dieser Schallreduktionsmaßnahme komplexeren Randbedingungen. Dies gilt insbesondere in Bezug auf die spektrale Zusammensetzung der akustischen Signatur. Mit dem Ziel einer simultanen Bewertung der aerodynamischen sowie der aeroakustischen Performance verschiedener modifizierter Rotoren unter Variation einer Vielzahl an Einflussgrößen, wurde ein umfassendes Modell auf Basis experimenteller Untersuchungen generiert. Die verwendete Modellierungsstrategie basiert auf einer sinnvollen Vorverarbeitung und spektralen Filterung der gewonnenen Daten, gefolgt von einer effizienten Abtaststrategie des Versuchsraumes, um so einer minimalen Anzahl an Versuchspunkten einen maximalen Informationsgehalt gegenüberzustellen. Die Modellbildung auf Basis dieser vorkonditionierten Datensätze erfolgt schlussendlich durch das Training künstlicher neuronaler Netzwerke, welche eine hohe funktionale Komplexität der Wirkzusammenhänge ermöglichen. Sowohl die Anpassungsgüte als auch die Validierung gegen unabhängige Datensätze weisen auf ein hocheffizientes und stabiles Modell mit einer ausgezeichneten Prognosegenauigkeit hin. Sowohl das generierte Modell als auch die erarbeitete Modellierungsstrategie bieten somit weite Anwendungsmöglichkeiten in der Modellierung und auch Optimierung rotierender Maschinen.

Di. 15:00 Bonatz Saal Strömungsakustik - Berechnung

Präsentation der Poster, die dieser Sitzung zugeordnet sind (s.u.)

Sitzung „Strömungsakustik (Poster)“
Kurzvorträge: Di. 15:00 (Bonatz Saal); Poster-Forum: Di. 15:20

Di.-Do. Strömungsakustik (Poster)

Sensibilitätsanalyse verschiedener Wärmeübertrager Parameter und deren Einfluss auf die Schallabstrahlung von Axialventilatoren
Univ. Erlangen-Nürnberg, Lehrst. Prozessmaschinen u. Anlagentechnik
Felix Czwielong und Stefan Becker
Axialventilatoren kennzeichnen sich dadurch aus, dass sie im Vergleich zu anderen Turbomaschinen einen hohen Volumenstrom bei einem moderaten Drucksprung erzeugen. Im Bereich der Kühlungs- und Klimatisierungstechnik werden oftmals diese großen Volumenströme benötigt, um die entstandene Prozesswärme aus den Systemen abführen zu können. Damit die Abfuhr der Prozesswäre möglichst effizient durchgeführt werden kann, werden in solchen Systemen Wärmeübertrager saugseitig vom Axialventilator verwendet. Aufgrund dieser Anordnung beeinflusst der Wärmeübertrager die Zuströmung zum Axialventilator. Die Störung des saugseitigen Strömungsfeldes induziert in den meisten Fällen eine erhöhte Schallabstrahlung des Axialventilators. Eine erhöhte Schallabstrahlung führt einerseits zur Beeinträchtigung der Menschen in der Umgebung und stellt anderseits Ventilatorhersteller vor die Problematik die gesetzlichen Schallemissionen einzuhalten. Bisher sind die strömungsakustischen Wechselwirkungen zwischen saugseitigem Wärmeübertrager und Axialventilator noch nicht vollständig verstanden. Im Zuge dieser Sensibilitätsanalyse wurde herausgefunden, welche Parameter des Wärmeübertragers einen wesentlichen Einfluss auf die Schallabstrahlung des Axialventilators ausüben. Dabei wurde der Fokus auf die Wärmeübertragergeometrie und -fläche, die Anzahl der Kühlmittelrohrreihen, die Kühlmittelrohrkonfiguration, den Abstand der Kühllamellen, die Art der Kühllamellen und dem Konturverlauf der Wärmeübertragerhutze gelegt.

Sitzung „MEMS-Lautsprecher - ein Paradigmenwechsel“

Di. 13:20 Neuer Saal MEMS-Lautsprecher

Integrierter piezoelektrischer MEMS-Lautsprecher für In-Ear-Anwendungen
Fabian Stoppel[a], Andreas Männchen[b], Florian Niekiel[a], Daniel Beer[b] und Bernhard Wagner[a]
[a] *Fraunhofer ISIT;* [b] *Fraunhofer IDMT*
In diesem Beitrag wird ein MEMS-basiertes In-Ear Kopfhörer-System vorgestellt. Das zentrale Element bildet ein vollständig in Standard-MEMS-Technologie gefertigter Chip-Lautsprecher. Dieser verfügt über mehrere piezoelektrisch angetriebene Biegeaktoren, die über wenige

Mikrometer feine Schlitze mechanisch voneinander entkoppelt sind und direkt zur Schallerzeugung verwendet werden. Kombiniert mit einem In-Ear-Gehäuse und einer Ansteuerelektronik zeichnen sich die MEMS-Lautsprecher durch eine hohe Leitungsfähigkeit bei geringem Bauvolumen aus. So werden in einem IEC 60318-4 Ohr-Simulator über den gesamten hörbaren Frequenzbereich Schalldruckpegel von bis zu 110 dB erreicht. Darüber hinaus verfügen die Kopfhörer über eine hohe elektroakustische Effizienz von über 120 dB/mW, geringe Verzerrungen und eine weit über den hörbaren Bereich hinausgehende Wiedergabebandbreite. Der Vortrag behandelt die Technologie und eine umfassende elektroakustische Analyse der In-Ear-Kopfhörer. Darüber hinaus wird das enorme Entwicklungspotential in Bezug auf zukünftige Lautsprecher-Generationen diskutiert.

Di. 13:40 Neuer Saal MEMS-Lautsprecher

Elektrostatischer Push-Pull MEMS-Schallwandler für Im-Ohr-Anwendungen

Lutz Ehrig[a], Hermann A.G. Schenk[a], Franziska Wall[b], Bert Kaiser[b], Sergiu Langa[b], Michael Stolz[b], David Schuffenhauer[b], Jorge Mario Monsalve Guaracao[b], Anton Melnikov[b], Andreas Mrosk[b], Holger Conrad[b] und Harald Schenk[b]

[a] *Arioso Systems GmbH;* [b] *Fraunhofer IPMS*

Bereits in der Mitte des vergangenen Jahrhunderts wurden Konzepte beschrieben, die zeigen, dass elektrostatische Wandler dem Ideal einer verzerrungsfreien Wiedergabe am nächsten kommen. Erst Jahre später - mit der Verfügbarkeit der entsprechenden Materialien und Fertigungstechniken - konnten diese Konzepte praktisch umgesetzt werden und erfreuen sich in hochwertigen, audiophilen Lautsprechern und Kopfhörern großer Beliebtheit. In diesem Beitrag wird ein MEMS-Aktor vorgestellt, der aufgrund seines symmetrischen Aufbaus diese vorteilhaften Eigenschaften für elektrostatisch aktuierte MEMS-Lautsprecher erschließt: Der Aktor besteht aus einem elastischen Balken mit mehreren elektrostatisch aktuierten Zellen. Durch das Anlegen eines elektrostatischen Feldes wird ein Biegemoment erzeugt, welches durch ein geeignetes Balkendesign und eine geeignete Anzahl elektrostatischer Zellen zu einer Biegung des Balkens führt. Dieses sogenannte NED-Prinzip (NED: Nanoscopic Electrostatic Drive) ermöglicht Auslenkungen, die um ein Vielfaches höher liegen als die durch den Pull-In auf ca. 1/3 des Elektrodenabstandes beschränkte nutzbare Auslenkung der einzelnen Elektroden. Gegenüber asymmetrischen Aktoren kann durch eine symmetrische Ausführung des Aktors der Anteil der zweiten Harmonischen deutlich verringert werden. Ein Mikrolautsprecher basierend auf einer Vielzahl von symmetrisch ausgeführten NED-aktuierten Balken wird in diesem Beitrag vorgestellt und Ergebnisse elektrischer, optischer und akustischer Messungen diskutiert.

Di. 14:00 Neuer Saal MEMS-Lautsprecher

A New Method of Digital Sound Reconstruction

Dominik Mayrhofer und Manfred Kaltenbacher
TU Wien, Institut für Mechanik und Mechatronik

Classical Digital Sound Reconstruction (DSR) has been shown to be able to reproduce audio signals with the help of superimposed sound pulses. Still, this method has never been proven to be useful considering commercial applications. We start with the underlying idea of DSR and propose a new method - Advanced Digital Sound Reconstruction (ADSR) - which paves the way for a sound generation principle most effective in the lower frequency range. Using a redirection mechanism as an addition to classical DSR it is possible to achieve a completely flat frequency response regarding the sound pressure in a channel. This redirection unit uses shutter gates in order to separate positive and negative sound pulses letting only those pass, which contribute positively to the desired reconstruction of the audio signal. Compared to the well-known linear scaling of the sound pressure with the frequency, this concept offers exceptional performance for the low- to mid-frequency range - in the region where classical excitation schemes tend to struggle. Starting with the basic concept a concise framework of this method will be presented. This includes analytical investigations as well as numerical and experimental verification.

Di. 14:20 Neuer Saal MEMS-Lautsprecher

MEMS speakers technology, challenges and applications

Andrea Rusconi Clerici
USound GmbH, Vienna

MEMS technology is an enabler in the microelectronics industry for supporting ever increasing computing power and connectivity with sensors and actuators for interacting with the physical world. At USound, we are embracing the challenge to replace voice coil speaker solutions by developing and commercializing silicon based micro speakers. Audio is a key function for upcoming product roadmaps in consumer electronics in the era of the virtual assistants. Compared to incumbent technologies, MEMS speakers are a perfect fit because of their thin form factor, light weight and reflow solderability. MEMS speakers are well suited for in-ear headphones in both full range or tweeter cases; for wearables like smart glasses and TWS; for array arrangement in smart speakers; for array arrangement in 3D sound headphones and more to come in the future. This is possible thanks to the availability of piezo thin films on silicon that allow for the design of large force, large displacement, linear actuators. In particular, PZT can generate enough energy per unit area and thus mechanical force and elongation to compete with voice coil transducers; the MEMS motor is realized on silicon using multiple piezoelectric actuators connected together to realize a precise vertical out-of-plane movement.

Di. 14:40 Neuer Saal MEMS-Lautsprecher

Thermoviskose Verluste in der Akustik: Eine Übersicht zu neuen und bestehenden Modellbildungsverfahren

Simone Preuss und Steffen Marburg
TU München, Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme

Die isentrope Wellengleichung erlaubt die Lösung zahlreicher Problemstellungen aus der Akustik, führt jedoch zu Ungenauigkeiten, sobald thermische und viskose Verluste relevant werden. Als thermoviskose Verluste werden dissipative Effekte bezeichnet, die in Folge der Grenzschichtbildung zwischen Fluid und Struktur entstehen. Aufgrund ihres lokalen Charakters ist eine Vernachlässigung zumeist legitim. Dennoch existiert eine Vielzahl von Anwendungsfällen, bei denen derartig kleinskalige Effekte eine entscheidende Rolle spielen. Hierzu zählen vornehmlich kleine Gerätschaften, wie beispielsweise Hörgeräte oder Kondensatormikrofone, deren Kavitäten von ähnlicher Größenordnung sind wie die verlustbehaftete Grenzschicht. Neue Forschungsergebnisse zeigen weiterhin, dass auch die Eigenschaften von akustischen Metamaterialien von der Dissipation in Wandnähe abhängen.

Die Entwicklung der letzten Jahrzehnte hat eine Vielzahl von numerischen Methoden zur Modellbildung der thermoviskosen Verluste hervorgebracht. Im Rahmen dieses Beitrags wird ein umfassender Überblick über diese Verfahren gegeben. Es werden sowohl vereinfachte Modelle, wie das Low Reduced Frequency Model oder das Boundary Layer Impedance Model, als auch komplexere Methoden, basierend auf den vollständigen Implementierungen der Randelementmethode und der Finite Elemente Methode, vorgestellt. Neben einer kurzen Einführung in die Funktionsweise und Implementierung der Methodik werden die wesentlichen Vor- und Nachteile hinsichtlich der Anwendbarkeit und des Rechenaufwandes gegenübergestellt. Unterstützend werden die Ergebnisse einer Beispielrechnung aus dem Bereich der akustischen Metamaterialien diskutiert.

Di. 15:00 Neuer Saal MEMS-Lautsprecher

Schallausbreitung in Mikrokanälen

Daniel Beer
Fraunhofer IDMT

Ein wesentliches Bestreben der Hersteller von Kopfhörern, Hearables, Hörgeräten und Mobiltelefonen besteht in der Ausstattung der Geräte mit noch besseren Klangeigenschaften und einer größeren Funktionsauswahl. Gleichzeitig sollen die Handhabbarkeit bzw. der Tragekomfort und die Akkulaufzeit verbessert werden. Die elektroakustische Herausforderung besteht somit darin, trotz immer weniger Bauraum für die Schallwandler, Schallwandlersysteme einen großen Klang und eine hohe Effizienz zu erzielen. Die MEMS-Technologie (Micro-Electro-Mechanical-Systems) bietet viel Potential, um Schallwandler hochpräzise bis in den Submikrometerbereich zu fertigen. Gleichzeitig können der

Schallwandler und die zugehörige Ansteuerelektronik in einem Gehäuse, etwa als Lautsprecher-Chip bzw. -Modul, intergiert werden. Im Vergleich zu bisherigen Absätzen ist eine deutlich höhere Miniaturisierung des Schallwandlersystems möglich. Wie sieht es aber mit der Schallausbreitung in derart winzigen Strukturen aus? Welche Effekte müssen ggf. beim Systementwurf berücksichtigt werden?

Sitzung „Ultraschall“

Di. 13:20 Runder Saal Ultraschall

Sekundäre Hydrophonkalibrierung bis 100 MHz mittels breitbandiger Impulsanregung und Verwendung eines Referenzmembranhydrophons

Volker Wilkens[a], Sven Sonntag[b] und Martin Weber[a]
[a] *Physikalisch-Technische Bundesanstalt;* [b] *Gesellschaft für Angewandte Medizinische Physik und Technik*

Um die Sicherheit und die Effektivität von diagnostischen und therapeutischen Ultraschallgeräten sicherzustellen, muss deren Schallabgabe gemessen werden, bevor eine Vermarktung erfolgen kann. Die Vergleichbarkeit und die Verlässlichkeit der Schallabgabedeklarationen kann durch die Kompensation des Einflusses des Hydrophonfrequenzgangs auf die Kenngrößen verbessert werden. Voraussichtlich wird die sich derzeit in Überarbeitung befindende internationale Norm für Hydrophonmessungen IEC 62127-1 diesbezüglich zukünftig strengere Vorgaben enthalten. Allerdings sind zur Anwendung der zur Kompensation eingesetzten Impulsentfaltung erweiterte Kalibrierdaten für die Hydrophone als Voraussetzung notwendig. Dieser Beitrag adressiert eine sekundäre Kalibriermethode, die einen vergleichsweise geringen apparativen Aufwand erfordert und die auch außerhalb von Metrologieinstituten von Hydrophonanwendern verwendet werden kann, um geeignete Frequenzgänge für Arbeitshydrophone im eigenen Messlabor zu bestimmen. Nichtlineare Impulswellenformen eines fokussierenden Ultraschallwandlers werden nacheinander mit dem zu kalibrierenden und mit einem breitbandigen Referenzmembranhydrophon hoher lateraler Auflösung gemessen. Aus dem Quotienten der erhaltenen Spektren wird der Frequenzgang in Betrag und Phase ermittelt. Das Substitutionsverfahren erlaubt die komplexwertige Kalibrierung im Frequenzbereich von 0,5 MHz bis 100 MHz. Die für verschieden Hydrophontypen erhaltenen Ergebnisse werden anhand von Beispielen diskutiert und mit den Ergebnissen zusätzlich erfolgter primärer Kalibrierungen verglichen.

Di. 13:40 Runder Saal Ultraschall

Ultraschallbasierte Messung und tomographische Rekonstruktion von Temperaturverteilungen

Michael Schwarz, Michael Reisinger, Daniel Eder und Bernhard Zagar
Johannes Kepler Universität Linz

Dieser Beitrag behandelt die hochgenaue Temperaturmessung mittels Ultraschall sowie Möglichkeiten zur tomographischen Rekonstruktion von Temperaturverteilungen bei Messungen entlang mehrerer Messstrecken. Da die Schallgeschwindigkeit eines Mediums von seiner Temperatur abhängt, kann die Temperatur bei bekannter Länge des Ausbreitungswegs aus der Laufzeit von Ultraschallpulsen bestimmt werden. Der Zusammenhang zwischen Schallgeschwindigkeit und Temperatur ist beispielsweise für Wasser nichtlinear, es existieren allerdings verschiedene empirische Zusammenhänge für relevante Temperaturbereiche. Durch hochaufgelöste Messung der Laufzeit mit einer Standardabweichung von weniger als 500 ps ist es somit möglich, die mittlere Schallgeschwindigkeit entlang des Ausbreitungspfads und daraus die Temperatur mit einer Auflösung von wenigen Tausendstel Kelvin zu ermitteln. Durch Messung der Laufzeit in beiden Richtungen können zudem Strömungseinflüsse korrigiert werden. Wir gehen in diesem Beitrag auf verschiedene Einflussfaktoren ein, die für Messungen mit dieser Auflösung berücksichtigt werden müssen und präsentieren einen Versuchsaufbau, bei dem die Temperatur entlang mehrerer übereinanderliegender Pfade ultraschallbasiert gemessen wird. Dies ermöglicht unter anderem aufsteigende Wärme zeitlich zu verfolgen. Wird die Temperatur über mehrere Pfade in einer Ebene gemessen, ist außerdem die Rekonstruktion einer Temperaturverteilung möglich. Dies erfordert die Lösung eines inversen Problems. Wir zeigen Herausforderungen und mögliche Lösungsansätze für die Rekonstruktion der Temperaturverteilung aus Messungen mit hochfrequentem Ultraschall in Wasser.

Di. 14:00 Runder Saal Ultraschall

Lösung piezoelektrischer inverser Probleme mittels Algorithmischen Differenzierens

Nadine Feldmann[a], Veronika Schulze[a], Benjamin Jurgelucks[b] und Bernd Henning[a]
[a] *Universität Paderborn;* [b] *Universität Bremen*

Die Bestimmung piezoelektrischer Materialparameter kann mathematisch als ein inverses Problem formuliert werden. Seine Lösung basiert auf einer Optimierung der Eingangsparameter eines physikalischen Modells, welches die durchgeführten Messungen im Sinne einer Kostenfunktion möglichst gut abbilden soll. Als Messgröße wird die elektrische Impedanz einer piezokeramischen Scheibe genutzt. Bei dem hier beschriebenen Problem finden Ableitungsinformationen an unterschiedlichen Stellen Beachtung. Zum einen wird eine angepasste Elektrodenstruktur genutzt, um die Sensitivität der Messgröße zu steigern. Zum

anderen benutzen die verwendeten lokalen Optimierungsalgorithmen zur Prädiktion des nächsten Optimierungsschrittes Ableitungsinformationen der Kostenfunktion nach den zu optimierenden Materialparametern. Häufig wird in diesen Fällen auf die Approximation der Ableitung durch Finite Differenzen zurückgegriffen, was zu numerischen Fehlern führen kann. Alternativ kann zur Ableitungsbestimmung mit Rechnergenauigkeit Algorithmisches Differenzieren zum Einsatz kommen. Exemplarisch sollen beide Verfahren am Beispiel der Charakterisierung von Piezokeramiken untersucht werden. Dabei ergeben sich unterschiedliche Vor- und Nachteile, je nachdem ob die Ableitung zur Sensitivitätssteigerung oder zur Parameteroptimierung genutzt werden.

Di. 14:20 Runder Saal Ultraschall

Untersuchung von vermiedenen Kreuzungen von Lamb Wellen in mehrschichtigen Platten und deren Auswirkung auf die Kopplungsstärke der Schichten

Yevgeniya Lugovtsova[a], Sarah Johannesmann[b], Bernd Henning[b] und Jens Prager[a]

[a] *BAM Berlin;* [b] *Universität Paderborn*

Lamb-Wellen breiten sich in plattenförmigen Strukturen aus und zeigen ein dispersives und multimodales Verhalten, das von der Plattendicke, der Frequenz, den elastischen Konstanten und der Dichte des Materials abhängt. Um die Ausbreitung der Lamb-Wellen zu analysieren, werden die Dispersionsdiagramme für Phasen- und Gruppengeschwindigkeit berechnet. Im Dispersionsdiagramm einer Platte kann es vorkommen, dass sich die Kurven der Wellenmoden kreuzen, d.h. verschiedene Moden können bei einer gegebenen Frequenz die gleiche Phasengeschwindigkeit (Wellenzahl) aufweisen. In einem gekoppelten System aus mindestens zwei Platten mit unterschiedlichen akustischen Eigenschaften werden die Moden auch gekoppelt, kreuzen sich dann allerdings nicht mehr. Ihre Phasengeschwindigkeiten (Wellenzahlen) sind bei einer definierten Frequenz nicht mehr gleich. In dieser Arbeit werden solche vermiedenen Kreuzungspunkte identifiziert und in Bezug auf die Kopplungsstärke der Schichten numerisch und experimentell untersucht. Es werden die Breite, die Position und die Anzahl der vermiedenen Kreuzungen in einem bestimmten Frequenzbereich analysiert, um Merkmale zu gewinnen und dadurch die Kopplungsstärke zu charakterisieren. Eine der möglichen Anwendungen könnte die zerstörungsfreie Charakterisierung der Haftfestigkeit von Klebeverbindungen sein.

Di. 14:40 Runder Saal Ultraschall

Derivation of characteristic vibroacoustic parameters in Ultrasonic Sheet Metal Welding

Elie Abi Raad[a], Isabel Balz[b], Uwe Reisgen[b] und Michael Vorländer[a]
[a] *RWTH Aachen, Institute of Technical Acoustics;* [b] *RWTH Aachen, Institut für Schweißtechnik und Fügetechnik*

Ultrasonic Sheet Metal welding (USMW) is often used in industry to join electrotechnical components, such as in welding wires or battery components. The workpieces to be welded are compressed between two machine parts : the horn and the anvil. The horn vibrates at 20 kHz, causing friction between the two workpieces which leads to a friction-induced bond. However, the process still suffers from quality fluctuations, even given the same welding parameters. The goal of this project is to better understand what factors influence the quality of the weld and to identify vibroacoustic parameters that can be used to monitor the quality of the weld during welding. To do that, a series of experiments was conducted: two thin copper sheets were welded with a welding frequency of 20 kHz. During welding, the vibrations of the horn and anvil were recorded using two laser Doppler vibrometers, as well as the acoustic emissions. The experiments also explored varying some of the process parameters, such as the amplitude of welding or the pressure applied by the horn. The data is analysed, up to the fourth harmonic, to characterise the different parts of the welding process, and compare to the strength of the welds.

Di. 15:00 Runder Saal Ultraschall

Präsentation der Poster, die dieser Sitzung zugeordnet sind (s.u.)

Sitzung „Ultraschall (Poster)“
Kurzvorträge: Di. 15:00 (Runder Saal); Poster-Forum: Di. 15:20

Di.-Do. Ultraschall (Poster)

Charakterisierung der Ultraschall-Eigenschaften von Elastomeren

Lukas Diekmeyer, Aleksandra Maslak und Jens Meier
Deutsches Institut für Kautschuktechnologie

Die dynamisch-mechanischen allgemein und damit auch die akustischen Eigenschaften von Elastomeren sind prinzipiell frequenz- und temperaturabhängig. Herkömmliche Verfahren zur Bestimmung dieser Eigenschaften, wie die Dynamisch-Mechanisch-Thermische Analyse (DMTA), sind typischerweise auf Maximalfrequenzen unterhalb 100 Hz beschränkt. Da insbesondere im akustischen Bereich bei vielen Elastomeranwendungen deutlich höheren Frequenzen angeregt werden, besteht entsprechend großes Interesse an der Charakterisierung von Materialeigenschaften in diesen Bereichen.

In diesem Zusammenhang ist die Ultraschallspektroskopie eine sinnvolle Ergänzung zur DMTA. Mit diesem Verfahren ist es möglich, die akustischen Eigenschaften von Elastomeren, wie Schallgeschwindigkeit und Absorption, im höheren kHz-Bereich zu charakterisieren. Damit lassen sich die aus der mechanischen Messung extrapolierten Daten (Masterkurven) verifizieren.
Zu diesem Zweck sind ein grundlegendes Verständnis der Messtechnik sowie die Überprüfung der während der Analyse vorgenommenen Näherungen erforderlich. Daher werden die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Messungen durch Finite-Elemente-Simulationen ergänzt, um die bei der Ultraschallspektroskopie auftretenden akustischen Effekte zu visualisieren und die Funktionalität dieser Methode zu bewerten.

Di.-Do. Ultraschall (Poster)

Aussagefähigkeit von Fehlstellenimitaten in der ZfP

Andreas Sebastian Schmelt[a], Zhe Li[a], Torben Marhenke[b], Jörg Hasener[b] und Jens Twiefel[a]
[a]*Leibniz Universität Hannover, Inst. für Dynamik und Schwingungen;* [b]*Fagus-GreCon Greten GmbH & Co. KG*

In der zerstörungsfreien Prüftechnik für plattenförmige Werkstoffe werden laufend neue Transmitter-Receiver Einheiten entwickelt und auf dem Markt gebracht. Um die Qualität dieser Systeme zu evaluieren werden Fehlstellenimitate eingesetzt. Diese Imitate werden auf der Oberfläche der Platte platziert und durch den so entstandenen Impedanzsprung eine Fehlstelle im Material imitiert. Jedoch wurde bis heute die Qualität des Fehlstellenimitats nicht überprüft. Die Antwort auf diese Frage wurde in dieser Arbeit mit Simulationen und Experimenten herausgearbeitet. Dafür wurden 2D-Simulationen mit der MATLAB toolbox k-Wave durchgeführt. Dabei wurden zwei Platten untersucht. Die eine mit einem Lufteinschluss und die andere mit einem Imitat auf der Oberfläche. Die Experimente werden als Durchschallungsversuche im C-Scan Verfahren durchgeführt. Dafür wurde eine Platte verwendet, die maschinell mit Fehlstellen unterschiedlicher Durchmesser produziert wurde. Eine weitere, fehlerfreie Platte, wird mit Imitaten belegt und auf identische Weise untersucht. Das gemessene Signal wird jeweils mit Hilfe des Rayleigh-Sommerfeld Beugungsintegrals zurück auf die Oberfläche gerechnet. In Bereichen mit niedrigerem Schalldruck sind dann die Fehlstellen/-imitate zu finden. Wir zeigen in dieser Arbeit das Fehlstellenimitate einige Arten von Fehlstellen qualitativ imitieren können und einige nicht. Damit wird erstmals gezeigt, wann dieses Vorgehen geeignet ist, die Qualität der Systeme zu beschreiben.

Di.-Do. Ultraschall (Poster)

Impedanzmessrohr für Ultraschall

Jonas Stein, Tobias Merkel und Norbert Gorenflo
Beuth Hochschule für Technik Berlin

Mit einem Impedanzmessrohr lassen sich Reflexionsfaktoren von Materialien und Oberflächen bestimmen. Dabei muss der Rohrdurchmesser deutlich kleiner als die halbe Wellenlänge der höchsten Frequenz sein. Für Untersuchungen im Ultraschallbereich ergeben sich Rohrdurchmesser von deutlich weniger als 10 mm. Die Mikrofone müssen klein sein und mit der Membran in die Rohrwand eingebracht werden. Aufgrund der kleinen Dimensionen resultieren besondere Herausforderungen bei Konstruktion und Umsetzung. Übliche Mikrofone sind vor allem wegen der Baugröße und deren unzureichend präziser Platzierbarkeit ungeeignet. Wir experimentieren deshalb mit analogen MEMS, welche neben der geringen Baugröße auch für den Ultraschallbereich ausgelegt sind.
Bei der Konstruktion und Messdurchführung orientierten wir uns an der DIN EN ISO 10534-2, wobei von einigen Vorgaben vor allem aufgrund der hohen Präzisionsanforderungen gegenüber der fertigungstechnischen Realisierbarkeit abgewichen wurde. Es erfolgte eine Kalibrierung mit einem schallharten Abschluss, welche bei den anschließenden Messungen als Referenz dient.
Als Testobjekte standen selbst entwickelte akustische Resonatoren mit einer ausgeprägten Resonanzfrequenz im unteren Ultraschallbereich zur Verfügung. Insbesondere deren Resonanzfrequenz konnte mit dem neuen Impedanzmessrohr bestimmt werden. Im Resonanzfall wird viel Energie absorbiert. Das resultierende Reflexionsminimum kann mittels der Auswertung des frequenzabhängigen Reflexionsfaktors anhand digitaler Signalverarbeitung und entsprechender Algorithmen ermittelt und der Resonanzfrequenz zugeordnet werden.

Di.-Do. Ultraschall (Poster)

Diffusion von Ultraschallwellen durch Beton während verschiedener Belastungsszenarien

Raul Beltran und Steffen Marx
Leibniz Universität Hannover, Institut für Massivbau

Beton ist hinsichtlich der Ausbreitung von Ultraschallwellen aufgrund seiner heterogenen Beschaffenheit in der Mikro- und Mesoebene ein hochdispersives Material. Dies wird deutlich in einer vielfachen Streuung von Ultraschallwellen, was sich wiederum in einem sehr ausgeprägten diffusen Signalanteil zeigt. Die Diffusion von Ultraschallwellen durch Beton lässt sich gemäß der eindimensionalen Diffusionsgleichung durch folgende zwei Parameter bestimmen: Diffusität und Dissipation. Die Diffusität beschreibt die Mikrostruktur des Materials, während die Dissipation die viskoelastischen Eigenschaften des Materials widerspiegelt. In diesem Aufsätz wird die Veränderung der Diffusionsparameter von Beton

während Druck- und Ermüdungsversuchen diskutiert. Die Forschungsfrage in diesem Zusammenhang ist, welchen Einfluss die Entwicklung der Schädigung auf die Diffusion von Ultraschallwellen in Beton bei verschiedenen Belastungsszenarien hat. Vor diesem Hintergrund wurden Ultraschallmessungen während Druck- und Ermüdungsversuchen durchgeführt. Durch die Auswertung dieser Messergebnisse wurden die Diffusität und Dispersion ermittelt. Dabei wurde die spektrale Energiedichte um ausgewählten Frequenzen ausgewertet. Unter Annahme einer Normalverteilung der transportierten Energie durch die Wellen an jedem Ort und zu jeder Zeit können die Diffusionsparameter aus den Koeffizienten der Lösung einer eindimensionalen Diffusionsgleichung mittels einer linearen Regression ermittelt werden. Zuletzt wurde die Veränderung der Diffusionsparameter mit der Schädigungsentwicklung ermittelt.

Di.-Do. Ultraschall (Poster)

Charakterisierung von optischen Mikrofonen

Sonja Walther und Christoph Kling
Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Als Alternative zu den klassischen Mikrofonen können auch optische Prinzipien zur Erfassung des Schalldrucks eingesetzt werden. Theoretisch verspricht die neue Technik glatte Frequenzgänge vom Hörschall bis in den GHz-Bereich. Praktisch sind die Systeme am Markt jedoch noch wenig verbreitet; Erfahrungen im praktischen Einsatz, insbesondere vermessene Frequenzgänge sind kaum veröffentlicht. Daher wurde beispielhaft ein System näher untersucht. Das Poster zeigt Ergebnisse von akustischen Kalibrierungen im Freifeld bei Frequenzen bis 100 kHz.

Di.-Do. Ultraschall (Poster)

Plasma-basierte Detektion von akustischen Wellen

Daniel Hufschläger und Mate Gaal
BAM Berlin

Zur Detektion von Schallwellen haben sich unterschiedliche Technologien und Verfahren entwickelt, die es ermöglichen durch geschickte Nutzung physikalischer Wechselwirkungen akustische Größen in elektrische Messgrößen umzuwandeln. Die dabei klassischerweise genutzten Kondensatormikrofone weisen aufgrund ihres physikalischen Funktionsprinzips oftmals Grenzen hinsichtlich des abgedeckten Frequenzbereiches auf. Eine Alternative stellen breitbandige optische Mikrofone oder Laserdopplervibrometeranordnungen dar, welche im Vergleich zum Kondensatormikrofon kostspielig sind. Dieser Beitrag stellt das Konzept einer alternativen Lösung zur breitbandigen Detektion von akustischen Wellen vor. Das Konzept ruht auf Basis einer dielektrisch gehemmten Oberflächenentladung (SDBD) unter Atmosphärendruck vor. Dabei werden Änderungen des Ionenstroms auf einem Detektor durch die Einwirkung einer Schallwelle gemessen. Der präsentierte Ansatz wurde dabei auf seine Bandbreite und Empfindlichkeit untersucht und einer Messung

mit Laserdopplervibrometer gegenübergestellt. Dieser Beitrag präsentiert die so gewonnenen experimentellen Ergebnisse und das damit verbundene Modell erstmals.

Sitzung „Numerische Akustik 1“

Di. 13:20 Raum 7 Numerische Akustik 1

FEAST Löser für nichtlineare struktur-akustische Eigenwertprobleme

Suhaib Koji Baydoun und Steffen Marburg
TU München, Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme

Modalanalysen werden zur Auslegung vibrierender Strukturen eingesetzt und liefern dem Ingenieur Systemeigenschaften wie Eigenfrequenzen und modale Dämpfungswerte. In der Praxis werden die zusätzlichen Massen- und Dämpfungseinflüsse der umgebenden Luft auf die Struktur vernachlässigt. Bei der numerischen Modalanalyse von Leichtbaustrukturen ist die Berücksichtigung der akustischen Last jedoch erforderlich um zuverlässige Ergebnisse zu erhalten. In diesem Beitrag wird eine neue Methode zur Lösung des zugrundeliegenden nichtlinearen Eigenwertproblems (NLEWP) vorgestellt.
Das gekoppelte Struktur-Akustik-System wird mittels FEM und BEM diskretisiert. Basierend auf einer Konturintegration auf der komplexen Ebene wird ein FEAST-Algorithmus verwendet, um die Dimension des NLEWP zu verkleinern. Anders als etablierte Konturintegralmethoden handelt es sich hier nicht um einen direkten Eigenwertlöser, sondern um ein iteratives Projektionsverfahren. Das projizierte (reduzierte) NLEWP kann dann unter vernachlässigbarem numerischen Aufwand durch klassische Verfahren gelöst werden, wobei in diesem Beitrag auf eine Chauchy-Interpolation mit anschließender Linearisierung zurückgegriffen wird. Anhand von numerischen Beispielen wird die Konvergenz und Effizienz des vorgestellten Verfahrens untersucht.

Di. 13:40 Raum 7 Numerische Akustik 1

Kopplung der Randelementmethode mit der Finite Elemente Methode zur Untersuchung der Boden-Bauwerk-Interaktion im Zeitbereich

Bettina Chocholaty[a], Francesca Taddei[b], Gerhard Müller[b] und Steffen Marburg[a]
[a] *TU München, Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme;* [b] *TU München, Baumechanik*

Insbesondere bei dynamisch angeregten Bauwerken, z.B. Windkraftanlagen oder Brückenbauwerken, wird das Verhalten der Struktur durch den Boden beeinflusst. Aus diesen Fragestellungen ergibt sich der Bereich der Boden-Bauwerk-Interaktion. Die Abstrahlung in den unendlichen Halbraum und dessen Nachgiebigkeit müssen hierbei korrekt dargestellt werden. Die Randelementmethode hat sich hierfür als vorteilhaft

erwiesen. Um Boden und Struktur gemeinsam analysieren zu können, wird eine Kopplung zwischen Bauwerk, dargestellt mithilfe der Finite Elemente Methode, und Boden, berechnet mithilfe der Randelementmethode, hergestellt.
Im Rahmen dieses Beitrags wird ein solches Konzept vorgestellt, welches unter Zuhilfenahme von MATLAB und ANSYS umgesetzt wurde. Der homogene Halbraum des Bodens wird mithilfe zweidimensionaler Randelemente repräsentiert. Hierfür werden Fundamentallösungen des dreidimensionalen Halbraums mit Belastung durch die Heaviside-Funktion verwendet. Die dabei generierte Steifigkeitsmatrix wird zur Bewegungsgleichung der Struktur hinzugefügt. Weiterhin werden zur Berücksichtigung des Zeitverlaufs der Sohlspannungen Bodenreaktionslasten als äußere Kräfte aufgebracht. Das generierte Gleichungssystem wird schließlich gelöst, um auf diese Weise das Verhalten des Bauwerks unter Berücksichtigung des Einflusses des Bodens darzustellen. Das vorgestellte Verfahren wird anschließend am Beispiel eines Oberflächenfundaments veranschaulicht.

Di. 14:00 Raum 7 Numerische Akustik 1

Isogeometrische Formulierung der Energie-Boundary-Elemente-Methode

Matthias Ram, Kim Marcel Beiroth und Otto von Estorff
Techn. Universität Hamburg, Institut für Modellierung und Berechnung

Die Energie-Boundary-Elemente-Methode (EBEM) ist ein Verfahren zur Vorhersage der akustischen Schallabstrahlung bei hohen Frequenzen. Entgegen der klassischen Boundary-Elemente-Methode (BEM) zur Lösung der Helmholtz-Gleichung ist die in einem EBEM-Modell erforderliche Netzauflösung unabhängig von der Frequenz. Die Zahl der zur Modellierung erforderlichen Freiheitsgrade und der damit einhergehende numerische Aufwand kann somit gering gehalten werden. In einer isogeometrischen Analyse erfolgt die Berechnung direkt auf Basis einer CAD-Geometrie, indem die zugrundeliegenden Non-Uniform Rational B-Splines (NURBS) sowohl zur Geometriebeschreibung als auch zur Approximation der Randwerte in der numerischen Analyse genutzt werden. Damit kann auf die üblicherweise zur Diskretisierung genutzten Lagrange-Elemente verzichtet werden. Der mit der Vernetzung verbundene Aufwand sowie der bei Nutzung von Lagrange-Elementen unvermeidliche Geometriefehler entfallen. Eine isogeometrische EBEM ermöglicht potentiell sehr schnelle akustische Simulationen im Hochfrequenzbereich, da sowohl die Modellerstellung als auch die Berechnung drastisch beschleunigt werden. Änderungen der Geometrie, die im CAD-Modell vorgenommen werden, liegen zudem unmittelbar auch im Rechenmodell vor, wodurch ein iterativer Entwicklungsprozess wesentlich beschleunigt werden kann. Im vorliegenden Beitrag wird eine isogeometrische Formulierung der EBEM vorgestellt und anhand von Anwendungsbeispielen ihre Vor- und Nachteile kritisch diskutiert.

Di. 14:20 Raum 7 Numerische Akustik 1

Patch-Ansatz für akustische isogeometrische Analysen mit der Boundary-Elemente-Methode

Kim Marcel Beiroth[a], Sören Keuchel[b] und Otto von Estorff[a]
[a] *Techn. Universität Hamburg, Institut für Modellierung und Berechnung;* [b] *Novicos GmbH*

Die Genauigkeit der Boundary-Elemente-Methode (BEM) hängt unter anderem von der Beschreibung der Geometrie ab. In der klassischen BEM wird das CAD-Modell durch Elemente auf Basis von Lagrange-Polynomen approximiert, wodurch sich geometrische Ungenauigkeiten ergeben. Bei einer isogeometrischen Analyse (IGA) können CAD-Geometrien direkt als Basis für die numerischen Berechnungen verwendet werden. Dadurch entfällt der Geometriefehler und der Vernetzungsprozess wird beschleunigt. Außerdem können mögliche Designänderungen des CAD-Modells direkt für das Berechnungsmodell übernommen werden. Die der Geometriebeschreibung zugrundeliegenden Nicht-Uniformen Rationalen B-Splines (NURBS) ermöglichen die exakte Darstellung der Geometrie und werden bei der IGA auch zur Approximation der Randwerte verwendet. Die NURBS sind auf einer den Elementen übergeordneten Struktur definiert, die als Patches bezeichnet werden.
Für eine erleichterte Integration der IGA in bestehende Programmstrukturen wird häufig die Bezier-Extraktion genutzt, um elementweise identische Ansatzfunktionen zu erzeugen. Im Gegensatz dazu können die Ansatzfunktionen für den Patch-Ansatz elementweise unterschiedlich verlaufen und über mehrere Elemente definiert sein. Dadurch ergibt sich der Vorteil einer geringeren Anzahl an Freiheitsgraden bei gleichzeitig höherer Stetigkeit der Basisfunktionen. Außerdem werden durch den Patch-Ansatz vielversprechende neue Verfeinerungsstrategien ermöglicht. Im vorliegenden Beitrag wird ein neu entwickelter Patch-Ansatz vorgestellt und anhand von akustischen Anwendungsbeispielen verifiziert.

Di. 14:40 Raum 7 Numerische Akustik 1

Verfahren zur Ermittlung abstrahlungsrelevanter Eigenmoden bei der Berücksichtigung von FEM-Schalenelementen

Ralf Burgschweiger[a], Ingo Schäfer[b] und Martin Ochmann[a]
[a] *Beuth Hochschule für Technik Berlin;* [b] *Wehrtechnische Dienststelle 71*

Ein selbstentwickelter, auf der BEM-basierender, Code zur Ermittlung des rückgestreuten Schalldruckpegels im Fernfeld wurde dahingehend erweitert, dass zusätzlich gekoppelte FEM-Schalenelemente und damit elastische Materialeigenschaften berücksichtigt werden können. Hierfür wird ein zusätzliches FEM-Gleichungssystem aufgebaut und über entsprechende Transformationsmatrizen unmittelbar in das

der BEM eingebunden. Eine gängige Variante für den FEM-Anteil besteht in der Verwendung eines auf Eigenwertberechnungen basierenden Lösers, welcher für eine vorgegebene Frequenzobergrenze die entsprechenden Eigenfrequenzen und -vektoren des ungekoppelten FEM-Gleichungssystems zurückliefert. Allerdings zeigt sich, dass nur ein Teil der Moden abstrahlungsfähig und damit relevant ist. Ein Algorithmus ermittelt unter Berücksichtigung eines vorgegebenen Reduktionsfaktors durch eine schnelle Postprocessing-Routine diese abstrahlungsfähigen Moden und verkleinert das Eigenwert-Gleichungssystem entsprechend. Damit verkürzt sich zum einen die Lösungszeit für das Gesamtsystem, zum anderen wird zusätzlich untersucht, ob sich die Kondition des Gleichungssystems durch das Entfernen der nicht relevanten Moden bei der Verwendung von iterativen Lösungsverfahren verbessert und sich damit die Iterationsanzahl verringert. Dieser Beitrag geht auf den verwendeten Reduktionsalgorithmus ein und stellt die erzielten Resultate an entsprechenden Teststrukturen in Abhängigkeit vom verwendeten "Reduktionsfaktor" vor.

Di. 15:00 Raum 7 Numerische Akustik 1

Präsentation der Poster, die dieser Sitzung zugeordnet sind (s.u.)

Sitzung „Numerische Akustik (Poster)"
Kurzvorträge: Di. 15:00 (Raum 7); Poster-Forum: Di. 15:20

Di.-Do. Numerische Akustik (Poster)

Modellierung der Schallabstrahlung des Turmes einer Windenergieanlage

Mirco Jonkeren, Jasmin Hörmeyer, Tobias Bohne und Raimund Rolfes
Leibniz Universität Hannover - Institut für Statik und Dynamik

Durch den fortschreitenden Ausbau der Windenergie an Land rücken potenzielle Standorte für Windenergieanlagen zunehmend in die Nähe urbaner Gebiete. Die Folge ist eine steigende Schallemission in den menschlichen Wohnraum, was zu zunehmenden Debatten über die Akzeptanz der Bevölkerung gegenüber der Windenergie an Land führt. Die Schallabstrahlung einer Windenergieanlage kann im Entwurfsstadium mit Hilfe eines numerischen Simulationsmodells abgeschätzt werden. Aufgrund der Komplexität ist eine Zerlegung in Teilmodelle unvermeidlich, welche schließlich zu einem Gesamtmodell zusammengefügt werden. Dieses wird im Rahmen des Verbundprojektes "WEA-Akzeptanz - Von der Schallquelle zur psychoakustischen Bewertung" entwickelt und verknüpft unter realistischen atmosphärischen Bedingungen die physikalische Schallentstehung, -abstrahlung und -ausbreitung mit der psychoakustischen Bewertung am Immissionsort. Das Ziel des vorliegenden Beitrages besteht darin, die Körperschallabstrahlung des Turmes

einer Windenergieanlage zu simulieren. Dies stellt die Schnittstelle zwischen strukturdynamischer Simulation und einem Modell zur Berechnung der Schallausbreitung im Fernfeld unter meteorologischen Einflüssen dar. Mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode (FEM) wird ein Modell zur Berechnung der Körperschallabstrahlung einer realen Turmgeometrie erstellt. Dessen Schwingungen werden mittels eines strukturdynamischen Simulationsmodells gesondert berechnet. Es kann gezeigt werden, dass die vorgegebenen Turmschwingungen als Randbedingung in das FE-Modell importiert und die resultierende Körperschallabstrahlung unter Freifeldbedingungen mithilfe des erarbeiteten FE-Modells berechnet werden kann.

Sitzung „Lehre der Akustik“

Di. 13:20 Raum 8 Lehre der Akustik

DFG-Förderung der frühen wissenschaftlichen Karriere

Wieland Biedermann

Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG

Die Förderung der frühen wissenschaftlichen Karriere ist eines der zentralen Ziele der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Als größter Förderorganisation Deutschlands bietet sie umfangreiche Möglichkeiten - sowohl der Personen- als auch der Projektförderung. Im Jahr 2019 wurde das Portfolio um das Walter-Benjamin-Programm erweitert, das sich an Personen unmittelbar nach der Promotion richtet. Dieser Vortrag stellt die aktuellen Förderangebote der DFG vor und bietet eine Orientierung für den Einstieg in die DFG-Förderung.

Di. 13:40 Raum 8 Lehre der Akustik

Concept and Realization of Open Education Resources using Juypter

Sascha Spors[a], Frank Schultz[a], Vera Erbes[b] und Max Schröder[a]

[a] *Univ. Rostock, Institut für Nachrichtentechnik;* [b] *Universität Rostock*

Open Educational Resources (OERs) provide teaching material under an open license for free access, usage, modification and redistribution. OpenCourseWare is a prominent representative of OER. In this contribution we report on the concept and realization of OERs in the field of acoustics and (digital) signal processing utilizing Jupyter notebooks. This concept features many favorable properties for technical education. Among others, it is very convenient to combine text, math, illustrations and implementations into one homogeneous document. Furthermore, code in these documents can be executed so that the results of the implementation are aligned, too. We discuss the conception of a series of Jupyter notebooks constituting the lecture notes to various bachelor and master modules. We furthermore, discuss the tools and processes used for authoring and sustainable provisioning following data literacy principles.

Di. 14:00 Raum 8 Lehre der Akustik

Forschung in Lehrveranstaltungen integrieren - Forschendes Lernen initiieren

Dagmar Rokita, Sebastian Mellert und Friedrich Ueberle
HAW Hamburg, LS-Physik

In der Lehrveranstaltung "Lärmanalyse und Lärmbekämpfung" werden seit dem Sommersemester 2018 Studierende an die angewandte Forschung der HAW Hamburg im Bereich Akustik und erneuerbare Energien herangeführt. Dabei erhalten die Studierenden bei mehreren Exkursionen Einblicke in die aktuellen Forschungsprojekte und machen erste eigene Erfahrungen mit unterschiedlichen Messgeräten und -methoden. Neben einem Soundwalk, bei dem Studierenden mit dem Konzept des Soundscape konfrontiert werden, gehören der Besuch des Akustikzentrums und des Energie Campus zu den Stationen der Exkursionen. Von den Problemen bei Freifeldmessungen mit dauerhaftem Hintergrundgeräusch bis zu den kontrollierten Bedingungen eines Hall- oder Schallarmen-Raumes wird den Studierenden das gesamte Spektrum der Schallmessung zugänglich gemacht.

Dabei werden die Studierenden auch angeleitet forschend aktiv zu werden. Durch kleinere Projekte wie der Kalibrierung von Smartphones mit anschließender Überprüfung der Gesetze für die Schallausbreitung werden die Studierenden animiert eigene Hypothesen aufzustellen, Messungen durchzuführen, zu dokumentieren und abschließend zu bewerten. Damit werden wichtige Teile des Forschungszyklus im Rahmen der Exkursionen durchlaufen.

Um diesem forschenden Charakter der Lehrveranstaltung gerecht zu werden, besteht die Prüfungsleistung aus einem Portfolio. So können die Studierenden zeigen, dass sie durch die Vorlesung neben einem tieferen Bewusstsein für Schall und Lärm auch ein Verständnis für Forschungsmethoden und Selbstreflexion entwickelt haben.

Di. 14:20 Raum 8 Lehre der Akustik

Pedagogical approaches to acoustics for architecture students

Josep Llorca-Bofí[a], Sigrid Brell-Cokcan[b] und Michael Vorländer[a]
[a] *RWTH Aachen, Institute of Technical Acoustics;* [b] *RWTH Aachen, Individualized Production in Architecture*

The impact of the architect's design on the acoustics of the environment is taken for granted. It becomes more specific when talking about room acoustics, building acoustics or soundscapes. However, the architecture pedagogic programs devote very little time to the study of acoustics. This work presents the results of an introduction course to the research in architectural acoustics. With the focus in the perception of sound in built spaces, the students conduct their own research on a specific topic. The explanation will cover the results, difficulties, potential paths and limitations of this pedagogical practices.

Di. 14:40 Raum 8 Lehre der Akustik

Der Plasma-Lautsprecher als Hochschul-Lehrversuch

Florian Hubert, Philipp Dorsch, Patrick K. Kroh, Hans-Michael Günther und Stefan J. Rupitsch

Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Sensorik

In Hochschul-Lehrveranstaltungen lassen sich physikalische Effekte und die zugrunde liegende Theorie anschaulich anhand von Vorlesungsversuchen verdeutlichen. Besonderes Interesse wird hierbei durch optische, akustische und olfaktorische Sinneswahrnehmungen und vor allem durch die Kombination dieser Reize geweckt. Tesla-Transformatoren stellen vor diesem Hintergrund ein hervorragendes Anschauungsobjekt für die Hochschullehre im Fach "Technische Akustik" dar. Beim Tesla-Transformator wird durch zwei gekoppelte elektrische Schwingkreise mit gleicher Resonanzfrequenz Hochspannung erzeugt, um einen Lichtbogen zwischen einer Elektrode und dem entfernten Erdpotential zu zünden. Durch ein geeignetes Schaltungskonzept moduliert man die Amplitude der erregenden Spannung und kann so die lokale Erwärmung der Luft um das Plasma steuern. Die so erzeugten lokalen Schalldruckschwankungen breiten sich in Wellenform in der Umgebung aus und können als Hörschall wahrgenommen werden. Dieses Wandlungsprinzip hat das Potential einen Lautsprecher mit breitem Frequenzgang zu erzeugen, da die schwingende Masse des Systems minimal ist und somit theoretisch ein hochdynamisches Systemverhalten erzielt werden kann. Im Rahmen des Konferenzbeitrags soll ein Plasma-Lautsprecher-Demonstrator für die Hochschullehre vorgestellt werden. Dabei werden die Funktionsprinzipien von elektrischer Schaltung und elektro-akustischer Wandlung erläutert. Die akustischen Eigenschaften des Plasma-Lautsprechers werden abschließend anhand anschaulicher Versuche ermittelt.

Di. 15:00 Raum 8 Lehre der Akustik

Präsentation der Poster, die dieser Sitzung zugeordnet sind (s.u.)

Sitzung „Lehre der Akustik (Poster)“
Kurzvorträge: Di. 15:00 (Raum 8); Poster-Forum: Di. 15:20

Di.-Do. Lehre der Akustik (Poster)

Analoge Klangsynthese zur Vermittlung von Grundkenntnissen der Signalverarbeitung an Studierende nicht-technischer Fachrichtungen

Matthias Krumme, Manuel Webersen, Leander Claes und Yvonne Webersen
Universität Paderborn

Der Studiengang ”Populäre Musik und Medien” an der Universität Paderborn vermittelt den Studierenden unter anderem Grundlagen in den Bereichen Musikwissenschaft und Musikproduktion und ist in seiner Form deutschlandweit einzigartig. Signalverarbeitende Audiotechnik stellt einen wichtigen Bestandteil der Musikproduktion und -wiedergabe dar und wird im Rahmen des Studiengangs vielfältig eingesetzt. Der technische Hintergrund dieser Technologie ist den meisten Studierenden jedoch nicht bekannt, bzw. kann in seiner Komplexität im Rahmen des Studiengangs nicht vermittelt werden. Hier setzt die neu konzipierte Lehrveranstaltung ”Klanganalyse- und Synthese” an, die eine Brücke zwischen der eher kulturwissenschaftlichen Sicht auf Musikproduktion einerseits und der ingenieurtechnischen Sicht andererseits schlägt. Dabei stellen die fehlenden physikalisch-technischen Grundlagen der Studierenden eine besondere Herausforderung dar. Aus diesem Grund ist die für Ingenieursstudiengänge übliche theorie- und mathematikfokussierte Herangehensweise ungeeignet, sodass sich der vorzustellende Ansatz auf stark anwendungsbezogene Beispiele stützt. Den Kern bilden dabei modulare Analogsynthesizer, mit deren Hilfe grundlegende Konzepte der Signalverarbeitung (z.B. Filter oder Amplituden- und Frequenzmodulation) mit bekannten Arbeitsschritten der Musikproduktion verknüpft werden können. Insbesondere können die Studierenden in praktischen Übungssituationen selbst erfahren, wie einzelne Signalverarbeitungsschritte den Klang formen.

Sitzung „Akustische Messtechnik und Sensorik 1“

Di. 13:20 Raum 11 Akustische Messtechnik und Sensorik 1

Empirische Verifikation des Einflusses biaxialer mechanischer Spannung auf geführte Wellen

Michael Ponschab, Daniel A. Kiefer und Stefan J. Rupitsch
Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Sensorik

Geführte elastische Wellen werden in plattenförmigen Strukturen zunehmend zur zerstörungsfreien Strukturüberwachung sowie in der Sensorik und Aktorik eingesetzt. Sowohl die Reflexion der Wellenpakete an Fehlstellen in plattenförmigen Strukturen als auch die Änderung der Wellenausbreitung aufgrund externer Einflüsse lassen sich sehr gut für die eingriffsfreie Überwachung systemkritischer Elemente beispielsweise in der Luft- und Raumfahrt sowie in der Kernkraft heranziehen. Beispielsweise beeinflussen statische äußere mechanische Belastungen und Eigenspannungen die Wellenausbreitung, welche durch materialspezifische Dispersionscharakteristiken beschrieben wird. Der Einfluss mechanischer Vorspannungen auf die elastische Wellenausbreitung wird als Akustoelastizität bezeichnet. In diesem Tagungsbeitrag wird der Einfluss der Akustoelastizität auf die Wellenausbreitung anhand der Ergebnisse numerischer Modelle diskutiert und mit dem empirisch beobachteten Messeffekt verglichen. Da die Auswirkung der mechanischen Spannungen nur zu sehr kleinen Änderungen der Ausbreitungsgeschwindigkeit führt, werden in den Messungen keine absoluten, sondern nur relative Laufzeitänderungen betrachtet. Die Experimente bestätigen das Auftreten des akustoelastischen Effekts, zeigen aber auch, dass die Kenntnis der Materialparameter höherer Ordnung für eine realitätsnahe Modellierung zwingend erforderlich ist.

Di. 13:40 Raum 11 Akustische Messtechnik und Sensorik 1

Composing absorption coefficients of sandwiched materials using measured four pole transfer matrices

Rene Boonen
Nabla Technisches Beratungsbuero

A transmission tube has been developed to measure the four pole matrix of a sample of absorbing material based on the ISO 10534-2 transfer function method. The electrical analogy of a sample in a transmission tube can be considered as a T-equivalent circuit of three impedances, two in series and one in parallel. As consequence, three measurements with three different closing impedances needs to be carried out. From these measurements, a set of equations will result from which the three impedances of the T-equivalent circuit can be determined in real and imaginary parts in terms of frequency. Once these impedances are known, the transfer matrix of the sample can be set up. These transfer matrices can be kept in a library. For a sandwich material, the sandwich transfer matrix will be determined by multiplication of the transfer matrices of

each component in the appearing sequence. Then, the absorption coefficient is determined from the sandwich transfer matrix. Benchmark absorption measurements have been carried out on sandwiched materials in the impedance tube. A good agreement has been established between transmission tube and impedance tube measurements in a range of 40Hz-4kHz.

Di. 14:00 Raum 11 Akustische Messtechnik und Sensorik 1

Abhängigkeit des Absorptions- und des Transmissionsgrades von Schäumen vom Einbauwinkel im Impedanzrohr

Jana Tietz[a], Martin Radestock[b] und Michael Sinapius[c]
[a] *TU Braunschweig, iAF;* [b] *DLR, FA-ADA, Braunschweig;* [c] *TU Braunschweig, Institut für Adaptronik und Funktionsintegration*

Leichtbau sowie akustischer Komfort sind im Bereich der Mobilität wesentliche Entwicklungsfaktoren. Der Einsatz von Dämmmaterialien aus porösem Kunststoff vereint diese beiden Aspekte. Zwei Größen zur Charakterisierung des Dämmvermögens dieser Werkstoffe sind Schallabsorptions- und Schalltransmissionsgrad. Grebel et al. stellten bei der Vermessung von Schaumstoffen im Impedanzrohr fest, dass sich der Absorptionsgrad unter Variation des Drehwinkels einer Probe um die Rohrachse wesentlich ändert, sodass in bestimmten Frequenzbereichen keine verlässlichen Werte ermittelt werden können [Grebel et al. 2017]. In diesem Artikel soll die Abhängigkeit zwischen Einbauwinkel und Absorptions- sowie Transmissionsgrad im Frequenzbereich zwischen 230 und 2000 Hertz untersucht werden. Die untersuchten Materialien sind Polyurethanschaum, Polyethylenschaum, Melaminschaum sowie zwei Polyesterwollen unterschiedlicher Dichte. Aus den Ergebnissen wird eine Vorgehensweise zur Analyse von Dämmmaterialien im Impedanzrohr zur Erzielung reproduzierbarer Ergebnisse abgeleitet. Für Polyurethan und Polyethylen ergeben sich direkte Abhängigkeiten des Absorptions- bzw. Transmissionsgrades vom Einbauwinkel. Die anderen Materialien weisen zwar Unterschiede bei Variation des Einbauwinkels auf, jedoch ist keine direkte Abhängigkeit zum Absorptions- oder Transmissionsgrad erkennbar. Diese Abweichungen führen zu der Annahme, dass im Impedanzrohr für bestimmte Schäume kein eindimensionales Wellenfeld mehr vorliegt. Demzufolge wären die zugrundeliegende Theorie zur Berechnung der akustischen Größen sowie die Anwendung des Impedanzrohres selbst zur Ermittlung dieser in Frage zu stellen.

Di. 14:20 Raum 11 Akustische Messtechnik und Sensorik 1

Aufbau eines Messrohrs für die Messung von akustischen Impedanzen mit MEMS Mikrofonen

Roman Schlieper, Thure Gnadeberg, Stephan Preihs und Jürgen Peissig

Leibniz Universität Hannover, Institut für Kommunikationstechnik

Für die Bestimmung des Reflexionsfaktors, des Absorptionsgrades oder der akustischen Impedanz von Materialien gibt es verschiedene Ansätze. Ein Standardwerkzeug für diese Aufgabe ist das Impedanzmessrohr, bei dem der Schalldruck an verschiedenen Orten entlang einer ebenen Wellenfront gemessen wird. Üblicherweise werden für die Messung hochklassige Messmikrofone verwendet um den Messfehler möglichst gering zu halten. Bei der Entwicklung eines solchen Messrohrs gilt es stets zwischen der Messgenauigkeit, der Kontinuität der Rohroberfläche, dem Dynamikbereich und dem Preis abzuwägen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Messrohr entwickelt, dass mit insgesamt 16 MEMS Mikrofonen bestückt ist und einen Arbeitsfrequenzbereich von 60 Hz bis 20 kHz abdeckt. Um die Genauigkeit des Aufbaus zu überprüfen werden die Messergebnisse von Standardprüflingen mit den Ergebnissen eines konventionellen Messrohrs mit gleichem Innendurchmesser und 1/8" Messmikrofon verglichen.

Di. 14:40 Raum 11 Akustische Messtechnik und Sensorik 1

Charakterisierung frequenzabhängiger Eigenschaften poröser Materialien, Teil 1: Akustische Parameter

Kurt Jürgen Mick[a], Meike Faulhaber[a], Claudia Bardt[a] und Simon Kersten[b]

[a] *Sennheiser electronic GmbH & Co. KG;* [b] *RWTH Aachen, Institute of Technical Acoustics*

Bei der Entwicklung von Audiowiedergabesystemen wie Lautsprecher oder Kopfhörer werden diverse Arten von porösen Materialien eingesetzt. Sehr beliebt sind unter anderem Polymerschäume, welche zum Beispiel im Kopfhörerohrpolster verwendet werden. Um in der Designphase eines Produktes möglichst hohe Übereinstimmung des Simulationsmodells mit dem realen Aufbau zu erreichen, ist es notwendig die Materialeigenschaften der eingesetzten Werkstoffe exakt zu charakterisieren. Wird die akustische Charakterisierung poröser Materialien beabsichtigt, so steht eine große Anzahl an empirischen Materialmodellen zur Verfügung. Diese Modelle unterscheiden sich in der Anzahl ihrer Parameter sowie in der Tatsache, dass jedes Modell nur für einen bestimmten Polymerschaumtyp optimal anwendbar ist. Nichtsdestotrotz sind für die Parametrisierung der Mehrheit dieser Modelle nur die komplexe Wellenzahl und die spezifische Impedanz relevant. Zunächst werden verschiedene Messmethoden zur Ermittlung der komplexen Wellenzahl und der spezifischen Impedanz erläutert und verglichen. Die ausgewählten Methoden unterscheiden sich im Aufwand der Implementierung sowie in

der Schnelligkeit und Genauigkeit der Messung. Die Methoden basieren entweder auf dem Messprinzip eines Transmissionsrohres (ASTM E2611-09) oder auf dem eines Impedanzrohres (DIN EN ISO 10534-2). Anschließend werden die Messemethoden auf eine repräsentative Auswahl von Polymerschäumen angewendet. Aus den Ergebnissen kann eine Empfehlung gegeben werden, welche der Messmethoden sich am besten eignet, um die Polymerschäume zu charakterisieren.

Sitzung „Geräuschbeurteilung“

Di. 13:20 Raum 12 Geräuschbeurteilung

Bodenbewuchsabhängiger meteorologischer Korrekturfaktor C0

Mattias Trimpop
IfL GmbH, Düsseldorf

Die TA-Lärm basiert bei der Berechnung der Beurteilungspegel auf den Langzeit-Mittelungspegeln. Um diesen aus den in der Regel bei ausbreitungsgünstiger Wettersituation ermittelten Immissionspegeln zu erhalten wird eine meteorologische Korrektur in der TA-Lärm verwendet. Diese ist von dem Abstand zwischen Quelle und Immissionsort, der Emissions- und Immissionshöhe, der Ausbreitungsrichtung und einem für das entsprechende Gebiet definierten meteorologischen Korrekturfaktor abhängig. Dieser meteorologische Korrekturfaktor wird in der Regel von den Genehmigungsbehörden vorgegeben, kann jedoch auch explizit mit vorhandenen Windstatistiken berechnet werden. Dazu sind dann Angaben nötig, welche ausbreitungsrichtungsabhängig Dämpfung in Quer- und Gegenwind angenommen wird. Diese ausbreitungsrichtungsabhängigen Dämpfungen beziehen sich jedoch auf eine Standardausbreitungssituation, die der Ermittlung dieser Werte zugrunde lag. Bei Langzeitmessungen über verschiedene Bodenbewuchse wurde jedoch deutlich, dass gerade die Immissionspegel (und damit die windrichtungsabhängigen Dämpfungen) in Quer- und Gegenwind stark von dem Bodenbewuchs abhängig sind. Der Vergleich von parallel laufenden Langzeitmessungen über Wald- und Grasflächen (bei ansonsten gleichen Randbedingungen) zeigte, dass der Bodenbewuchs einen deutlichen Einfluss auf die windrichtungsabhängigen Dämpfungen hat. Die Messwerte der Langzeitmessung werden in dem Vortrag vorgestellt und diskutiert. Weiterhin wird vorgestellt, was geänderte Quer- und Gegenwinddämpfungswerte für den meteorologischen Korrekturfaktor bedeuten (können).

Di. 13:40 Raum 12 Geräuschbeurteilung

Beurteilung der Wahrnehmung der Schallemission von Wärmepumpen

Christian H. Kasess[a], Christoph Reichl[b], Holger Waubke[a] und Piotr Majdak[a]

[a] *Institut für Schallforschung, ÖAW;* [b] *Sustainable Thermal Energy Systems, Center for Energy, AIT, Wien*

Wärmepumpen sind eine vielfältig einsetzbare Technologie zur Raumwärmebereitstellung, Warmwasserbereitung und Kühlung von Gebäuden. Aufgrund ihres großen Potenzials, einen substanziellen Beitrag zum Umbau des Energiesystems zu leisten gewinnen sie stetig an Bedeutung. Das Hauptaugenmerk liegt bei Wärmepumpen naturgemäß auf der Energieeffizienz des Gerätes. Durch den zunehmenden Einsatz von Wärmepumpen spielen allerdings die von ihnen produzierten Geräusche eine immer größere Rolle. Die Anwendung lärmmindernder Maßnahmen welche sich möglichst wenig auf die Effizienz auswirken sollten ist daher ein wichtiges Forschungsthema. Wie solche Maßnahmen akustisch zu beurteilen sind ist wie auch bei anderen Arten von Umgebungslärm eine wichtige Forschungsfrage. Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, Geräusche von Wärmepumpen richtungsabhängig und unter Anwendung verschiedener, potentiell lärmmindernder, Maßnahmen psychoakustisch zu evaluieren. Untersucht wurden stationäre Geräusche 4 unterschiedlicher Wärmepumpenvarianten welche in einer schallabsorbierend ausgekleideten Klimakammer aufgenommen wurden. Der Richtungseffekt wurde untersucht, indem Aufnahmen der Geräusche an den vier Seiten der Wärmepumpe durchgeführt wurden. 20 Probanden beurteilten die Lästigkeit der verschiedenen Geräusche in einem Hörtest. Es zeigten sich Richtungseffekte welche aber von der jeweilig installierten Variante abhängig waren. Die Unterschiede in den Lästigkeitsurteilen lassen sich sehr gut durch A-Pegel und Lautstärkepegel erklären. Die zusätzliche Verwendung der psychoakustischen Schärfe und auch Rauhigkeit tragen zur besseren Erklärung bei.

Di. 14:00 Raum 12 Geräuschbeurteilung

Schallimmissionsprognose bei tieffrequenten Geräuschen

Christoph Fritzsche[a], Lucas Eckert[b], Christian Schulze[b] und Jörn Hübelt[c]

[a] *Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie;* [b] *Gesellschaft für Akustikforschung Dresden mbH;* [c] *Hochsch. Mittweida*

Das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie hat eine Untersuchung beauftragt mit dem Ziel, ein Verfahren für die Ermittlung der höchstzulässigen tieffrequenten Schallemissionen einer Anlage zu finden, für welche die Einhaltung der Anhaltswerte gemäß Beiblatt 1 zu DIN 45680:1997-03 mit angemessener Sicherheit zu erwarten

ist. Bislang gibt es kein genormtes Prognoseverfahren für tieffrequente Schallimmissionen, da diese gemäß DIN 45680 innerhalb von geschlossenen Räumen zu beurteilen sind und genormte Verfahren für die Schallimmissionsprognose die Schallimmissionen nur außen prognostizieren. Das Konzept der Untersuchung besteht darin, aus Messungen der Schallpegeldifferenzen zwischen außen und innen für repräsentative Räume Mittelwerte und Standardabweichungen der Pegeldifferenzen für tiefe Frequenzen zu gewinnen und daraus ein Prognoseverfahren abzuleiten. Konzept und Ergebnisse werden vorgestellt.

Di. 14:20 Raum 12 Geräuschbeurteilung

Bewertung leiser Geräusche in alltäglichen Situationen

Siegbert Versümer[a], Jochen Steffens[b] und Jörg Becker-Schweitzer[a]

[a] *Hochschule Düsseldorf, ISAVE;* [b] *Hochschule Düsseldorf, ISAVE / TU Berlin*

Menschen sind in ihrem persönlichen Alltag einer Vielzahl von Geräuschen unterschiedlicher Lautstärke ausgesetzt. Ziel dieses Beitrages war es, die Wahrnehmung und Bewertung leiser Geräusche unter Berücksichtigung situativer und personenbezogener Einflussfaktoren zu erforschen. Hierzu wurde eine Online-Studie durchgeführt, im Rahmen derer 1.749 Versuchsteilnehmer über bis zu drei Alltagssituationen berichteten, in denen sie leise Geräusche wahrnahmen. Die Teilnehmer beschrieben unter anderem die Eigenschaften der Geräusche und der Situationen. Zudem wurden die Persönlichkeitseigenschaften Extraversion und Neurotizismus, die Ausprägung der individuellen Lärmempfindlichkeit sowie sozio-demographische Faktoren erfasst. Die Personen gaben insgesamt 2.763 Geräusche an, welche auf Basis der Geräusch- und Situationsbeschreibungen den Kategorien *Technik*, *Natur* und *Mensch* zugeordnet wurden. Die Analyse eines linearen gemischten Modells ergab einen signifikanten Zusammenhang zwischen Geräuschkategorie und Angenehmheitsbewertung. Genauer wurden Naturgeräusche vornehmlich als sehr angenehm und technische Geräusche als eher unangenehm wahrgenommen, während menschliche Geräusche bezüglich der Angenehmheitsbewertung eine Gleichverteilung aufwiesen. Zudem zeigte sich, dass personenbezogene Eigenschaften (Random Intercept) 42% der Varianz der Angenehmheitsbewertungen erklären können. Als wichtigste Prädiktorvariablen für die Bewertungen konnten die Bereitschaft, Maßnahmen zur Minderung der Lästigkeit zu ergreifen, sowie die Lärmempfindlichkeit der Teilnehmer identifiziert werden. Die Ergebnisse dienen als Grundlage zur Geräusch- und Situationsklassifizierung und als Startpunkt weiterer Studien im Kontext der Wirkungen leiser Geräusche.

Di. 14:40 Raum 12 Geräuschbeurteilung

Acoustic Identification of Flat Spots on Wheels Using Different Machine Learning Techniques

Gabriel Dernbach, Athanasios Lykartsis und Stefan Weinzierl
TU Berlin, Fachgebiet Audiokommunikation

Continuous, non-invasive monitoring can free companies from unnecessary routine controls. We consider the case of the acoustic detection of flat spots, a sign of wear on the wheels of rail vehicles. We show that it is possible to detect the resulting acoustic signals in the field by means of audio recordings of passing trains, even with simple microphone techniques. We discuss practical considerations for data set creation and validation and investigate the use of different feature representations such as raw audio data, Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCCs), scatter transformation. Building upon a baseline model with Support Vector Machines (SVM) with MFCCs as input, we develop a semisupervised classifier (Efficient Net with unsupervised pre-training) and compare it to framing the problem as a segmentation task (using the U-Net architecture). Finally, we identify desirable representative invariances and implement the corresponding acoustic transformations. The results show that the detection of flat spots can be performed reliably and robustly even with comparably simple models.

Di. 15:00 Raum 12 Geräuschbeurteilung

Präsentation der Poster, die dieser Sitzung zugeordnet sind (s.u.)

Sitzung „Geräuschbeurteilung (Poster)“
Kurzvorträge: Di. 15:00 (Raum 12); Poster-Forum: Di. 15:20

Di.-Do. Geräuschbeurteilung (Poster)

Akustik von Entladungen

Peter Holstein[a], Karsten Fuchs[b], Steffen Seitz[c], Frank Berger[b] und Steffen Moeck[a]
[a] *Sonotec GmbH;* [b] *TU Ilmenau, FG Elektrische Geräte und Anlagen;* [c] *TU Dresden, Grundlagen der Elektrotechnik und Elektronik*

Eine Methode, Teilentladungen in elektrischen Anlagen und Komponenten zu lokalisieren und zu bewerten, beruht auf der Detektion der akustischen Emissionen. Die auf dem Markt verfügbare Prüftechnik (z.B. Ultraschallgeräte) arbeitet auf der Basis eines relativ einfachen Prinzips, das neben der reinen Detektionsfunktion die Ultraschallsignale auch hörbar macht. Erfahrene Prüfer können mittels der in den Hörbereich transformierten Signale die Intensität der elektrischen Teilentladungen unterscheiden und klassifizieren. Der direkt hörbare Bereich wird dabei ausgeblendet, um im industriellen Umfeld von Störgeräuschen unabhängig zu sein. Im Beitrag wird der Versuch unternommen, die akustischen Auswirkungen der Teilentladungen an unterschiedlichen grundlegenden

Elektrodenanordnungen mittels geeigneten Signalverarbeitungsverfahren zu klassifizieren. Durch diese Anordnungen können alle praxisrelevanten Fälle im Labor nachgebildet werden. Die Experimente beruhen auf der systematischen Variation der elektrischen Feldstärke, Elektrodenanordnungen und der Schlagweite zwischen den beiden Elektroden. Durch die dadurch unterschiedliche resultierende Feldinhomogenität kann die akustische Abstrahlung der entstehenden Teilentladungen gezielt beeinflusst und messtechnisch erfasst werden. Das Ziel der Untersuchungen liegt auf der Erhöhung der Aussagefähigkeit der Ultraschallprüfungen und einer darauf beruhenden Unterstützung von Prüfvorgängen durch untrainierte Prüfer.

Sitzung „Infraschall“

Di. 13:20 Raum 27 Infraschall

Detektionsschwellen von Infraschall-Tonkomplexen

Björn Friedrich[a], Holger Joost[b], Thomas Fedtke[b] und Jesko Verhey[a]
[a] *OvG-Universität Magdeburg, Abteilung Experimentelle Audiologie;* [b] *Physikalisch-Technische Bundesanstalt*

Aufgrund einer stetig zunehmenden Anzahl an Infraschallquellen in unserer Umgebung stellt die Infraschall-Exposition ein immer wichtiger werdendes gesellschaftliches Problem dar. Obwohl Infraschall-Frequenzen außerhalb des klassischen Hörfrequenzbereiches liegen, berichten mehrere Veröffentlichungen über eine Hörwahrnehmung bis hinunter zu 2 Hz. Die zugrundeliegenden Messungen werden üblicherweise mit monofrequenten Stimuli (Reintönen) durchgeführt und lassen keine direkten Rückschlüsse darauf zu, wie sich die Wahrnehmung ändert, wenn mehr als eine Infraschall- Frequenzkomponente vorhanden ist. In der vorliegenden Studie sind wir dieser Frage nachgegangen, indem Detektionsschwellen von Infraschall-Stimuli mit ein, zwei oder drei Sinuskomponenten gemessen wurden. Die Darbietung erfolgte mittels eines kompakten und verzerrungsarmen Infraschall- Reproduktionssystems. Die Pegel der Komponenten im Tonkomplex wurden so gewählt, dass alle Komponenten den gleichen Pegel relativ zu ihrer Ruhehörschwelle hatten. Im Mittel über alle am Experiment teilnehmenden normalhörenden Versuchsperson war der Pegel an der Schwelle für jede Komponente eines Infraschall-Zweitonkomplexes um 3 dB niedriger als der Pegel an der Schwelle dieser Komponente. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit der Hypothese einer (perzeptiv gewichteten) Intensitätsintegration des Gehörs. Die Ergebnisse für den Dreitonkomplex deuten jedoch darauf hin, dass diese Integration nur sehr begrenzt möglich ist.

Di. 13:40 Raum 27 Infraschall

Wirkung von Infraschallgeräuschen: Szenario der Infraschallgeräuschdarbietungen in einem Laborexperiment

Detlef Krahé[a], Sarah Benz[b], Christian Eulitz[c], Stephan Grossarth[b], Ulrich Möhler[c], Uwe Müller[d] und Dirk Schreckenberg[b]

[a] *Bergische Universität Wuppertal;* [b] *ZEUS GmbH;* [c] *Möhler + Partner Ingenieure AG;* [d] *DLR, Köln*

Über die Generierung und Wiedergabe der in dem Experiment verwendeten Stimuli wurde bereits zur DAGA 2018 (Krahé et al.: Aufbau und Betrieb einer Infraschallquelle) berichtet. Das betraf die technische Seite sowie die örtlichen Bedingungen, unter denen das Experiment durchgeführt wurde. In diesem Beitrag wird auf Aspekte eingegangen, die die Auswahl der Stimuli in Frequenz und Pegel bestimmten. Des Weiteren wird der Frage nachgegangen, wie diese Stimuli durch Richtlinien im Lärmschutz eingeschätzt werden.

Di. 14:00 Raum 27 Infraschall

Wirkung von Infraschallgeräuschen: Psychologische Reaktionen auf Infraschallgeräuschdarbietungen in einem Laborexperiment

Stephan Grossarth[a], Christin Belke[a], Sarah Benz[a], Dirk Schreckenberg[a], Christian Eulitz[b], Detlef Krahé[c], Ulrich Möhler[b] und Uwe Müller[d]

[a] *ZEUS GmbH;* [b] *Möhler + Partner Ingenieure AG;* [c] *Bergische Universität Wuppertal;* [d] *DLR, Köln*

Infraschall ist allgegenwärtig und wird, trotz des Mangels an wissenschaftlich gesicherten Erkenntnissen, von Menschen für eine Vielzahl von verschiedensten Symptomen verantwortlich gemacht. In einer vom Umweltbundesamt in Auftrag gegebenen Laborstudie wurden 42 gesunde und normal hörende Probanden mit Infraschallgeräuschen beschallt, um mehr über menschliche Wahrnehmung von und Reaktion auf Infraschallimmissionen zu erfahren. Unter den 42 untersuchten Versuchspersonen waren 16 im Vorfeld als "sensitiv" bezüglich der Wahrnehmung von Infraschall eingestuft worden. Vier Szenarien wurden jeweils über einen extra für die Studie entwickelten Lautsprecher abgespielt, alle unterschieden sich in Lautstärke (dB) und Frequenz (Hertz), eins der Szenarios enthielt außerdem eine Amplitudenmodulation. Zusätzlich gab es eine Kontrollbedingung in der kein Geräusch abgespielt wurde. Neben einer physiologischen Messung wurden die Probanden aufgefordert psychometrische Skalen zu beantworten. Die Probanden berichteten über ihre Wahrnehmung der Infraschallgeräusche, beurteilten die Lästigkeit der Geräusche und gaben Bewertungen zu den Geräuschcharakteristika ab. Zusätzlich wurden Wahrnehmung von Druck, Vibration und Unwohlsein abgefragt. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse der psychologischen Untersuchung vorgestellt. In zwei weiteren Beiträgen werden die Akustikvorrichtungen und die Ergebnisse der physiologischen Untersuchung behandelt.

Di. 14:20 Raum 27 Infraschall

Physiologische Wirkungen kurzzeitiger Expositionen mit Infraschall

Eva-Maria Elmenhorst[a], Stefan Schmitt[a], Riccardo De Gioannis[a], Gernot Plath[a], Iris Rieger[a], Christian Eulitz[b], Detlef Krahé[c], Ulrich Möhler[b], Dirk Schreckenberg[d] und Uwe Müller[e]

[a] *DLR, ME-SHF, Köln;* [b] *Möhler + Partner Ingenieure AG;* [c] *Bergische Universität Wuppertal;* [d] *ZEUS GmbH;* [e] *DLR, Köln*

Anwohnerinnen und Anwohner an Infraschall-emittierenden Anlagen berichten gehäuft über Schwindel und Unwohlsein und befürchten Gesundheitsbeeinträchtigung. Denkbar sind Störungen des Herz-Kreislauf-Systems, des Gleichgewichtsorgans und des Nervensystems. Bisherige Studien zu Infraschall-Exposition und physiologischen Reaktionen des Menschen zeigen uneinheitliche Ergebnisse. In Rahmen eines vom Umweltbundesamt beauftragten Forschungsvorhabens wurden gesunde, normalhörende Probanden vier unterschiedlichen Infraschall-Expositionen nahe der Hörschwelle und einem Szenario ohne Schalleinspielung von je 30-minütiger Dauer ausgesetzt. Während dieser Szenarien wurden ein Wach-EEG und ein kontinuierliches EKG abgeleitet sowie der Blutdruck gemessen und das Gleichgewichtsorgan getestet. Datensätze von 39 Probanden (21 Frauen, 16 sensitive Probanden) mit einem mittleren Alter von 47 $\pm$ 11 (SD) Jahren wurden analysiert. Die Parameter des Blutdrucks (Systole, Diastole, arterieller Mitteldruck) sowie die Herzfrequenz zeigten keine Unterschiede zwischen den Szenarien (alle $p>0{,}4$) und der sensitiven/nicht-sensitiven Gruppe (alle $p>0{,}4$). Auch die Herzfrequenzvariabilität (exemplarisch: LF/HF-Ratio: Szenario $p=0{,}99$, Szenario x Gruppe $p=0{,}77$) und das Wach-EEG (Power Density Theta und Alpha: Szenario alle $p>0{,}11$, Szenario x Gruppe alle $p>0{,}05$) zeigte keine Unterschiede. Die Prüfung des Gleichgewichtsorgans ergab keinen Hinweis auf Störungen. Die eingesetzten Messverfahren geben keinen Hinweis auf eine akute physiologische Wirkung der Infraschallszenarien. Da eine 30-minütige Exposition ein kurzer Zeitraum ist, können physiologischen Veränderungen nach langfristiger Exposition dennoch nicht ausgeschlossen werden.

Di. 14:40 Raum 27 Infraschall

Einfluss meteorologischer Parameter auf die niederfrequenten Schallemissionen und -immissionen von Windenergieanlagen

Esther Blumendeller[a], Ivo Kimmig[b], Francesca Calarco[a] und Po Wen Cheng[a]

[a] *Universität Stuttgart, Stuttgarter Lehrstuhl für Windenergie;* [b] *Karlsruher Institut für Technik, Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik*

Die Nutzung von Windenergie wird einen entscheidenden Anteil am erneuerbaren Energiemix der Zukunft haben. Während der Stromgewinnung geben Windenergieanlagen (WEA) Schall und Erschütterungen (seismische Wellen) in die Umgebung ab, auch im tieffrequenten

Bereich. Diese sind in der DIN 45680 beschrieben. Im Zuge des Verbundprojektes TremAc wurden neben der Entwicklung von Prognose- und Simulationsmodellen, umweltmedizinischer und umweltpsychologischer Befragungen auch akustische und seismische Messungen sowohl am Emissionsort als auch in nahegelegenen Gebäuden durchgeführt. Um die Fluktuationen der Wind- und Wetterbedingungen zu berücksichtigen sowie Einflüsse aus Emissionen anderer Schallquellen zu minimieren, wurden insgesamt drei einmonatige Messkampagnen im Winter 2018/2019 an einer einzelnen WEA und in einem Windpark durchgeführt. Zur Identifikation von Anlagengeräuschen erfolgten außerdem Abschaltungen. In diesem Beitrag soll die Messtechnik und das Vorgehen zur Messung von Schallemissionen zusammen mit meteorologischen Parametern über den gesamten Messzeitraum beschrieben werden. Schließlich werden Ergebnisse der Analysen zu Zusammenhängen von Schallemissionen, -immissionen und Wetterbedingungen vorgestellt und diskutiert.

Di. 15:00 Raum 27 Infraschall

Präsentation der Poster, die dieser Sitzung zugeordnet sind (s.u.)

Sitzung „Infraschall (Poster)“
Kurzvorträge: Di. 15:00 (Raum 27); Poster-Forum: Di. 15:20

Di.-Do. Infraschall (Poster)

Stimulus des Gleichgewichtsorgans durch Infraschall

Johannes Baumgart
GICON - Großmann Ingenieur Consult GmbH

Menschen, die tieffrequentem Schall ausgesetzt sind, klagen unter anderem über Schwindelgefühl. In diesem Beitrag wird der Frage nachgegangen, ob diese Verkoppelung durch Nichtlinearitäten im Innenohr zustande kommen kann. Nichtlinearitäten entstehen beispielsweise bei oszillierenden Flüssigkeitsbewegungen, wenn die Bewegungsamplituden in der Größenordnung der Geometrie oder größer sind. Dabei entstehen nicht nur höhere harmonische, sondern auch stationäre Strömungen. Dieser Effekt wird auch als Acoustic-Streaming bezeichnet.
Die Wahrnehmungsschwelle steigt mit abnehmender Frequenz im Pegel an. Sehr tiefe Töne sind somit sehr schwer wahrnehmbar. Bei diesen geringen Frequenzen und hohen Druckpegeln sind die Bewegungsamplituden groß. Durch die Verkoppelung der Bogengänge mit der Cochlea über die Flüssigkeit der Lymphe besteht die Möglichkeit, dass durch Acoustic-Streaming in der Cochlea eine stationäre Strömung induziert wird und die Flüssigkeit in den Bogengängen antreibt. Durch eine solche stationäre Flüssigkeitsbewegung würden die Sinneszellen des Gleichgewichtsorgans stimuliert, obwohl der Mensch sich selbst nicht dreht. Ein solcher Sinnesreiz passt nicht zum visuell wahrgenommen Umfeld und kann Schwindel auslösen.

Di.-Do. Infraschall (Poster)

Simulator for the reproduction of "Low Sonic Boom"-signatures

Stephan Töpken[a] und Steven van de Par[b]
[a] *CvO Universität Oldenburg, Dep. Medizinische Physik und Akustik;* [b] *CvO Universität Oldenburg, Acoustics Group and Cluster of Excellence Hearing4all*

Supersonic aircraft produce a sonic boom when flying faster than the speed of sound. In order to rule out detrimental effects for inhabitants of overflown areas, civil supersonic flights (like the Concord) were allowed to fly over water only. Due to progress in aircraft design, the super sonic boom may be reduced considerably in the future. Such "Low Sonic Boom"-signatures will be considerably quieter and sound completely different compared to conventional sonic booms. Currently, the sensation and the subjective response of humans to future "Low Sonic Boom"-signatures is not known. For an assessment of human responses to "Low Sonic Boom"-signatures, a Sonic-Boom simulator has been built at the University of Oldenburg as a pressure chamber with a volume of about 9 m^3. Two 18" loudspeaker chassis enable the production of an overpressure of up to 20 Pa for a signature duration of 200 ms. The background noise level in the chamber is very low (21 dB(A)) and the chamber has a very small reverberation time of T20=0.2 s averaged over octave bands from 63 Hz to 8 kHz. A vibration platform is installed in the chamber to simulate whole-body vibration that may occur in connection with "Low Sonic Boom "signatures.

Sitzung „Akustik gestern heute und morgen"

Di. 13:20 Future Space A Akustik gestern heute und morgen

Geräusche im antiken und im modernen Griechenland: Literarische Akustikszenen von Gerhart Hauptmann

Björn Knöfel
Fraunhofer IWU, Dresden

Gerhart Hauptmann, Schriftsteller und Nobelpreisträger von 1912, bereiste Anfang des 20. Jahrhunderts Griechenland. Auf seiner Reise zu den klassischen Stätten in Athen, Olympia oder Delphi beschreibt er seine Reiseeindrücke, die er eindrucksvoll mit seiner hohen Kenntnis der griechischen Mythologie verknüpft.
Speziell die Geräusche, die Hauptmann auf seiner Reise erlebt, sollen das Thema des vorliegenden Beitrages sein. Von besonderem Interesse sind dabei die Verknüpfungen der von Hauptmann objektiv wahrgenommenen Geräusche des "modernen Griechenlands" mit den Geräuschen, die im "antiken Griechenland" zu hören gewesen sein könnten. Dabei werden längst vergessene Geräusche ebenso erwähnt wie noch heute aktuelle Lärmszenarien.

Die Idee zu diesem Beitrag kam dem Autor auf der Euronoise 2018 in Kreta, mehr als 100 Jahre nach der Erstveröffentlichung von Hauptmanns "Griechischem Frühling" sowie einem kürzlichen Besuch der klassischen Stätten in Athen.

Di. 13:40 Future Space A Akustik gestern heute und morgen

Faszination sprechende Maschinen: Technologischer Wandel der Sprachsynthese über zwei Jahrhunderte

Lars Engeln[a], Rainer Groh[a], Falk Gabriel[a], Peter Birkholz[a], Rainer Jäckel[a], Rüdiger Hoffmann[a], Judith Felten[a], Regina Bergmann[a], Joachim Scharloth[a], Lisa Lüneburg[a], Jens Krzywinski[a], Jörg Neumann[b] und Peter Plaßmeyer[b]

[a] *TU Dresden, Inst. für Akustik und Sprachkommunikation;* [b] *Mathematisch-Physikalischer Salon, Staatl. Kunstsammlungen Dresden*

Über die historische akustisch-phonetische Sammlung (HAPS) der TU Dresden ist auf den historischen Sitzungen der DAGA regelmäßig berichtet worden. Im Jahre 2019 konnte ihr 20. Gründungsjubiläum begangen werden. Nach einer Generalsanierung des Gebäudes wird sie in einer weitgehend neu gestalteten Ausstellung präsentiert. Im gleichen Jahr konnte das BMBF-Projekt mit dem in der Überschrift angegebenen Thema (Kurztitel "Sprechmaschine") abgeschlossen werden, über das in diesem Beitrag berichtet wird. In einem Verbund aus sechs Einrichtungen der TU Dresden und dem Mathematisch-Physikalischen Salon der Staatlichen Kunstsammlungen Dresden wurde nicht nur an der weiteren Erschließung der Sammlung gearbeitet, sondern es wurde anhand des konkreten Beispiels der Frage nachgegangen, auf welche Weise historische Universitätssammlungen Beiträge für die aktuelle Forschung und Lehre leisten können. Dabei wurde neben einer multi-kontextuellen virtuellen Ausstellung zur Entwicklung der Sprachsynthese im Verlauf von mehr als zwei Jahrhunderten auch ein moderner artikulatorischer Sprechapparat als Forschungsplattform erforscht und entwickelt.

Di. 14:00 Future Space A Akustik gestern heute und morgen

E. Zwicker, L. Cremer, E. Meyer, W. Reichardt - große deutsche Akustiker im 20. Jahrhundert

Peter Költzsch

TU Dresden

Der Vortrag nimmt Bezug auf die Hefte 10 und 11 der DEGA-Schriftenreihe zur Geschichte der Akustik. Darin werden auf knapp 500 Seiten mit 120 Abbildungen vier bedeutende Zentren der Akustik in Deutschland im 20. Jahrhundert vorgestellt: Eberhard Zwicker hat (mit Ernst Terhardt und Hugo Fastl) "das Münchener Institut für Elektroakustik zu Weltruhm geführt und einen starken Einfluss auf die Entwicklung der Psychoakustik in Deutschland und weltweit ausgeübt (...)" [B. Kollmeier 2000]. In Berlin schuf "Lothar Cremer von seiner Berufung 1954 bis zu seiner Emeritierung im Jahre 1973 aus dem Nichts das weltweit bekannte Institut für Technische Akustik der TU Berlin." [H. A. Müller

1991], fortgeführt von Manfred Heckl. Erwin Meyer, ein Schwingungsphysiker par excellence, wurde 1947 an die Universität Göttingen berufen. "Er verstand es, diesem Institut in wenigen Jahren Weltgeltung zu verschaffen." [Schroeder 1999]. An der TH/TU Dresden hat sich die Akustik im Schwachstrominstitut von Heinrich Barkhausen entwickelt ("Phonometer"). Durch Walter Reichardt erfolgte nach 1950 der stürmische Aufstieg der Elektro-, Raum- und Bauakustik, der Lärmbekämpfung und der Hörakustik. "Walter Reichardt organisierte Assistenten-Austausche der Dresdner mit den Akustikschulen in Berlin, Göttingen und Stuttgart. Die "Familie der Akustiker" war ihm Herzensangelegenheit." [Schirmer/Dietzel 2012]

Di. 14:20 Future Space A Akustik gestern heute und morgen

Studierst Du noch oder lernst Du schon? Einflüsse der Digitalisierung auf die universitäre Aus- und Weiterbildung

Otto von Estorff
Techn. Universität Hamburg, Institut für Modellierung und Berechnung

Die digitale Disruption und Schlagworte, wie "Industrie 4.0", "Smart Data", "Digitale Lebenswelten" oder "Cloud Computing", sind in aller Munde und verweisen eigentlich nur auf eine unumgängliche Tatsache: Die Digitalisierung wird das gesamte berufliche und private Leben der meisten Menschen in naher Zukunft völlig verändern.

In allen Bereichen der Industrie wird fieberhaft nach Wegen gesucht, mögliche "Bedrohungen" durch die Digitalisierung, aber auch die sich mit ihr ergebenden neuen Möglichkeiten, rechtzeitig zu erkennen und zum Vorteil von z.B. Produktionsprozessen, Kommunikationsvorgängen oder Geschäftsabläufen einzusetzen. Doch was bedeutet das für die Menschen, die zukünftig in der digitalen Arbeitswelt ihren Platz finden wollen? Was müssen sie in ihrer universitären Ausbildung lernen, um zukünftig erfolgreich zu sein?

Der gegenwärtige Beitrag nimmt sich dieser Frage an, wobei die Ausführungen nicht nur für die Akustikausbildung gelten, sondern für nahezu alle Fachbereiche. Zukünftig allgemein geforderte Fähigkeiten werden dabei ebenso angesprochen, wie neue Formen der Lehre. Sind Vorlesungen im herkömmlichen Stil noch zeitgemäß?

Di. 14:40 Future Space A Akustik gestern heute und morgen

Freiheit

Monika Gatt, Marcus Maeder und Steffen Marburg
TU München, Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme

Menschlich am Menschen ist die Freude an der Schönheit des Lebens und die Begabung, das Leben in Freiheit zu erfassen. Philosophie ist die Lehre von der menschlichen Freiheit. Philosophie im 21. Jahrhundert zu lehren heißt, diese Freiheit mit Liebe zu betrachten, verbunden mit dem Lehrauftrag, sie zwar in gewissen Sinne vorzuleben - aber eben nur soweit, bis die junge, nachfolgende Generation ihre Freiheit selbst frei definiert und ihre Zukunft selbst frei verantwortet. In der Philosophie

unterscheidet man die Freiheit, etwas zu tun von der Freiheit, am Tun nicht gehindert zu werden und bettet beides in die Freiheit als Gleichheit. Menschen sind gleich an Freiheit. Sie sind gleich an der Freiheit, ihre Meinung auszusprechen und den Worten der Mitmenschen zuzuhören. Jeder professionellen Bewertung eines Klanges kann nur persönliche Freiheit zugrunde liegen, anderenfalls würde man das Ergebnis wegen mangelnder Objektivität vermutlich ablehnen. Auch das Produzieren von Tönen kann nur auf der Basis von Freiheit zustande kommen, denn man kann sich nur zwischen Alternativen entscheiden, wenn man Wahlmöglichkeiten hat. Wie sich die philosophische Herangehensweise als Freiheit in der Akustik ausdifferenziert wird Gegenstand dieses Vortrags sein.

Di. 15:00 Future Space A Akustik gestern heute und morgen

Praxisnahe Ausbildung - Studentische Projekte im Curriculum

Detlef Schulz[a] und Jörn Hübelt[b]

[a] *Hochschule Mittweida, Fakultät Medien, AG Akustik;* [b] *Hochschule Mittweida*

Mit dem im Wintersemester 2013 gestarteten ingenieurmäßig ausgerichteten Studiengang "Media and Acoustical Engineering" sollte die Tradition der praxisnahen Ausbildung von Akustikingenieuren in Mittweida fortgesetzt werden. Dieser Philosophie folgend wurde neben einem eigenständigen Praxissemester und diversen Laborpraktika im vierten und fünften Semester jeweils eine Lehrveranstaltung "Akustikprojekt" mit 10 Stunden je Woche (Lehrveranstaltungen + Selbststudium) in das Curriculum integriert. Im Projekt werden in Gruppen von 2 - 5 Studenten unter Anleitung eines Betreuers kleine wissenschaftliche Aufgaben selbständig bearbeitet. Dabei ist es besonders wichtig, die Studierenden an die Methodik der Bearbeitung von Projekten heranzuführen. Diese Form der Ausbildung hilft auch, die Studierenden besser darauf vorzubereiten, Handlungsanforderungen in einer sich schnell wandelnden beruflichen Praxis erfolgreich bewältigen zu können. Es wird über Erfahrungen und Probleme bei der Organisation, Durchführung und Bewertung berichtet.

Sitzung „Virtuelle Akustik 1“

Di. 13:20 Future Space B Virtuelle Akustik 1

Analyzing the Directivity Patterns of Human Speakers

Christoph Pörschmann und Johannes M. Arend
Technische Hochschule Köln, Institut für Nachrichtentechnik

The directivity pattern of the human voice plays an important role in the realization of communication scenarios in virtual acoustic environments. In contrast to many other sound sources, a specific characteristic of the human voice is its dynamic directivity, i.e. time-dependent changes in articulation or singing. As it is nearly impossible for subjects to perform exactly the same articulations for numerous measurements, capturing the dynamic directivity with sequential measurements is not feasible. Thus, the directivity must be measured simultaneously for all directions, e.g. by using a surrounding spherical microphone array. Generally, such microphone arrays only have a limited number of microphones and the spatial resolution of the captured directivity patterns is low. To obtain a high-density directivity pattern, methods for spatial upsampling are required. In this context, we recently introduced the so-called SUpDEq (Spatial Upsampling by Directional Equalization) method, which makes it possible to generate high-resolution voice directivities from sparse measurements. In this study, we now apply the method previously already evaluated for a head and mouth simulator to human speaker directivities. Based on individual measurements, we examine the spherical directivity patterns regarding their interindividual differences and analyze the articulation-dependent influences for different vowels and fricatives.

Di. 13:40 Future Space B Virtuelle Akustik 1

Auralization of Aircraft Noise by Means of Numerical and Analytical Description of Partial Sound Sources

Christian Dreier und Michael Vorländer
RWTH Aachen, Institute of Technical Acoustics

In order to optimize concept studies of aircraft already in the development phase not only with regard to their expected loudness, but also with regard to their acoustic quality, auralization can be a suitable approach. Various concepts for the auralization of aircraft noise exist: In addition to the resynthesis of microphone recordings, analytical and numerical calculations can form the basis of the modeling of partial sound sources. Basically, there are compromises regarding the flexibility of auralisation of different scenarios and complexity of data preparation in advance. The talk shows how suitable source descriptions and their emission behavior can be extracted from numerical simulations and how their results compare to classical analytical ones from the literature. In addition, an overview on various implementation methods is given, their advantages and disadvantages discussed and system applications based on current projects presented.

Di. 14:00 Future Space B Virtuelle Akustik 1

Efficient time-variant digital signal processing for the auralization of many incident wave fronts including individual spectrum filtering

Jonas Stienen und Michael Vorländer
RWTH Aachen, Institute of Technical Acoustics

One of the major challenges faced in real-time capable auralization applications is the requirement of a digital signal processing chain that effectively reflects the expected acoustic characteristics of the presented scene. Situations with many individual and clearly separable sound sources require adequate methods to render the sound field at the receiver by means of maintaining important perceptual cues. Approaches that assemble a binaural impulse response to apply the propagation footprint from one source to one receiver can integrate propagation paths in its entirety, however, are inadequate for dynamic scenes with relatively fast-moving entities, e.g. outdoor scenarios or Virtual Reality applications with many sources. To overcome this problem, DSP layouts with dedicated time-variant processing of propagation aspects, efficient spectrum filtering per incident wave front as well as directional clustering at the receiver are proposed. The solution can handle a constant number of wave fronts which are shared among the considered sources, i.e. it can either process many sources under free-field conditions or few sources including components of early reflections and diffractions. In any case, individual filtering applies spectral shaping of source directivity, air absorption, diffraction and absorption where applicable.

Di. 14:20 Future Space B Virtuelle Akustik 1

Evaluation of Real-time Implementation of 3D Multichannel Audio Rendering Methods

Merle Gerken, Giso Grimm und Volker Hohmann
CvO Universität Oldenburg, Dep. Medizinische Physik und Akustik

For the evaluation of hearing devices, virtual reality with 3D multichannel audio rendering is increasingly applied. In this study, real-time implementations of 3D rendering methods such as Vector Base Amplitude Panning (VBAP) and Higher Order Ambisonics (HOA), with different decoder settings known from literature are presented and evaluated in an interactive environment. These rendering methods were implemented in the Toolbox for Acoustic Scene Creation and Rendering (TASCAR) [1]. The performance was assessed using instrumental measures such as rE direction error and subjective measures in normal-hearing listeners of source localization as well as the minimal audible angle, using noise and speech stimuli. The localization experiment was conducted at central and off-central listening positions in a loudspeaker array.

[1] Grimm, Giso; Luberadzka, Joanna; Hohmann, Volker. A Toolbox for Rendering Virtual Acoustic Environments in the Context of Audiology. Acta Acustica united with Acustica, Volume 105, Number 3, May/June 2019, pp. 566-578(13), doi:10.3813/AAA.919337

Di. 14:40 Future Space B Virtuelle Akustik 1

Comparison of Error Metrics in Loudspeaker-Based Reproduction Systems

Florian Pausch[a], Lukas Vollmer[a], Michael Kohnen[b] und Janina Fels[a]
[a] *RWTH Aachen, ITA, Medical Acoustics;* [b] *RWTH Aachen, Institute of Technical Acoustics*

Depending on the spatial audio reproduction method, surrounding spherical loudspeaker arrays enable either physically correct sound field synthesis in a physically constrained sweet spot or rather aim at perceptually correct reproduction. Feasible methods include modal-based approaches such as higher-order Ambisonics with a continuous virtual panning function, facilitating phantom sources with panning-invariant energy and spread by use of sub-band weighting for side lobe suppression and a suitable decoder strategy for the given loudspeaker layout. Instead, multiple-direction amplitude panning is based on three-dimensional amplitude panning with discrete loudspeaker gains and vectors, also aiming at constant spread of phantom sources with reduced coloration, but without claiming physical correctness. Representing a fundamentally different approach, acoustic crosstalk cancellation relies on the concept of binaural technology and enables the creation of physically correct signals at the entrance of the ear canals. Although these methods have been well researched individually, there has been only little comparative measurement-based evaluation to validate simulations considering practical imperfections. Such a comparison is presented based on various error metrics.

Di. 15:00 Future Space B Virtuelle Akustik 1

Präsentation der Poster, die dieser Sitzung zugeordnet sind (s.u.)

Sitzung „Virtuelle Akustik (Poster)“
Kurzvorträge: Di. 15:00 (Future Space B); Poster-Forum: Di. 15:20

Di.-Do. Virtuelle Akustik (Poster)

Kann man die Form eines Konzertsaales hören? Ein audiovisueller Test in virtuellen Umgebungen

Jakob Greif[a], Omid Kokabi[a], David Ackermann[b] und Stefan Weinzierl[a]
[a] *TU Berlin, Fachgebiet Audiokommunikation;* [b] *HfM Detmold, Erich-Thienhaus-Institut*

Den klassischen architektonischen Typen musikalischer Aufführungsräume wird traditionell auch ein charakteristischer Klang zugeschrieben, der durch die Raumform und damit der zeitlichen und räumlichen Verteilung früher Reflexionen bedingt sei. Wie leicht aber sind ein ”Weinberg”, ein ”Fächer”, ein ”Hufeisen” oder eine ”Schuhschachtel” tatsächlich akustisch unterscheidbar, wenn das Raumvolumen, die Nachhallzeit und der Streugrad jeweils identisch sind? Um dies zu ermitteln, wurde in

der vorliegenden Arbeit untersucht, ob Menschen die Form von Konzertsälen anhand ihrer Akustik identifizieren können. In einem Experiment konnten die Teilnehmer den optischen Eindruck verschiedener virtueller Räume durch ein stereoskopisches Display und den akustischen Eindruck durch dynamische Binauralsynthese erleben und waren aufgefordert, den Klangeindruck der Raumform korrekt zuzuordnen. Gleichzeitig wurde untersucht, welchen Einfluss das Raumvolumen, die Nachhallzeit und der Streugrad der Wände auf die Erkennbarkeit der Formen haben. Die Untersuchung konnte zeigen, dass es, auch mit einer vorangehenden Trainingsphase, überraschend schwerfällt, die Form der Säle verlässlich zu erkennen, wobei insbesondere das Streuverhalten der Wände einen großen Einfluss auf die Lösbarkeit dieser Aufgabe hat.

Di.-Do. Virtuelle Akustik (Poster)

Binaural Receiver Models for Wave-based Simulations in the Low Frequency Range

Philipp Schäfer[a], Hark Braren[b], Janina Fels[b] und Michael Vorländer[a]

[a] *RWTH Aachen, Institute of Technical Acoustics;* [b] *RWTH Aachen, ITA, Medical Acoustics*

Today's wave-based acoustic simulation tools allow to simulate the lower frequency range of complex acoustic scenes, e.g. in small rooms such as car cabins. During their design process, it is of great interest to auralize these rooms. In order to get a spatial impression, binaural receivers can be included in the simulations.

A straightforward approach is to include the geometry of an artificial head. Meshing such a model including fine structures like the pinna leads to a high number of nodes which results in high computational effort. If only considering low frequencies, however, the wavelength is generally larger than those details so that their influence on the sound field can be neglected. This suggests that omitting these details has no significant influence on the performance of the model, while reducing the computational complexity.

Thus, in the course of this work, multiple simplified models for binaural receivers are derived from an artificial head using basic mathematical bodies, e.g. ellipsoids. Then, the head-related transfer functions (HRTFs) of these models are simulated using the boundary element method (BEM) and are compared to the HRTF of the original model in order to investigate their frequency-dependent performance.

Di.-Do. Virtuelle Akustik (Poster)

Eine Web-Applikation zur Optimierung der Krümmung von Line Source Arrays

Arne Hölter[a], Florian Straube[a], Frank Schultz[b] und Stefan Weinzierl[a]
[a] *TU Berlin, Fachgebiet Audiokommunikation;* [b] *Universität Rostock, Institut für Nachrichtentechnik*

Um verschiedene Veranstaltungsorte mit Line Source Arrays (LSAs) zu beschallen, bedarf es jeweils einer Anpassung der Krümmung des Arrays, wenn nicht allein durch elektronisches Beamsteering das gewünschte Schallfeld generiert werden kann bzw. soll. Das durch die Autoren vorgeschlagene Polygonal Audience Line Curving (PALC) zur Optimierung der Neigungswinkel der LSA-Lautsprecherboxen wurde durch verschiedene Funktionen erweitert, etwa zur Berücksichtigung von nicht zu beschallenden Bereichen, zur Verwendung von diskreten Winkelschritten und zur Gewichtung im Hinblick auf unterschiedliche Zielparameter. In diesem Beitrag wird eine Web-Applikation des PALC- Algorithmus inklusive dieser Erweiterungen vorgestellt. Sie erlaubt eine Modellierung von Veranstaltungsorten in der vertikalen Abstrahlungsebene, die Eingabe von Lautsprecher- und Arraydaten, die Benutzung modellierter und gemessener Richtcharakteristiken, die Parametrisierung des Algorithmus sowie die Visualisierung der Ergebnisse. Die Evaluation erfolgt über akustische Simulationen mit Hilfe des Complex-Directivity-Point- Source (CDPS)-Modells. Durch den Algorithmus können die Neigungswinkel eines LSAs hinsichtlich verschiedener Zielstellungen - etwa der Homogenität des simulierten Schallfeldes oder der Erhöhung des akustischen Kontrasts - optimiert werden.

Di.-Do. Virtuelle Akustik (Poster)

Efficiently adding sampling points for improving HRTF measurements on arbitrary grids

David Bau, Tim Lübeck und Christoph Pörschmann
Technische Hochschule Köln, Institut für Nachrichtentechnik

The progress of consumer-oriented multimedia towards virtual and augmented reality creates the demand for easy and user-friendly systems to obtain individual HRTF (head related transfer function) datasets. An adequate approach could be a self-driven measurement system, where a user, whose head-orientation is tracked, moves his head freely and triggers a small number of measurement by choice. When performing spatial upsampling of such sparse HRTF datasets to obtain full spherical HRTF datasets in the continuous spherical harmonic (SH) domain, it has been shown in a previous study that the type of the spherical sampling scheme only marginally affects the interpolation performance as long as the sampling points are nearly equally distributed on the sphere. However, the mentioned measurement procedure will result in an arbitrary sampling point distribution with varying spatial resolution on the sphere. This work presents methods that identify low-resolution areas, and

suggest additional sampling points that efficiently improve the sampling scheme, and thus the spatial upsampling performance. These methods could be used to enhance the measurement procedure by guiding the user to these additional measurement points and by this helping to obtain sampling grids with improved spatial resolution.

Di.-Do. Virtuelle Akustik (Poster)

Transfer function measurements of the Bassoon

Timo Grothe und Sebastià Amengual Garí
HfM Detmold, Erich-Thienhaus-Institut

Physical models of the reed wind instruments allow to simulate the evolution of self-sustained oscillations of the reed and the resulting mouthpiece pressure. However, the sound inside the mouthpiece is quite different in timbre from the radiated sound. The goal of this study is to investigate the timbre change of the sound as pressure waves travel from the reed into the room. An approach is shown which bases on the assumption, that the generation of pipe oscillations can be treated independently from the transfer of sound from the source toward the listener [Hirschberg1996]. If the sound pressure inside the reed mouthpiece is known (e.g. from a measurement or simulation), the sound pressure at a listening position in a room can be synthesized by means of measured transfer functions. This contribution outlines the method and presents a suitable measurement setup and postprocessing for the case of the bassoon. Initially intended to auralize reed-wind instrument physical model sounds, it appears applicable to obtain audio quality auralizations from mouthpiece pressure measurements. With 3D sets of anechoic source-receiver transferfunctions, this synthesis approach could be efficient to include musical instrument directivity in simulated virtual acoustic scenes.

Di.-Do. Virtuelle Akustik (Poster)

Updates on the Real-Time Spherical Array Renderer (ReTiSAR)

Hannes Helmholz[a], Tim Lübeck[b], Jens Ahrens[a], Sebastià V. Amengual Garí[c], David Lou Alon[c] und Ravish Mehra[c]
[a] *Chalmers University of Technology;* [b] *Technische Hochschule Köln, Institut für Nachrichtentechnik;* [c] *Facebook Reality Labs*

We recently presented ReTiSAR, a framework for binaural rendering of spherical microphone array data in real-time. The array signals and the employed head-related transfer functions are processed in the spherical harmonics domain to compute the resulting ear signals and virtually place a listener into the captured sound field. In this contribution, we present the latest additions to the Python software package. These comprise, among others, an interface to the Spatially Oriented Format for Acoustics (SOFA), the ability of switching between different spherical harmonics rendering orders, as well as performance optimizations enabling real-time rendering up to 12th order. Furthermore, we integrated diverse

enhancements recently proposed in the literature for the upper frequency range where spatial aliasing occurs.

Di.-Do. Virtuelle Akustik (Poster)

Investigations on Loudspeaker-based Auralization of Immersively Connected Rooms

Henning Piper, Marcel Nophut, Robert Hupke, Stephan Preihs und Jürgen Peissig
Leibniz Universität Hannover, Institut für Kommunikationstechnik

The research project "LIPS - Live Interactive PMSE Services" aims at enabling tele-conferencing and distributed music performances in a most natural and immersive way. To provide a most plausible acoustic environment for the distributed interacting participants the Institut für Kommunikationstechnik (IKT) is working on Immersively Connected Rooms, where two remote rooms interact as they were coupled through a virtual window building a virtually combined larger room. In this contribution the geometric acoustic simulation tool RAVEN was used to compute the sound field in the virtually combined room. By using the spatial audio reproduction techniques Higher-Order Ambisonics (HOA) and Vector-base Amplitude Panning (VBAP) auralizations of these sound fields were generated for a listening position in the room on this side of the virtual window, where the source was located on the other side. These auralizations were then played back through a 36.4 loudspeaker setup. To evaluate how well the auralized room acoustic corresponds to the simulated acoustic environment and how the reproduction room influences the auralization, a set of room acoustic parameters was obtained from simulated and measured room impulse responses, which were then compared to each other.

Di.-Do. Virtuelle Akustik (Poster)

Incorporating Loudspeaker Directivity in Array Design for Increased Spatial Aliasing Frequency in Wave Field Synthesis

Fiete Winter, Frank Schultz und Sascha Spors
Universität Rostock, Institut für Nachrichtentechnik

Wave Field Synthesis aims at a physically accurate synthesis of a desired sound field inside a target region. Typically, the region is surrounded by a finite number of discrete loudspeakers. For practical loudspeaker setups, this spatial sampling causes spatial aliasing artefacts and does not allow for an accurate synthesis over the entire audible frequency range. Recently, the authors proposed a geometric model to predict the so-called aliasing frequency up to which the spatial aliasing is negligible for a specific listening position or area. Optimal discretisation schemes to increase this frequency for a given array geometry and desired sound field assuming omnidirectional loudspeakers were presented. This contribution extends prior work towards directive drivers as they are used in standard multi-way loudspeakers. Well-established radiation models

such as the circular or line piston are investigated. The derived discretisation patterns are compared to the ones for the omnidirectional case via numerical simulations of the synthesised sound fields. The results show an increase of the aliasing frequency for the patterns optimised with the extended approach.

Di.-Do. Virtuelle Akustik (Poster)

Eine Web-Anwendung zur binauralen Simulation historischer Aufnahme- und Wiedergabegeräte

David Ackermann, Boris-Alexander Bolles, Tobias Andreas Weege und Malte Kob

HfM Detmold, Erich-Thienhaus-Institut

Das akustisch-mechanische Aufnahme- und Wiedergabeverfahren des Grammophons schuf auf Grund der Vervielfältigungsmöglichkeit von Tonaufnahmen die Voraussetzung der modernen Musikindustrie. Das historische Massenmedium nutzt zur Aufnahme und Wiedergabe eines Schallereignisses ein Horn, eine Schalldose mit Membran und Nadel und eine Schellackplatte als Trägermedium. Dabei verursachen die im Aufbau des Grammophons enthaltenen Resonatoren im Vergleich zu heutigen Verfahren starke Frequenzgangschwankungen und Verzerrungen im Übertragungspfad. Um die Interaktion historischer Aufnahme- und Wiedergabegeräte mit der Singstimme zu untersuchen, wurde in diesem Teilprojekt mittels Methoden der virtuellen Akustik der gesamte Schallübertragungsweg des Grammophons messtechnisch erfasst und der charakteristische Einfluss des Aufnahmegerätes auf Stimmsignale modelliert. Im vorliegenden Beitrag wird die Nachbildung des Übertragungsverhaltens des Grammophons in einer virtuellen nachhallbehafteten Umgebung auf der Grundlage einer Messung des Aufnahmepfads mit einer Replik eines historischen Aufnahmehorns und einer Schalldose sowie einer Messung der Richtcharakteristik der Wiedergabeseite beschrieben. Gleichzeitig wird ein Weg aufgezeigt, wie eine physikalisch korrekte binaurale Auralisation der Aufnahme- und Wiedergabeseite eines historischen Grammophons in eine Web- Anwendung implementiert werden kann. Diese Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des Projekts ”Technologien des Singens” gefördert.

Fachvorträge und Poster am Mittwoch, den 18.03.2020

Sitzung „Bauakustik 2“

Mi. 9:00 Niedersachsenhalle B Bauakustik 2

Bauteilsammlung zur Luftschalldämmung von opaken Bauteilen (Paneelen) in Vorhangfassaden

Bernd Saß
ift Rosenheim GmbH

In der bauakustischen Planung von Gebäuden werden Angaben zur Luftschalldämmung von Bauteilen benötigt. Für die Bauteilgruppe von Paneelen (sogenannte opake Bauteile) in Vorhangfassaden lassen sich solche Angaben nur anhand von Messungen im Labor nachweisen. Eine Möglichkeit zur Planung und Nachweisführung über ein Tabellenverfahren für solche Bauteile existiert derzeit nicht.
In Ergänzung zu einen Forschungsprojekt mit dem Titel ”Erarbeitung eines Bauteilkataloges zur Ermittlung der Luftschalldämmung sowie Längsschalldämmung von Vorhangfassaden” wurde vom ift Rosenheim, Labor Bauakustik, ein Forschungsprojekt initiiert und durchgeführt, bei dem bestehende Messdaten von Paneelen unterschiedlicher Bauart analysiert wurden. Im Anschluss an diese Analyse wurden ergänzende Labormessungen durchgeführt, um Planungstabellen für opake Ausfachungen erstellen zu können. Ziel ist es auch hier, diese Tabellen in die Bauteilkataloge u.a. der DIN 4109 zu integrieren.
Der Beitrag berichtet über die Arbeiten zu diesem Projekt und stellt einen Vorschlag für einen Bauteilkatalog vor.

Mi. 9:20 Niedersachsenhalle B Bauakustik 2

Untersuchung der akustischen Performance von Vakuumisolierglas (VIG)

Christian Lux und Bernd Nusser
Holzforschung Austria

Eine stetige Verbesserung der thermischen und akustischen Isolation von Mehrscheiben-Isolierglas (MIG) wird aufgrund des bereits relativ hohen Standards immer schwerer. Das ist einer der Gründe warum die Entwicklung neuer Fensterkonstruktionen komplizierter zu realisieren ist. Bei Vakuumisolierglas (VIG) befindet sich im Vergleich zum MIG im Scheibenzwischenraum (SZR) kein Edelgas oder Luft, sondern Hochvakuum mit einem Restdruck im Bereich von 10-3 hPa, was die thermische Isolation im Vergleich zum MIG sehr deutlich verbessert. In diesem Beitrag wird die akustische Performance von verschiedenen VIG untersucht und dargestellt. Das übergeordnete Ziel der Untersuchungen ist die Entwicklung möglichst ”schlanker” Verglasungen, welche auch bei architektonisch neuen Fenstersystemen eingesetzt werden können. Alle untersuchten Verglasungen hatten die Normgröße von (1230 $\times$ 1480) mm^2

und wurden im Fensterprüfstand des Akustik Center Austria gemäß EN ISO 10140-2 gemessen. Im ersten Schritt des Beitrags werden verschiedene VIG als Einzelsysteme betrachtet. Dabei wird der Aufbau der VIG-Systeme variiert. Die Ergebnisse werden mit vergleichbaren Einfachgläsern und Verbundglasscheiben verglichen. Im zweiten Schritt werden ausgewählte VIG-Systeme zu MIG veredelt und erneut gemessen. Diese modifizierten Aufbauten werden mit massen- und dimensionsäquivalenten MIG-Systemen verglichen, welche lediglich aus Einfach- und Verbundscheiben bestehen und in der Praxis verwendet werden.

Mi. 9:40 Niedersachsenhalle B Bauakustik 2

Optimierung des Schallschutzes bei teilgeöffneten Fenstern

Andreas Drechsler, Steffi Reinhold und Berndt Zeitler
Hochschule für Technik Stuttgart

Im Rahmen eines Forschungsprojektes an der HFT Stuttgart wird ein intelligentes, motorisch angetriebenes Fenster für die natürliche Lüftung von Gebäuden entwickelt. Ein Teilziel des Projektes ist die Optimierung der Schalldämmeigenschaften. Bezug genommen wird dabei auf klassische Kastenfensterlösungen, die in den letzten Jahren als eine Variante der "Hafencity-Fenster" hinsichtlich des Schallschutzes im teilgeöffneten Zustand bereits mehrfach untersucht und verbessert wurden.
In dem Beitrag wird ein kurzer Überblick gegeben, welche Schalldämmungen derzeit bei teilgeöffneten Fenstern erreicht werden und eigene Untersuchungen an der HFT Stuttgart werden vorgestellt. Hauptaugenmerk bei den Untersuchungen liegt auf der Verbesserung der Schalldämmung bei tiefen Frequenzen.

Mi. 10:00 Niedersachsenhalle B Bauakustik 2

Untersuchungen zur Schallleistung und -dämmung eines dezentralen Lüftungsgerätes

Andreas Ruff, Andreas Drechsler und Berndt Zeitler
Hochschule für Technik Stuttgart

Bei Gebäudesanierungen und auch Neubauten werden sehr häufig dezentrale Lüftungsgeräte zur Sicherstellung eines ausreichenden Luftwechsels in die Außenfassade eingebaut. Aufgrund der Durchdringung der Gebäudehülle kann dabei die Schalldämmung der Fassade deutlich vermindert werden. Neben dem Einfluss auf die Schalldämmung gibt es aber noch eine weitere wichtige Fragestellung: wie viel Schallleistung wird vom Gerät bei einem gewünschten oder notwendigen Luftdurchsatz in den Innenraum, z.B. ein Schlafzimmer, abgestrahlt. Im Rahmen eines Forschungsprojektes wurde in zwei verschiedenen Prüfständen die Schallleistung und die Schalldämmung eines dezentralen Lüftungsgerätes mit mehreren Leistungsstufen messtechnisch untersucht und der Einbau variiert. Aus den Messergebnissen sollen neue Ansätze zur schalltechnischen Optimierung des Lüftungsgerätes abgeleitet und, soweit konstruktiv umsetzbar, messtechnisch überprüft werden. Im Beitrag werden die bisherigen Ergebnisse vorgestellt und diskutiert.

Mi. 10:40 Niedersachsenhalle B Bauakustik 2

Schwingverhalten von thermisch getrennten Balkonplatten

Solitair Kluth[a], Jochen Scheck[b] und Berndt Zeitler[b]
[a] *Schöck Bauteile GmbH;* [b] *Hochschule für Technik Stuttgart*

Zur Erfüllung der heutigen Energiestandards werden auskragende Balkonplatten meist durch ein tragendes Wärmeelement vom Gebäude thermisch getrennt. Teilweise empfinden Bewohner die Schwingungen auf der Balkonplatte als störend. Aus diesem Grund wurde das Schwingverhalten eines derartigen Balkons und die möglichen Auswirkungen bei Verwendung eines zusätzlichen Schwingungstilgers untersucht. Die experimentellen Untersuchungen ergaben, dass bei der 1. Resonanzfrequenz der Balkon von der Deckenplatte nahezu entkoppelt ist und eine Starrkörperschwingung durchführt. Durch Modalanalyse wurde festgestellt, dass bei den weiteren Schwingungsformen die Balkon- und Deckenplatte gemeinsam schwingen und die thermische Trennung an dieser Stelle als Feder fungiert. Daraus ergibt sich, dass das System der auskragenden Balkonplatte durch ein Ersatzsystem als Einmassenschwinger beschrieben werden kann. Ebenfalls ist die Auswirkung eines Schwingungstilgers auf das System, durch eine Prognose des Ersatzsystems als Zweimassenschwinger, zielführend und entspricht den Messungen.

Mi. 11:00 Niedersachsenhalle B Bauakustik 2

Trittschalldämmung von thermisch getrennten Balkonplatten

Lucas Heidemann, Jochen Scheck und Berndt Zeitler
Hochschule für Technik Stuttgart

Für die thermische Trennung von Balkonen und Laubengängen sind tragende Isolationselemente Stand der Technik. Die schalltechnischen Eigenschaften dieser Elemente erfahren zunehmend an Bedeutung, um steigende Erwartungen an die Trittschalldämmung zu erfüllen. Die Dämmwirkung von diversen Entkopplungselementen wurde an realitätsnahen Aufbauten im Labor untersucht und der Einfluss konstruktiver Parameter auf die Trittschalldämmung beurteilt.

Mi. 11:20 Niedersachsenhalle B Bauakustik 2

Bestimmung der Körperschallleistung und Prognoseberechnung von Installationsgeräuschen anhand von Daten aus Luftschallmessungen in einem Musterbau

Sven Öhler, Lutz Weber und Bernd Kaltbeitzel
Fraunhofer-Institut für Bauphysik

Die Schallübertragung durch Sanitärinstallationen in Bauten lässt sich nach EN 12354-5 berechnen, wobei die Norm nur einen allgemeinen Rahmen aufspannt, der durch weitere Modelle (z.B. Schalldämmung und Abstrahlgrad der Bauteile in Abhängigkeit der Frequenz) ergänzt werden muss. Als Eingangsgröße benötigt man die charakteristische Körperschallleistung der Quelle, die in-situ (z.B. in einem Musterbauprüfstand) durch Anwendung des im normativen Anhang C der EN 15657 beschriebenen "Verfahrens des Schallleistungsersatzes (Power substitution method)" messtechnisch bestimmt werden kann. Bislang sind jedoch nur wenige Daten verfügbar, so dass das Berechnungsverfahren nach EN 12354-5 noch keinen Eingang in die Praxis gefunden hat. Anstatt durch eine rechnerische Prognose erfolgt der Schallschutznachweis bei Sanitärinstallationen derzeit überwiegend durch Messungen in bauakustischen Installationsprüfständen. Gemessen wird hierbei der durch die geprüfte Installation im Empfangsraum hervorgerufene Luftschallpegel. Da der Installationsprüfstand im Fraunhofer-Institut für Bauphysik äußerst genaue und reproduzierbare akustische Messungen ermöglicht, liegt es nahe, den gemessenen Luftschallpegel zu nutzen, um daraus - in Anlehnung an das Verfahren des Schallleistungsersatzes in EN 15657 - die Körperschallleistung der geprüften Installation zu bestimmen. In dem Beitrag wird die Anwendbarkeit des entwickelten Verfahrens zur Bestimmung der KS-Leistung von realen Sanitärobjekten (Duschwannen) diskutiert. Weiter werden die Messwerte aus der Musterbauprüfung mit Ergebnissen von Prognoseberechnungen nach EN 12354-5 verglichen.

Mi. 11:40 Niedersachsenhalle B Bauakustik 2

Präsentation der Poster, die dieser Sitzung zugeordnet sind (s.u.)

Sitzung „Bauakustik (Poster)“
Kurzvorträge: Mi. 11:40 (Niedersachsenhalle B);
Poster-Forum: Mi. 16:00

Di.-Do. Niedersachsenhalle B Bauakustik (Poster)

Akustische Verfahren zur Ermittlung der Dichtheit an Gebäuden
Nicki Bader[a], Peter Holstein[a], Hans-Joachim Münch[a], Steffen Moeck[a], Dirk Döbler[b] und Alexander Jahnke[b]
[a] *Sonotec GmbH;* [b] *GFaI e.V.*
Die bauliche Dichtheit von Fenstern, Türen, Dachbereichen, Luken, Kabeldurchführungen u. ä. kann mit akustischen Verfahren geprüft werden. Die Prüfbarkeit hängt dabei vom Verhältnis der konstruktiven Gegebenheiten und der Schallfeldeigenschaften ab. In vielen praktischen Anwendungen müssen geschlossene Volumina für die Dichtheitsprüfung vorliegen, um den erforderlichen Überdruck für die Prüfung entsprechender Räume, Gehäuse oder geschlossener Bauteile zu gewährleisten. Bei der im Beitrag dargestellten akustischen Methode ist dies nicht notwendig. Die zu prüfenden Flächen werden beschallt. Je nach Prüfsituation werden dabei verschiedene Wellenlängen und unterschiedlich komplexe Technik eingesetzt. Im Beitrag werden etablierte Ultraschallverfahren und die Anwendungsmöglichkeiten von akustischen Kameras verglichen. Demonstriert wird dies an einem denkmalgeschützten Gebäude im Kontext der Vermeidung von Wärmeverlusten.

Sitzung „Bauakustik 3“

Mi. 13:40 Niedersachsenhalle B Bauakustik 3

Vorschlag für eine neue Messmethode zur Bestimmung von Abwassergeräuschen am Prüfstand
Johanna Weinzierl, Fabian Schöpfer, Andreas Mayr und Ulrich Schanda
Technische Hochschule Rosenheim
Die DIN EN 14366:2005-02 beschreibt derzeit das Verfahren zur Messung der Geräusche von Abwasserinstallationen im Prüfstand. Der hierfür beschriebene Laborprüfstand besteht aus zwei Räumen, einem Senderaum zur Bestimmung des Luftschallanteils und einem Empfangsraum zur Bestimmung des Körperschallanteils. Das Abwasserrohr ist an der Trennwand zwischen den beiden Räumen senderaumseitig montiert. In diesem Beitrag wird die Anwendung einer neuen Messmethode untersucht, um die relevanten Größen direkt zu bestimmen. Das zu untersuchende Abwasserrohr wird hierfür an eine vertikale Empfangsplatte nach DIN EN 15657:2017-10 montiert. Somit kann der Körperschallanteil als Körperschallleistung mit dem sogenannten Empfangsplattenverfahren bestimmt werden. Diese Größe kann direkt als Eingangsgröße zur Prognose nach EN 12354 verwendet werden. Der Luftschallanteil

wird ebenfalls als leistungsbasierte Größe mit dem Schallintensitätsmessverfahren bestimmt. Das vorgeschlagene Verfahren benötigt deshalb weder einen Sende- noch einen Empfangsraum. In diesem Beitrag werden messtechnische Untersuchungen zur Anwendung der vorgeschlagenen Methode vorgestellt. Dabei werden Zusammenhänge und ggf. Abweichungen zum bestehenden Messverfahren aufgezeigt und diskutiert.

Mi. 14:00 Niedersachsenhalle B Bauakustik 3

Empfangsplattenmethode verknüpft mit Statistischer Energie Analyse - Eine Untersuchung an Sanitärinstallationen

Joachim Förster[a], Alexander Felker[b], Samuel Pasteur[a] und Oliver Wolff[a]
[a] *Geberit International AG;* [b] *Hochschule Düsseldorf*

In der vorliegenden Studie wurden Körperschallausbreitungspfade stationärer und instationärer Quellen sanitärtechnischer Geräusche im Massivbau untersucht. Mit der Berechnungsnorm EN 12354-5 kann der Schallpegel in Gebäuden prognostiziert werden. Die Eingangsparameter für diese Berechnung liefert die Norm EN 15657 (Empfangsplattenprüfstand), mit der die Quellleistung von Schallquellen bestimmt werden kann. Als Erweiterung zum Normansatz der EN12354-5 wurde bei der Prognose zusätzlich die “Statistische Energie Analyse” (SEA) mit einbezogen. Die Idee hierbei ist, dass die “Statistische Energie Analyse” durch Betrachtung der Modendichte der Subsysteme gegebenenfalls eine präzisere Modellierung ermöglichen könnte. Ziel der Untersuchung war daher die Prognose des Schalldruckpegels von Sanitärinstallationen im Empfangsraum, dessen experimentelle Validierung, und die Abschätzung möglicher Fehlertoleranzen. Validierungsmessungen wurden an einer realen Bausituation im bauphysikalischen Labor von GEBERIT durchgeführt. Neben dem prognostizierten Gesamtpegel wurden auch gebäudecharakteristische Eigenschaften wie Kopplungsverhalten an Stossstellen sowie das Abstrahlverhalten untersucht. Die Prognose aus der Normrechnung nach EN 12354-5 und aus der SEA Simulation wurden mit den Messergebnissen verglichen. Die erhaltenen Ergebnisse und Erkenntnisse werden vorgestellt.

Mi. 14:20 Niedersachsenhalle B Bauakustik 3

Erhöhung des E-Moduls und damit der Schalldämmung von KS-Mauerwerk durch Optimierung der Herstellparameter

Martin Schneider[a], Martin Schäfers[b], Wolfgang Eden[c] und Berndt Zeitler[a]
[a] *Hochschule für Technik Stuttgart;* [b] *Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.;* [c] *Forschungsvereinigung Kalk-Sand e.V.*

Die Schalldämmung von Mauerwerk wird in aller Regel aus der flächenbezogenen Masse des Bauteils berechnet. Allerdings zeigen sich aufgrund des Steinmaterials auch Unterschiede in der Schalldämmung bei

gleicher flächenbezogener Masse. So sind in DIN 4109-32 für unterschiedliche Materialien (Kalksandstein, Leichtbeton, Porenbeton) unterschiedliche Massekurven festgelegt. Hintergrund hierfür ist die Abhängigkeit des Schalldämm-Maßes von der Biegesteifigkeit des Bauteils, die wiederum auch von der Materialeigenschaft E-Modul beeinflusst wird. In einem von der Forschungsvereinigung Kalk-Sand e. V. initiierten Forschungsvorhaben wird daran gearbeitet, durch die Wahl entsprechender Zuschlagsstoffe und deren Korngrößenverteilung sowie die Optimierung der Herstellparameter bei gleichbleibender Rohdichte einen möglichst hohen E-Modul des Steinmaterials zu erzielen. Im ersten Teil des Forschungsvorhabens wurden im Labor Proben hergestellt, an denen der E-Modul mittels akustischer Prüfung ermittelt wurde. Mit den daraus gewonnenen Erkenntnissen wurden dann in einem zweiten Schritt in verschiedenen Kalksandsteinwerken optimierte Steine hergestellt, deren Schalldämm-Maß im Wandprüfstand ermittelt wurde. Über die Durchführung und erste Ergebnisse dieser Untersuchungen wird berichtet.

Mi. 14:40 Niedersachsenhalle B Bauakustik 3

Auswertung von Stoßstellendämm-Maßen mit monolithischem Ziegelmauerwerk

Kai Naumann

Arge Mauerziegel BV Ziegelindustrie

Für bauakustische Prognosen der Luftschalldämmung zwischen benachbarten Räumen in Gebäuden in massiver Bauweise sind die Stoßstellendämm-Maße zwischen trennendem Bauteil und den flankierenden Bauteilen wichtige Bemessungsparameter. Diese für homogene massive Bauteile normativ geregelten Werte gehen in das Bemessungsverfahren nach DIN 4109-2 ein, welches auf dem vereinfachten Verfahren nach EN ISO 12354-1 basiert. Für Gebäude, deren Außenwände aus monolithischem, hochwärmedämmendem Ziegelmauerwerk bestehen, werden die Stoßstellendämm-Maße zwischen Ziegelaußenwand und Trennbauteil durch aufwändige Messungen an Prüfkörpern gemäß DIN EN 10848 ermittelt. Eine Berechnung der Stoßstellendämm-Maße über die flächenbezogenen Massen lässt DIN 4109 nicht zu. Bereits in 2010 wurde das Verfahren zur bauakustischen Bemessung nach EN 12354-1 in die Zulassung Z-23.22-1787 übernommen. Es konnten seither umfassende Erfahrungen im Umgang der Rechenmethode für Gebäude in Ziegelbauweise gesammelt werden und eine hohe Prognosegenauigkeit bei Planung mit Prüfwerten von Stoßstellendämm-Maßen festgestellt werden. Mittlerweile existiert eine große Datenbasis an Prüfergebnissen von Stoßstellendämm-Maßen, die in der Bauakustik-Software der Ziegelindustrie ‚Modul Schall 4.0' zur Verfügung steht. Es werden Auswertungen der Prüfwerte vorgestellt und u. a. mit Rechenwerten nach Masse verglichen.

Mi. 15:00 Niedersachsenhalle B Bauakustik 3

Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen in der Bauteilprognose mittels der Finiten-Elemente-Methode

Anton Huber, Andreas Rabold und Simon Mecking
Technische Hochschule Rosenheim

Um die Anwendungsmöglichkeiten im Bauwesen für Rohstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen zu fördern, wurde von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. ein Projekt initiiert. Im Bereich des Schallschutzes wurden hierzu vergleichende Bauteilprüfungen durchgeführt und Prüfverfahren für die Materialeigenschaften der Dämmstoffe festgelegt, die eine Erweiterung der jeweiligen Bauteilkataloge erlauben. Um den Einfluss des Dämmstofftyps auf die Schalldämmung von Bauteilen auch numerisch untersuchen zu können, wurden Berechnungsmodelle für Decken- und Wandbauteile auf Basis der Finiten-Elemente-Methode (FEM) weiterentwickelt.

In diesem Beitrag wird ein FEM - Modell für die Berechnung der Luftschalldämmung von Massivholzwänden mit Wärmedämmverbundsystemen vorgestellt, das für den gesamten bauakustisch relevanten Frequenzbereich anwendbar ist. Die Eingangsdaten für die FEM-Berechnungen werden durch Messungen der Übertragungseigenschaften der Dämmstoffe ermittelt und können mit semi-empirischen Literaturmodellen auf Basis des Strömungswiderstandes verglichen werden.

Schwerpunkt der numerischen Untersuchungen ist die Fragstellung, inwiefern die konventionellen Messgrößen (Strömungswiderstand, dynamische Steifigkeit und Rohdichte) für die Materialbeschreibung ausreichend sind und welche Toleranzbereiche der Materialwerte für gleichwertige Ergebnisse der Bauteil-Schalldämmung akzeptabel sind.

Die im Vortrag vorgestellten numerischen Untersuchungen wurden an der Technischen Hochschule Rosenheim durchgeführt. Die Festlegung der Messverfahren und Durchführung der Messungen für die Übertragungseigenschaften der Dämmstoffe erfolgten an der PTB Braunschweig.

Mi. 15:20 Niedersachsenhalle B Bauakustik 3

Prognoseverfahren zum Schall- und Schwingungsschutz für BIM-basierte Gebäudeplanung

Camille Châteauvieux-Hellwig, Ekaterine Geladze, Andreas Mayr, Ulrich Schanda und Fabian Schöpfer
Technische Hochschule Rosenheim

Die Nachhaltigkeit der Holzbauweise ermutigt immer mehr Architekten und Planer diese Bauweise zu wählen. Im Gegensatz zur Mauerwerks- und Betonbauweise fehlen im Holzbau Software-Werkzeuge zum Nachweis des Schallschutzes und der Gebrauchstauglichkeit bezüglich

Schwingungen. Der innovative Ansatz von Building Infromation Modelling (BIM) eröffnet die Möglichkeit, modellbasierte Berechnungsergebnisse für eine vollständige Schallschutzprognose sowie für die Einhaltung der Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit über BIM-kompatible Schnittstellen unmittelbar bereits in den Planungsprozess einfließen zu lassen. Vor diesem Hintergrund wurde an der Technischen Hochschule Rosenheim im Labor für Schallmesstechnik LaSM der Forschungsschwerpunkt "Prognoseverfahren zum Schall- und Schwingungsschutz für BIM-basierte Gebäudeplanung" initiiert. Dieser beschäftigt sich mit der Einbindung der zu entwickelnden Prognose Werkzeuge in einen mit BIM gestützten Planungsprozess für den Holzbau. Dabei sollen die neu gewonnen Erkenntnisse der letzten Forschungsjahre bezüglich der Berechnungsmodelle, sowie erarbeitete schall- und schwingungstechnische Daten zu Bauteilen und Bauteilverbindungen eingesetzt werden. Die Bedeutung von BIM für den Holzbau hängt von der Formulierung der Datenschnittstellen ab. Ziel des Projekts ist die Entwicklung von Konzepten und Methoden zur Verbesserung des Planungsprozesses im Schall- und Schwingungsschutz im Holzbau.

Sitzung „Mikrofonarrays in Theorie und Praxis 1"

Mi. 16:40 Niedersachsenhalle B Mikrofonarrays 1

Comparison of Mitigation Approaches of Spatial Undersampling Artifacts in Spherical Microphone Array Data Auralizations

Tim Lübeck[a], Johannes M. Arend[a], Hannes Helmholz[b], Jens Ahrens[b] und Christoph Pörschmann[a]

[a] *Technische Hochschule Köln, Institut für Nachrichtentechnik;* [b] *Chalmers University of Technology*

Spherical Microphone Arrays (SMAs) are widely used to capture spatial sound fields, that can then be rendered in various virtual acoustic environment (VAE) formats including binaural synthesis. However, some practical limitations have significant impact on the accuracy of the rendered VAE. On the one hand, the limited number of microphone capsules leads to spatial undersampling of the surrounding sound field, inducing spatial aliasing artifacts on the capturing side. On the other hand, the order-limited spherical harmonics representation results in truncation errors on the rendering side. Several approaches have been presented in research to mitigate these impairments. To our knowledge, there is no study available that compares the different methods directly in terms of their effectiveness. In this work, we present a comprehensive comparison of state-of-the-art undersampling mitigation algorithms, with a focus on binaural reproduction of SMA data. We give an overview of the fundamental concepts of the different approaches and based on a technical evaluation we discuss their influence on the binaural reproduction.

Mi. 17:00 Niedersachsenhalle B Mikrofonarrays 1

Darstellung und praktische Untersuchung eines HOA-Mikrofonarrays mit 8 Kapseln

Johann-Markus Batke[a] und Thomas Görne[b]
[a] *HS Emden/Leer;* [b] *HAW Hamburg*

Higher Order Ambisonics (HOA) ist als 3D-Schallfelddarstellung für die Tonwiedergabe in VR-Umgebungen oder bei 360°-Videodarstellungen sehr geeignet. Bei der Aufnahme natürlicher Schallfelder können sphärische Mikrofonarrays eingesetzt werden. Die erreichte Ordnung der HOA-Schallfelddarstellung und damit die erzielbare räumliche Auflösung der Tonwiedergabe gehen einher mit dem aufzubringenden technischen Aufwand. So lässt sich mit 4 Mikrofonkapseln eine HOA-Darstellung 1. Ordnung aufzeichnen, während die 2. Ordnung bereits 9 Kapseln verlangt.

Auf dem Markt angebotene Arrays mit 8 Kapseln stellen damit ein überbestimmtes Mikrofonarray für HOA-Signale 1. Ordnung dar, werden aber auch als Quelle für HOA-Signale 2. Ordnung beworben. Dies ist über die Beschränkung auf eine 2D-Schallfelddarstellung möglich bzw. die Inkaufnahme von räumlichen Darstellungsfehlern. Der vorliegende Beitrag fasst die theoretischen Möglichkeiten eines 8-Kapsel-Arrays zusammen und untersucht die in der Anwendung wahrnehmbaren räumlichen Darstellungsfehler.

Mi. 17:20 Niedersachsenhalle B Mikrofonarrays 1

On the Design of a MEMS Microphone Array for a Mobile Beamforming Application

Alexander Poets, Roman Schlieper und Jürgen Peissig
Leibniz Universität Hannover, Institut für Kommunikationstechnik

Considering the extensive use of smartphones and their outstanding camera capabilities these days, it's desirable to record a high-quality audio signal in tandem with capturing video, e.g. at a rock concert. For a rather immersive sound experience when playing back smartphone-recorded material it's mandatory to preserve the acoustic environment's spatial properties. On that note, a design of a miniature microphone array to be rear-mounted on a smartphone is proposed. In the course of this work, we'll focus on the development of a proper microphone arrangement that meets application-specific requirements. Therefore, several geometries are evaluated in terms of directivity index, half-power beam width and side lobe attenuation using a simulation-driven approach. Once a suitable geometry has been found, the actual sensor placement is determined by thinning the array using a genetic algorithm. Then, a prototype of the design is implemented utilizing digital MEMS microphones. Finally, a spatial filter (beamformer) is applied to the raw sensor data in order to allow the capture of multi-channel audio and the suppression of interfering background noise.

Mi. 17:40 Niedersachsenhalle B Mikrofonarrays 1

Beamforming unter der Verwendung von mit FM-BEM Simulationen berechneten Steeringvektoren

Marius Lehmann[a], Carsten Spehr[b], Marc Schneider[a] und Markus Lummer[c]

[a] *ebm-papst Mulfingen GmbH & Co. KG;* [b] *DLR, Inst. für Aerodynamik und Strömungstechnik, Göttingen;* [c] *DLR, Inst. für Aerodynamik und Strömungstechnik, Braunschweig*

Die Schallquellenlokalisation mithilfe von Mikrofonarrays ist zu einem wichtigen Tool in der lärmarmen Produktentwicklung geworden. Dabei werden Beamformingverfahren eingesetzt, um die Schallquellenverteilung in einem Fokusgebiet zu ermitteln. Als Modell für die Schallausbreitung wird im einfachsten Fall ein Monopol im Freifeld angesetzt. Dieser Ansatz ist insbesondere nicht korrekt, wenn das zu untersuchende Objekt in einem Gehäuse eingebaut ist. In solch einem Fall wird die Schallausbreitung durch Reflexions- und Beugungseffekte beeinflusst. In der vorliegenden Untersuchung wird die Schallausbreitung mit einem Fast Multipole - Boundary Element Verfahrens (FM-BEM) simuliert. Es wird ein quaderförmiger Kasten untersucht, der an zwei gegenüberliegenden Seiten geöffnet ist. Parallel zu einer geöffneten Seite befindet sich ein ringförmiges Mikrofonarray. Dessen Durchmesser ist etwas größer als der Kasten, sodass einige Mikrofone abgeschattet werden. Es werden sowohl Simulationen als auch Validierungsmessungen mit einem Lautsprecher als Referenzpunktschallquelle, der an verschiedenen Orten des Kastens positioniert wird, durchgeführt. Die Ergebnisse der FM-BEM Simulationen werden als Steering Vektoren für das Beamforming genutzt. Die resultierenden Beamforming Maps haben eine bessere Auflösung als die jene, die mit Freifeld Steering Vektoren erzeugt werden. Auch die Positionsgenauigkeit kann verbessert werden.

Mi. 18:00 Niedersachsenhalle B Mikrofonarrays 1

Performance Analysis of a Rotating Circular Array for Plane Wave Identification

Frederico Heloui De Araujo[a], Fernando Castro Pinto[b] und Michael Vorländer[c]

[a] *RWTH Aachen, ITA / COPPE-UFRJ;* [b] *COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro;* [c] *RWTH Aachen, Institute of Technical Acoustics*

One advantage of a Spherical Microphone Array (SMA) is the possibility to analyze all directions in space with similar efficiency, but it usually requires a high number of microphones, each one associated with a measurement point. This paper shows the development of a rotating circular array with 14 microphones, resulting in a virtual SMA with 98 measurement points. Aiming the identification of direction and time of arrival of plane waves in a reverberant field, this array geometry allows a spherical harmonic expansion up to 6th order. It is presented the comparison

between simulations and measurements with the proposed array, evaluating its robustness. At the end, it is showed the applications of the algorithm for plane wave identification in a quasi-diffuse field.

Sitzung „Lärm am Arbeitsplatz“

Mi. 9:00 Blauer Saal Lärm am Arbeitsplatz

Untersuchung der Raumakustik und auditiver Belastung im Mehrpersonenbüro

Jan Selzer und Florian Schelle
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzl. Unfallversicherung

Die Darstellung der auditiven Belastung in Mehrpersonenbüros wird in Regelwerken und internationalen Normen auf Basis raumakustischer Parameter und Momentaufnahmen des Schalldruckpegels durchgeführt. Um die komplexen Wirkmechanismen der akustischen Umgebung auf die im Büro arbeitenden Personen zu verstehen, reicht es jedoch nicht aus nur instrumentelle Einflussfaktoren zu betrachten. Ferner wird eine ganzheitliche Betrachtung aller akustischen Einwirkungen, aber auch der Perzeption der akustischen Umgebung durch die dort beschäftigten Personen notwendig. So wurden verschiedene Messungen in zwei Open Space Offices durchgeführt. Einerseits wurden die raumakustischen Parameter nach DIN EN ISO 3382-3 für eine Beurteilung nach VDI 2569 erfasst. Andererseits wurden während des laufenden Betriebs sowohl eine übliche Schalldruckpegelmessung zur Ermittlung des Beurteilungspegels nach den Technischen Regeln für Arbeitsstätten ASR A3.7 ”Lärm”, als auch binaurale Aufzeichnungen zur Auswertung psychoakustischer Messgrößen durchgeführt. Zusätzlich wurden die in den Büros beschäftigten Personen im Nachgang zu den Messungen zur akustischen Arbeitsplatzsituation mittels Online-Fragebogen befragt. Damit können die Büroraumakustik beschrieben, eine Momentaufnahme eines Schalldruckpegelverlaufs dargestellt und psychoakustische Messgrößen bestimmt werden. Aber auch die Perzeption der Beschäftigten findet Beachtung und eine Verbindung zu den zuvor genannten instrumentellen Größen kann untersucht werden. Die Methodik sowie eine Auswertung der Messdaten wird in diesem Beitrag dargestellt.

Mi. 9:20 Blauer Saal Lärm am Arbeitsplatz

Die akustische Situation in Schwimmbädern und deren Auswirkungen auf Mitarbeitende sowie Besuchende

Benjamin Müller, Annika Nolte und Lisa-Marie Wadle
Fraunhofer-Institut für Bauphysik

Gute Akustik in Schwimmbädern hat oftmals immer noch keine Priorität und viele Hallen weisen akustische Defizite auf, welche sich sowohl auf die Mitarbeitenden als auch auf die Besuchenden negativ auswirken. Dies steht im Kontrast zur Intention eines Schwimmbadbesuchs, wie zur

Ruhe kommen oder konzentriert einer Sportart nachgehen. Zugleich erfordern Sicherheitsaspekte eine angemessene Sprachverständlichkeit. Besonders große Probleme in Schwimmhallen sind der hohe Lärmpegel und der lange Nachhall aufgrund vieler schallharter Oberflächen. Fragt man Sportlehrkräfte nach der Zufriedenheit von Umgebungsbedingungen in Schwimmhallen während des Schwimmunterrichts, geben diese die Akustik als den größten Kritikpunkt an. Zur Verbesserung der akustischen Situation in Schwimmhallen wurde im Rahmen der Projektinitiative "AKUSTIK IN SCHWIMMBÄDERN" des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik IBP und der Deutschen Gesellschaft für das Badewesen e.V. eine systematische Untersuchung des Ist-Stands in Schwimmhallen durchgeführt. Dafür wurden sechs Schwimmbäder mit verschiedenen Nutzungsformen raumakustisch vermessen und Pegel-Messungen während des Betriebs durchgeführt. Zudem erfolgte eine Befragung des Schwimmbadpersonals, an der sich mehr als 100 Schwimmbäder beteiligten.

Mi. 9:40 Blauer Saal Lärm am Arbeitsplatz

Eine Leseaufgabe für Lärmwirkungsstudien im Arbeitskontext: Analysen zu Trainingseffekten und Bearbeitungsfehlern

Helga Sukowski

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

In einem BAuA-Forschungsprojekt, in dem der Einfluss der akustischen Arbeitsumgebung auf die Leseleistung und das Wohlbefinden von Beschäftigten untersucht wird, standen in einer ersten von zwei empirischen Studien die Untersuchung von Trainingseffekten bei zweimaliger Testbearbeitung und die Betrachtung der beiden Testversionen einer speziell für diese Studie entwickelten Leseaufgabe im Mittelpunkt.

Zur Ermittlung von Trainingseffekten haben die Teilnehmer(innen) die Leseaufgabe entweder zweimal in einer Ruhebedingung (RR) oder zweimal in einer Sprachgeräuschbedingung (GG) bearbeitet. In die Auswertung gingen die Daten von 45 berufstätigen Personen (Alter: 30-59 Jahre) ein. Zusätzlich zur Auswertung der Gesamtleistung in den beiden Versuchsdurchgängen (Sukowski, 2019) wurden weiterführende Analysen u. a. zur Art der Bearbeitungsfehler und der Bearbeitungszeit durchgeführt.

In diesem Beitrag werden Ergebnisse dieser weiterführenden Analysen berichtet. So hat sich beispielsweise gezeigt, dass die reine Bearbeitungszeit der Testitems im zweiten Durchgang signifikant geringer war als im ersten Durchgang, und dies findet sich auch bei separater Auswertung für beide Gruppen (RR und GG). Die detaillierte Betrachtung der Leseaufgabe und der Trainingseffekte sowie die daraus folgende Optimierung der Methodik werden als wichtige Voraussetzungen angesehen, um in der nachfolgenden zweiten Studie des Projektes die Wirkungen unterschiedlicher, für den Arbeitskontext relevanter Geräusche auf die Leseleistung zuverlässig untersuchen zu können.

Mi. 10:20 Blauer Saal Lärm am Arbeitsplatz

Messung und Evaluierung des Lärmpegels bei der Implantation von Hüftendoprothesen

Alfred Schmitz[a], Nael Hawi[b], Daniel Kendoff[b] und Martin Peter[a]
[a] *TAC - Technische Akustik;* [b] *Helios ENDO-Klinik Hamburg*

Bei der Implantation von Hüftendoprothesen entstehenden durch die unterschiedlichen Arbeitsgänge (z.B. Sägen des Oberschenkelknochens, Ausfräsen der Pfanne, Einschlagen der Pfanne mit verschiedenen Hämmern usw.) verschiedenartige Geräusche, die vom Operateur und dem gesamten Operationsteam regelmäßig als sehr laut empfunden werden. Im Rahmen einer Studie wurde daher untersucht, in wieweit diese subjektive Belästigung mit objektiven Messwerten korreliert ist und ob durch die Geräuscherzeugung ggf. auch gesetzliche oder arbeitsrechtliche Grenzwerte erreicht oder überschritten werden, die Anhaltspunkte dafür sind, ob eine übermäßige Lärmbelastung vorliegt oder gar bei entsprechender Exposition eine Hörgefährdung besteht. Nicht zuletzt soll das gewonnene Datenmaterial dazu dienen, Ansatzpunkte für mögliche Lärmminderungsmaßnahmen bei den Operationen zu finden und deren Verbesserungspotential einzuschätzen.
Im Rahmen der Untersuchungen wurden die Geräusche von insgesamt sieben gleichartigen Hüftoperationen messtechnisch erfasst und daraus die relevanten schalltechnischen Größen bestimmt. Die Analyse der Messergebnisse und die daraus resultierende Bewertung der Geräuschsituationen wurden anhand der aus der einschlägigen Literatur bekannten verschiedenen Wirkungsweisen von Geräuschbelastungen auf den Menschen vorgenommen. Die Untersuchungen sowie deren Ergebnisse und die entsprechenden Schlussfolgerungen werden vorgestellt.

Mi. 10:40 Blauer Saal Lärm am Arbeitsplatz

Analyse einer Messprozedur für luftgeleiteten Ultraschall am Arbeitsplatz hinsichtlich ihrer Praxistauglichkeit

Andrea Wolff[a], Christian Ullisch-Nelken[a], Robert Schöneweiß[b] und Christoph Kling[b]
[a] *Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzl. Unfallversicherung;* [b] *Physikalisch-Technische Bundesanstalt*

Durch die Weiterentwicklung industrieller Verfahren, besteht an immer mehr Arbeitsplätze eine Exposition gegenüber Luftultraschall. Dieser Schall ist zwar i.d.R. nicht hörbar, jedoch ist in der Literatur das mögliche Auftreten extra-auraler Symptome durch eine solche Exposition dokumentiert. Somit ist die Exposition gegenüber Luftultraschall am Arbeitsplatz gemäß Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung zu erfassen und in die Gefährdungsbeurteilung aufzunehmen. Gängige Messmethoden für hörbaren Schall sind jedoch für die Erfassung von Luftultraschall nicht geeignet. Im Rahmen des EU-Projekts "Metrology for modern hearing assessment and protecting public health from emerging noise sources" (www.ears-project.eu) wurde daher an der Entwicklung

einer neue Messprozedur gearbeitet, die eine zuverlässige Erfassung der Luftultraschallexposition am Arbeitsplatz im laufenden Betrieb ermöglichen soll. Nach ausführlichen Laboruntersuchungen, die bereits auf der DAGA 2018 vorgestellt wurden, konnte die Messprozedur einem Praxistest unterzogen werden. Dafür wurde eine Vielzahl von Messungen an industriellen Arbeitsplätzen durchgeführt, die durch verschiedene typische Quellen ultraschallbelastet sind. Wir präsentieren die Messungen und diskutieren die Ergebnisse.

Mi. 11:00 Blauer Saal Lärm am Arbeitsplatz

Wie aus den Resultaten von Gehöruntersuchungen auf die branchenspezifische Gehörschutz-Tragdisziplin geschlossen werden kann

Magnus Köpfli Wicki
Suva, Luzern (CH)

Die Schweizerische Unfallversicherung Suva betreibt seit den 1970-er Jahren ein systematisches Programm zur Verhütung von Gehörschäden. Dabei konzentrieren sich die Gehöruntersuchungen in den Suva-Audiomobilen auf Personen, welche in gehörgefährdender Umgebung arbeiten.

Bedingt durch die Geometrie des Gehörgangs und die Schallwellenlänge zeichnet sich ein lärmbedingter Hörverlust primär im Frequenzbereich zwischen 3 und 6 kHz ab. Insofern unterscheidet er sich vom altersbedingten Hörschaden.

Durch spezifische Auswertungen von audiometrischen Daten lassen sich Branchen und Berufsbilder mit erhöhtem Hörschadenrisiko eruieren. Es sind dies Berufe, bei welchen die Gehörschutzanwendung erschwert ist oder bei welchen die Lärmbelastung unterschätzt wird.

Tätigkeiten mit erträglichen, doch häufigen, Impulsbelastungen schneiden schlechter ab als Berufe mit Dauerlärmbelastungen. In der Baubranche zeigt sich der Schaler als gehörgefährdetster Beruf. Tatsächlich wird eine schlechte Tragdisziplin beobachtet.

Eine betriebsspezifische Auswertung der Hörverluste im Bereich zwischen 3 und 6 kHz dient als Triagekriterium für die Planung und Durchführung von Betriebskontrollbesuchen im Sinne der Gehörschadenprävention.

Mi. 11:20 Blauer Saal Lärm am Arbeitsplatz

Influence of the Acoustic Coupling of Hearing Aids on the Passive Sound Attenuation of Custom Ear Molds

Hendrik Husstedt[a], Sandra Dantscher[b], Peter Sickert[c], Marlitt Frenz[a], Janosch Niehaus[a] und Christoph Knipfer[b]

[a] *Deutsches Hörgeräte Institut GmbH;* [b] *Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzl. Unfallversicherung;* [c] *LGC-PS, Nürnberg*

Hearing aids can amplify sounds to compensate for a hearing loss. Other features such as loudness compression and an output limiter allow for an amplification of soft sounds and a reduction of loud sounds. Therefore, hearing aids can basically also act as hearing protectors. However, the reduction of sounds can only be realized by not amplifying them, since current hearing aids do not provide active noise canceling. Consequently, the passive sound attenuation is crucial for the use as hearing protectors. Closed fittings are required to get high attenuation, and custom ear molds better fit the individual shape of the ear. Nevertheless, the influence of the acoustic coupling between ear mold and hearing aid on the attenuation is not clear. Thus, the passive attenuation of four different custom ear molds is measured with the REAT method (EN ISO 4869-1) for 20 test subjects. The influence of the acoustic coupling is analyzed by comparing the following conditions: (i) closed ear mold, (ii) closed ear mold for behind-the-ear devices with standard and (iii) slim tube, and (iv) closed ear mold for receiver-in-the-canal devices. These results help to define requirements for the certification of hearing aid ear molds as hearing protectors (personal protective equipment).

Mi. 11:40 Blauer Saal Lärm am Arbeitsplatz

Präsentation der Poster, die dieser Sitzung zugeordnet sind (s.u.)

Sitzung „Lärm am Arbeitsplatz (Poster)“
Kurzvorträge: Mi. 11:40 (Blauer Saal); Poster-Forum: Mi. 16:00

Di.-Do. Lärm am Arbeitsplatz (Poster)

Excel-Tool zur Ermittlung des Tages-Lärmexpositionspegels

Ilka Arendt und Anke Berger

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Bei der Durchführung von Gefährdungsbeurteilungen sind oft Kenngrößen zu physikalischen Faktoren und Arbeitsumgebungsbedingungen am Arbeitsplatz zu ermitteln, um die Einhaltung von Grenzwerten zu überprüfen und erforderliche Maßnahmen, beispielsweise zur Minderung oder zur Bereitstellung geeigneter PSA, einzuleiten. Die Ermittlung der Kenngrößen ist jedoch nicht grundsätzlich einfach und erfordert oft fachgerechte Messungen. Das von der BAuA entwickelte Excel-Tool bildet den Messablauf für den Tages-Lärmexpositionspegel von der Vorbereitung der Messung bis zum vollständig dokumentierten Ergebnis ab.

Es leitet durch die Messung und unterstützt bei der Auswahl geeigneter Schallpegelmesser, der Berechnung des Tages-Lärmexpositionspegels und der Protokollierung. Es ersetzt dabei nicht die nach LärmVibrationsArbschV für die Messungen erforderliche Fachkunde. Die Messungen werden auf Grundlage der DIN EN ISO 9612 - "Bestimmung der Lärmexposition am Arbeitsplatz" durchgeführt. Abgeschlossene Messungen werden gespeichert und können über das Tool jederzeit wieder aufgerufen werden. Das Excel-Tool bildet einfache Messsituationen ab. Eine Weiterentwicklung z. B. zur Ermittlung des Spitzenschalldruckpegels oder hinsichtlich des Einsatzes von Personenschallexposimetern wird bei Bedarf angestrebt. Die erste Version des Excel-Tools wird auf dem Poster vorgestellt.

Di.-Do. Lärm am Arbeitsplatz (Poster)

Entwicklungsmöglichkeiten der Hörgeräteversorgung zum Einsatz in Lärmbereichen

Peter Sickert
LGC-PS, Nürnberg

Seit 2010 sind als Gehörschutz zugelassene Hörgeräte in Kombination mit einer Gehörschutz-Otoplastik als persönliche Schutzausrüstung erhältlich. Dabei handelt es sich um Komplettsysteme, bei denen softwareseitig eine Begrenzung für die Einstellmöglichkeiten des Hörakustikers eingebaut ist.

Momentan wird im Rahmen eines von der DGUV geförderten Projekts ein alternativer "offener" Ansatz in einer Kooperation zwischen DGUV, biha und DHI erarbeitet, der eine Kombination zwischen einem als PSA zertifizierten Ohrpassstück und einem geeigneten Hörgerät vorsieht. Die Eignung wird durch eine Prüfung beim DHI nachgewiesen. Anforderungen an das Hörgerät, die Kontrolle der individuellen Einstellung durch den Hörakustiker und die Erfolgskontrolle der Versorgung werden in einem DGUV Grundsatz festgelegt.

Denkbare Weiterentwicklungen werden diskutiert. Insbesondere ist es möglich, Hörgeräte über eine Ferneinstellung direkt durch den Hersteller anzupassen. Dies käme sowohl für Komplettsysteme als auch für "offen" kombinierbare Versorgungen in Frage.

Zu diskutieren ist auch die Nutzung einer automatischen Situationserkennung durch die Hörgerätesoftware, so dass im Lärmbereich ohne Nutzereinwirkung das Lärmarbeitsplatzprogramm eingestellt wird.

Die genannten Varianten der Hörgeräteversorgung am Lärmarbeitsplatz bieten unterschiedliche Sicherheitsniveaus und Flexibilitäten und erlegen dem Hersteller im Sinne der PSA- Verordnung und dem beteiligten Hörakustiker verschieden große Verantwortungen auf. Diese Unterschiede sollten bei der Einführung weiterer Versorgungsverfahren neben den bereits etablierten Komplettsystemen berücksichtigt werden.

Di.-Do. Lärm am Arbeitsplatz (Poster)

Typische Schallexposition für verschiedene Waffentypen

Sandra Dantscher und Andrea Wolff
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzl. Unfallversicherung

Für die Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung von Personen, die Schießlärm ausgesetzt sind, werden Messwerte benötigt. Diese stehen für eine Vielzahl von Waffen und Munitionen zur Verfügung und erlauben eine detaillierte Berechnung des Tages-Lärmexpositionspegels für verschiedenste Szenarien. Im Rahmen der Beurteilung einer Verdachtsanzeige für eine Berufskrankheit BK 2301 (Lärmschwerhörigkeit) muss die Lärmexposition gegenüber Schießlärm jedoch retrospektiv ermittelt werden. Hierbei lässt sich die genaue Expositionssituation häufig nicht mehr rekonstruieren. Insbesondere können die jeweils verwendeten Waffen und Munitionen sowie die Schusszahlen meist nicht genau bestimmt werden.

In der vorliegenden Arbeit wurden verfügbare Messwerte aus verschiedenen Quellen für die Exposition der Schützen analysiert. Die Daten wurden für verschiedene Waffentypen gruppiert, z.B. Pistolen, Maschinenpistolen, Sturmgewehre und Jadgwaffen. Alle Daten wurden auf A-bewertete Einzelereignisschallpegel pro Schuss umgerechnet. Für jeden Waffentyp ergibt sich damit ein Wertebereich, der durch die Streuung für verschiedene Waffen und Munitionen bestimmt wird.

Es wird diskutiert, mit welcher Unsicherheit die rückblickende Beurteilung der Lärmexposition für eine Berufskrankheit auf Basis dieser zusammenfassenden Daten möglich ist, wobei auch die Unsicherheit in der retrospektiven Angabe der Schusszahlen berücksichtigt wird.

Di.-Do. Lärm am Arbeitsplatz (Poster)

Development of a personal high-frequency sound exposimeter for occupational safety applications

Michal Cieslak[a], Christoph Kling[a] und Andrea Wolff[b]
[a] *Physikalisch-Technische Bundesanstalt;* [b] *Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzl. Unfallversicherung*

High-frequency sound level measurements in workplaces are usually performed with handheld sound level meters. These devices are limited to applications where worker's position is predefined and does not vary during a working day. Otherwise, personal sound exposimeters can be utilized to account for the correlation of the worker's mobility and the subsequently varying sound exposure, provided the frequency of the measured sound does not exceed 8 kHz. However, the increasing number of workplace activities where high-frequency sound and ultrasound exposure poses a real health and safety issue necessitates the development of a personal sound exposimeter capable of operating above 8 kHz. This requirement has been recognized by the Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) and the Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance (IFA of DGUV). In this

work, PTB's and IFA's latest efforts to develop a personal high-frequency sound dosimeter are documented. Preliminary test results of the initial investigations are presented therein. Owing to the recent advances in the field of microelectronics the current concept shows a good potential for meeting the requirements of the applicable standards, despite the compact size of the design.

Sitzung „Fluglärm"

Mi. 13:40 Blauer Saal Fluglärm

Mittel- und Langfriststrategie des UBA zur Fluglärmminderung

Jörn Lindmaier und Juliane Bopst
Umweltbundesamt

In Vorbereitung zum UBA Forum mobil & nachhaltig am 6. und 7. November 2019 in Berlin hat das UBA eine Strategie für den Luftverkehr der Zukunft erarbeitet, vorgestellt und diskutiert. Der Luftverkehr der Zukunft soll bis 2050 umwelt- und klimaschonend, treibhausgasneutral und lärmarm ausgestaltet sein. Die Strategie beinhaltet sowohl Empfehlungen für eine umfassende Neugestaltung der ökonomischen Rahmenbedingungen, als auch eine weitreichende Klimaschutz- und Lärmschutzstrategie für den Luftverkehr sowie planerische Konzepte zur Verkehrsverlagerung.

Neue Zielwerte der Weltgesundheitsorganisation zeigen, dass die Lärmbelastungen an Flughäfen weiter reduziert werden müssen. Für den nächtlichen Lärmschutz empfiehlt das UBA daher bis zum Jahr 2050 auf allen stadtnahen Flughäfen den regulären Flugbetrieb zwischen 22 und 6 Uhr einzustellen. Nicht vermeidbare nächtliche Flüge wären dann an wenigen Flughäfen in dünn besiedelter Umgebung abzuwickeln. In seiner Strategie hat das UBA konkrete Werte zu dem anzustrebenden Niveau der Lärmbelastung am Tag hergeleitet. Es empfiehlt die Mittelungspegel in Wohngebieten tagsüber bis 2050 an alle deutschen Flughäfen auf 58 dB(A) zu begrenzen. Bis 2030 sollte ein Mittelungspegel von 63 dB(A) nicht überschritten werden.

Dieser Vortrag erläutert die Herleitung dieser Pegelwerte sowie die Konsequenzen für einzelnen Flughafen-Standorten in vereinfachter Form.

Mi. 14:00 Blauer Saal Fluglärm

Sensitivitätsanalyse des Schalltransmissionsverhaltens einer Flugzeugrumpfstruktur auf externe akustische Quellmodelle

Christian Hesse
DLR, Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt

Die gezielte Auslegung von Lärmschutzmaßnahmen für die Flugzeugkabine erfordert verlässliche und effiziente Berechnungsmethoden des Schalltransmissionsverhaltens. Die Schalltransmission beginnt bei den individuellen Quellen (z.B. Triebwerke) und überträgt sich über die turbulente Grenzschicht auf die Rumpfaußenhaut wobei diese zu Schwingungen angeregt wird. Die Umströmung des Rumpfes führt dabei durch Konvektion zu einer Streckung der Wellen in Strömungsrichtung und eine Stauchung entgegen der Strömungsrichtung. Des Weiteren interagieren die Wellen mit der turbulenten Grenzschicht und führen so insbesondere entgegen der Strömungsrichtung zu einer Reduktion der anregenden Schalldruckschwankungen. Im tieffrequenten Bereich ist die Schallübertragung der Rumpfstruktur im Wesentlichen geprägt von den globalen Strukturmoden. Im mittleren bis hohen Frequenzbereich beteiligen sich zunehmend lokale Moden der einzelnen Hautfelder am Schalldurchgang. Der vorliegende Beitrag beschreibt das Schalltransmissionsverhalten von der Quelle bis zu den Schallwechseldrücken in der Kabine. Die wesentliche Herausforderung besteht dabei in der Integration von heterogenen Modellen. Ein Finite-Elemente Modell des Acoustic FlightLAB-Demonstrators, dem Rumpf eines Kurzstreckenflugzeugs, wird als Strukturmodell verwendet. Als analytische Quellmodelle werden die Basismodelle Monopol und Dipol, sowie lineare und laterale Quadrupole untersucht und deren Transmission im Wellenzahlbereich beschrieben. Dabei werden insbesondere Parameter der Flugmachzahl und der Grenzschichtdicke variiert und der Einfluss auf die Einkopplung in die Strukturschwingungen sowie die Passagierkabine quantifiziert.

Mi. 14:20 Blauer Saal Fluglärm

Berücksichtigung der Flugbahn im Lärmarmen Flugzeugvorentwurfsprozess

Jason Blinstrub
DLR, Göttingen

Im lärmarmen Flugzeugvorentwurfsprozess werden Konzept- und Parameterstudien durchgeführt, um eine Auswahl an möglichst leisen aber dennoch kosteneffizienten Flugzeugkonzepten für eine vorgegebene Mission zu erarbeiten. Die Lärmimmission jedes einzelnen Flugzeugentwurfs wird dabei nicht nur durch die Flugzeuggeometrie, sondern vor allem durch die Betriebsbedingungen (Klappenstellung, Schub, Fluggeschwindigkeit, Flughöhe) entlang einer berechneten, möglichst lärmarmen Flugbahn bestimmt. Wie eine lärmarme Flugbahn aussieht, hängt jedoch sowohl von den relevanten Lärmquellen, als auch von den betrachteten Immissionsorten ab. In diesem Beitrag wird vorgestellt, wie

die Flugbahn im lärmarmen Flugzeugvorentwurfsprozess berücksichtigt werden muss. Anhand einer Flugzeugkonfiguration wird die Abhängigkeit der Immissionspegel von der Flugbahn und von der Position der betrachteten Immissionsorte verdeutlicht. Weiterhin wird veranschaulicht, welche Lärmquellen für den Gesamtlärm am Boden verantwortlich sind. Zusammenfassend wird gezeigt, dass im Flugzeugvorentwurf neben standardisierten Flugbahnen auch individuelle, lärmarme Flugbahnen berücksichtigt werden müssen, um das Lärmminderungspotential von neuartigen Flugzeugkonzepten vollständig ausschöpfen und bewerten zu können.

Mi. 14:40 Blauer Saal Fluglärm

Geräuschemissionen ziviler Überschallflugzeuge

Thomas Myck[a] und Berthold Vogelsang[b]

[a] *Umweltbundesamt;* [b] *Hannover*

Gegenwärtig wird der zivile Luftverkehr mit Flugzeugen durchgeführt, die im Unterschallbereich fliegen, d. h. mit einer Geschwindigkeit kleiner Mach 1. Zukünftig ist jedoch zu erwarten, dass Business Jets und manche Verkehrsflugzeuge wieder, wie einst die Concorde, mit Überschallgeschwindigkeit fliegen werden. So werden voraussichtlich ab dem Jahr 2026 gewerbliche Überschallflüge durchgeführt werden. Hierfür werden derzeit insbesondere in den USA und Japan zivile Überschallflugzeuge entwickelt. Der Betrieb dieser Flugzeuge erfordert u. a. Vorschriften über die Lärmzulassung, die zurzeit auf internationaler Ebene erarbeitet werden. Dabei wird angestrebt, dass die Flugzeuge beim Start und bei der Landung die derzeit für Unterschallflugzeuge geltenden aktuellen Lärmgrenzwerte einhalten, also den Anforderungen nach dem Anhang 16, Band I, Kapitel 14, der Internationalen Zivilluftfahrt-Organisation ICAO genügen. Eine Besonderheit beim Überschallflug ist, dass nicht nur während der Start- und Landephase Geräuschimmissionen in der Flughafenumgebung verursacht werden, sondern auch beim Reiseflug. Dabei können Überschallknalle auftreten, die auch bei großen Flughöhen am Boden noch hörbar sind. In diesen Beitrag wird die Geräuschentwicklung ziviler Überschallflugzeuge aufgezeigt und analysiert. Dabei wird sowohl auf die Entstehung der Geräuschemissionen als auch auf konstruktive und flugbetriebliche Möglichkeiten zur Geräuschminderung eingegangen.

Mi. 15:00 Blauer Saal Fluglärm

Modelle für Pegelhäufigkeitsverteilungen zur Berechnung von Fluglärm

Ullrich Isermann
DLR, Inst. für Aerodynamik und Strömungstechnik, Göttingen

Analysiert man gemessene Maximalpegel-Häufigkeitsverteilungen von einzelnen oder sinnvoll grup-pierten Flugzeugtypen, so ähneln diese Normalverteilungen. Dies muss bei der Ermittlung von Beurteilungsgrößen, die auf Maximalpegelverteilungen basieren, zwingend berücksichtigt werden. In den 80er Jahren wurde für die NAT-Berechnung ein Modell normalverteilte Pegel entwickelt, das im Jahr 2008 dann auch seinen Eingang in die AzB fand. Erste Probleme mit normalverteilten Pegeln traten auf, als im Rahmen des Ausbauvorhabens BBI Kriterien NAT=0 berechnet werden sollten: Dies erfordert eine Verteilungsfunktion, deren Definitionsbereich zumindest nach oben begrenzt ist. Dieses Problem lässt sich durch Verwendung einer modifizierten Normalverteilung umgehen, die in einem endlichen Intervall definiert ist. Aber auch bei der Ermittlung von Auswachreaktionen AWR sind normalverteilte Pegel bei der Umsetzung in Software nur sehr umständlich zu handhaben: Hier muss das Produkt aus Verteilungsfunktion und einem Expositions-Wirkungs-Polynom integriert werden. Dazu wird in der Regel auf klassierte Pegel zurückgegriffen, was aufwändig zu programmieren ist. Beide Anwendungsprobleme können dadurch gelöst werden, dass man als Verteilungsfunktion ein geeignetes Polynom verwendet, dessen Integral in einem Intervall [-a,+a] zu Eins wird. Im Rahmen des Vortrags werden sowohl eine modifizierte Normalverteilung als auch geeignete Polynome vorgestellt und hinsichtlich der Berechnung von NAT und AWR für charakteristische Flugbetriebsfälle miteinander verglichen.

Mi. 15:20 Blauer Saal Fluglärm

Einfluss der Flugbahndiskretisierung auf die Lärmimmission

Till Raitor[a] und Jason Blinstrub[b]
[a] *DLR, Inst. für Aerodynamik und Strömungstechnik, Göttingen;* [b] *DLR, Göttingen*

Für die Berechnung von Fluglärm ist die Diskretisierung der Flugbahnen ein wesentlicher Schritt. In der ”Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen” (AzB), die in Deutschland nach dem ”Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm” (FluLärmG) das Verfahren zur Berechnung von Lärmschutzbereichen festlegt, erfolgt die Diskretisierung der Flugbahn nach einem definierten Segmentierungsverfahren. Hierbei ergeben sich die einzelnen Diskretisierungspunkte unter anderem aus der Verschneidung der horizontalen Flugstrecke mit dem vertikalen Flugprofil, der Pegeländerung entlang der Flugbahn, sowie dem Abstand zum jeweiligen Immissionsort. Im Gegensatz hierzu steht ein Zeitschrittverfahren, bei dem die Flugbahn in äquidistante Zeitschritte zerlegt wird. Dieses Zeitschrittverfahren ist nicht Teil der AzB, ermöglicht jedoch eine deutlich

einfachere Programmierung. Des Weiteren lassen sich mit dem Zeitschrittverfahren bestimmte Effekte, wie zum Beispiel die konvektive Verstärkung oder die Zeitretardierung, untersuchen. Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass sich aufgrund der beiden unterschiedlichen Diskretisierungsverfahren Differenzen in den Immissionswerten von mehr als 1 dB lediglich bei beschleunigter Bewegung der Luftfahrzeuge in der Nähe der Start- und Landebahn ergeben.

Mi. 15:40 Blauer Saal Fluglärm

Aircraft Noise Modeling of Departure Flight Events based on Radar Tracks and Actual Aircraft Performance Parameters

Christoph Strümpfel und Josephin Hübner
TU Berlin, Fachgebiet Flugführung u. Luftverkehr

The development and improvement of noise abatement procedures (NADP) requires precise knowledge about the current aircraft noise situation around airports. Whereas the present noise situation can be measured and monitored the estimation of future aircraft noise around airports based on new flight procedures must be calculated using approved modeling methods (e.g. ECAC Doc 29). However, a valid assessment of NADP variants requires modeling of the present noise situation too. A method will be presented in this paper, which enables the calculation of noise footprints from real departure flights using the approved noise modeling software Aviation Environmental Design Tool (AEDT). The precise calculation of noise footprints from departure flights bases on a detailed dataset about the flight trajectory from radar data, including the estimation of aircraft performance parameters, flight operational procedures and high-fidelity weather data. Subsequently, the dataset is implemented into the modeling software and the calculated noise metrics (L_A,MAX) are validated with noise measurements of the corresponding flights. In an application example, the paper shows the results of a noise assessment for a major German airport, where the method for noise calculation of real flight events was used to examine the most suitable NADP for the airport during night time.

Sitzung „Lärm durch Windenergie“

Mi. 16:40 Blauer Saal Lärm durch Windenergie

Prediction of long-range propagation of wind turbine noise using the CNPE method

Jasmin Hörmeyer, Tobias Bohne und Raimund Rolfes
Leibniz Universität Hannover - Institut für Statik und Dynamik

In the atmosphere, prevailing meteorological conditions have a strong influence on the long-range sound propagation. Wind and temperature gradients result in a geometric refraction and atmospheric turbulence leads to a scattering of sound waves. The impact of these effects on the

sound propagation increases with the distance. In particular, the prediction of long-range sound propagation and the impact of atmospheric effects are relevant for wind turbine noise. Evaluating these effects, a sound propagation model, which is based on the CNPE (Crank Nicolson Parabolic Equation) method, is developed within the project "WEA-Akzeptanz". Besides the geometric effects, this model includes scattering due to turbulence.
In this work, the long-range propagation of wind turbine noise is investigated. Therefore, a rotating sound source is implemented in the CNPE method and the resulting sound propagation is shown. Additionally, the sound propagation of a high-altitude monopole sound source and a rotating sound source are compared. Furthermore, the necessity of a rotating sound source as a representation of a wind turbine is discussed.

Mi. 17:00 Blauer Saal Lärm durch Windenergie

Entfernungsabhängige Refraktionseffekte in der Schallausbreitung von Windenergieanlagen

Susanne Martens, Tobias Bohne und Raimund Rolfes
Leibniz Universität Hannover - Institut für Statik und Dynamik

Im Projekt WEA-Akzeptanz werden umfangreiche Messungen im Umkreis von Windenergieanlagen (WEA) durchgeführt. Auf Basis der meteorlogischen und akustischen Messdaten sowie der Anlagenparameter wird der Einfluss atmosphärischer Bedingungen auf die Ausbreitung von WEA-Schall untersucht.
Bereits veröffentlichte Ergebnisse aus einer Messkampagne im Jahr 2018 zeigen, dass die Stärke der Refraktion insbesondere von dem vorherrschenden Schallgeschwindigkeitsgradienten und der Entfernung zur Anlage bestimmt wird. Mit zunehmender Entfernung und stärkeren Schallgeschwindigkeitsgradienten nimmt der Einfluss der Refraktionseffekte auf die WEA-Schallausbreitung zu. Bei Entfernungen von 154 und 249m zur Anlagen ist die Richtwirkung der Anlage dominant. Bei einer Entfernung von 470m sind die Refraktionseffekte hingegen klar sichtbar. Im Vergleich zu stark positiven Schallgeschwindigkeitsgradienten ist der Schalldruckpegel bei stark negativen Gradienten um 6dB geringer.
Aufbauend auf diesen Erkenntnissen werden neue Messdaten, welche in zwei Messkampagnen im Jahr 2019 aufgenommen wurden, hinsichtlich der entfernungsabhängigen Refraktionseffekte in der WEA-Schallausbreitung ausgewertet und beurteilt. In diesem Beitrag werden die Messkampagnen sowie die Auswertungsmethoden vorgestellt und schließlich die Ergebnisse der Untersuchungen präsentiert. In einem Ausblick werden zukünftige Arbeiten dargestellt.

Mi. 17:20 Blauer Saal Lärm durch Windenergie

Zur Detektierbarkeit der Geräusche einer Windenergieanlage unter verschiedenen meteorologischen Bedingungen

Arthur Schady und Katharina Elsen
DLR, Institut für Physik der Atmosphäre, Wessling

Die Messung der Lärmemission von Windenergieanlagen ist geregelt nach DIN EN 61400-11. Die Überwachung der Lärmimmission ist dennoch schwierig, da der lokale Lärmpegel von einer Vielzahl von Einflüssen bestimmt wird. Zum einen ist das der sehr variable Emissionspegel, abhängig von den Anströmbedingungen und von der Drehzahl der Anlage. Zum anderen ist eine konkrete Zuordnung der Geräusche zu der Quelle schwierig, weil der Immissionspegel, oft auf dem Level der Fremdgeräusche ist. Zur Verbesserung des Verständnisses der Schallübertragung unter verschiedenen meteorologischen Bedingungen ist eine solche Zuordnung der Quellgeräusche jedoch essentiell. Ziel dieses Vortrages ist es darzustellen, mit welchen Mitteln genügend hoch aufgelöste (zeitlich und spektral) Langzeitmessdaten ausgewertet werden können, um Informationen zu Lärmemission, Drehzahl, Hintergrundgeräuschen, Amplitudenmodulation und der lokalen Lärmbelastung durch eine WEA zu erlangen. Dazu werden Daten genutzt, die über einen Zeitraum von 40 Tagen mit einer Auflösung von 10Hz gespeichert wurden und an fünf Standorten in unterschiedlichem Abstand von der WEA in komplexem Gelände bei gleichzeitiger sehr genauer Dokumentation der Strömungsbedingungen und Meteorologie. Durch die Langzeitmessungen werden verschiedene meteorologische Bedingungen gegenübergestellt und die Einflüsse des Wetters auf die Detektierbarkeit der WEA-Geräusche dargestellt. Diese Untersuchungen ermöglichen Aussagen über die nötigen Analysezeiträume, zur Berücksichtigung meteorologischer Informationen und zu Lärmmetriken in der Lärmüberwachung.

Mi. 17:40 Blauer Saal Lärm durch Windenergie

Schallausbreitung einer Windenergieanlage im komplexen Gelände unter Berücksichtigung verschiedener meteorologischer Bedingungen

Katharina Elsen und Arthur Schady
DLR, Institut für Physik der Atmosphäre, Wessling

Im Rahmen der Energiewende leistet Windenergie als regenerativer Energieträger einen wichtigen Beitrag. Dem gegenüber stehen die teils schlechte Akzeptanz aufgrund von Lärmbelastung sowie die Verknappung guter Standorte. Die Installation von Windenergieanlagen im komplexen Gelände wird daher immer wichtiger und damit auch das Wissen um Effizienz und Lärmbelastung der Anlagen in diesem Gelände. Im Rahmen des NEWA Projektes werden Einflüsse der atmosphärischen Bedingungen, der Umgebung und des Bodens auf die Schallausbreitung untersucht. Die physikalischen Prozesse, die hierbei eine Rolle spielen

(z.B. Absorption, Reflexion, Refraktion), sind komplex, frequenzabhängig und treten in Kombination auf. Der Einfluss der wechselnden atmosphärischen Bedingungen bewirkt Änderungen der Pegeldämpfung im Ausbreitungsweg, die bei Entfernungen größer 500m bis zu 15 dB oder mehr betragen können. Durch Langzeitmessungen in topografisch gegliedertem Gelände werden die Messungen und verschiedene meteorologische Bedingungen gegenübergestellt. Dabei spielt die Meteorologie auch in der Schallentstehung eine große Rolle. Dies wurde im Messaufbau berücksichtig.
Im Rahmen des Vortrages soll dargestellt werden, wie der Einfluss verschiedener meteorologischer Bedingungen in Kombination mit komplexem Gelände auf die Schallausbreitung analysiert und damit besonders extreme Situationen identifiziert werden können. Mit Hilfe hochaufgelöster Daten kann darüber hinaus der Einfluss der verschiedenen meteorologischen Parameter quantifiziert werden.

Mi. 18:00 Blauer Saal Lärm durch Windenergie

Richtungs- und Entfernungsabhängigkeit der Amplitudenmodulation (AM) bei Windenergieanlagen

Sergio Martinez[a], Florian Fennel[a] und Kai Pies[b]

[a] *TÜV Rheinland;* [b] *Schalltechnisches Ingenieurbüro Pies GbR*

In Rahmen der DAGA 2017 und DAGA 2018 wurde ein Verfahren zur Ermittlung und Quantifizierung der AM bei Windenergieanlagen (WEA) vorgestellt. Zur Analyse wurden Geräuschmessungen sowohl von WEA als Einzelanlagen als auch von Windparks herangezogen. Mit Hilfe der dabei ermittelten Kennwerte lassen sich die von WEA ausgehenden Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft ergänzend beurteilen. Bei der Untersuchung der Wirkungen werden häufig hilfsweise synthetische Auralisationen (Verfahren zur Hörbarmachung) zur Simulation verwendet. Vorteilhafter sind jedoch echte Messungen im Nahfeld von Einzelanlagen oder bei Windparks in Abständen von ca. 600 m bis über 1.000 m an den Wohnbebauungen. Hierzu haben wir eigene, ausgewählte, kurzzeitige Geräuschstichproben (2 Minuten bis 4 Minuten Dauer) aus Feldmessungen entnommen und sie als Kombination von Schmalbandanalysen und AM-Bestimmung im Bereich von 25 Hz bis ca. 5 kHz analysiert. Ziel der Untersuchungen ist es, Erkenntnisse zur Entfernungs- und Richtungsabhängigkeit der AM herauszuarbeiten, um sie u.a. mit den aktuellen Modellen zur Geräuschabstrahlung der WEA in Einklang bringen zu können. Solche Schritte sind für die Praxis des Immissionsschutzes unerlässlich. Die bisherigen Untersuchungen zeigten, dass die AM bei Windparks zu einer Erhöhung der Störwirkung führt und damit das Schallminderungspotential der Einflussgröße ”Entfernung” kompensiert wird.

Sitzung „Fahrzeugakustik 1“

Mi. 8:40 Roter Saal Fahrzeugakustik 1

High Frequency Dynamic Stiffness Measurements of Elastomer Mounts

Andreas Schilp und Vera Böhm
AZL-Technology Center GmbH

With regard to electric powertrains the high frequency dynamic stiffness of bushes and mounts - especially in the range above 1 kHz - is of importance for the vehicle development process. For combustion engine mounts the typical frequency range of structural noise ends at 1kHz. Electric engines or gear tooth systems nevertheless produce disturbing noise at higher frequencies. Lightweight body structures with high dynamic stiffness additionally shift the sensitive range upwards to higher frequencies. Therefore the importance of structure-borne noise paths in the high frequency range strongly increases.
A short overview of standard test benches in the frequency range of typically up to 1 kHz is provided. Additionally we present a test stand which makes it possible to measure the transfer stiffness in a range of up to 3 kHz, still under static preloads of up to 5kN.
The testbench measurements are compared with direct force and stiffness measurements on system and full vehicle level.

Mi. 9:00 Roter Saal Fahrzeugakustik 1

Bestimmung des dynamischen Übertragungsverhaltens von Elastomerlagern im Frequenzbereich von 2 bis 10 kHz

Jan Troge, Welf-Guntram Drossel, Martin Burkhardt, Marco Gnauck und Eric Hensel
Fraunhofer IWU

Die voranschreitende Ablösung klassischer Verbrennungsmotoren durch alternative Antriebskonzepte im Automobilbau wie z.B. Elektroantrieb oder Hybridantrieb hat eine andere akustische Wahrnehmung zur Folge. Elektrische Fahrantriebe zeigen oft sehr hochfrequente Geräuschanteile im Vergleich zum Verbrennungsmotor, die meist einen sehr tonalen Charakter haben und deshalb selbst bei geringen Schalldruckpegeln sehr gut wahrnehmbar sind. Für die akustische Optimierung von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren hat sich die Transferpfadanalyse (TPA) in der Automobilindustrie etabliert. In einem durch die Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen (FVV) finanzierten Forschungsprojekt soll die Eignung der TPA für Fahrzeuge mit Elektromotoren untersucht werden. Damit verbunden sind insbesondere Herausforderungen hinsichtlich des relevanten Frequenzbereichs bei Elektromotoren von $f > 5$ kHz. Für die Beschreibung von Transferpfaden von elektrischen Antrieben im Fahrzeug ist die Kenntnis des dynamischen Übertragungsverhaltens der verwendeten Elastomerlager von

großem Interesse. Aktuelle Lagerprüfstände können bauartbedingt nur einen Frequenzbereich bis maximal 3 kHz abdecken. Dieser Beitrag beschäftigt sich daher mit der Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Bestimmung der dynamischen Steifigkeit von Elastomerlagern unter statischer Vorlast im Frequenzbereich von ca. 2-10 kHz. Aufgrund des hohen Frequenzbereichs ergeben sich besondere Anforderungen an die Konstruktion, die überkritische Entkopplung des Prüfaufbaus sowie den dynamischen Anregungsmechanismus. Mit Hilfe des Prüfaufbaus ist es möglich, die vollständige Steifigkeitsmatrix eines Elastomerlagers in Achsenrichtung zu bestimmen.

Mi. 9:20 Roter Saal Fahrzeugakustik 1

Eine Brückentechnologie zur Kombination von Versuch und Simulation mittels in-situ TPA

Matthias Wegerhoff, Roland Sottek und Haiko Brücher
HEAD acoustics GmbH

Zur Verkürzung von Entwicklungsprozessen und um entscheidende Produkteigenschaften möglichst frühzeitig absichern zu können, sind neue Methoden der Produktentwicklung gefragt. Diese müssen aus der Datenlage zum jeweiligen Entwicklungsschritt das Maximum an Informationen über das zukünftige Produkt generieren können. Der Bereich Computer-Aided Engineering (CAE) gewinnt daher zunehmend an Bedeutung. CAE ermöglicht es, zu einem frühen Zeitpunkt im Entwicklungsprozess Produkteigenschaften vorherzusagen und reale Prototypen zum Teil durch numerische Modelle (virtuelle Prototypen) zu ersetzen. Der Übergang von versuchsbasierten Methoden hin zu numerischen Ansätzen ist allerdings ein großer Schritt. Häufig ist eine rein numerische Betrachtung nur eingeschränkt angesichts folgender Gründe möglich: aufwändige Modellbildung, fehlende Daten bzw. Eingangsdaten mit großen Unsicherheiten, fehlende Expertise oder nicht an numerische Methoden angepasste Entwicklungsprozesse. Daher adressiert diese Arbeit eine ”Brückentechnologie”, die die Vorteile messtechnischer und numerischer Methoden kombiniert und eine optimale Prüfung der Eigenschaften des zu entwickelnden Produktes ermöglicht. Dafür wird ein anregendes Subsystem mit seiner Strukturdynamik, basierend auf gemessenen Beschleunigungen, mittels in-situ TPA durch äquivalente Kräfte (Equivalent Forces: EF) beschrieben. Im Allgemeinen sind die EF unabhängig von der Trägerstruktur (z. B. Prüfstand, Anwendungsumgebung) des Subsystems. Durch die Einkopplung der EF in ein strukturdynamisches Simulationsmodell wird die Abstrahlung der Empfängerstruktur prognostiziert und auralisiert.

Mi. 10:00 Roter Saal Fahrzeugakustik 1

Untersuchung des Einflusses von Randbedingungen auf die Vergleichbarkeit von numerischer und experimenteller Modalanalyse

Fabian Duvigneau[a], Frederik Hähnlein[b], Christian Daniel[b], Peter Schrader[b], Elmar Woschke[b] und Daniel Juhre[b]

[a] *OvG-Universität Magdeburg, Kompetenzzentrum eMobility (KeM);* [b] *OvG-Universität Magdeburg*

Im Rahmen der Bewertung von Simulationsmodellen kommt der Validierung der dynamischen Systemeigenschaften mittels experimenteller Modalanalyse eine sehr große Bedeutung zu. Zentraler Punkt ist dabei der Abgleich der Eigenfrequenzen und der Eigenformen. Im Gegensatz dazu gestaltet sich eine zuverlässige Bestimmung der Dämpfung meist schwierig. Diese wird signifikant durch die Randbedingungen beeinflusst, die diesbezüglich häufig nur unzureichend charakterisiert sind. Im Rahmen dieses Beitrags wird der Einfluss unterschiedlicher Randbedingungen hinsichtlich der Vergleichbarkeit von numerischer und experimenteller Modalanalyse untersucht. Dafür werden verschiedene Randbedingungen, die aus mechanischer Modellsicht identisch sind, bezüglich der resultierenden Messergebnisse verglichen und hinsichtlich ihrer Eignung für Validierungszwecke bewertet. Als Probekörper dienen eine Rechteckplatte und eine Ölwanne aus Aluminiumguss. Letztere wird auch bezüglich realistischer Montagebedingungen an einem Zylinderkurbelgehäuse untersucht. Für die experimentelle Modalanalyse wird ein Laser-Scanning-Doppler-Vibrometer verwendet. Die numerischen Analysen werden mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode (FEM) durchgeführt. Es werden mögliche Fehlerquellen und weitere Einflussfaktoren auf das Ergebnis der experimentellen Modalanalyse sowie das Potential einer beliebigen Umlenkung diskutiert. Diese hat das Ziel, optisch nicht direkt zugängliche Oberflächenbereiche mit dem Laserstrahl zu erreichen und erfolgreich vermessen zu können.

Mi. 10:20 Roter Saal Fahrzeugakustik 1

Inside Matrix Inversion for TPA: How to prove if regularization is really needed!

Serafima Anisovich und Roland Sottek

HEAD acoustics GmbH

Source characterization by means of a Matrix Inversion Method (MIM) is very often an ill-posed problem: the solution can be very sensitive to small perturbations in the measured data. In general, the condition number of the matrix (ratio of smallest and highest singular value) is taken as an indicator of how ill-posed the problem is: The solution is more sensitive for higher condition numbers. The range of the condition number is between one and infinity. There are no clear suggestions for a maximum condition number that should not be exceeded for a given matrix. The application of regularization techniques for the treatment of ill-conditioned matrices leads to smaller condition numbers. However, regularization is

based on reducing the contributions to the solution from the smallest singular values. This can lead to a loss of physically important information. Therefore, the principle ”the smaller the better” does not work here straightforwardly. In this paper we present an extended analysis of the problem, taking into account the matrix itself and the physics of the given application example.

Mi. 10:40 Roter Saal Fahrzeugakustik 1

Simulation der Fahrzeugakustik mit energiebasierter Finite-Elemente- Methode und energiebasierter Randelemente Methode

Henning Lohmann[a], Olgierd Zaleski[a] und Otto von Estorff[b]

[a] *Novicos GmbH;* [b] *Techn. Universität Hamburg, Institut für Modellierung und Berechnung*

Simulationen des NVH-Verhaltens mit klassischen Verfahren wie der Finite-Elemente-Methode oder Randelemente-Methode stoßen bei großen Modellen oder im hohen Frequenzbereich an Ihre Grenzen. Eine Alternative bieten energiebasierte Methoden bei denen durch eine gröbere Diskretisierung weniger Freiheitsgrade verwendet werden können. Bei der hier vorgestellten energiebasierten Finite-Elemente-Methode (EFEM) wird im Vergleich zur statistischen Energieanalyse (SEA) aufgrund einer Diskretisierung der Substrukturen die Energiedichteverteilung genauer beschrieben. Zudem ist es möglich bereits bestehende FEM-Modelle für eine Berechnung der akustisch relevanten Eigenschaften auch im hohen Frequenzbereich zu verwenden. In diesem Beitrag wird die Anwendung der EFEM, sowohl auf Komponenten- als auch auf Gesamtfahrzeugebene vorgestellt. Durch eine Kombination der EFEM mit der energiebasierten Randelemente-Methode ist es zudem möglich die Schallabstrahlung im hohen Frequenzbereich für große Außenraumprobleme effizient zu berechnen.

Mi. 11:00 Roter Saal Fahrzeugakustik 1

Methoden für die akustische Analyse und Bewertung von E-Achs-Getrieben

Johannes Knieper und Johannes Blickensdorff

Schaeffler Technologies AG & Co. KG

Für die Bewertung der akustischen Performance eines integrierten elektrischen Antriebs müssen je nach Produkt- und Kundenanforderung individuell anpassbare aber auch ebenso robuste NVH- Metriken im Entwicklungsprozess angewandt werden. Sowohl die akustische Abstimmung von Einzelkomponenten als auch das Gesamtsystem stehen dabei im Fokus: Mechanisches Zusammenspiel von Wälzlagern, Getriebestufen und E-Maschine(n) aber auch wahrnehmungskritische lokale Resonanzüberhöhungen in definierten Betriebszuständen. Im Unterschied zu einer subjektiven Bewertung im nahezu serienreifen Versuchsträger besteht die Herausforderung im Entwicklungsprozess darin, bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt belastbare Aussagen zum

Geräuschverhalten eines komplexen Teilsystems für ein Fahrzeug machen zu können. Akustische Basiskriterien sollten sichere d.h. quantitative Aussagen liefern und sowohl bei Simulations- als auch Versuchsergebnissen nahtlose Anwendbarkeit garantieren. Sie müssen zeitnah mit Kunden abstimmbar, zukunftssicher (bei möglichst optimaler Vergleichbarkeit zu Vorgängerprojekten) und sowohl in Lastenheften als auch End of Line Umgebungen implementierbar sein. Die genannten Anforderungen implizieren eher eine Reduktion der Komplexität: Weg von einer einzigen umfassenden Metrik, hin zu einer Reihe von Basiskriterien, die modular anwendbar sowie interdisziplinär und konzernweit in ihrer Gesamtheit einfacher zu kommunizieren sind. Der Vortrag zeigt anhand eines Produktbeispiels die grundsätzliche Herangehensweise im Design- und Validierungsprozess und stellt einige bewährte Basiskriterien für die akustische Analyse und Bewertung von E-Achsgetrieben vor.

Mi. 11:20 Roter Saal Fahrzeugakustik 1

Messdatenbasierte Charakterisierung von Körperschallquellen in sechs Freiheitsgraden unter "blocked force"- Randbedingungen

Martin Burkhardt und Eric Hensel
Fraunhofer IWU

Für alle Methoden der Transferpfadanalyse (TPA) ist eine Beschreibung des Quelltherms unabdingbar. Die Möglichkeiten der Quellcharakterisierung sind genauso verschieden wie die anwendbaren Verfahren. Für die klassischen Methoden wird die Quelle im Einbauzustand mit Rückwirkung der Fahrzeugstruktur betrachtet, während für die komponentenbasierte TPA die Quelle rückwirkungsfrei von der angekoppelten Struktur beschrieben wird. Neben der TPA wird die Quellcharakterisierung auch im Produktentwicklungsprozess zur Bewertung des aktuellen Baustandes, zum Variantenvergleich oder zur Komponentenfreigabe eingesetzt. Auch in diesen Fällen soll die Quelle rückwirkungsfrei vom Prüfaufbau charakterisiert werden. Die Einhaltung der notwendigen Randbedingungen zur Messung freier Schwingschnellen ist bei den meisten Komponenten praktisch nicht möglich. Basierend auf bisherigen Erfahrungen hat sich in vielen Bereichen eine direkte Kraftmessung zur Quellcharakterisierung etabliert. Die Realisierung eines rückwirkungsfreien Prüfaufbaus zur Messung dynamischer Kräfte birgt jedoch ebenfalls einige Herausforderungen. Im Beitrag wird ein Aufbau vorgestellt, mit dem eine direkte Kraftmessung an einem Punkt in sechs Freiheitsgraden durchgeführt werden kann. Es wird auf die notwendigen Randbedingungen zur Annäherung an die idealisierte "blocked force"-Annahme eingegangen und die am Prüfaufbau vorzutreffenden Randbedingungen messtechnisch nachgewiesen. Mit den charakterisierten sechs Freiheitsgraden (drei Kräfte und drei Momente) wird die strukturdynamische Antwort an einem Referenzpunkt berechnet und mit Betriebsmessungen gegenübergestellt.

Mi. 11:40 Roter Saal Fahrzeugakustik 1

Präsentation der Poster, die dieser Sitzung zugeordnet sind (s.u.)

Sitzung „Fahrzeugakustik 1 (Poster)“
Kurzvorträge: Mi. 11:40 (Roter Saal); Poster-Forum: Mi. 16:00

Di.-Do. Fahrzeugakustik 1 (Poster)

Array Signal Processing Techniques for Analysis of Acoustic Vehicular Sources

Felipe Rembold Petraglia[a], Jonas Stienen[b], Julio Torres[a] und Michael Vorländer[b]

[a] *Federal University of Rio de Janeiro;* [b] *RWTH Aachen, Institute of Technical Acoustics*

Road traffic is an important component of urban noise, regarded by the World Health Organization as the third type of pollution that most affects the population of large cities. The auralization technique stands out as an intuitive tool for assessing environmental noise, but does not yet explore the sound characteristics to provide an accurate hearing experience. In this context, it is desirable for a database containing vehicle sounds to be provided to the auralization systems, but these signals must be previously located and isolated from other sound sources. This paper presents a performance evaluation and comparison of two direction of arrival (DoA) algorithms employed to extract the directivity of vehicular acoustic sources. One of the algorithms is based on the generalized cross-correlation (GCC), whereas the other employs the minimum variance distortionless response (MVDR) beamformer. Based on the estimated source locations, spatial filtering is then performed using two beamforming approaches, namely the Delay-and-Sum and the MVDR. The above methods are applied to the data acquired by eleven circularly arranged microphones, and their selectivities are compared considering different velocities.

Di.-Do. Fahrzeugakustik 1 (Poster)

Systemauslegung zur Schwingungs- und Geräuschreduzierung

Duo Xu und Markus Zimmermann

TU München, Lehrstuhl Produktentwicklung u. Leichtbau

Angesichts der wachsenden Komplexität der vibroakustischen Entwicklung kann der traditionelle Entwicklungsprozess den aktuellen Anforderungen nicht mehr gerecht werden. Typischerweise nachdem die Entwicklungsanforderungen eines mechanischen Systems (z. B. Schalldruckpegel am Ohr des Fahrers) festgelegt sind, können sie nicht auf einzelne Komponenten heruntergebrochen werden. Ohne explizite Zielvorgaben haben die entsprechenden Entwicklungsabteilungen oft

Schwierigkeiten, wirksame Maßnahmen zur vibroakustischen Verbesserung zu erarbeiten und den Erfolg der Komponentenentwicklung in der frühen Entwicklungsphase zu überprüfen.
Im Rahmen von diesem Forschungsprojekt wurde ein neuer Entwurfsprozess für das NVH-Engineering komplexer mechanischer Systeme entwickelt, indem die Geräuschanforderungen auf Systemebene mithilfe der sogenannten Vernetzten Auslegung quantitativ auf Komponentenebene herunterzubrechen. Auf diese Weise wird das Systemdesign in Komponentendesign zerlegt. Der maximal zulässige Bereich jedes Konstruktionsparameters wird auf Grund der System- und Komponentenmodellierung berechnet. Solange der Designparameter im abgeleiteten Bereich bleibt, werden die Systemanforderungen garantiert erfüllt. Quantitative Komponentendesignziele geben den Ingenieuren klare Anweisungen, um wirksame vibroakustische Maßnahmen zu ermitteln und Komponenten zu entwickeln. Am Ende des Entwicklungsprozess wird zuerst jede Komponente und zum Schluss das Gesamtsystem verifiziert.
Die vorgeschlagene Methode wird ein systematisches Verfahren bieten, um das Geräusch und die Schwingung komplexer mechanischer Systeme zu reduzieren und gleichzeitig multidisziplinäre Entwicklungsanforderungen zu erfüllen. Es wird den Produktentwicklungsprozess erheblich beschleunigen, indem Design-Iterationen reduziert werden.

Di.-Do. Fahrzeugakustik 1 (Poster)

Akustikprüfstand für Elektromotoren - Bewertung der Tonhaltigkeit und der Geräuschqualität

M. Ercan Altinsoy, Markus Klemm, Florian Spanka und Tim Holzhäuser
TU Dresden, Professur für Akustik und Haptik

Die akustische Qualität von Elektromotoren rückt immer stärker in den Fokus der Forschung. Für die akustische Optimierung des emittierten Luft- und Körperschalls eines Elektromotors ist die Kenntnis der Schallentstehungs und -Ausbreitungsmechanismen von zentraler Bedeutung. In diesem Vortrag wird die Entwicklung und den Aufbau eines Prüfstandes für akustische Messungen an Elektromotoren vorgestellt. Dieser besteht im Wesentlichen aus dem zu vermessenden Elektromotor (Prüfling) und zusätzlichen Funktionskomponenten, welche Einfluss auf die Akustik des Prüflings haben (Lagerung, Bremse, Last, etc.). In dieser Studie, im Gegensatz zu herkömmlichen Prüfständen wurde der Fokus insbesondere auf die Lagerung der Motoren gelegt. Die Geräusche von Elektromotoren besitzen verschiedene Tonale Komponente. Im Rahmen der Studie ist der Einfluss verschiedener Signalparameter auf die Tonhaltigkeit untersucht worden. Psychoakustische Eigenschaften verschiedener Elektromotorgeräuschen (wie Lautheit, Schärfe oder Rauigkeit) wurden bewertet und analysiert.

Sitzung „Fahrzeugakustik 2“

Mi. 13:40 Roter Saal Fahrzeugakustik 2

Dröhnen im Fahrzeuginneren

Florian Doleschal, Gloria T. Badel und Jesko Verhey
OvG-Universität Magdeburg, Abteilung Experimentelle Audiologie

Zur perzeptiven Charakterisierung von Fahrzeuginnengeräuschen müssen mehrere Empfindungsgrößen herangezogen werden. Der vorliegende Beitrag betrachtet die Empfindungsgröße ”Dröhnen”. Hierzu wurden den Versuchspersonen im Fahrzeuginnenraum aufgenommene Geräusche dargeboten, die diese sowohl kategorial, als auch im vollständigen Paarvergleich bewerten sollten. Da sich in der Praxis häufig große Diskrepanzen zwischen den Bewertungen von Experten und Nichtexperten, als auch zwischen den einzelnen Versuchspersonen ergeben, ist ein übereinstimmendes Verständnis der zu bewertenden Größe erforderlich. Hierzu wurde einer Nichtexpertengruppe vor Versuchsbeginn ein synthetisches Einführungsgeräusch präsentiert. Die Versuchsergebnisse zeigen, dass zwischen den Ergebnissen der Kategorialskalierung und des Paarvergleichs eine hohe Übereinstimmung vorliegt, d.h., dass die Versuchspersonen konsistent bei dieser Empfindungsgröße geantwortet haben. Ein Vergleich mit der Bewertung der Geräusche durch eine Expertengruppe zeigt darüber hinaus eine hohe Übereinstimmung der Bewertung dieser beiden Versuchspersonengruppen. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass das hier gewählte Versuchsdesign zu einem gemeinsamen Verständnis von Experten und Nichtexperten bezüglich der Empfindungsgröße Dröhnen geführt hat.

Mi. 14:00 Roter Saal Fahrzeugakustik 2

Verbesserung des Vorbeifahrts- und des Roll-Innengeräuschs mit schallabsorbierenden Unterbodenverkleidungen

Frank Uhl
Röchling Automotive SE & Co. KG

Unterbodenverkleidungen mit straßenseitigem Schallabsorptionsvermögen zeigen eine erhebliche akustische Wirksamkeit auf das Roll-Außengeräusch sowie das Roll-Innengeräusch. Im Vergleich zu konventionellen Unterbodensystemen werden experimentelle Untersuchungen auf Labor- und Fahrzeugebene bei Verwendung derartiger Maßnahmen gezeigt. Insbesondere der Themenkreis Vorbeifahrtsgeräusch nach ECE R51.03 stand hierbei im Fokus.

Mi. 14:20 Roter Saal Fahrzeugakustik 2

Untersuchungen zur Schallpegelreduktion des Reifen-Fahrbahngeräuschs durch absorbierende KFZ-Unterbodenverkleidungen mittels Transferpfadanalyse

Klaus Pfaffelhuber[a] und Michael Scheinhardt[b]
[a] *Autoneum Switzerland AG;* [b] *Autoneum Germany GmbH*

Seit der Einführung der ECE-Norm für Geräuschemission R51.03 spielt der Anteil des Reifen-Fahrbahngeräuschs eine grosse Rolle für den zu ermittelnden Gesamtpegel bei der Vorbeifahrtprüfung. Mit der Verschärfung der Grenzwerte in den nächsten Jahren sind insbesondere bei Fahrzeugen mit grossen Reifen technische Lösungen zur weiteren Pegelreduktion nötig. Schallabsorbierende Unterbodenverkleidungen können hierbei einen massgeblichen Beitrag leisten.
An einem Pkw der Mittelklasse wurden Transferpfadanalysen zwischen Reifen-Fahrbahn Kontaktflächen und Vorbeifahrtmikrofon durchgeführt. Hierbei wurden die Winkel zwischen Fahrzeug und Mikrofon variiert um verschiedene Fahrzeugpositionen während der Vorbeifahrt zu simulieren. Die Ergebnisse bei unterschiedlich absorbierenden Unterbodenverkleidungen und unterschiedlicher Verkleidungsanordnung werden präsentiert.

Mi. 14:40 Roter Saal Fahrzeugakustik 2

Acoustic Model Reduction for the Design of Acoustic Treatments

Thanos Poulos[a], Kambiz Kayvantash[b], Sandrine le Corre[b] und Jonathan Jacqmot[a]
[a] *Hexagon - Free Field Technologies;* [b] *CADIm*

Due to constant evolution in both noise regulations and noise comfort standards, noise reduction inside the vehicle remains one of the main issues faced today by the automotive industry. One of the most efficient methods for noise reduction is the introduction of acoustic treatments, made of multilayered trimmed panels. Constraints on these components, such as weight, packaging space and overall sound quality as well as the amount of possible material and geometrical combinations, have led automotive OEMs to use innovative methods, such as numerical acoustic simulation, so as to evaluate noise transmission in a fast and cost-effective way. While the computational cost for performing such analyses is insignificant for a limited number of configurations, the evaluation of multiple design parameter combinations early in the design stage can lead to non-viable computation times in an industrial context. This paper presents a framework for the efficient, almost real-time evaluation of quality indicators, such as the sound transmission loss, using machine learning techniques, with data from a limited amount of acoustic simulations. The resulting model can be further used for optimizing the behavior of the acoustic treatment. The performance of the proposed methodology is demonstrated on an industrial firewall panel application.

Mi. 15:00 Roter Saal Fahrzeugakustik 2

Nutzung des akustischen Fenster- und Deckenprüfstands zur Entwicklung und Auslegung von Dämmungs- und Dämpfungsbauteilen bei Volkswagen

Silje Korte und Uwe Schievelbusch
Volkswagen AG

Volkswagen in Wolfsburg betreibt seit 2003 einen akustischen Fenster- und Deckenprüfstand. In der Wandöffnung ist üblicherweise ein Vorderwagen verbaut, in der Bodenöffnung eine Fahrzeugbodengruppe oder eine ebene Platte zur Materialbewertung. Zusätzlich gibt es noch eine kleine Wandöffnung zur Messung an Einzelkomponenten, beispielsweise Tüllen.

Die Messungen erfolgen mit einer an einem sechsachsigen Industrieroboter montierten Schall-Intensitätssonde, die Prüfobjekte (z.B. die innenraumseitige Stirnwanddämmung eines Vorderwagens) werden konturgenau mit einem definierten Abstand vermessen.

Der Prüfstand wird für Systemvergleiche von Dämmungsbauteilen, für Schwachstellenanalysen, zur Überprüfung von akustischen Vorgaben sowie zur Validierung von Simulationsrechnungen eingesetzt.

Mit den Untersuchungen können beispielsweise systemische Änderungen an Baugruppen bewertet werden: Über den Vergleich der Schalldämmmaße eines Dämmbauteils mit Durchbrüchen im Serienzustand und mit maximal verschlossenen Durchbrüchen wird festgestellt, was pegelbestimmend für den Fahrzeuginnenraum ist, um Optimierungen durchzuführen.

Viele der Untersuchungen im Prüfstand tragen zu einer erheblichen Reduzierung von Fahrzeugmessungen bei. Wichtige Erkenntnisse liefern auch Messungen an Bauzustände, die im Fahrbetrieb nicht realisierbar sind. Messungen an Komponenten sind in einer frühen Entwicklungsphase möglich, in der noch keine Fahrzeuge zur Verfügung stehen.

Der Fenster- und Deckenprüfstand hat sich zu einem unverzichtbaren Standardwerkzeug in der Akustikentwicklung bei Volkswagen entwickelt, die Untersuchungsergebnisse fließen kontinuierlich in zukünftige Fahrzeugprojekte ein.

Mi. 15:20 Roter Saal Fahrzeugakustik 2

Identifikation von sensitiven Bereichen zur Systemauslegung in der niederfrequenten Fahrzeugakustik

Lukas Berk[a], Christian Adams[b], Johannes Ebert[a] und Tobias Melz[b,c]
[a] *BMW Group;* [b] *TU Darmstadt, Fachgebiet SAM;* [c] *Fraunhofer LBF*

Konzeptänderungen von Fahrzeugen können während der Entwicklungsphase zur Veränderung des prognostizierten Schalldrucks im Fahrgastraum führen. Zur Erfüllung eines akustischen Zielbildes ist daher

eine sukzessive Abstimmung des Systems nach abgeschlossenen Entwicklungsphasen notwendig. Für die Reduzierung von Gewicht und Änderungsaufwand sollen Bereiche hoher Sensitivität identifiziert werden, um eine hohe Maßnahmeneffizienz zu gewährleisten.
In einem FE-Modell stellen die Parameter Steifigkeit, Dämpfung und Masse variable Eigenschaften der Balken- oder Schalenelemente dar. Das Fluid im Innenraum des Modells wird von den umgebenden Flächenbeitragsleistern erregt. Der Schalldruck wird durch den direkten Einfluss eines Parameters oder dessen Interaktionseffekte auf Phasen und Amplituden der Flächenbeitragsleister abgestimmt. Zur Selektion sensitiver Parameter wird eine Screening-Methode ausgewählt und angepasst.
Der physikalische Haupteffekt zur Beeinflussung des niederfrequenten Schallfeldes ist die Modifikation der Phasen der Flächenbeitragsleister. In der umschlossenen Kavität wird dieser Effekt durch die Minimierung des Summenpegels indirekt als Zielgröße berücksichtigt. Zur qualitativen Bewertung der Haupt- und Nebeneffekte wird auf Basis einer Parameterstudie die Morrismethode ausgewählt. Um Rechenzeit einzusparen, wird ein verteilungsbasiertes Sampling implementiert. Sensitive Parameter werden mithilfe der Morrismethode zuverlässig detektiert. Die Auswahl erfolgt anhand eines Morris-Plots manuell und mithilfe eines Userinterfaces. Dadurch werden notwendige Informationen bereitgestellt, um das akustische Zielbild zukünftig anhand von Leichtbaumaßnahmen und Designmodifikationen effizient beeinflussen zu können.

Mi. 15:40 Roter Saal Fahrzeugakustik 2

Präsentation der Poster, die dieser Sitzung zugeordnet sind (s.u.)

Sitzung „Fahrzeugakustik 2 (Poster)“
Kurzvorträge: Mi. 15:40 (Roter Saal); Poster-Forum: Mi. 16:00

Di.-Do. Fahrzeugakustik 2 (Poster)

Spektro-temporale Geräuschmanipulationen als Grundlage zur Erforschung der Empfindungsgröße Wummern
Gloria T. Badel, Florian Doleschal und Jesko Verhey
OvG-Universität Magdeburg, Abteilung Experimentelle Audiologie
Die Empfindungsgröße Wummern kann in bestimmten Fahrsituationen im Innenraum eines Fahrzeuges auftreten. Um eine detaillierte Charakterisierung dieser Empfindungsgröße zu erreichen, sind Hörversuche mit einer hohen Anzahl an Stimuli unerlässlich. Zudem sollte der Stimuluskorpus so gewählt werden, dass ein möglichst großer Dynamikbereich für die Empfindungsgröße gewährleistet ist. In diesem Projekt wurden daher reale Fahrzeuginnengeräusche mithilfe spektro-temporaler

Manipulationen verändert. Die Signale wurden von Nichtexperten in Hörversuchen bezüglich der Empfindungsgröße Wummern bewertet. Daneben wurden im Experiment auch Daten zur Angenehmheit der Signale erhoben. Die Ergebnisse erlauben Rückschlüsse auf die Gewichtung einzelner Frequenzbänder, sowie auf den Einfluss der Modulationsfrequenzen auf die Empfindung Wummern. Sie sollen als Grundlage für eine zukünftige modellhafte Beschreibung dieser Empfindungsgröße dienen. Zudem erlaubt dieser Beitrag eine Aussage über den Zusammenhang zwischen der Stärke des Wummerns und der Angenehmheit des Signals.

Di.-Do. Fahrzeugakustik 2 (Poster)

Klang alter Zweitakt-Motorräder

Matthias Domke[a], Udo Wagner[a], Peter Holstein[b] und Jörg Neugärtner[c]
[a] *Microtech Gefell GmbH;* [b] *Steinbeis Transferzentrum Technische Akustik und angewandte Numerik;* [c] *Redline Consulting und Ingenieurbüro*

Die DAGA wird 50 Jahre alt. Wir wollen altersmäßig nicht nachstehen und etwas noch älteres zum Klingen bringen. Die Motorräder, die uns akustisch interessiert haben und deren Klang unverwechselbar ist, sind zum Teil älter als die Autoren selbst. Der Beitrag ist nicht rein wissenschaftlich ausgelegt sondern dient auch dazu, den Klang alter Technik geeignet zu beschreiben und zu ”konservieren”. Da die Messungen im Standbetrieb durchgeführt wurden, haben wir uns auf Klangprobleme an den Auspuffanlagen von 2-Takt-Oldtimern konzentriert.

Sitzung „Fahrzeugakustik 3“

Mi. 16:40 Roter Saal Fahrzeugakustik 3

Einfluss von Vibrationen auf die Wahrnehmung psychoakustischer Empfindungsgrößen bei Fahrzeuggeräuschen

Arne Oetjen[a], Louis Krause[a], Mechthild Meierott[a] und Steven van de Par[b]
[a] *CvO Universität Oldenburg, Abt. Akustik;* [b] *CvO Universität Oldenburg, Acoustics Group and Cluster of Excellence Hearing4all*

Akustische Bewertungen von Fahrzeuggeräuschen werden in der Regel im Labor vorgenommen, da nur auf diesem Weg eine kontrollierte Schalldarbietung und der direkte Vergleich zwischen einzelnen Fahrzeugen möglich sind. In einer solchen Laborsituation werden die Geräuschaufnahmen oft jedoch ohne das Zusammenwirken mit anderen sensorischen Einflüssen präsentiert. Solche Einflüsse können visuelle Eindrücke, Gerüche, Beschleunigung oder Vibrationen aus der Fahrzeugstruktur sein. Es kann angenommen werden, dass die Art und Stärke der Ganzkörpervibrationen einen Einfluss auf die wahrgenommene Ausgeprägtheit verschiedener psychoakustischer Empfindungsgrößen hat, da die Frequenzen der im Kfz auftretenden Vibrationen oft mit

den Modulationsfrequenzen in der akustischen Domäne übereinstimmen. In einem Bewertungsversuch wurden Aufnahmen von Fahrzeuggeräuschen und -vibrationen auf einem Vibrationsprüfstand mit Fahrersitz und Lenkrad dargeboten. Die ProbandInnen bewerteten die Geräusche bezüglich der Größen "Wummern", "Brummen", "Dröhnen" und "R-Rauigkeit" wobei die Vibrationen jeweils beim Originalpegel und um 6dB abgesenkt und angehoben dargeboten wurden. In den Bewertungen ist ein Einfluss der Variation der Vibrationsstärke auf die wahrgenommene Ausgeprägtheit der psychoakustischen Empfindungen feststellbar. Auch verläuft die Beeinflussung der Bewertungen nicht linear mit der Änderung der Vibrationsstärke. Diese Erkenntnisse geben sowohl Auskunft über die Anwendbarkeit rein akustischer Laborbewertungen auf die Geräuschqualität des realen Fahrzeugs als auch über das Zusammenspiel von Vibrationen und der akustischen Wahrnehmung.

Mi. 17:00 Roter Saal Fahrzeugakustik 3

Zur Tonhöhe als Syntheseparameter für die empfundene Geschwindigkeit bei der aktiven Klanggestaltung im Fahrzeug

Mirko Djukic und Andreas Herweg
HEAD acoustics GmbH

Das Themengebiet "Active Sound Design" (folgend: ASD) gewinnt in der Fahrzeugentwicklung an stetig wachsender Bedeutung. Gleichermaßen steigen dabei die Anforderungen bei der Gestaltung, Parametrisierung und Applikation synthetischer Geräusche. AVAS (Acoustic Vehicle Alerting System) als ASD-Anwendung ist mittlerweile gesetzlich vorgegeben, sodass synthetische Außengeräusche für elektrifizierte Fahrzeuge Warn- und Hinweisfunktionen erfüllen müssen. Synthetische Geräusche und Klangdefinitionen können zusätzlich die wahrgenommene Produktqualität des Fahrzeugs im Fahrzeuginnenraum verbessern. Insgesamt ergibt sich dadurch großes Potential, die Mensch-Maschine-Kommunikation zu optimieren. Unter Rücksichtnahme psychoakustischer Erkenntnisse kann eine Klanggestaltung unternommen werden, die im Fokus der menschlichen Wahrnehmung und Intuition steht. Modellierung von Empfindungsgrößen kann dabei unterstützen, eine zielorientierte Gestaltung zu unternehmen. In Hinblick auf elektrifizierte Fahrzeuge wurden bereits in der Vergangenheit Untersuchungen durchgeführt, die sich mit der Wechselwirkung der Tonhöhe von verschiedenen Signalformen und der empfundenen Geschwindigkeit auseinandergesetzt haben. Unter Laborbedingungen zeigten sich signifikante Zusammenhänge für den benötigten Grad der Tonhöhenänderung für verschiedene Signalarten und Grundtonhöhen in Abhängigkeit verschiedener Geschwindigkeiten. Dieser Untersuchungsgegenstand wurde in weiteren Studien verfolgt. Dabei wurde ein aktives Versuchsdesign umgesetzt, indem Versuchspersonen die empfundene Geschwindigkeitszunahme und -Abnahme interaktiv steuern und dabei die passende Tonhöhe einstellen und beurteilen können. Im Rahmen des Bei-

trags erfolgt eine Einordnung der Themenstellung, sowie die Vorstellung aktueller Ergebnisse und Erkenntnisse.

Mi. 17:20 Roter Saal Fahrzeugakustik 3

Korrelationsstudie dynamischer Messgrößen, bezogen auf die subjektive Lästigkeit komplexer mechatronischer Funktionsgeräusche

Michael Röhrich[a], Robert Henneberger[a] und Stefan Sentpali[b]
[a] *Brose Fahrzeugteile GmbH & Co. KG;* [b] *Hochschule München*

Der elektrische Kältemittelverdichter steht nach Wegfall seines prominenten Maskierers zunehmend im Fokus akustischer Optimierungsmaßnahmen. Da die Geräusche von mechatronischen Systemen sowohl komplexe Frequenz- als auch Zeitmuster haben, reicht eine alleinige Bewertung des Schalldruckpegels nicht aus, um die Bandbreite des subjektiv empfundenen Gehörspektrums wieder zu spiegeln. Die Bewertung mit Hilfe nur einer akustischen Kenngröße führt nicht zu eindeutigen Ergebnissen. Deshalb wird in dieser Arbeit eine lästigkeitsäquivalente Metrik entwickelt. Normalerweise basiert eine solche Metrik auf Luftschallmessungen. Jene sind an Funktionsprüfständen aber nicht immer realisierbar. Deswegen werden weitere dynamische Messgrößen (Körperschall, Kraft, etc.) zur Korrelation herangezogen. Von diesen stehen Messdaten in großer Menge zur Verfügung.
Als Grundlage zur Erstellung der Metrik dient ein Jury-Test. Mit diesem werden die aufgestellten Thesen untersucht. Die Hörversuche wurden unter Beachtung des "Kompendiums zur Durchführung von Hörversuchen in Wissenschaft und industrieller Praxis" durchgeführt. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse dieses Tests diskutiert.

Mi. 17:40 Roter Saal Fahrzeugakustik 3

Benchmark-Analyse verschiedener Tonhaltigkeitsmodelle anhand von Luftschallmessungen an aktuellen Fahrzeug-Elektromotoren

Sebastian Schneider[a], Florian Doleschal[b], Jan Hots[b], Arne Oetjen[c], Hermann Rottengruber[d] und Jesko Verhey[b]
[a] *OvG-Universität Magdeburg, IMS-EMA;* [b] *OvG-Universität Magdeburg, Abteilung Experimentelle Audiologie;* [c] *CvO Universität Oldenburg, Abt. Akustik;* [d] *OvG-Universität Magdeburg*

Der akustische Qualitätseindruck eines Fahrzeugantriebstrangs wird beim Kauf eines Pkw stetig relevanter. Dabei nimmt die wahrgenommene Geräuschqualität des Motoraggregates eine Schlüsselrolle ein. Doch nicht nur der Verbrennungsmotor besitzt eine eigene Charakteristik seiner Haupt- und Nebengeräusche, sondern ebenfalls der immer häufiger thematisierte Elektromotor. Gerade mit der weiter voranschreitenden Elektrifizierung der Fahrzeugantriebe wird die Geräuschabstrahlcharakteristik jener Antriebskonfigurationen ebenfalls immer wichtiger. Um die Angenehmheit von Geräuschen zu bewerten, werden psychoakustische Größen verwendet. Sind es bei der Bewertung von Verbrennungsmotoren noch vor allem die Kenngrößen Impulshaftigkeit, Rauigkeit oder Schärfe, so ist die relevante Größe bei der Geräuschbewertung

von Elektromotoren die Tonhaltigkeit. Hierbei gibt es neben der DIN-normierten Tonhaltigkeit verschiedene Modellansätze zur Beschreibung dieser Kenngröße. Eine Benchmark-Analyse dieser Modelle mit Messdaten aktueller Elektromotoren wäre hinsichtlich der Untersuchung der Vor- und Nachteile der einzelnen Modelle äußerst hilfreich für die weitere Entwicklung akustisch optimierter Elektromotoraggregate. Außerdem kann dadurch abgeschätzt werden, welche Tonhaltigkeitsmodelle am besten geeignet sind, um eine Aussage über die Geräuschqualität im Fahrzeuginnenraum zu tätigen. Die Untersuchungen beinhalten stationäre Motorbetriebspunkte sowie transientes Betriebsverhalten in einem akustisch relevanten Drehzahl-Last- Bereich für eine umfassende Analyse aller verfügbaren Modelle.

Mi. 18:00 Roter Saal Fahrzeugakustik 3

Quantifizierung des Einflusses des Rauheitsspektrums auf das Beschleunigungsdichtespektrum der Schiene bei Zugüberfahrt

Ina Richter, Katja Stampka und Ennes Sarradj
TU Berlin, Fachgebiet Technische Akustik

Ein wesentlicher Anregungsmechanismus von Rollgeräuschen an Schienenfahrzeugen ist die Rauheit der Schienenoberfläche bzw. der Radlauffläche. Beim Überfahren kommt es im nichtlinearen Kontakt durch die Rauheiten zur Schwingungsanregung sowohl des Rades als auch der Schiene. Der Beitrag der Schiene zum Gesamtrollgeräusch wird dabei wesentlich durch die Stärke des Beschleunigungdichtespektrum (BDS) der Schiene bestimmt. In diesem Beitrag wird der Einfluss der Schienenrauheit auf das BDS der Schiene während einer Zugüberfahrt untersucht, um den Einfluss des nicht nichtlinearen Hertzschen Kontaktes aufzuzeigen. Es wird ein Modell von Nordborg im Zeitbereich für eine Parameterstudie verwendet. Diskutiert wird der Einfluss des Pegels des Rauheitsspektrums in Kombination mit der Zuggeschwindigkeit und der Radart auf das BDS der Schiene.

Sitzung „Strömungsakustik - Simulation“

Mi. 8:40 Bonatz Saal Strömungsakustik - Simulation

Einfluss der Schaufelzahlpaarung auf den tonalen Rotor-Stator-Interaktionslärm unter Berücksichtigung einer Lärmbewertungsmethode

Stephen Schade, Robert Jaron und Sébastien Guérin
DLR, Abteilung Triebwerksakustik, Berlin

Die Arbeit ist motiviert durch die Forschung an leisen, ummantelten Fanstufen für hybrid-elektrisch betriebene Kleinflugzeuge, bei denen der Fanlärm die dominante Lärmquelle darstellt. Im Rahmen einer ”design-to-noise” Auslegung einer Fanstufe werden in der akustischen Vorentwicklung Parameterstudien, unter anderem zum Einfluss der Schaufelzahlpaarung auf die Schallleistungspegel des tonalen Interaktionslärms,

durchgeführt. Ziel der Studien ist das Identifizieren akustisch günstiger Bereiche im Designraum. Lärmarme Schaufelzahlpaarungen sollen ermittelt werden. Der tonale Interaktionslärm wird mit einem Verfahren berechnet, bei dem die Geometrie und Strömung, basierend auf einem Mittelschnittansatz, semi-analytisch modelliert und die Akustik rein analytisch berechnet wird. Bisher werden zur Bewertung die Schallleistungspegel innerhalb des Strömungskanals herangezogen. Das langfristige Ziel ist, die für die Zertifizierung relevante Vorhersage des Lärmteppichs am Boden zu ermöglichen. In einem ersten Schritt werden die atmosphärische Dämpfung und eine für die Zertifizierung übliche Lärmbewertungsmethode berücksichtigt. Beides hat eine frequenzabhängige Gewichtung der Pegel zur Folge. Diese Art der Bewertung ist insbesondere relevant für die Auswahl akustisch günstiger Schaufelzahlpaarungen, da eine Variation der Anzahl der Rotorschaufeln die Blattfolgefrequenz des Rotors verschiebt. Dadurch könnte der Bereich der geringsten Schallemission zu anderen Schaufelzahlpaarungen verlagert werden.

Mi. 9:00 Bonatz Saal Strömungsakustik - Simulation

Acoustic Shielding of a Fan Rotor predicted with a simple Ray-based Model

Antoine Moreau

DLR, Abteilung Triebwerksakustik, Berlin

Following the evolution of aircraft engines towards higher bypass ratio, the acoustic contribution of the engine fan has become more important to the process of noise certification. A major source responsible for fan noise is the interaction of the front-rotor wakes with the outlet guide vanes (OGV). Due to the presence of the nacelle, the sound generated between rotor and OGV is forced to propagate upstream through the rotor and downstream through the OGV before exiting the engine and radiating into the far field. It is known that the acoustic shielding produced by the rotor is very substantial, especially when the tip speed operates at supersonic conditions. The present paper proposes to quantify this shielding effect by means of a simplified analytical model relying on the ray-based description of acoustic duct modes. According to this approach, each mode propagates along a rectilinear path and can be reflected or deflected by the rotor blades; thus, a fast and robust prediction of the shielding can be obtained analytically by geometrical considerations. A parametric study for various duct modes with a rotor operating at subsonic and supersonic conditions will be presented to assess the prediction capability of this simple model.

Mi. 9:20 Bonatz Saal Strömungsakustik - Simulation

Hydroakustische Simulation eines nabenlosen Propellersystems basierend auf einem "Hydrodynamic/Acoustic Splitting"-Ansatz

Hoshang Sultani[a] und Otto von Estorff[b]

[a] *Technische Universität Hamburg;* [b] *Techn. Universität Hamburg, Institut für Modellierung und Berechnung*

Im Vergleich zu klassischen Propellerantrieben wird bei nabenlosen Propellern sowohl aus strömungsmechanischen als auch aus konstruktiven Gründen eine geringere Schallabstrahlung erwartet. Systematische Forschungsarbeiten hierzu liegen jedoch noch nicht vor. In diesem Beitrag werden erste hydroakustische Simulationsergebnisse des nabenlosen Propellers vorgestellt und diskutiert. Die Berechnung des strömungsinduzierten Schalls erfolgt dabei mit einem Trennungs- bzw. einem "Hydrodynamic/Acoustic Splitting" (HAS) - Ansatz, welcher der Gruppe der hybriden Verfahren angehört. Die hydrodynamischen Strömungsfelder, aus denen sich die akustischen Quellfelder der HAS-Ansätze ermitteln lassen, wurden vorab von der Universität Rostock unter Anwendung der "Stress Blended Eddy Simulation" (SBES) berechnet. Die Simulation des Strömungsschalls erfolgt mit der Finite-Volumen-Simulationssoftware OpenFOAM®. Explizit werden die akustischen Quellfelder des nabenlosen Propellersystems analysiert und deren Zusammenhang mit dem berechneten akustischen Druck untersucht. Eine erste Verifizierung der Ergebnisse erfolgt mit Hilfe der hydrodynamischen Simulationsergebnissen aus der SBES.

Mi. 9:40 Bonatz Saal Strömungsakustik - Simulation

CAA-basierte Schallvorhersage für Windkraftanlagen

Christina Appel[a], Benjamin Fassmann[a], Shy-Yea Lin[a] und Michaela Herr[b]

[a] *DLR, Technische Akustik, Braunschweig;* [b] *DLR, Inst. für Aerodynamik und Strömungstechnik, Braunschweig*

Im Rahmen des IEA Wind TCP Task 39 (Quiet Wind Turbine Technology) wurde ein Benchmark für die Schallvorhersage von Windenergieanlagen (Turbine Noise Code Benchmark) initiiert. An diesen Arbeiten ist das DLR über das HGF-finanzierte Projekt ViSion (Validierung von Simulationswerkzeugen zur Beschreibung von Windenergieanlagen) beteiligt. Ziel ist zunächst die Vorhersage des die Gesamtschallabstrahlung dominierenden Hinterkantengeräuschs für eine 2,3MW NM80 Windkraftanlage und Vergleich mit Messungen, die im EU-Projekt DANAERO MW stattgefunden haben. Der geplante Beitrag zeigt erste Vorhersageergebnisse für die zeitlich und räumlich variierende Schallsignatur am Boden. Eingesetzt wird dabei eine Prozesskette, die den Rotor in einzelne Segmente zerlegt, für die dann jeweils 2D CAA-Simulationen (computational aeroacoustics) mittels des finite Differenzen Codes PIANO und dem stochastischen Quellmodell FRPM durchgeführt werden. In einem weiteren Berechnungsschritt werden die Drehung des Rotors, die damit

verbundene Amplitudenmodulation und die Variation des Abstands zum Auswertepunkt für die einzelnen Rotorblattabschnitte berücksichtigt. Die einzelnen Beiträge der Blattsegmente des gesamten Rotors werden abschließend summiert und über den Rotorumlauf gemittelt. Als Auswertepositionen lassen sich neben beispielsweise der Zertifizierungsposition gemäß IEC-64100-11-Standard auch beliebige im Raum verteilte Positionen spezifizieren, um Geräuschsignaturen auszuwerten.

Mi. 10:20 Bonatz Saal Strömungsakustik - Simulation

Fluiddynamische Berechnung von Schallfeldern an Helmholtzresonatoren

Norbert Gorenflo, Tobias Merkel und Jonas Stein
Beuth Hochschule für Technik Berlin

Es werden numerische Ergebnisse präsentiert, die im Rahmen eines Projekts zur Entwicklung von Kühlern für elektronische Bauelemente erzielt wurden. Die Kühlung erfolgt dabei durch eine gerichtete Luftströmung, welche durch resonante Anregung mit Ultraschall großer Amplitude durch ein Array aus Helmholtzresonatoren erzeugt wird. Das hierbei entstehende Strömungsfeld wurde in der Entwicklungsumgebung COMSOL Multiphysics durch die Navier-Stokes-Gleichungen modelliert. In einer früheren Projektphase wurde diese Implementierung durch den Vergleich der für kleine Amplitude erhaltenen Navier-Stokes-Lösungen mit entsprechenden Lösungen der linearen Wellenakustik verifiziert. Bei größerer Amplitude der anregenden Schallwelle macht sich die Nichtlinearität der Navier-Stokes-Gleichungen in den Lösungen stärker bemerkbar. Hier nun werden solche durch größere Amplitude entstehende Strömungen dargestellt und analysiert.

Mi. 10:40 Bonatz Saal Strömungsakustik - Simulation

Numerische Vorhersage des Strömungsschalls in einer Radialpumpe: Teil I, Strömungsanalysen

Matthias Witte[a], Andre Laß[a], Joscha Piepiorka[b], Otto von Estorff[b] und Frank-Hendrik Wurm[a]
[a] *Universität Rostock, Lehrstuhl Strömungsmaschinen;* [b] *Techn. Universität Hamburg, Institut für Modellierung und Berechnung*

Im Produktentwicklungsprozess muss neben dem Wirkungsgrad auch den akustischen Eigenschaften eine zunehmende Bedeutung beigemessen werden. Dies trifft insbesondere auch für Pumpen zu die in der Gebäudeversorgung eingesetzt werden. Kritisch sind dabei die im Betrieb auftretenden Druckpulsationen innerhalb der Pumpe. Insbesondere die durch die Wechselwirkungen zwischen Spiralgehäusezunge und Laufrad generierten Druckpulsationen führen einerseits zu einer Schwingungsanregungen des Pumpengehäuses und breiten sich andererseits als hydroakustische Wellen im Rohrleitungsnetz aus. Gegenstand des Beitrags ist die Vorstellung von Forschungsergebnissen eines AiF Verbundprojektes zwischen der Universität Rostock und der Technischen Universität Hamburg zur Untersuchung der Flüssigkeits-

und Luftschallabstrahlung einer Radialpumpe mit experimentellen und numerischen Methoden. Neben der Analyse des instationären Strömungsfeldes innerhalb der Pumpe auf Basis einer DES Strömungssimulation wird auch der Vergleich mit den Ergebnissen einfacherer URANS Simulationen gezogen. Die Ergebnisse beider Simulationsverfahren werden weiterhin auf Basis der Wanddruckfluktuationen mit experimentell gewonnen Daten verglichen. Aufbauend auf den instationären Geschwindigkeits- und Druckfelder der CFD Simulationen erfolgt durch den Projektpartner die Berechnung der Hydroschallabstrahlung durch die Radialpumpe welche ebenfalls mit experimentellen Ergebnissen verglichen wird.

Mi. 11:00 Bonatz Saal Strömungsakustik - Simulation

Numerische Vorhersage des Strömungsschalls in einer Radialpumpe: Teil II, Akustische Analysen

Joscha Piepiorka[a], Matthias Witte[b], Andre Laß[b], Frank-Hendrik Wurm[b] und Otto von Estorff[a]

[a] *Techn. Universität Hamburg, Institut für Modellierung und Berechnung;* [b] *Universität Rostock, Lehrstuhl Strömungsmaschinen*

Bei der Bewertung von neuen Produkten rücken die akustischen Eigenschaften immer weiter in den Vordergrund. Insbesondere für Pumpen in der Gebäudetechnik spielt die Akustik eine übergeordnete Rolle. Die Hauptlärmquellen sind transiente Druckfluktuationen der turbulenten Strömung, die zum einen Strukturschwingungen des Gehäuses anregen und zum anderen hydroakustische Wellen im Rohrleitungssystem induzieren. Um die Schallentstehung vorhersagen zu können ist eine detaillierte Modellierung des Strömungsschalls erforderlich. Im vorliegenden Beitrag werden Forschungsergebnisse eines AiF-Projektes vorgestellt. Am Beispiel einer im Betrieb befindlichen Radialpumpe wird der Strömungsschall modelliert und untersucht. Als Grundlage hierzu dienen numerische Strömungsergebnisse. Auf diesen aufbauend wird mit der Finite-Volumen-Methode (FVM) der Strömungsschall anhand der ”Perturbed Convective Wave Equation” (PCWE) simuliert. Hierbei werden zunächst die Druck- und Geschwindigkeitsfelder als anregende Quellen aufbereitet. Neben transienten Strömungsergebnissen werden erste Möglichkeiten zur Verwendung kohärenter Strömungsstrukturen als hydroakustische Quellen sondiert. Um die experimentellen Einbaubedingungen der Radialpumpe zu berücksichtigen wird ein Teil des angeschlossenen Rohrleitungssystems in das numerische Modell eingebunden. Dabei wird vor allem der Einfluss der akustischen Randbedingungen auf das gesamte System analysiert. Abschließend werden die numerischen Ergebnisse mit experimentellen Messdaten verglichen.

Mi. 11:20 Bonatz Saal Strömungsakustik - Simulation

Akustik-Fluid-Struktur-Kopplung (AFSI) im Fahrzeugunterboden

Johannes Kreuzinger und Florian Schwertfirm
KM-Turbulenz GmbH

Am Unterboden eines KFZ treten, angeregt durch die turbulente Umströmung, hohe Druckschwankungen auf. Diese setzten sich zusammen sowohl aus hydromechanischen als auch aus akustischen Wechseldrücken. Sie regen Strukturen im Unterboden zu Schwingungen an und führen damit vor allem bei tiefen Frequenzen zu Schalleintrag in den Innenraum.

Diese Vorgänge werden beispielhaft am SAE-Körper im numerischen Windkanal untersucht. Der angeregte Unterboden ist in diesem Fall eine Aluminiumplatte an der Unterseite, die Schall in den Innenraum abstrahlen kann.

Durch eine voll gekoppelte Simulation von Strömung, Strömungsschall und Strukturbewegung mit dem Code MGLET lassen sich folgende Fragen beantworten:

- Welchen Anteil hat die hydromechanische Anregung?
- Welchen die akustische?
- Gibt es eine Rückwirkung der Plattenbewegung auf das Schallfeld im Unterboden?

Die Ergebnisse werden validiert durch den Vergleich mit Messwerten der Wechseldrücke am Unterboden und der Beschleunigung der Aluminiumplatte aus dem realen Windkanal.

Sitzung „Strömungsakustik - experimentelle Methoden“

Mi. 13:40 Bonatz Saal Strömungsakustik - experim. Methoden

Assessment of miniature Knowles sensor for the measurement of wall pressure fluctuations

Nan Hu
DLR, Technische Akustik, Braunschweig

Due to signal averaging over the sensor surface, a small sensing area is required to minimize the high-frequency attenuation of the measured wall pressure spectra. Therefore, miniature pressure sensors are often used in practical applications. In the present work, two Knowles sensors, model FG-23329-P07, along with Kulite sensors were applied on a flat plate model for measurement in the aeroacoustic wind tunnel Braunschweig (AWB). Both sensor types were pinhole mounted with a pinhole diameter of 0.5 mm. The wall pressure fluctuations were measured for various flow velocities and in favorable and adverse pressure gradients. The mean flow velocities across the boundary layer were obtained by using a single-wire hotwire anemometer. The one- and two-point statistics of the wall pressure fluctuations measured by the Knowles sensors are analyzed and compared to those measured by the Kulite sensors.

Based on the comparison, the performance of the Knowles sensors for the measurement of wall pressure fluctuations is assessed.

Mi. 14:00 Bonatz Saal Strömungsakustik - experim. Methoden

Beschreibung eines Verfahrens zur Radialmodenanalyse in drallbehafteten Strömungen unter Berücksichtigung radialer Mach-Zahl-Profile

Felix Fischer, Martin Gropengießer und Jörg Seume
Leibniz Univ. Hannover, Inst. für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik

Bei der modalen Zerlegung tonaler Schallfelder in durchströmten Kanälen hat sich in der Praxis die Radialmodenanalyse etabliert. Bei diesem Verfahren wird das Schallfeld mit im Kanal verteilten instationären Druckaufnehmern abgetastet und anschließend unter Zuhilfenahme eines Modells der Schallausbreitung in akustische Moden zerlegt. Die hierfür verwendeten Modelle beruhen unter anderem auf Annahmen an die vorliegende Grundströmung.

Bei der Durchströmung von Turbomaschinen ergeben sich aufgrund viskoser Effekte und des radialen Druckgleichgewichts in drallbehafteten Strömungen Abweichungen zu den gängigen Annahmen der homogenen axialen Durchströmung und der Festkörperdrallmodellierung. Im Folgenden wird daher ein Verfahren beschrieben, bei dem die axiale und azimuthale Mach-Zahl-Verteilung als radiales Profil über die Kanalhöhe vorgegeben werden können, um die radiale Schalldruckverteilung und die axialen Wellenzahlen der akustischen Moden unter erweiterter Berücksichtigung der Grundströmung zu bestimmen. Ausgehend von den linearisierten Erhaltungsgleichungen der Aerodynamik wird hierfür eine Formulierung der akustischen Wellengleichung hergeleitet, die mit Hilfe numerischer Integrationsverfahren gelöst werden kann. Unter Zuhilfenahme von Analogien zu vereinfachten, analytisch lösbaren, Formulierungen der Wellengleichung werden die mathematischen Lösungen dieser Wellengleichung akustischen Moden zugeordnet.

Die Validierung dieses Verfahrens findet im Rahmen dieses Papers anhand analytischer Testfälle statt. Abschließend wird der Einfluss der radialen Verteilung der Strömungsgrößen auf die radialen Schalldruckverteilungen und die Ausbreitungsfähigkeit akustischer Moden diskutiert.

Mi. 14:20 Bonatz Saal Strömungsakustik - experim. Methoden

Sensitivitätsanalyse der experimentellen Bestimmung von Flammentransferfunktionen

Fleming Kohlenberg[a], André Fischer[b], Claus Lahiri[b], Lars Enghardt[a] und Friedrich Bake[a]
[a] *DLR, Abteilung Triebwerksakustik, Berlin;* [b] *Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG*

Im Kontext der Thermoakustik ist der Zusammenhang zwischen Wärmefreisetzungsrate und Schallschnelle (Flammentransferfunktion) ein essentieller Bestandteil zur Vorhersage für Instabilitäten. Diese wurde über Transfermatrixbeziehungen einer turbulenten Diffusionsflamme bei

Flugbedingungen (erhöhtes Druck- und Tempertaturniveau) experimentell bestimmt. Diese Messung enthält Unsicherheiten, welche sich auf die Flammentransferfunktion übertragen. Obwohl sich die Berechnung hauptsächlich aus einfachen Matrixoperationen zusammensetzt, erwies sich die analytische Herangehensweise zur Unsicherheitsfortpflanzung als impraktikabel und es wurde ein Monte-Carlo Ansatz gewählt. Die betrachteten Eingangsunsicherheiten setzten sich aus der gemessenen statischen Temperatur, Druck und Massenstrom, sowie den Mikrophonsignalen und zufälligen Abweichungen in den Mikrophonpositionen zusammen. Die Einschätzung der Streubereiche beruht auf Erfahrungswerte von industriellen Brennertests. Es konnte gezeigt werden, dass die gemessenen Flammentransferfunktionen insbesondere unter 150 Hz sowie zwischen 600 Hz und 1000 Hz die größten Unsicherheiten aufweist. Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass insbesondere Einflüsse der Mikrophondaten sowie deren Positionen zu höheren Frequenzen dominieren und der Einfluss der statischen Größen bis auf die Temperatur in der Einlaufsektion vernachlässigbar ist. Mithilfe numerisch bestimmter Sensitivitätskoeffizienten können diese Ergebnisse für abweichende Eingangsunsicherheiten ohne wiederholte Monte-Carlo Simulationen neu bestimmt werden. Zukünftig sollen mithilfe der Implementierung auch andere Schallkanalgrößen wie zum Beispiel Streumatrixkomponenten und abgeleitete Größen wie die Dissipation und Impedanzen an anderen Prüfständen in ihrer Unsicherheit abgeschätzt werden.

Mi. 14:40 Bonatz Saal Strömungsakustik - experim. Methoden

Messtechnische Analyse von Schallmoden in Strömungen mit Umfangsinhomogenitäten

Lukas Klähn, Maximilian Behn und Lars Enghardt
DLR, Abteilung Triebwerksakustik, Berlin

Im Kontext neuer Flugzeugkonzepte werden alternative Positionen der Triebwerke, etwa eingelassen in den Rumpf, diskutiert. Ein in Hinsicht auf die aerodynamische Effizienz vielversprechendes Konzept sieht das Einsaugen der Rumpfgrenzschicht (Boundary Layer Ingestion - BLI) durch das Triebwerk vor, wodurch es zu einer über den Triebwerksquerschnitt, insbesondere nicht umfangssysmmetrischen, ungleichmäßigen Strömung kommt. Bisherige Studien zeigen, dass die durch die Rotor-Stator-Interaktion angeregten Schallmoden unter diesen Zuströmungsbedingungen Schallenergie in andere Modenordnungen streuen. Diese Streuung zieht die Notwendigkeit der kompakten mathematischen Beschreibung durch eine Modenbasis nach sich, deren Umfangsmoden bedingt durch die gestörte Symmetrie der Hintergrundströmung nicht mehr rein harmonisch sind und deren radiale Formfunktionen sich mathematisch nicht nur aus Besselfunktionen zusammensetzen lassen. Solch ein alternatives Modenmodell, das auf der regulären Störungsrechnung basiert, wird vorgestellt und auf die praktische Anwendbarkeit bei Schallfeldmessungen mit Mikrofonringen untersucht.

Mi. 15:00 Bonatz Saal Strömungsakustik - experim. Methoden

Experimentelle Untersuchung des Eigengeräuschs von Tragfügeln mit Seitenplatten

Erik Schneehagen[a], Thomas Geyer[b], Danielle Moreau[c] und Ennes Sarradj[d]

[a] *TU Berlin;* [b] *BTU Cottbus - Senftenberg, Fachgebiet Techn. Akustik;* [c] *University of New South Wales;* [d] *TU Berlin, Fachgebiet Technische Akustik*

Am freien Ende von dreidimensionalen Tragflügeln kann es passieren, dass die Strömung nicht mehr dem Profilverlauf von Vorder- zur Hinterkante folgt, sondern um die Seitenkante von der Druck- in die Richtung der Saugseite umschlägt. Der dabei entstehende Wirbel kann vor allem im oberen Frequenzbereich breitbandig zum Eigengeräusch des Tragflügels beitragen. Eine Möglichkeit, diese Wirbelentstehung zu verhindern, ist das Anbringen einer Platte an der Seitenkante des Tragflügels, so dass die Strömung gezwungen ist dem Profil zu folgen. Die Effektivität dieser Methode sowie der Einfluss der Geometrie der Seitenplatte werden für verschiedene Tragflügelprofile bei verschiedenen Strömungsgeschwindigkeiten und Anstellwinkeln gezeigt. Die Lokalisation der Schallquellen auf dem Tragflügel sowie die Stärke des abgestrahlten Schalls werden mit Mikrofonarraymessungen aus einem aeroakustischen Windkanal untersucht. Außerdem wird der Effekt der Modifikationen auf das Strömungsfeld für ausgewählte Konfigurationen anhand von Hitzdrahtmessdaten gezeigt.

Mi. 15:20 Bonatz Saal Strömungsakustik - experim. Methoden

Experimental investigation of novel, low-noise turbine blade tip designs

Thomas Geyer[a], Danielle Moreau[b], Tingyi Zhang[b], Erik Schneehagen[c] und Yuchen Ding[b]

[a] *BTU Cottbus - Senftenberg, Fachgebiet Technische Akustik;* [b] *University of New South Wales;* [c] *TU Berlin*

The vortex that is generated at the tip of wind turbine blades is a significant source of flow-induced noise and as such a major limitation to the expansion of wind power. In order to better understand the noise generation at the blade tip, an extensive wind tunnel study was performed on model blades with different tip geometries (for example flat or rounded tips). This was done both for the case of natural transition as well as for a forced transition of the boundary layer. In a second step, additional experiments were performed on a set of novel blade tips, which were modified with either perforations, serrations or side plates. The aim of this project is to empirically determine tip designs that lead to a notable noise reduction while maintaining the aerodynamic performance of an unmodified tip. In addition to acoustic microphone array measurements, hot-wire measurements were conducted to help analysing the effect of

the modifcations on the flow field around the blade tips. In the presentation, an overview of the extensive experimental study and the resulting large dataset will be given, with several examples to demonstrate important results. The presentation will be given in German.

Sitzung „Überströmte Schallabsorber“

Mi. 16:40 Bonatz Saal Überströmte Schallabsorber

Optimierte Schallreduktion in Axialventilatorsystemen durch mikroperforierte Absorber

Felix Czwielong[a], Sebastian Floss[b], Manfred Kaltenbacher[c] und Stefan Becker[a]

[a] *Univ. Erlangen-Nürnberg, Lehrst. Prozessmaschinen u. Anlagentechnik;* [b] *TU Wien;* [c] *TU Wien, Institut für Mechanik und Mechatronik*

Axialventilatoren werden in einer großen Anzahl von Systemen für die Bereitstellung eines hohen Volumenstroms verwendet. So kommen diese Turbomaschinen beispielsweise in der Kühlungs- und Klimatisierungstechnik zum Einsatz. Da sich diese Anlagen oftmals in der Nähe von Personen befinden, werden vor allem die akustischen Emissionen mit einzuhaltenden Grenzwerten belegt. Dies soll vermeiden, dass umgebende Menschen von zu hohen Geräuschkulissen belästigt oder gestört werden. Neben den Schallreduktionsmaßnahmen am Axialventilator, wie zum Beispiel Ventilatorsichelung oder Schaufelblattmodifikationen, können Belüftungsanlagen auch mit passiven Schallabsorbern ausgestattet werden, welche zu einer Verringerung des emittierten Schalldruckpegels führen. Eine solche Maßnahme ist die Verwendung von mikroperforierten Absorbern, welche in das Rohrsystem des Ventilators intrigiert werden. In diesem Anwendungsfall werden die Absorber von dem Fördermedium direkt überströmt. Die Funktionsweise solcher überströmten Absorber in direkter Nähe zu den Ventilatorschaufeln ist noch nicht verstanden und wurde bislang nur geringfügig untersucht. Im Zuge dieser experimentellen Studie wurde die Schallreduktion von kommerziell erwerblichen mikroperforierten Absorber auf den Anwendungsfall von Axialventilatoren optimiert. Dabei wurden verschiedene Parameter wie axiale Position der Absorber, Art des Rückvolumens und Unterteilung des Rückvolumens berücksichtigt. Zudem war eine Variation der Zuströmbedingungen zum Axialventilator Teil der Untersuchungen.

Mi. 17:00 Bonatz Saal Überströmte Schallabsorber

Acoustical Characterization of different Micro-perforated Absorbers in Confined Spaces under Moderate Mach Number Flow Condition

Sebastian Floss[a] und Manfred Kaltenbacher[b]
[a] *TU Wien;* [b] *TU Wien, Institut für Mechanik und Mechatronik*

The application of micro-perforated absorbers (MPA) under flow conditions offers the possibility to use them as flow influencing structures, e.g. as guiding vanes, in baffles and as covering for cavities, in a wave guiding HVAC channel. In that case the sound absorbing effect results in the combination of MPP and the channel structure, as the extended back volume. The acoustical behavior can be simulated by using an equivalent fluid model in combination with Finite Elements . However, the effects of different micro-perforated plates and absorber structures on the flow field (static pressure loss) and vice versa can be investigated experimentally (acoustical two-port theory). The used open loop test bench can provide mean flow up to Ma = 0.2 in two directions. To address the distinction between aerodynamic and sound pressure fluctuations, special precautions must be taken. The microphones can either be recessed and covered by a protective screen or one uses correlation techniques. The test bench also allows to compare the two sources method with the usage of two different end pieces. Various MPA structures are under investigation as well as the influence of the flow field on the measurement microphones and how this influence can be further reduced.

Mi. 17:20 Bonatz Saal Überströmte Schallabsorber

Einfluss poröser Materialien auf die Schallabstrahlung eines Hochauftriebssystems mit aktiver Strömungskontrolle

Karl-Stéphane Rossignol, Lennart Rossian, Alexandre Suryadi, Michaela Herr, Roland Ewert und Jan W. Delfs
DLR, Inst. für Aerodynamik und Strömungstechnik, Braunschweig

Mit Reduktion des an Verkehrsflugzeugen durch die Treibwerke erzeugten Geräuschs treten vor allem im Landeanflug andere Schallquellen hervor. Neben der Umströmung des Fahrwerks stellt das Hochauftriebssystem des Flügels eine dominante Quelle dar. Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs "SFB880 - Grundlagen des Hochauftriebs künftiger Verkehrsflugzeuge" wurden daher experimentelle und numerische Untersuchungen an einem neuartigen Hochauftriebssystem mit aktiver Strömungskontrolle durchgeführt. Dabei wird auf den konventionellen Aufbau aus mehreren Elementen (Vorflügel, Hauptelement und Fowlerklappe) verzichtet. Stattdessen kommen eine spaltlose Droopnose und eine stark ausgeschlagene, spaltlose Klappe an der Hinterkante zum Einsatz. Da die Spalte zwischen den Elementen einer konventionellen Konfiguration starke akustische Quellen darstellen, wird erwartet dass das neue System Vorteile aus aeroakustischer Perspektive bietet.

Die durchgeführten aeroakustischen Analysen zeigen, dass für die Schallabstrahlung nach unten vor allem zwei Quellmechanismen dominant sind. Zum einen kommt es zu starker lokaler Beschleunigung der turbulenten Strömung auf der Saugseite des Profils am Klappenansatz. Zum anderen entsteht Schall aus der Interaktion der turbulenten Grenzschicht mit der Hinterkante der Klappe. Aus vorangegangenen Untersuchungen ist bekannt, dass poröse Materialien zur Reduktion des Hinterkantengeräuschs an einem einfachen Tragflügelprofil genutzt werden können. Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass dies auch am Hochauftriebsprofil der Fall ist.

Mi. 17:40 Bonatz Saal Überströmte Schallabsorber

Resabtoren - Fortschrittliche Multimaterial-Schalldämpferkonstruktionen für Reinluftanwendungen

Ralf Buck

Umfotec GmbH

Die Entwicklung und Herstellung von Resonatoren auf der Ladeluftseite von Verbrennungsmotoren erfordern fundierte Kenntnisse in der Konstruktion, Simulation und Fertigung dieser Bauteile. Dieses Wissen soll nun für Anwendungen außerhalb des Verbrennungsmotors genutzt werden. Es zeigte sich, dass neue Herausforderungen neue Lösungen, Konstruktionen und Materialien erfordern, um die Anforderungen an strömungsgeräuschreduzierende Bauteile zu erfüllen. So können beispielsweise für Reinluftanwendungen Schalldämpfer auf Basis von ”speziell behandelten Schäumen” und ”Metamaterialien” eingesetzt werden. Diese Materialien bieten neue Potenziale zur Abstimmung des gewünschten Frequenzbereichs und ermöglichen eine breitbandige Strömungsgeräuschdämpfung. Diese überströmten Schalldämpfer werden ”Resabtoren” genannt, um den verschiedenen Prinzipien der Strömungsgeräuschdämpfung Rechnung zu tragen. Da stets Bauraumbeschränkungen vorhanden sind, werden beide Prinzipien in einer Komponente vereint. Hierdurch ergaben sich Herausforderungen, die Eigenschaften des Materials zu identifizieren und mittels Simulation den Geräuschdämpfungspegel infolge einer Verwendung von Resabtoren vorherzusagen. Mit Hilfe umfangreicherer Untersuchungen konnte schließlich eine Entwicklungsumgebung geschaffen werden, mit deren Hilfe eine schnelle und präzise Vorhersage und Auslegung von Resabtoren selbst in komplexen Umgebungen möglich wird. Genauso wie andere überströmte Schallabsorber, können auch Resabtoren unerwünschte strömungsinduzierte Geräusche erzeugen. Anhand von mechanischen Modellen konnte das Verständnis für die Entstehung von strömungsinduzierten Geräuschen von überströmten Resabtoren erklärt und Maßnahmen abgeleitet werden, um strömungsinduziertes Rauschen zu reduzieren.

Mi. 18:00 Bonatz Saal Überströmte Schallabsorber

Design von Schalldämpfern - der Weg vom CAD-Modell zum Prototypen

Friedrich Bake, Karsten Knobloch, Anita Schulz, Ralf Burgmayer, Wolfram Hage, Sebastian Kruck, Larisa Grizewski und Lars Enghardt
DLR, Abteilung Triebwerksakustik, Berlin

Bei der Entwicklung und Auslegung von Schalldämpfern in Flugtriebwerken, auch Liner genannt, spielt die experimentelle Untersuchung in Strömungskanälen eine entscheidende Rolle. Moderne additive Fertigungsverfahren, wie, z.B. 3D-Druck, bieten hierbei außerdem die Möglichkeit zur Entwicklung innovativer Linerkonzepte mit komplexen Aufbaustrukturen. Zum Vergleich der weltweit existierenden Untersuchungseinrichtungen für überströmte Liner hat das International Forum for Aviation Research (IFAR) eine Benchmark-Aktivität, koordiniert von der NASA, initiiert, bei der alle teilnehmenden Partner, ausgehend von den gleichen digitalen Geometriedaten (CAD), die Fertigung sowie akustische Charakterisierung verschiedener Linertestobjekte miteinander vergleichen und bewerten können. Im Rahmen dieses Beitrags werden die Ergebnisse der entsprechenden Untersuchungen vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) vorgestellt. Hierzu wurden die 3D-gedruckten Liner zunächst in dem Liner-Strömungskanal DUCT-R beim DLR Berlin hinsichtlich ihres Dissipationsverhaltens bei verschieden Strömungsmachzahlen vermessen. In einem weiteren Schritt wurden über Mikrofone innerhalb der Linersektion die axialen Wellenzahlen der sich über dem Liner ausbreitenden, akustischen Moden bestimmt. Aus diesen Wellenzahlen wurde über verschiedene, meist inverse, Verfahren die Impedanz der Lineroberfläche berechnet. Da diese Impedanz eine Linereigenschaft in Verbindung mit der Überströmung ist, lassen sich diese Ergebnisse innerhalb des Benchmarks z.B. mit den Ergebnissen der NASA vergleichen. Dieser Vergleich zeigt für die verschiedene n Testobjekte und Strömungsbedingungen eine gute Übereinstimmung.

Sitzung „Elektroakustik und Audiosignalverarbeitung“

Mi. 8:40 Neuer Saal Elektroakustik und Audiosignalverarbeitung

Einfluss der Materialdämpfung auf den Klang verschiedener DML-Membranen

Analena Vater, Benjamin Zenker, Sebastian Merchel und M. Ercan Altinsoy
TU Dresden, Professur für Akustik und Haptik

Eine vielversprechende Alternative zu konventionellen Kolbenlautsprechern sind DML (Distributed Mode Loudspeaker), welche eine Variante

der Biegewellenlautsprecher darstellen. Hierbei wird durch die gezielte Erregung von Eigenmoden Schall abgestrahlt. Membraneigenschaften wie die Biegesteifigkeit, die Flächendichte und die Dämpfung haben folglich einen starken Einfluss auf die Klangqualität des Lautsprechers. Die untere Grenzfrequenz der Schallabstrahlung, die Koinzidenzfrequenz und die Modendichte werden durch das Verhältnis von Flächendichte zu Biegesteifigkeit bestimmt. Wird dieses Verhältnis konstant gehalten, z.B. bei der Verwendung verschiedener Membranmaterialien, können dennoch deutliche Klangunterschiede wahrgenommen werden. Diese Unterschiede sind auf die Dämpfung und das damit verbundene zeitliche und spektrale Verhalten zurückzuführen. Dieser Beitrag präsentiert einen Hörversuch zur akustischen Bewertung verschiedener DML-Membranmaterialien. Dabei wurde die Dämpfung der Materialien entweder direkt oder durch zusätzliches Auftragen einer dämpfenden Beschichtung variiert. Das Ziel dieser Studie ist es, den Einfluss der Dämpfung auf die Klangqualität der Membran zu beurteilen. Zudem wird die Frage beantwortet, ob isotrope Materialien mit gleichem Verhältnis aus Flächendichte und Biegesteifigkeit sowie vergleichbarer Dämpfung signifikant unterschiedlich bewertet werden. Ist dies nicht der Fall, so können DML-Materialien bei gleichbleibendem Klang ersetzt werden.

Mi. 9:00 Neuer Saal Elektroakustik und Audiosignalverarbeitung

DE-Rollenaktoren für Lautsprecherantriebe

Petko Bakardjiev[a], Markus Franke[b], Uwe Marschner[b], Andreas Richter[b] und M. Ercan Altinsoy[a]

[a] *TU Dresden, Professur für Akustik und Haptik;* [b] *TU Dresden, IHM*

In der vorliegenden Arbeit werden weiterführende Untersuchungen zur Entwicklung eines innovativen magnetfreien Lautsprecherantriebs vorgestellt. Dieser wurde bereits in Form eines Funktionsdemonstrators präsentiert (DAGA 2016) und basiert auf einem mehrlagigen, kernlosen zylindrischen Aktor aus dielektrischem Elastomer (DEA), welcher als Antrieb einer konventionellen Lautsprechermembran verwendet wird. Bereits im Frühstadium der Entwicklung ließen sich mögliche Vorzüge hinsichtlich Gewichts-, Bauraum- und Kostenreduktion im Vergleich zu herkömmlichen elektrodynamischen Antrieben erkennen. Anhand eines umfassenden computergestützten Entwurfsprozess auf Grundlage materialtechnischer, konstruktiver und funktioneller Randbedingungen konnten extensive Parameterstudien durchgeführt werden. Die dazu entwickelten Modelle sind durch Abgleich zahlreicher messtechnischer Analysen exemplarischer Aktoren weiterentwickelt und validiert worden. Unter anderem war dazu die Entwicklung einer speziellen Ansteuerschaltung notwendig, die es erlaubt die notwendige Bias- und Signalspannung im Hochspannungsbereich unabhängig einzustellen. Die Untersuchungen zeigten, dass die mechanischen Schnittstellen des Aktors einen kritischen Einfluss auf das dynamische und modale Verhalten des Aktors und somit auf das resultierende akustische Frequenzverhalten haben. Darüber hinaus ermöglichen die erarbeiteten Modelle

sowohl eine gute allgemeine Abschätzung des technologischen Einsatz- und Leistungspotenzials, als auch die Selektion von Parametersätzen für Vorzugslösungen in Bezug auf konkrete Leistungsanforderungen.

Mi. 9:20 Neuer Saal Elektroakustik und Audiosignalverarbeitung

Vergleich von numerischen Lautsprechermodellen zur Simulation der Richtcharakteristik von linearen Lautsprecherarrays

Friedrich Beyer, Tom Wühle, Sebastian Merchel und M. Ercan Altinsoy
TU Dresden, Professur für Akustik und Haptik

In dieser Arbeit werden verschiedene numerische Modelle von Lautsprechern verglichen, die sich in ihrer Komplexität unterscheiden und die Richtwirkung realer Lautsprecher entsprechend unterschiedlich detailreich abbilden. Dazu werden Simulationen eines linearen Arrays durchgeführt und der Einfluss des Richtverhaltens realer Lautsprecher auf die Richtcharakteristik des Arrays untersucht. Schließlich werden Optimierungsansätze vorgestellt, um die Richtwirkung des Arrays auf Grundlage der Simulationsergebnisse zu verbessern. Zum einen wird dazu die Richtcharakteristik der Lautsprecher bei der Positionierung selbiger im Array bewusst ausgenutzt. Zum anderen wird ein Ansatz mit 3D-Druck-Reflektorelementen vorgestellt, um das Richtverhalten der Einzellautsprecher im Sinne der Anwendung zu optimieren. Beide Ansätze verbessern die Richtwirkung des Arrays gegenüber der ursprünglichen Variante. Der Einfluss auf das Gesamtrichtverhalten des Arrays ist jedoch im Vergleich zu geometrischen Faktoren, wie Lautsprecherabstand oder Arraylänge, weniger stark ausgeprägt.

Mi. 10:00 Neuer Saal Elektroakustik und Audiosignalverarbeitung

Design and directivity measurement of variable-directivity loudspeaker

Bokai Du[a], Michael Kohnen[b], Xiangyang Zeng[a] und Michael Vorländer[b]
[a] *Northwestern Polytechnical University, China;* [b] *RWTH Aachen, Institute of Technical Acoustics*

Sound field reproduction is usually conducted by omnidirectional or fixed directivity loudspeaker arrays. Preceeding investigations show that better reproduction performance can be achieved in the listening area when variable-directivity loudspeakers are used, while at the same time the sound field outside of the array can be controlled. Therefore, this study presents the design of a variable directivity loudspeaker using a combination of a monopole and a dipole. Directivities of the dipole part, monopole part and the whole loudspeaker are measured independently in a hemi-anechoic room using a turntable. Directivity control settings were measured and compared against theoretical expectations. Furthermore, the performance of a 32 loudspeaker array is evaluated.

Mi. 10:20 Neuer Saal Elektroakustik und Audiosignalverarbeitung

Optimierung der Richtcharakteristik und des zeitlichen Verhaltens von Biegewellenlautsprechern durch die gezielte Dämpfung des Randbereichs

Benjamin Zenker, Sebastian Merchel und M. Ercan Altinsoy
TU Dresden, Professur für Akustik und Haptik

In der heutigen Zeit stellen Biegewellenlautsprecher bzw. DML (Distributed Mode Loudspeaker) eine vielversprechende Alternative zu konventionellen Lautsprechern dar. Vor allem die unsichtbare Integration, z. B. als Schrankfront, als Projektionsfläche oder als Modul in einer Wand, eröffnet neue Gestaltungsoptionen. So ist es möglich, sehr große abstrahlende Oberflächen und Volumina in Räume zu integrieren, ohne das architektonische Raumdesign zu stören. Jedoch werden DMLs zum Teil wegen ihres ggf. geringeren Wirkungsgrades, der geringen Direktheit bei hohen Frequenzen und dem schlechteren zeitlichen Verhalten kritisiert. Aus fertigungstechnischen Gründen wird die Membran, die schwingende Fläche des DMLs, üblicherweise fest auf einem Rahmen verklebt. An diesem Rand treten Reflexionen auf, die für Interferenzen auf der Membran sorgen. Die dadurch angeregten Moden erhöhen den abgestrahlten Pegel aber sorgen gleichzeitig für ein schlechteres zeitliches Verhalten. Das Ziel dieser Studie ist es, den Einfluss dieser Randbedingungen auf das akustische Verhalten zu analysieren und zu optimieren. Dazu kommen numerische Methoden und die Vermessung realer Prototypen zum Einsatz. Es werden die Ergebnisse einer Untersuchung von drei Prototypen mit verschiedenen Randbedingungen vorgestellt. Dabei wird der Einfluss auf das Abstrahlverhalten und das zeitliche Verhalten diskutiert. Durch Erhöhen der Randdämpfung kann sowohl eine Verbesserung der Direktheit als auch eine starke Reduktion des Ausschwingverhaltens festgestellt werden.

Mi. 10:40 Neuer Saal Elektroakustik und Audiosignalverarbeitung

Die Evolution der Kunstkopfmikrophone für die binaurale Aufnahmetechnik

Martin Schneider
Georg Neumann GmbH

Binaurale Aufnahme- und Wiedergabetechnik gewinnt zunehmend an Bedeutung, unter anderem durch die Verbreitung von Kopfhörern, Games sowie 360° und 3D Audio/Video-Formaten. Die Aufnahme mit einem Kunstkopf, bei Wiedergabe über Kopfhörer, bleibt die einfachste und geradlinigste Methode, immersive Aufnahmen zu produzieren. Heutige Kunstköpfe gehen auf Versuche am HHI / Berlin in den späten 1960ern zurück. Ziel war die Bewertung von Raumakustik mittels Kunstkopfaufnahmen. Diese Prototypen führten zum KU 80 (1973), der insbesondere auch für Kunstkopf-Hörspiele verwendet wurde. In den späten 1970ern wurde am IRT die Forschung fortgeführt. In Versuchen am IKA / Bochum wurden anhand eines Prototyps (1980) besser geeignete

Ohren bestimmt. Diffusfeldentzerrung der Kunstkopfmikrophone reduzierte die klanglichen Fehler von Kunstkopfaufnahmen auch bei Lautsprecherwiedergabe. Ein IRT-Patent sowie die modifizierte Konstruktion für die Serie führten zum KU 81 (1981). Im heutigen Modell KU 100 (1990) ist eine Kombination aus akustisch-mechanischer und elektrischer Diffusfeld-Entzerrung realisiert. Während die meisten Kunstkopfmikrophone für messtechnische und audiologische Anwendungen konzipiert sind, ist der KU 100 ein Standard für die binaurale Aufnahmetechnik. Sei es direkt, als Stereo-Aufnahmemikrophon, oder indirekt, über seine Außenohrübertragungsfunktionen (HRTF) im binauralen Rendering, wird der KU 100 in vielen Anwendungen verwendet. Die akustische Evolution der vier genannten Kunstkopfgenerationen sowie Aspekte der technischen Realisierung werden erläutert.

Mi. 11:00 Neuer Saal Elektroakustik und Audiosignalverarbeitung

Zufällige zeitvariante Filter in der Audiosignalverarbeitung

Shristi Rajbamshi, Georg Tauböck, Peter Balazs und Luis Daniel Abreu

Institut für Schallforschung, ÖAW

Zeitvariante Filter haben enorme Bedeutung in der Audiosignalverarbeitung. Aus einem mathematischen Blickwinkel gesehen entsprechen zeitvariante Filter sogenannten "Frame Multipliern". Hierbei wird das Audiosignal zuerst einer Transformation unterzogen, typischerweise einer Zeit-Frequenz-Transformation, anschließend werden die resultierenden Transformationskoeffizienten mit einem "Symbol" multipliziert, und zum Schluss wird ein Audiosignal re-synthetisiert. Durch eine entsprechende Wahl des Symbols lassen sich z.B. bestimmte Audiokomponenten hervorheben und/oder andere unterdrücken.

In unserem Beitrag betrachten wir "Frame Multiplier", bei denen das Symbol zufällig gewählt wird. Insbesondere zeigen wir, dass das resultierende zufällige Filter bemerkenswerte mathematische Eigenschaften hat. Diese Eigenschaften ermöglichen es unter anderem, dass das Filter in hochgradig effizienter Weise für die Signalkompression verwendet werden kann. Hintergrund unserer Analysen ist das rezente mathematische Forschungsgebiet "Compressive Sensing".

Mi. 11:20 Neuer Saal Elektroakustik und Audiosignalverarbeitung

The Large Time-Frequency Analysis Toolbox

Peter Balazs

Institut für Schallforschung, ÖAW

The Large Time Frequency Analysis Toolbox (LTFAT) is a modern Octave/Matlab toolbox for time-frequency analysis, synthesis, coefficient manipulation and visualization. It's purpose is to serve as a tool for achieving new scientific signal-processing developments as well as an educational tool.

We will present an overview of the main features of this open source toolbox, among them the basic Gabor transform, its generalization, wavelet modules and general filterbanks. We will talk about the routines

for constructing windows (filter prototypes) and routines for manipulating coefficients. We will show the real-time block processing framework as well as the access to a bunch of demo scripts devoted either to demonstrating the main functions of the toolbox, or to exemplify their use in specific signal processing applications.

Mi. 11:40 Neuer Saal Elektroakustik und Audiosignalverarbeitung

Präsentation der Poster, die dieser Sitzung zugeordnet sind (s.u.)

Sitzung „Elektroakustik und Audiosignalverarbeitung (Poster)"
Kurzvorträge: Mi. 11:40 (Neuer Saal); Poster-Forum: Mi. 16:00

Di.-Do. Elektroakustik und Audiosignalverarbeitung (Poster)

Acoustic Localization of Emergency Vehicle Sirens in Traffic

Mattes Ohlenbusch[a], Christian Rollwage[a] und Jörg Bitzer[b]
[a] *Fraunhofer IDMT;* [b] *Jade Hochschule Oldenburg, Inst. f. Hörtechnik u. Audiologie*

The presence of emergency vehicles poses a considerable challenge to assistive and autonomous systems developed to assist in traffic-related processes. In order to enable such systems to correctly recognize and categorize the appearance of high priority vehicles, knowledge of their siren signals' position or direction of arrival can be a great advantage in handling cases of emergency. The field of digital array processing has access to several methods for acoustic source localization, some of which are evaluated in this work regarding their applicability for siren localization. For signal-specific pre- and postprocessing, a range of steps are considered. Localization methods are then directly compared in real noise scenarios, with selected pre- and postprocessing steps applied to them. Robustness against source distance is analyzed and an experiment regarding moving siren localization with emergency vehicles is concluded. Results show that multiple methods perform sufficiently robust within the considered scenarios.

Di.-Do. Elektroakustik und Audiosignalverarbeitung (Poster)

Messverfahren für Zeilenlautsprecher mit optimalen Multitonsignalen und Schmalbandanalysen

Alexander Potchinkov[a] und Stephan Herzog[b]
[a] *TU Kaiserslautern, EIT, Digitale Signalverarbeitung;* [b] *TU Kaiserslautern, EIT*

Wegen der mittlerweile in beträchtlicher Anzahl angebotener und installierter Zeilenlautsprecher mit digitaler Signalverarbeitung zur Einstellung einer gewünschten Richtcharakteristik ist eine Messtechnik zur Erfassung der frequenzabhängigen Richtcharakteristik notwendig. Da auch Zeilen mit Längen mehrerer Meter gestapelt werden können, sind Nahfeldmessungen mit ernfeldextrapolation an auf dem Boden liegenden und nach oben abstrahlenden Lautsprechern naheliegend.

Über der Zeile und nah am Lautsprecher werden schrittmotorgeführte Mikrophone längs der Zeile bewegt, was automatisierte Messabläufe erlaubt.So wird ein sehr gutes Signal-/Störverhältnis erreicht, da Direktschallpegel sich deutlich von Raumreflexionen abheben. Ein spezieller Messraum ist nicht notwendig. Es werden zwei Messverfahren vorgeschlagen, ein iteratives Verfahren mit schrittweiser Fortbewegung einer Mikrophonzeile und ein gleitendes Verfahren mit einem Einzelmikrophon. Die Messignale sind Multitonsignale mit wahlweiser Terz-/Oktav-Skala oder dekadischer Frequenzskala. Da diese Skalen exponentiell sind,müssen die Phasen der Töne für einen geringen Crestfaktors mit nichtlinearer Optimierung gewonnen werden. Zur Berechnung der Fourierkoeffizienten auf dem dichten Messraster werden zwei hochselektive Schmalbandanalysetechniken vorgeschlagen. Bei der iterativen Messung mit nichtparametrischer Analyse wird ein gleitendes Görtzelverfahren mit Resonatorbank und komplexen Steady-State-Detektoren verwendet. Beim gleitenden Verfahren mit parametrischer Analyse wird eine überlappende gleitende Zeitfenstertechnik, ein Sinus-Modell mit fixen Frequenzen und nichtlinearer Parameterschätzung verwendet.

Di.-Do. Elektroakustik und Audiosignalverarbeitung (Poster)

Anwendung Fourier-basierter akustische Holographie zur Berechnung des Schallfelds von Zeilenlautsprechern

Stephan Herzog
TU Kaiserslautern, EIT

In diesem Artikel stellen wir die Anwendung der Fourier-basierten akustischen Holographie in der Berechnung des zweidimensionalen Schallfelds von Zeilenlautsprechern vor. Grundlage der Berechnung ist die Messung des komplexen Schalldrucks auf einer Linie vor dem Lautsprecher im Nahfeld. Eine Messung im Nahfeld bietet einen sehr guten Signal-/Störabstand und es kann in vielen Fällen auf spezielle akustische Umgebungen verzichtet werden. Die Messung erfolgt mit Hilfe eines motorisiert positionierbaren Mikrofons vor dem Zeilenlautsprecher während der Bewegung des Mikrofons. Räumliche Messpunkte werden durch zeitliche Integration über das Messsignal gebildet, was eine variable räumliche Auflösung und bei gleichzeitig schneller Messung erlaubt. Ausgehend vom komplexen Schalldruck in den Messpunkten wird nach einer Vorverarbeitung der Messdaten mittels eines Ansatzes der Fourierbasierten akustischen Holografie das zweidimensionale Schallfeld des Lautsprechers in einer Ebene vor dem Lautsprecher berechnet. Die Implementierung mittels der FFT macht die Berechnung sehr effizient, wodurch der Rechenaufwand und somit die Berechnungszeit der vorgestellten Methode gegenüber Methoden wie der Überlagerung von Punktquellen oder Ansätzen aus dem Gebiet der Wellenfeldsynthese deutlich reduziert wird.

Di.-Do. Elektroakustik und Audiosignalverarbeitung (Poster)

Entwicklung einer Simulationsumgebung zur Bewertung von Verfahren zum automatischen Mischen von Mikrofonsignalen

Natanael Nieland
TU Kaiserslautern

Zum automatischen Mischen von Mikrofonsignalen existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Algorithmen, was sich auch in der Vielfalt der heute verfügbaren Geräte zeigt. Eine Methode zur objektiven Bewertung der Verfahren hat sich bisher jedoch nicht etabliert, sodass ein Verfahren häufig basierend auf individuellen Erfahrungen beurteilt wird. Im folgenden Beitrag wird deshalb ein Gütemaß definiert, das die Auswirkungen von Nicht- und Fehlaktivierungen auf die Qualität des Mischsignals erfasst. Die zur Berechnung des Gütemaßes erforderlichen Signale werden während des Betriebs eines Mischverfahrens gewonnen. Um den Betrieb unter realistischen Umgebungsbedingungen zu simulieren, wurde eine Simulationsumgebung entwickelt, die Einflüsse von Nachhall und Störquellen, sowie die Eigenschaften der Quellen und Mikrofone berücksichtigt. Die Simulationsumgebung kann dazu genutzt werden die gängigen Verfahren zu vergleichen, Parameterwerte der Algorithmen bezüglich des eingeführten Gütemaßes zu optimieren und die Performance neuer Ansätze für eine Vielzahl möglicher Szenarien einzuschätzen.

Di.-Do. Elektroakustik und Audiosignalverarbeitung (Poster)

Höranlagen für Hörgeschädigte - Ein Überblick über den aktuellen Stand der Technik

Matthias Scheffe
Deutscher Schwerhörigenbund - Fachreferat Barrierefrei

Höranlagen werden seit der Erneuerung der Barrierefreiheits-Norm DIN 18040-1 für öffentliche Gebäude deutlich stärker nachgefragt. Hier gibt es einen Überblick über die verschiedenen möglichen Höranlagen, die am Markt erhältlich sind bzw. in der Raumakustik-Norm DIN 18041 (auf die in der DIN 18040-1 verwiesen wird) als mögliche Lösungen beschrieben werden. Thema ist natürlich auch deren Funktionsweise. Weiteres Thema sind die Anforderungen aus der Schwerhörigkeit, die für die Auswahl der Signalquellen und die Signalbearbeitung relevant sind.

Di.-Do. Elektroakustik und Audiosignalverarbeitung (Poster)

Normgerechte induktive Vollversorgung von Hallen mit variablen Tribünen

Klaus-Hendrik Lorenz-Kierakiewitz[a] und Dick de Leeuw[b]
[a] *Peutz Consult GmbH;* [b] *Peutz bv*

Gemäß DIN 18040-1:2010-10 sind öffentlich zugängliche Gebäude grundsätzlich barraierefrei zu gestalten. Für Menschen mit Beeinträchtigungen des Gehörsinns ist dabei eine gemäß DIN EN IEC 60118-4 geplante und errichtete Induktionsanlage mit einer derartigen Schleifenform, dass der Wirkungsbereich normgerecht versorgt wird, trotz neuer Eintwicklungen noch stets und auf absehbare Zeit das Mittel der Wahl, um das Hören und damit Teilhaben in öffentlich zugänglichen Auditorien zu unterstützen, zumal diese Weise der Unterstützung Schwerhöriger nicht stigmatisierend ist, da keine Geräte ausgegeben werden müssen, anhand derer Schwerhörige als solche erkennbar sind. Dies gilt auch für große Hallen wie z. B. öffentliche Sporthallen, sowohl für die Spielfläche, als auch für etwaige Tribünen. Bei diesen wiederum gibt es neben den baulich fixen auch solche, die je nach Nutzung eingeschoben (Nutzung einer vergrößerten Fläche) oder heausgezogen werden können (für Wettkämpfe etwa). In diesem Beitrag soll veranschaulicht werden, wie es zu bewerkstelligen ist, eine fest verlegbare Schleifenform zu planen, die in der Lage ist, beide Situationen vollflächig normgerecht induktiv zu versorgen, ohne die Notwendigkeit der Anwendung von Schleifenkabeln in den verschiebbaren Abschnitten der Tribüne, was in der Praxis schwierig und störanfällig ist. Wichtigstes Hilfsmittel dabei ist eine Möglichkeit der Simulation der elektromagnetischen Feldstärke von schief im Raum liegenden Empfangsflächen.

Sitzung „Maschinelles Lernen und Künstliche Intelligenz für die vibroakustische Modellbildung 1“

Mi. 13:40 Neuer Saal Vibroakustische Modellbildung 1

Anwendung der verallgemeinerten polynomiellen Chaosentwicklung auf industrielle Modelle

Johannes Schmid[a], Marinus Luegmair[b], Kian K. Sepahvand[a] und Steffen Marburg[a]
[a] *TU München, Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme;* [b] *BMW Group*

Für eine zuverlässige Vorhersage von vibroakustischem Verhalten in der frühen Entwicklungsphase ist die Berücksichtigung von Unsicherheiten im Auslegungsprozess unerlässlich. In diesem Beitrag werden Unsicherheiten mithilfe der verallgemeinerten polynomiellen Chaosentwicklung (generalized Polynomial Chaos - gPC) beschrieben und auf das Finite-Elemente (FE) Modell einer Fahrzeugkarosserie angewandt. Der Fokus liegt auf der Untersuchung der optimalen Anwendung der gPC, speziell

im Hinblick auf industrielle Modelle mit einer hohen Anzahl an unsicheren Parametern und rechenintensiven FE-Modellen. Implementiert wird eine nicht-intrusive gPC-Entwicklung auf Basis der Kollokationsmethode. Zunächst wird die entwickelte Methodik anhand einer analytischen Funktion verifiziert, bevor diese auf ein industrielles FE-Modell übertragen wird. Die Approximation des stochastischen Ergebnisprozesses wird mit Latin Hypercube Sampling (LHS) basierten Referenzlösungen im Hinblick auf Genauigkeit und Rechenzeit verglichen. Die Untersuchungen zeigen, dass die gPC-Methode auch bei industriellen Modellen mit hoher Dimensionalität zuverlässig anwendbar ist, dass jedoch die Ergebnisqualität maßgeblich von der Wahl der Kollokationspunkte abhängt.

Mi. 14:00 Neuer Saal Vibroakustische Modellbildung 1

Sound event recognition based on joint training of separation and classification

Han Li[a], Kean Chen[b] und Bernhard Seeber[c]
[a] *School of Marine Science and Technology, Northwestern Polytechnical University;* [b] *Northwestern Polytechnical University, China;* [c] *TU München, Audio Information Processing*

Selective listening in complex sound scenes is still a huge challenge for machine hearing. With recent advances from deep learning, the separation and recognition of speech made great progress. The separation and classification of arbitrary environment sounds, however, is still far from that of speech. In this paper, we propose a network based on joint training of separation and classification to address the recognition of environmental sound events. It includes three main stages: Time-frequency-transformation, separation mapping and classification mapping. It is trained on a large weakly labelled dataset where audio classes are labelled without onset and offset. These audio clips were recorded from real acoustic scenes and include overlapping sound events. The separation and classification are mutually reinforcing. Based on the estimated masks of the separation mapping stage, we calculate the global probability for every event as output for classification. The results show that joint training can improve the accuracy of sound event recognition, and performance can even be comparable with networks trained with strongly labelled datasets.

Mi. 14:20 Neuer Saal Vibroakustische Modellbildung 1

Acoustic monitoring for industry environments

Hanna Lukashevich
Fraunhofer IDMT

Sound is surrounding us; it is a natural source of information. Industrial environments are as well full of intended and unintended sounds. With the state- of-the-art intelligent acoustic measurement systems, we can make use of these sounds and gain information that help us to make production sites more efficient. The talk will cover multiple use cases of

acoustic condition monitoring in industry environments. In addition to the algorithmic approach of information retrieval, based on digital signal processing and machine learning, the talk will address the implementation aspects, covering the requirements analysis with customer constraints; privacy and security; challenges on data acquisition and data annotation; model quality and acceptance; deployment and integration.

Mi. 14:40 Neuer Saal Vibroakustische Modellbildung 1

Klassifizierung und Lokalisation von akustischen Ereignissen mit tiefen neuronalen Netzen

Eike Jannik Nustede und Jörn Anemüller
CvO Universität Oldenburg, Dep. Medizinische Physik und Akustik

Die Klassifizierung und Lokalisation von akustischen Ereignissen setzt sich zusammen aus der Erkennung der Ereignisse inklusive Anfangs- und Endzeitpunkten, anschließender Klassifizierung und der räumlichen Zuordnung. Die Anwendung dieser Methoden ist divers. Von generellen Anwendungen wie Audioüberwachung (Smart Homes), Audiovisualisierung (Virtual Reality) bis zur Nutzung in der Signalverarbeitung für die gezielte Filterung von Sprachsignalen in Gegenwart von anderen, meist ungewollten, Geräuschen, haben aktuelle Ansätze mit tiefen neuronalen Netzen wichtige und weiterhin vielversprechende Beiträge geleistet. Das Ziel der Arbeit ist es, eine Netzarchitektur zu entwickeln, mit der beide Aufgaben mit hoher Genauigkeit sowie Generalisierbarkeit erfüllt werden, so dass das trainierte System auch auf neuen, bisher unbekannten Signalen zuverlässig funktioniert. Das neuronale Netz wird auf verschiedenen Merkmalen trainiert, die jeweils für die Teilaufgaben angepasst sind. So hat sich gezeigt, dass z.B. ein Mel-Spektrogramm vorteilhaft für die Klassifizierung sein kann, während die Phaseninformation der Fokus für die Lokalisation ist. Aber auch die Wellenform des jeweiligen Audiosignals kann, bei geeigneter Netzstruktur, verwendet werden. Der hier vorgestellte Ansatz wird einerseits auf unterschiedlichen Merkmalen, andererseits auf unterschiedlichen Datensätzen evaluiert. Ferner wird er mit bereits existierenden Netzwerken unter gleichen Konditionen verglichen.

Mi. 15:00 Neuer Saal Vibroakustische Modellbildung 1

Neural Networks for Localizing Sound Sources

Magnus Schäfer und Lukas Stich
HEAD acoustics GmbH

There are several approaches for acoustically localizing sound sources. Typically, they can be classified depending on the choice of microphone setup: Arrays with multiple microphones and the corresponding beamforming algorithms are often utilized in communication devices (e.g. conference phones or smart speakers) or for technical investigations. Artificial heads in conjunction with binaural hearing models usually aim at modeling the capabilities of human listeners.

This contribution utilizes an eight-channel microphone array that is mounted on an artificial head and spatially samples the direct vicinity of both ears. This arrangement allows for a localization approach that closely resembles the experience of a human listener while simultaneously avoiding the limitations of an artificial head (e.g., with respect to front-back confusions).
The microphone signals are converted to the frequency domain by a short-time Fourier transform and the phase information is used by a convolutional neural network to perform the localization task. The structure of the neural network was adapted to the geometrical setup of the microphone array. A performance assessment of the localization system is presented that is based on real audio recordings and a comparison with two conventional beamforming algorithms is shown.

Mi. 15:20 Neuer Saal Vibroakustische Modellbildung 1

Systemidentifikation eines Einmassenschwingers mit spärlicher linearer Regression

Yaxiong Ren[a], Christian Adams[a] und Tobias Melz[a,b]

[a] *TU Darmstadt, Fachgebiet SAM;* [b] *Fraunhofer LBF*

Die Systemidentifikation ist eine wichtige Gruppe von Methoden zur Modellbildung von Schwingungssystemen. Innerhalb dieser Gruppe zeigt die Methode Spärliche Identifikation Nichtlinearer Dynamischer Systeme (SINDy), die auf Differenzialpolynomen und spärlicher linearer Regression beruht, ein hohes Potenzial zur Identifikation von Schwingungssystemen. Deswegen wird in dieser Arbeit ein Systemidentifikationsverfahren auf Basis von SINDy entwickelt und mit unterschiedlichen Abschätzverfahren verglichen. Der Vergleich erfolgt durch numerische Untersuchungen anhand eines Einmassenschwingers im Rahmen von Monte-Carlo-Simulationen (MCSs). Den numerisch generierten Trainingsdaten wird Rauschen unterschiedlicher Intensität hinzugefügt, um reale Messsignale nachzubilden. Die SINDy-Modelle werden für Polynomordnungen von eins bis fünf identifiziert. Zur Abschätzung der Parameter des SINDy-Modells werden in diesem Beitrag zwei Methoden diskutiert. Im Vergleich zur KQ-Methode mit festem Threshold (KQFT), dem originalen Abschätzverfahren von SINDy, zeigt die Methode KQ-post-LASSO (KQPL) bessere Eigenschaften bei den MCSs im Hinblick auf Spärlichkeit, Konvergenz, identifizierte Eigenfrequenz und Bestimmtheitsmaß. Deswegen ist die Kombination vom SINDy-Modell und der KQPL-Methode ein verbessertes Verfahren zur Identifikation von Schwingungssystemen im Vergleich mit dem originalen SINDy Verfahren (KQFT).

Mi. 15:40 Neuer Saal Vibroakustische Modellbildung 1

Präsentation der Poster, die dieser Sitzung zugeordnet sind (s.u.)

Sitzung „Maschinelles Lernen und Künstliche Intelligenz für die vibroakustische Modellbildung (Poster)“
Kurzvorträge: Mi. 15:40 (Neuer Saal); Poster-Forum: Mi. 16:00

Di.-Do. Vibroakustische Modellbildung (Poster)

On the Estimation of Early Reflections from Multichannel Impulse Responses using Deep Learning Techniques
Frank Schultz, Fiete Winter und Sascha Spors
Universität Rostock, Institut für Nachrichtentechnik
The acoustic reflection coefficients of surfaces are important parameters for geometric modelling of rooms. Various methods have been proposed to estimate these from multichannel impulse response measurements using one or more sources and microphones distributed in the environment of interest. Based on measurements from rigid spherical microphone arrays, various beamforming techniques have traditionally been applied to address this problem. Deep machine learning (ML) approaches have proven to be efficient and robust in many tasks. We elaborate on the design, training and application of ML to estimate the incidence angles and times of early reflections. The influence of practical limitations, like the number of microphones and their self-noise, is investigated to assess the robustness of the approach.

Di.-Do. Vibroakustische Modellbildung (Poster)

Eine qualitative Untersuchung der Generalisierungsverhaltens von CNNs für Instrumentenerkennung
Roman Gebhardt und Athanasios Lykartsis
TU Berlin, Fachgebiet Audiokommunikation
Künstliche neuronale Netze (ANNs) haben sich im Bereich des maschinellen Lernens für Audiodaten als erfolgreichstes Werkzeug mit hoher Klassifikationsrate etabliert. Ein bedeutender Nachteil besteht aus wissenschaftlicher Sicht jedoch in der schweren Interpretierbarkeit des von ANNs tatsächlich gelernten Inhalts.
Um dieses Problem anzugehen untersuchen wir in dieser Arbeit den Lern- und Generalisierungsprozess eines Convolutional Neural Networks (CNNs) für Multi-Label Instrumentenerkennung in den Hidden Layers des Netzwerks. Wir betrachten die unterschiedlichen Aktivierungen aller Layers durch unterschiedliche Instrumentenklassen um nachzuvollziehen, ab welcher Tiefe das Netzwerk in der Lage ist, zwei von der gleichen Klasse stammenden Inputs als ähnlich zu erkennen.
Wir zeigen über verschiedene Distanzmaße, dass unser Netzwerk in zunehmender Tiefe besser zu generalisieren lernt, was der Intuition folgt. Unsere Ergebnisse lassen darauf schließen, dass lokale Strukturen der Feature Maps zwischen der dritten und vierten von vier Convolutional Layers irrelevant werden, was für die Robustheit des Systems entscheidend ist. Ebenso stellen wir dar, dass der Generalisierungsprozess bei

der ersten Dense Layer weitestgehend abgeschlossen ist, was in Übereinstimmung mit gegenwärtigen Forschungsergebnissen steht. Ziel unserer Arbeit ist neben der Dechiffrierung der Black-Box Struktur von DNNs auch der praktische Aspekt, ein nachvollziehbares Regelwerk für die Wahl der Systemarchitektur, insbesondere der Tiefe von DNNs.

Entfällt: Vibroakustische Modellbildung (Poster)

Identification of Material Parameters of the Micro-perforated Panel Absorber

Sebastian Floss[a] und Manfred Kaltenbacher[b]
[a] *TU Wien;* [b] *TU Wien, Institut für Mechanik und Mechatronik*

Micro-perforated panel absorbers (MPA) can be used in rooms, HVAC systems and turbomachinery due to their easy integration into existing structures. The simulation of the MPA consists of modelling the absorber as an equivalent fluid and solve the Helmholtz-equation. Usually a regression based parameter fitting takes place beforehand to obtain the necessary material parameters, based on the Johnson-Champoux-Allard-Lafarge model (JCAL). We investigate the possibility of using a machine learning framework based on Python to gain more insights into the significance of model parameters like porosity, pore shape and pore size as well as the decoupling frequency of the plate material, the accuracy of the JCAL model in the low and high frequency range and conduct an optimization attempt for low frequency ($<$ 500 Hz) sound absorption. The basis for the framework is solving the linearized compressible Navier-Stokes equations and constitutive equations(visco-thermal acoustic equations) applying the Finite Element (FE) method, which provides the data sets for the machine learning algorithm. The coupling of the standard wave equation with the visco- thermal equations via nonconforming interfaces allows to reduce the number of elements and to use the two-microphone technique to solve for the absorption coefficient as comparison criterion.

Di.-Do. Vibroakustische Modellbildung (Poster)

Bestimmung der Einflüsse von Störgrößen auf die Absorptionsgradmessung im Kundt'schen Rohr mithilfe neuronaler Netze

Sören Wenzel[a], Elena Maja Slomski-Vetter[a], Christian Adams[a] und Tobias Melz[a,b]
[a] *TU Darmstadt, Fachgebiet SAM;* [b] *Fraunhofer LBF*

Bei Messungen des Schallabsorptionsgrades von Schaumstoffen in einem Kundt'schen Rohr treten unerwartete Einflüsse von Störgrößen auf. Es konnte in vorangegangenen Studien gezeigt werden, dass Störgrößen wie beispielsweise Formabweichungen, der Einsatz unterschiedlicher Fertigungsverfahren und die fertigende Person systematische Einflüsse auf den gemessenen Absorptionsgrad haben. In diesem Beitrag werden Korrekturkurven ermittelt, die eine präzisere Messung der Absorptionsgrade in einem Kundt'schen Rohr ermöglichen. Anhand der

Korrekturkurven können die Einflüsse der Störgrößen mathematisch erfasst werden, wodurch der Absorptionsgrad rechnerisch korrigiert werden kann. Dazu wird ein Neuronales Netz verwendet, das die einzelnen Absorptionsgrade vorhersagt. Mithilfe der Vorhersagen wird eine Korrekturkurve für den gemessenen Absorptionsgrad bestimmt und der systematische Einfluss aus dem Messergebnis herausgerechnet. In diesem Beitrag wird gezeigt, inwiefern durch das vorgestellte Verfahren die Absorptionsgradmessung robuster gegenüber Einflüssen von Störgrößen wird.

Sitzung „Maschinelles Lernen und Künstliche Intelligenz für die vibroakustische Modellbildung 2“

Mi. 16:40 Neuer Saal Vibroakustische Modellbildung 2

Deep Learning basierter Designentwurf von akustischen Metamaterialien

Caglar Gürbüz, Felix Kronowetter, Christoph Dietz und Steffen Marburg
TU München, Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme

Akustische Metamaterialien sind Materialien, die durch periodische Fortsetzung von kleinen Einheiten zu ungewöhnlichen Eigenschaften wie negativer Masse oder negativer Steifigkeit führen. Dadurch eröffnen sich in der Vibroakustik neue Möglichkeiten für den Einsatz von Metamaterialien, wie z.B. zur Schalldämmung in Lärmschutzwänden. Der Entwurf von akustischen Metamaterialien ist jedoch meistens mit aufwendigen numerischen Simulationen verbunden. In diesem Beitrag werden daher Neuronale Netze trainiert, um die Berechnung sowie die Auslegung von Metamaterialien effizienter zu gestalten. Dabei werden Simulationen mit Finiten Elementen als Trainingsdaten verwendet. Die Trainingsdaten sind so aufbereitet, so dass die geometrischen Parameter als Eingangsgrößen und der Transmission Loss als Zielgröße definiert sind. Darüber hinaus werden mit Deep Learning basierten, inversen Methoden Konstruktionsentwürfe für Metamaterialien generiert. So sollen schließlich neben den etablierten Strukturen, wie Sonic Crystals oder C-Shapes, weitere Designvarianten entstehen und untersucht werden.

Mi. 17:00 Neuer Saal Vibroakustische Modellbildung 2

Vorhersage dynamischer Lasten mit Hilfe Neuronaler Netze

Daniel Kreuter, Benjamin Zillmann und Kai Sandmann
Robert Bosch GmbH

Innerhalb des Entwicklungs- und Freigabeprozesses werden häufig definierte Manöver, also Beschleunigungszeitfolgen, die vorher aus Versuchen und Messkampagnen ermittelt wurden, einem Vibrationstest unterzogen. Dabei interessieren für eine nachfolgende Lastableitung oder Zuverlässigkeitsaussage die Beschleunigungsantworten im Zeit- und Frequenzbereich an der zu testenden Komponente. Diese Antwortfunktion ausschließlich physikalisch basiert vorherzusagen ist aufgrund von

Nichtlinearitäten im strukturdynamischen Verhalten und einem daraus resultierenden Simulationsaufwand, wenn überhaupt, nur mit hohem Aufwand möglich. Die Verwendung neuronaler Netze, beispielsweise unter Einsatz von RNN oder LSTM-Ansätzen, kann hier als effiziente Ergänzung oder auch als Ersatz des physikalischen Models mit hoher Aussagegüte dienen. Anhand eines Beispiels aus der industriellen Forschung sollen in diesem Beitrag unterschiedliche Herangehensweise dieser Thematik untersucht werden.

Mi. 17:20 Neuer Saal Vibroakustische Modellbildung 2

Innengeräuschapproximation am Gesamtfahrzeug durch Maschinelles Lernen

Dimitrios Ernst Tsokaktsidis[a], Clemens Nau[b] und Steffen Marburg[c]
[a] *TU München / Daimler AG;* [b] *Daimler AG;* [c] *TU München, Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme*

Aus Daten extrahierte Rechenmodelle gewinnen in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung. Diese Ansätze aus dem Bereich des Maschinellen Lernens sind bis heute in der Fahrzeugentwicklung im Kontext Noise, Vibration und Harshness nicht weit verbreitet. Verwandte Gebiete wie das Structural Health Monitoring, die Psychoakustik oder die Verkehrslärm-Prädiktion forschen zunehmend an den Einsatzmöglichkeiten. Das Fahrzeuginnengeräusch ist heutzutage ein wichtiges Qualitätskriterium. Zur frühzeitigen Bestimmung werden häufig deterministische Systembeschreibungen basierend auf aufwändigen Messmethoden generiert (bspw. Transferpfadanalyse). In diesem Artikel wird untersucht, ob sich Algorithmen zur Mustererkennung für eine Innengeräuschprognose von Lenkungsphänomenen eignen. Ein Modell zur Berechnung des Schalldruckpegels wird aus Betriebsmessdaten eines Durchlenkmanövers abgeleitet. Die Grundlage für die Modellextraktion bildet ein Ansatz aus dem Bereich des Überwachten Lernens. Künstliche Neuronale Netze nähern die Funktion zwischen Anregung der Komponente und Systemantwort im Fahrzeuginnenraum an. Zur Validierung der gefundenen Beziehung wird ein zusätzlicher Datensatz verwendet. Abschließend wird die Prognose mit den Messdaten verglichen.

Mi. 17:40 Neuer Saal Vibroakustische Modellbildung 2

Deep learning for understanding and reducing the sound emissions of automotive disk brakes

Merten Stender[a] und Norbert Hoffmann[b]
[a] *Technische Universität Hamburg, Arbeitsgruppe Strukturdynamik;* [b] *Technische Universität Hamburg*

Friction-induced vibrations and the related sounds emitted by brake systems, commonly known as squeal, groan and other noises, constitute a major design challenge in the automotive industry. Owing to the cost and limited prediction quality of numerical simulations, most research and design is conducted experimentally in extensive testing campaigns

even today. During those tests, the sound pressure level in the near-field as well as several operational conditions, such as the time signals of rotational velocity and brake line pressure, are recorded. In the current contribution, we illustrate how recent advances in the field of deep learning can be used to automatically detect several different types of sounds. Convolutional networks are employed to perform object detection tasks on the spectral properties of the microphone measurements in order to realize near-real-time sound classification. Furthermore, a data-driven design of a virtual twin for the noise behaviour of brake systems is presented that can predict the sound radiation for a given operational condition. Not only the chances, but also the limitations of machine learning techniques are outlined, especially taking an engineering-compliant development environment into account.

Mi. 18:00 Neuer Saal Vibroakustische Modellbildung 2

Bestimmung von Materialparametern aus dem dispersiven Verhalten geführter Wellen mittels neuronaler Netzte

Maik Lauschkin, Jannis Bulling, Paul Wasmer und Jens Prager
BAM Berlin

Damit eine Simulationsrechnung, beispielsweise mit einer FEM-Software, eine ausreichend hohe Genauigkeit erreicht, muss vorausgesetzt werden, dass die Modellparameter eine sehr hohe Güte aufweisen. Die genaue Kenntnis der Materialparameter ist dabei von besonderer Bedeutung. Um diese Parameter bestimmen zu können, müssen die verwendeten Werkstoffe messtechnisch charakterisiert werden. Neben anderen Ansätzen sind dafür akustische Verfahren im Ultraschallbereich geeignet. Für dünnwandige und plattenförmige Materialien können aus den sich ausbreitenden geführten Wellen messtechnisch Dispersionskurven bestimmt und aus diesen die Materialparameter abgeleitet werden.

Da für die Signalverarbeitung und für Optimierungsaufgaben aktuell zunehmend Machine Learning Tools zum Einsatz kommen, stellt sich die Frage, ob diese Werkzeuge auch für die Ermittlung der Materialparameter aus den gemessenen Dispersionskurven eingesetzt werden können. In der vorgestellten Untersuchung soll ein Convolutional Neural Network aufgestellt werden, welches aus Dispersionsbildern Muster extrahiert und aus diesen eine Schätzung für die Materialparameter ermittelt. Um die Machbarkeit dieses Ansatzes zu prüfen, werden zunächst nur isotrope Materialien betrachtet. Für das Netz werden mit der Scaled-Boundary-Finite-Element-Methode synthetische Daten für das Trainieren und Validieren generiert. Zusätzlich werden die Hyperparameter des neuronalen Netzes variiert, um ein optimales Model für die Schätzung zu finden. Anschließend kann das Netz mit experimentellen Daten getestet und das Ergebnis hinsichtlich der Genauigkeit bewertet werden.

Sitzung „Körperschall“

Vortrag entfällt Runder Saal Körperschall

Tutorial for in-situ structure-borne sound source characterization
Torsten Kohrs und Karl-Richard Kirchner
Bombardier Transportation
The implementation and use of in-situ structure-borne sound source characterization (”SBSC”) and electromechanical analogies are still considered challenging and complex methods, despite their long history and broad applications. With the help of a simple ’hand-computed’ tutorial, an attempt is made to support physical understanding and an ’engineering insight’ that is beyond a sole instruction of an in-situ SBSC and practical procedural experience. Considered is a structural system with more than one simplified structure-borne sound source (e.g. unbalanced engine) placed on a receiver represented by a beam structure. The receiver system is modelled by mobility formulas and as equivalent mass-spring system. The sources (single as well as combined sources, each at different receiver positions) are used in a variety of computational scenarios for the characterization procedure. The principle of superposition and the equivalent source concepts (’Helmholtz-Thevenin’ and ’Mayer-Norton’) are utilized and discussed. Short historical remarks about the methods are included. Practical aspects like source presence or absence, how forces and/or what forces (blocked/receiving) are used or the necessary source and receiver combination for acoustic transfer functions are discussed. By including the complete tutorial data set the reader is encouraged to follow the presented results and gain additional personal insights.

Mi. 9:20 Runder Saal Körperschall

Untersuchung der Strukturberuhigung sowie der schallmindernden Wirkung eines langen, spiralförmigen Akustischen Schwarzen Loches
Peter Schrader[a], Christian Heinrichs[a], Fabian Duvigneau[b] und Hermann Rottengruber[a]
[a] *OvG-Universität Magdeburg;* [b] *OvG-Universität Magdeburg, Kompetenzzentrum eMobility (KeM)*
Neben akustischen Metamaterialien gehören Akustische Schwarze Löcher (ASL) zu denjenigen passiv wirkenden Strukturen, bei denen eine Verminderung der hörakustisch relevanten Schwingungen eines Bauteils durch Strukturschwächung erzielt werden kann. Anders als die meisten Metamaterialien, deren Wirkung sich auf eingegrenzte Frequenzbänder beschränkt, entfalten ASL ihre Wirkung oberhalb einer Grenzfrequenz, welche hauptsächlich von der Länge des ASL-Profils abhängt. Dies zeigt die Theorie der ASL und die bisher publizierte Literatur zu dem Thema. Vor diesem Hintergrund wird in diesem Beitrag ein

bereits bei tiefen Frequenzen wirksames spiralförmiges ASL mit einer Profillänge von über einem Meter und mit minimaler Steigung quadratisch abfallender Profildicke entworfen. Darüber hinaus wird dessen Wirkung mit Hilfe der Finiten Elemente Methode (FEM) prädiktiert und die Effekte von Modifikationen im entscheidenden Bereich minimaler Profildicke untersucht. Das entworfene ASL wird im additiven Fertigungsverfahren hergestellt und mittels Laser-Doppler-Vibrometrie hinsichtlich seiner Mobilität experimentell untersucht, wobei eine einfache Spirale aus identischem Material, gleicher Masse und gleicher Länge, aber ohne ASL-Geometrie als Referenz dient. Die essentielle, dissipativ wirkende Schicht am möglichst dünn gestalteten Profilende wird im Rahmen einer vergleichenden Studie variiert. Schließlich wird die Wirkung der optimierten ASL - Spirale auf die Strukturschwingung und Schallabstrahlung einer Motorölwanne untersucht und damit das akustische Potential gezeigt.

Mi. 9:40 Runder Saal Körperschall

Experimentelle Untersuchung von Bettungen zur Nachbildung eines unendlichen Biegebalkens

Liesa Zimmermann, Katja Stampka und Ennes Sarradj
TU Berlin, Fachgebiet Technische Akustik

Um analytische Modelle von unendlichen Strukturen, beispielsweise Schienen, verifizieren zu können, ist es notwendig im Experiment auch das Verhalten der unendlichen Struktur nachzubilden. Daher muss die Bettung einer endlichen Struktur derart gestaltet werden, dass Körperschallwellen nicht vom Rand reflektiert werden um somit der Annahme des unendlichen Festkörpers zu entsprechen. Es werden verschiedene Möglichkeiten der Lagerung von endlichen Balken vorgestellt, die die Reflexion von Biegewellen an den Balkenenden verhindern sollen. Gegenübergestellt werden die Einflüsse von Änderungen der Querschnitte, Lagerung in Sand sowie die Ummantelung mit dämpfenden Stoffen. Die Ergebnisse der unterschiedlichen Bettungen werden untereinander und mit dem theoretischen Verhalten eines unendlichen Balkens verglichen. Dabei zeigt sich, dass eine Lagerung in Sand sehr gut geeignet ist. Aber auch Kombinationen von dämpfenden Materialien und Querschnittsänderungen können ein gutes Ergebnis erzielen. Außerdem werden die praktischen Aspekte der verschiedenen Lagerungen beschrieben.

Mi. 10:20 Runder Saal Körperschall

Zusammenhang der Schwingschnelle und des Innenpegels in Wohnräumen bei Zugverkehr

Thomas Tietze, Günther Achs und Verena Dreitler
FCP Fritsch, Chiari & Partner ZT GmbH

Die ON-Regel 199005 gibt eine Berechnung des sekundären Luftschalls aus Schwingungsmessungen vor. Eine Anwendung der Regel auch mit genauerer Erfassung von Nachhallzeiten hat sich aufgrund der häufig wechselnden Raumgeometrie aber auch der unterschiedlichen Wirkung

von Quellen auf die Decke als schwierig erwiesen. Es wird anhand vieler Messdaten von einem Objekt eventuelle statistische Zusammenhänge hinsichtlich der Raumgeometrie, Nachhallzeiten und auch der Lage der Quelle untersucht. Die Messung der Nachhallzeit ist für die Umrechnung nach ON-Regel 199005 essenziell. Allerdings werden hier keine detaillierten Angaben über das Frequenzspektrum zur Umrechnung benötigt während bei den Anforderungen an das Schwingungsmessgerät ein Frequenzbereich von 16 bis 250 Hz angefordert wird. Eine genauere Berücksichtigung der Nachhallzeiten wird durch die kleine Raumgeometrie und den niedrigen Terzbandfrequenzen verhindert. Technische Betrachtungen in der Bauakustik zeigen eine wesentlich hohe Ungenauigkeit oder auch Unmöglichkeit der Messung von Nachhallzeiten unter 100 Hz in kleinen Räumen. Es wird somit auch nach eventuellen Interpolationsmöglichkeiten zu genaueren Darstellung und Berücksichtigung der raumakustischen Parameter für die Berechnung des sekundären Luftschalls gesucht.

Mi. 10:40 Runder Saal Körperschall

Neuartige Methode zur radgenaue Lärmmessung an Güterzügen

Robert Kamenzky, Clemens Fabian, Sarah Schneider und Peter Blaschke

Technische Hochschule Wildau

In dieser Arbeit wird eine neuartige Methode zur Lärmemissionsmessung bei fahrenden Güterzügen allein aus dem Schwingungssignal nahe des Rad-Schiene-Kontaktes vorgestellt. Sie ist unempfindlich gegen Störeinflüsse und erlaubt eine eindeutige Zuordnung von Schallemissionen zu einzelnen Rädern. Seit 2013 existiert in Deutschland ein lärmabhängiges Trassenpreissystem für Güterzüge. Bei Güterwagen sind die Radsätze die dominierenden Lärmemittenten. Rauheiten von Schiene und Radlauffläche sowie Unrundheiten der Räder erzeugen Schwingungen, die hauptsächlich über Radscheibe und Schiene akustisch abstrahlen. Es gibt Bedarf für ein System zur radgenauen Lärmmessung und Kontrolle zur korrekten Berechnung des Trassenpreises und der Verordnung von Sanktionen. Mikrofonmessungen an der Bahnstrecke sind bei der ”rechtssicheren” Lärmerfassung problematisch, da das Mikrofonsignal von Umgebungsgeräuschen überlagert wird und sich die Umgebungsbedingungen zwischen verschiedene Messorten unterscheiden können. Die vorgestellte Methode basiert auf der Modellierung des Rad-Schiene-Systems durch die Transferpfadanalyse. Die vom rollenden Zugrad hervorgerufenen Schwingungen im Rad-Schiene-System werden von Beschleunigungssensoren an der Schiene gemessen und mittels des Transferpfadmodells zu einem äquivalenten Schalldruckpegel synthetisiert. In Laboraufbauten konnten gute Übereinstimmungen von synthetisierten Lärmpegeln zu Referenzmessungen mit Mikrofonen gezeigt werden. Die Ergebnisse dieser Labormessungen sowie von weiteren Validierungsmessungen an Schienenfahrzeugen werden in dieser Arbeit

vorgestellt und mögliche Limitierungen der Messaufbauten und der Methode diskutiert.

Mi. 11:00 Runder Saal Körperschall

Modellierung von Fügestellen zur Berechnung der Strukturintensität in dünnwandigen Maschinenstrukturen

Nikolai Kleinfeller[a], Christian Adams[a] und Tobias Melz[a,b]
[a] *TU Darmstadt, Fachgebiet SAM;* [b] *Fraunhofer LBF*

Die Strukturintensität (STI) beschreibt den Energiefluss des Körperschalls innerhalb einer schwingenden Struktur. Die genaue Kenntnis von Betrag und Richtung der STI erweitert das dynamische Verständnis für eine Struktur. Die STI wird in der Regel im Postprocessing einer Finite-Elemente-Simulation (FE) aus den Schnittkräften und Geschwindigkeiten gewonnen, wenn eine dünnwandige Struktur beispielsweise mit einer Schalenmodellierung zu Grunde liegt. In der Literatur sind bis auf wenige Ausnahmen Analysen der STI für monolithische Strukturen durchgeführt worden. Im Maschinenbau sind Strukturen jedoch häufig aus mehreren einzelnen Komponenten zusammengesetzt, die über Verbindungselemente, wie beispielsweise Schrauben oder Schweißnähte, verbunden sind. In der Fachliteratur wird der Bereich der Kopplung zwischen Bauteilen als Fügestelle bezeichnet. Eine Fügestelle beeinflusst das Schwingungsverhalten einer zusammengesetzten Struktur und es ist davon auszugehen, dass die STI von den Eigenschaften einer Fügestelle abhängt. Im Rahmen dieses Beitrags werden die Ergebnisse einer numerischen Studie vorgestellt, wobei mehrere FE-Modelle für eine gefügte dünnwandige Maschinenstruktur aufgebaut werden. Für die Modellierung der Fügestellen werden aus der Literatur etablierte Modelle mit steigender Komplexität herangezogen. Anschließend erfolgt eine Berechnung der STI, wobei der Einfluss der Fügestellenmodellierung auf die STI gezielt analysiert wird. Die Ergebnisse dieser Studie bilden die Grundlage für die Auswahl eines Fügestellenmodells zur Ermittlung der STI in komplexen Maschinenstrukturen.

Mi. 11:20 Runder Saal Körperschall

Identifikation des vibroakustischen Verhaltens von Leiterplatten

Moritz Hülsebrock[a], Maximilian Herrnberger[b], Heiko Atzrodt[c], Christian Adams[a] und Roland Lichtinger[b]
[a] *TU Darmstadt, Fachgebiet SAM;* [b] *BMW Group;* [c] *Fraunhofer LBF*

Der digitale Entwurf von Leistungselektronikkomponenten stellt einen Schlüssel zur Beschleunigung des Entwicklungsprozesses und zur Beherrschung von Entwicklungsrisiken für elektrisch angetriebene Fahrzeuge dar. Insbesondere die numerische Simulation des strukturdynamischen und vibroakustischen Verhaltens von Leiterplatten erweist sich aufgrund der komplexen geometrischen und funktionalen Zusammenhänge, wie zum Beispiel die Beschreibung des Einflusses von Leiterbahnen, als ein schwieriges Simulationsproblem. Darüber hinaus kommt es

aufgrund von Parameterunsicherheit häufig zu signifikanten Unterschieden zwischen Simulations- und Messergebnissen, was einen Modellabgleich erforderlich macht. Die Untersuchungen innerhalb dieses Beitrags konzentrieren sich daher zunächst auf die experimentelle Analyse von Leiterplatten. Es werden vier verschiedene Leiterplattenkonfigurationen mit derselben Geometrie aber unterschiedlich gezogenen Leiterbahnen betrachtet. Die Leiterplatten werden mit einem Lautsprecher im Frequenzbereich von 50 Hz bis 9000 Hz angeregt und die modalen Parameter über eine operationale Modalanalyse ermittelt. Die identifizierten modalen Parameter dienen als Grundlage für den Abgleich mit der numerischen Simulation. Das Ziel ist es, den Einfluss der Leiterbahnen auf das Schwingungsverhalten zu quantifizieren und anschließend numerisch zu simulieren. Die Simulations- und Messergebnisse stimmen nach Anpassung der Modellparameter gut überein und bilden damit eine Grundlage für weitere Untersuchungen.

Sitzung „Raumakustik 1“

Mi. 13:40 Runder Saal Raumakustik 1

Recent Developments in Geometric Diffraction for Room Acoustics and Noise Control

Thomas Judd, Dieter Zollitsch und Jochen Schaal
SoundPLAN GMBH

Although geometric acoustic simulation methods are suitable for room acoustics and noise control, they do not implicitly include diffraction. The problem of how to correct for this has been the subject of research for many years. Thirty-four years ago, at the DAGA 1986 in Oldenburg, Stephenson presented ideas for so-called uncertainty-based diffraction, which would, in theory, allow for a general description of diffraction to any order. However, technical barriers to a practical implementation remained, including control of memory requirements and run times. In recent years, intensive work has been undertaken to further develop the theory and implementation to address these issues, resulting in an algorithm that provides improved physical modelling of indoor situations with computational demands acceptable to the daily requirements of professional acousticians. Here we review the updates required to make a practical simulation method from the traditional uncertainty-based diffraction theory and share our experiences of working with it. We demonstrate how using an improved diffraction model can have a significant effect on room acoustics. We explore the limits of the model and consider issues relating to complicated situations.

Mi. 14:00 Runder Saal Raumakustik 1

Schallfeldrekonstruktion mithilfe Bayes'scher Inferenz

Jonas Schmid[a], Efren Fernandez Grande[b], Manuel Hahmann[b], Caglar Gürbüz[a], Martin Eser[a] und Steffen Marburg[a]

[a] *TU München, Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme;* [b] *Acoustic Technology Group, Technical University of Denmark*

In der Raumakustik ist es von großem Interesse, die räumliche Verteilung eines Schallfelds vorherzusagen. Jedoch müssen dafür in der Regel an einer Vielzahl von Punkten Messungen durchgeführt werden, was in einem sehr hohen Messaufwand resultiert. In diesem Beitrag wird eine probabilistische Methode zur Rekonstruktion eines Schallfelds mithilfe Bayes'scher Inferenz vorgestellt, die es erlaubt, die räumlichen Eigenschaften eines Schallfelds mit nur wenigen Messpunkten zu charakterisieren. Dazu wird das untersuchte Schallfeld in einer Ebene im Raum über eine Superposition ebener Wellen verschiedener Einfallsrichtungen und unbekannter Amplituden modelliert. Mithilfe Bayes'scher Inferenz werden die a posteriori Wahrscheinlichkeitsverteilungen der gesuchten Amplituden approximiert. Ausgehend davon wird das gesuchte Schallfeld über die Superposition der ebenen Wellen rekonstruiert. Das zugrunde liegende Referenzschallfeld wird über einen Roboterarm an verschiedenen Positionen in einer Auswerteebene eines quaderförmigen Raums gemessen. Die Rekonstruktion wird mit einer Approximation des inversen akustischen Problems mithilfe der Methode der kleinsten Fehlerquadrate verglichen. Die Ergebnisse zeigen eine sehr gute Übereinstimmung zwischen dem gemessenen Referenzschallfeld und der Rekonstruktion. Jedoch ermöglicht der probabilistische Ansatz über Bayes'sche Inferenz im Vergleich zu konventionellen Methoden zusätzlich eine Aussage über die Unsicherheit der Rekonstruktion und liefert dadurch eine deutlich umfangreichere Vorhersage des zu rekonstruierenden Schallfelds.

Mi. 14:20 Runder Saal Raumakustik 1

Berücksichtigung des nicht diffusen Schallfeldes im Hallraum durch Anwendung der Radiosity- und der Schallteilchenmethode

Uwe Stephenson

HafenCity Universität Hamburg

Seit Jahrzehnten wird der Diffusfeld-Schallabsorptionsgrad von Proben im Hallraum unter Anwendung der Sabine'schen Formel bestimmt (DIN 354). Dies ist bekanntlich systematisch falsch, da die Voraussetzung eines Diffusen Schallfeldes nicht gegeben bzw. dieses eben durch den Absorber gestört ist. So ist die Bestrahlungsdichte über dem Absorber durch einen "Sogeffekt" übermäßig groß; dies täuscht einen zu hohen Absorptionsgrad vor. Statt -wie bisher erfolglos- zu versuchen, durch Diffusoren die Diffusität zu verbessern, ist nun der Ansatz, die Nichtdiffusität des Schallfeldes zu akzeptieren und rechnerisch zu berücksichtigen,

und zwar durch Berechnung der ortsabhängig ungleichen Bestrahlungsstärken bzw. daraus abgeleiteten Korrekturfaktoren. Die Schritte sind, in der Reihenfolge aufsteigender Genauigkeit: a) analytische Berechnung durch Inversion der Kuttruff'schen Nachhallzeitformel, die zwar diffuse Reflexionen, nicht aber homogene Bestrahlung annimmt, b) Berücksichtigung der Raumgeometrie durch Anwendung der iterativen radiosity-Methode, c) Berücksichtigung auch geometrischer Reflexionen durch Anwendung der Schallteilchensimulationsmethode. Schließlich wird versucht, aus den Simulationsergebnissen empirische, von der geometrischen Konstellation abhängige Korrekturformeln für eine genauere Bestimmung des Schallabsorptionsgrades von Proben herzuleiten. Die Ergebnisse werden mit Messungen verglichen und diskutiert.

Mi. 14:40 Runder Saal Raumakustik 1

Messtechnische Untersuchung der akustischen Eigenschaften historischer Kammermusiksäle am Beispiel der Bagno Konzertgalerie in Steinfurt

Sven Rechenberger[a], Johann Lenz[a] und Dieter Scholz[b]

[a] *Kötter Consulting Engineers GmbH & Co. KG;* [b] *Fachhochsch. Münster*

In akustisch anspruchsvollen Auditorien spielt neben dem Direktschall und den Reflektionen auch die Nachhallzeit für tiefe Frequenzen eine wichtige Rolle. Im vorgestellten Projekt der akustischen Vermessung des im Jahr 1774 errichteten und damit ältesten, frei stehenden Konzertsaals Europas wurde der direkte Einfluss der Bestuhlung und des Publikums auf die Nachhallzeit untersucht und mit anderen Konzertsälen verglichen. Im Rahmen eines Projektes mit dem Bezirksverein des VDI Münsterland wurden die raumakustischen Parameter der Bagno Konzertgalerie in Steinfurt sowohl im leeren als auch im bestuhlten und im voll besetzten Zustand vermessen. Die Ergebnisse zeigen, dass sich der Saal deutlich von anderen historischen und auch modernen Kammermusiksälen unterscheidet. Zwei maßgebliche Ursachen hierfür sind die konstruktive Gestaltung des Saales und die technische Ausführung der neuen Bestuhlung, welche im Rahmen der Modernisierung ohne gesonderte Berücksichtigung ihres raumakustischen Einflusses installiert wurde. Bei tiefen Frequenzen zeigte sich bei den Messungen mit Bestuhlung ein ausgeprägter Anstieg des Nachhalls, der auch mit Publikum im hohen Maße erhalten blieb. Andererseits wurde auch ein hohes Klarheitsmaß festgestellt, welches auf die vergleichsweise schmale Bauform des Saals zurückzuführen ist. Die vom Publikum beschriebenen guten akustischen Eigenschaften - intimer, ausgewogener und warmer Klang vor allem bei Soloinstrumenten - lassen sich damit auf die gemessenen akustischen Kennwerte zurückführen.

Mi. 15:00 Runder Saal Raumakustik 1

La Redoute Bonn - Bad Godesberg: zur Raumakustik eines der ersten Konzertsäle Ludwig van Beethovens

Klaus-Hendrik Lorenz-Kierakiewitz
Peutz Consult GmbH

Die 1790 bis 1792 erbaute klassizistische Redoute in Bad Godesberg, heute ein Stadtteil Bonns, ist ein Ballhaus des 81. Kölnischen Kurfürsten Max Franz für höfische Festlichkeiten. Dass der junge Ludwig van Beethoven darin musiziert hat und diesen Raum und seine raumakustischen Eigenschaften kannte, ist belegt, und dies zu einer Zeit, wo er bereits seine ersten Kompositionen verfasste. Als Angestellter der kurfürstlichen Hofkapelle konzertierte Beethoven mehrmals die Woche in der Redoute. Im Juli 1792 spielte Beethoven in diesem Saal dem aus London heimkehrenden Joseph Haydn vor, woraufhin dieser ihn als Meisterschüler in Wien annahm. Der heute so genannte Beethovensaal der Redoute ist im nahezu unveränderten Originalzustand erhalten. Auch in der jüngeren Vergangenheit fanden darin Konzerte mit klassischer Musik statt. Der Saal als Ballsaal der Frühklassik ist ein hochinteressantes raumakustisches Untersuchungsobjekt als einer der ersten Konzertsäle Beethovens. Mit Unterstützung des Betreibers Redoute Bonn GmbH wurden dort im August 2019 raumakustische Messungen gemäß DIN EN ISO 3382-1 im unbesetzten Zustand sowie mit Besetzungssimulation eines höfischen Konzertes durchgeführt. Zusätzlich wurden mit dabei gemessenen binauralen Impulsantworten und eigens dafür reflexionsarm aufgenommener Frühwerke Beethovens Auralisationen erstellt, welche den historischen Klang der Redoute hörbar machen sollen.

Mi. 15:20 Runder Saal Raumakustik 1

Konzertsaal für symphonische Konzerte und Unterhaltungsmusik: Doppelfunktionalität ohne Kompromisse

Martijn Vercammen und Margriet Lautenbach
Peutz bv

Ein vielfältiges Angebot an kulturelle Aktivitäten, wie symphonische Konzerte und Popkonzerte ist ein wichtiger Qualitätsaspekt einer Wohnumgebung: viele Städte möchten ihre Einwohner das bieten können. Vor allem die kleinere Städten haben jedoch nicht die Möglichkeit mehrere hochwertige Säle für unterschiedliche Musikarten zu finanzieren oder zu betreiben. Ein "Multifunktionalssaal" wird dann das Zauberwort was alle gewünschte Aktivitäten unterbringen soll, obwohl diese unterschiedliche Aktivitäten sehr, sehr unterschiedliche (akustische) Anforderungen mitbringen. Es ist dann auch nicht merkwürdig das viele von diese im Vergangenheit realisierte Kompromisssäle nicht zufriedenstellend sind.
In Arnheim wurde ein Saal mit variable Akustik ohne Kompromisse realisiert: anhand verfahrbare Schiebepanele können die schallreflektierende Wände in schallabsorbierende Wände geändert werden. In dieser Präsentation werden die unterschiedliche akustische Anforderungen der

Funktionen gegenübergestellt, werden die Gedanken und Untersuchungen im Planungsprozess erläutert, werden die Maßnahmen erklärt und werden die Messergebnisse gezeigt. Sowohl für Popmusik als für symphonisch Konzerte wurde die höchste Qualität erreicht. Bei Popmusik klinkt der Saal sehr direkt, mit abgemessen Bassdrum. Im Fall von symphonische Musik kombiniert der Saal ein hohe Klangwärme und Tonreichtum an ein hohe Durchsichtigkeit. Die besondere Klangerlebnis wird unterstützt durch die zweite Besonderheit dieser Saal: Durchsicht auf dem Park durch das große Fensterglas hinter die Bühne.

Mi. 15:40 Runder Saal Raumakustik 1

Präsentation der Poster, die dieser Sitzung zugeordnet sind (s.u.)

Sitzung „Raumakustik (Poster)“
Kurzvorträge: Mi. 15:40 (Runder Saal); Poster-Forum: Mi. 16:00

Di.-Do. Raumakustik (Poster)

Investigation of the influence of standing waves on distant speech emotion recognition

Juliane Höbel-Müller[a], Ingo Siegert[b], Martin Gottschalk[c] und Andreas Wendemuth[a]

[a] *OvG-Universität Magdeburg, Lehrstuhl Kognitive Systeme;* [b] *OvG-Universität Magdeburg, Mobile Dialogsysteme;* [c] *OvG-Universität Magdeburg, Abteilung Experimentelle Audiologie*

In distant speech emotion recognition, similar training and test conditions should be ensured. Otherwise, the recognition performance can decrease significantly. One influencing factor is room acoustics. We focused on standing waves in rooms as an essential factor in distant speech emotion recognition. Previous studies limited its investigation to certain speech features or compared bundled feature groups. In this study, the influence of standing waves on extracted emobase Low Level Descriptors and a distant speech emotion recognition system were investigated. We used EMO-DB, a database with high qualitative and emotionally coloured speech. To obtain signals influenced by standing waves and preferably little reverberation, EMO-DB was re-recorded in a small voice recording cabin. Signals for the baseline condition were re-recorded in an anechoic hall. Both room impulse responses, acoustic descriptors (T30, EDT, C50, D50) and cumulative spectra were analysed. Statistics were calculated to quantify the Low Level Descriptors' value differences between the ”anechoic hall” and cabin. Results of statistical analysis of the Low Level Descriptors were linked to room acoustic analysis. The baseline distant speech emotion recognition performance was obtained and compared to the recognition performance in the cabin.

Di.-Do. Raumakustik (Poster)

Neuartige variable Akustikelemente für musikalische Probenräume
Tobias Behrens[a], Björn Knöfel[b] und Hartmut Schirmer[c]
[a] *ADA - Acoustics & Media Consultants GmbH;* [b] *Fraunhofer IWU, Dresden;* [c] *Schirmer GmbH Beratende Ingenieure*
Bei musikalisch genutzten Räumen, insbesondere Probenräumen, ist der Wunsch der Nutzer bekannt, die raumakustischen Gegebenheiten variabel gestalten zu können. Dabei geht es, wie auch eine Befragung von Musikern zeigt, z.B. um frequenzspezifische Anpassungen der Nachhallzeiten oder auch akustische Auflösung bestimmter Reflexionsflächen. Am Markt vorhandene Lösungen sind dabei technisch, akustisch wie auch gestalterisch nicht immer praktikabel. Daher sind insbesondere bezüglich des mechanischen Aufbaus neuartige variable Akustikelemente in Entwicklung. Erste kleinformatige Funktionsmuster der Entwicklung wurden im Impedanzrohr und in der Hallkabine bezüglich ihres Absorptionsverhaltens vermessen. Die Ergebnisse flossen in die Erstellung raumakustischer Konzepte zur Implementierung in zuvor akustisch vermessenen realen musikalischen Probenräumen ein und können mittels speziell aufgebautem Ambisonic-"AcousticLab" auralisiert werden. Der Vortrag greift die Thematik der neuartigen variablen Akustikelemente auf und fasst die aktuellen Entwicklungsergebnisse zusammen.

Di.-Do. Raumakustik (Poster)

Directional Grouping of Decaying Modes in a Reverberation Room
Marco Berzborn und Michael Vorländer
RWTH Aachen, Institute of Technical Acoustics
The absorption coefficient estimation in a reverberation room according to ISO 354 implicitly assumes a diffuse sound field and a uniform damping of the room modes composing it. This requirement is violated when an absorbing specimen is mounted inside the room, resulting in decay curves with multi-exponential slopes. Based on an analytic model, Hunt [Hunt et al., 1939] showed that the multi-exponential slope of the decay curve can be calculated as a superposition of groups of the axial, tangential and oblique modes of vibration and their corresponding damping caused by the finite impedance at the respective room boundaries.
Using array processing we decompose the sound field in a reverberation room into plane waves, expanding the wave number spectrum. Based on the wave number spectrum we apply a grouping of the different modes and investigate their respective damping using the directional energy decay curve calculated as the Schroeder integral for the respective time domain plane wave density function.

Sitzung „Raumakustik 2“

Mi. 16:40 Runder Saal Raumakustik 2

Orchesterproberäume: Lautstärke vs Klang vs Balance

Margriet Lautenbach und Martijn Vercammen
Peutz bv

Ein symphonisches Orchester probt am besten in ihren ”eigen” Konzertsaal. Es gibt jedoch viele Fälle indessen das unmöglich ist wie bei Opernorchester, oder bei Konzerthäuser mit Mehrzwecknutzung. Um richtig gut proben zu können und auf Klangqualität, Balance und Gleichzeitigkeit zu achten, sollte die Probesituation der Konzertsituation sehr nähern. Die Wirklichkeit ist oft anders: der Probesaal ist durchaus viel kleiner als der Konzertsaal, aber soll trotzdem nicht zu laut sein, ein gute Frequenzrespons haben, frühe Reflexionen erzeugen und späte Nachhall sollte hörbar sein. Bei große Raumvolumen von 10.000 m3 oder mehr ist das gut realisierbar. Bei Raumvolumen unterhalb diese Ordnungsgröße wird von all diese Aspekte die Lautstärke am wichtigsten. Ein kleineres Proberaum resultiert in weniger Absorption, höhere Lautstärken, dadurch auch eine kürzere Hallradius und geringere Höhrbarkeit und eine andere Balance der andere Musiker. Dazu ist Gehörschäden bei Musiker immer ein wichtiges Thema: die Probesituation kann sehr stark beitragen an die Entwicklung von Gehörschäden. Im Moment macht eine ISO Arbeitsgruppe ein Standard für Proberäume worin diese Aspekte berücksichtigt werden. Anhand von 6 Beispiele von Orchesterproberäume für symphonische Orchester wird die Erfahrung bei der Planung und Realisation von Proberäume gezeigt und wird die Methodik der neue Norm erläutert.

Mi. 17:00 Runder Saal Raumakustik 2

Variationen raumakustischer Messungen in einem Unterrichtsraum

Ulrich Schanda und Sandra Dullinger
Technische Hochschule Rosenheim

Ziel einer Bachelorarbeit war es, die raumakustischen Verhältnisse eines von Lehrern einer Grundschule beanstandeten Unterrichtsraumes zu untersuchen und Maßnahmen zur Verbesserung der Raumakustik auszuarbeiten. Hierfür wurden Messungen der Nachhallzeit gemäß der DIN EN ISO 3382-2:09-2008 durchgeführt, ebenso Sprachverständlichkeitsmessungen gemäß DIN EN ISO 60282:08-2012. Um jedoch den Einfluss der Aufstellorte der Mikrofone, der Richtwirkung der Schallquelle sowie den Einfluss von anwesenden Kindern auf die Nachhallzeit zu erörtern, wurden etliche Varianten der Nachhallzeitmessung durchgespielt. Hierfür wurden auch kindähnliche Schallabsorptionsflächen (Norm-Kinder) entwickelt. Weiterhin erfolgte ein Vergleich des Sprachverständlichkeitsindex STI mit der Deutlichkeit D50 sowie insbesondere die Auswirkung der Einbringung von schallabsorbierenden Wandflächen auf etliche raumakustische Kenngrößen.

Mi. 17:20 Runder Saal Raumakustik 2

Wie leise sollte ein Konzertsaal sein?

Stefan Weinzierl
TU Berlin, Fachgebiet Audiokommunikation

Die Festlegung eines Grenzwerts für das technische Hintergrundgeräusch, etwa durch Klima-, Licht- und Medientechnik oder durch Außengeräusche, ist bei der Planung von Räumen für Musikaufführungen häufig ein kritischer Punkt. Einerseits soll die Aufführung nicht durch die Anwesenheit von technischen Geräuschen beeinträchtigt werden, andererseits sind strenge Grenzwerte eventuell mit hohen Kosten für die Bauakustik, die Auslegung der Lüftungsanlagen und die Auswahl der licht- und medientechnischen Systeme verbunden. Der Beitrag gibt einen Überblick über die gängigen Standards zur Charakterisierung von technischen Hintergrundgeräuschen und diskutiert auf der Grundlage von neuen Messungen zur Schallleistung von Publikum (Görlach & Weinzierl, DAGA 2020), welche Grenzwerte in Abhängigkeit von der Größe des Raums und des Publikums, sowie für verschiedene Szenarien wie Live-Konzerte und Tonaufnahmen, sinnvoll sind.

Mi. 17:40 Runder Saal Raumakustik 2

Die Messunsicherheit des Klarheitsmaßes bei raumakustischen Messungen

David Kliesch, Michael Vorländer und Ingo Witew
RWTH Aachen, Institute of Technical Acoustics

Basierend auf dem Messaufbau und der verwendeten Messtechnik lässt sich die Unsicherheit einer Impulsantwort bestimmen. Der Einfluss dieser Unsicherheit kann bei der Berechnung raumakustischer Parameter Einfluss auf das Resultat nehmen. Am Beispiel des Klarheitsmaßes kann so die Fortpflanzung der Unsicherheit der Impulsantwort bis hin zu der Gesamtunsicherheit des Parameters zurückverfolgt werden.

Eine abklingende Raumimpulsantwort fällt ab einem bestimmten Zeitpunkt unter den Pegel des Hintergrundrauschens und kann dort nicht mehr ausgewertet werden. Um möglichst exakte Resultate zu erzielen, wird die verdeckte Restenergie der Impulsantwort durch einen Korrekturterm nach Lyndeby et al. approximiert, und die Berechnung des Klarheitsmaßes wird durch diesen verfeinert.

Neben der Unsicherheitsdiskussion der Parameterberechnung muss dementsprechend auch eine Unsicherheitsdiskussion des Korrekturterms durchgeführt werden. Eine Kombination beider Ergebnisse liefert die Gesamtunsicherheit des Klarheitsmaßes.

Sitzung „Numerische Akustik 2“

Mi. 8:40 Raum 7 Numerische Akustik 2

Finite continuum elements in 2.5D

Holger Waubke, Wolfgang Kreuzer, Tomasz Hrycak und Sebastian Schmutzhard
Institut für Schallforschung, ÖAW

The goal of the project is the simulation of vibrations from trains in tunnels. The simulation is divided into two parts. The first part is the simulation of a horizontally layered anisotropic half-space and the second part is the simulation of the tunnel structure. It is assumed that the tunnel is straight and infinity long. Therefore, as Fourier transformation is used about time and the longitudinal axis. In the past 2.5D boundary, elements are derived for a layered anisotropic medium. Now, finite elements are presented in 2.5D for the simulation of the tunnel structure. A 3 node triangular element is derived for the tunnel shell and a beam element will be added for the simulation of the rail. The load will be a moving vibrating force as a part of a high speed train. The effect of several axis can be simulated by a superposition of incoherent loads using shifts in space that lead to a modulation in the wave-number domain.

Mi. 9:00 Raum 7 Numerische Akustik 2

Gaussprozessbasierte Ersatzmodelle für komplexe akustische Simulationen

Thomas Kohlsche, Otto von Estorff und Stephan Lippert
Techn. Universität Hamburg, Institut für Modellierung und Berechnung

Das Ersetzen von rechenintensiven numerischen Simulationen durch günstigere Surrogate-Modelle ist bei Anwendungen mit vielen Simulationsdurchläufen, wie bei einer Optimierung oder bei einer Unschärfequantifizierung, gängige Praxis. Das Surrogate dient als ein mathematisches Ersatzmodell, welches aus einer verhältnismäßig geringen Datenmenge eine Approximation der komplexen Simulation bildet. Neben weit verbreiteten simplen Ansätzen wie linearer Regression oder Interpolation existieren auch weitaus komplexere Techniken aus dem Bereich des ”Machine Learnings”. Hierbei zeigen vor allem probabilistische Modellierungsansätze großes Potential. Stochastikbasierte Techniken wie Gaussprozesse (Kriging) bieten neben einer großen Flexibilität und Dateneffizienz die Möglichkeit, verschiedene Datenquellen und individuelles Wissen des Modellierenden zu berücksichtigen. Numerische Modelle in der Akustik sind in der Regel recht rechenintensiv, was den Einsatz von Surrogates motiviert. Gleichzeitig sind die modellierten Systeme jedoch hoch komplex und das Generieren von Daten zum Trainieren des Surrogates ist kostspielig, was eine besondere Herausforderung darstellt. Der vorliegende Beitrag zeigt den Einsatz von Gaussprozessen als Surrogate für komplexe akustische Simulationen. Insbesondere die

Integration verschiedener Datenquellen, wie z.B. vereinfachten (low fidelity) Modellen oder Messdaten, und der Umgang mit möglichen Unstetigkeiten durch Resonanz- oder Interferenzphänomene wird diskutiert und an einem akustischen Innenraumproblem demonstriert.

Mi. 9:20 Raum 7 Numerische Akustik 2

Krylov Subspace Model Order Reduction for Aircraft Cabin Noise Investigation

Julius Schultz[a], Christopher Blech[b], Ulrich Römer[a], Matthias Bollhöfer[c] und Sabine C. Langer[b]

[a] *TU Braunschweig, Institut für Dynamik und Schwingungen;* [b] *TU Braunschweig, Institut für Akustik;* [c] *TU Braunschweig, Institut Computational Mathematics*

For the development of future aircraft, an analysis of the sound pressure level inside the passenger cabin is one major aim. In this work, a generic aircraft cabin is modelled as a strongly coupled vibroacoustic system excited by a distributed frequency-dependent pressure load on the outer skin. A wave-resolving finite element approach then leads to a large linear system. Solving such a linear system many times to determine frequency response functions or perform parameter studies is computationally challenging.

Hence, in this work moment-matching Model Order Reduction (MOR) methods, specifically, Krylov subspace Model Order Reduction (KMOR) methods are investigated in order to reduce the computational costs. KMOR methods only require a solution of the full order model at certain points in the parameter space to construct a projection subspace that yields a moment-matching property of the full and reduced order transfer function.

The work shows the great potential of KMOR methods by analysing the performance and the accuracy of the algorithm for a plate, a plate coupled with a cavity and a generic aircraft cabin model. In addition, a correlation of the modal density and the ROM size is observed and the extendibility of the approach to parametrised MOR is highlighted.

Mi. 9:40 Raum 7 Numerische Akustik 2

Optimierung eines Multi-Input-Modellreduktionsverfahrens zur effizienten Vorhersage der abgestrahlten Schallleistung von Elektromotoren

Martin Eser[a], Caglar Gürbüz[a], Marold Moosrainer[b] und Steffen Marburg[a]

[a] *TU München, Lehrst. für Akustik mobiler Systeme;* [b] *CADFEM GmbH*

Elektromotoren weisen unter bestimmten Betriebsbedingungen eine hohe Geräuschemission auf. Dieser sogenannte elektromagnetische Lärm ist im Entwicklungsprozess des Motors zu berücksichtigen, um den Komfort des Anwenders im Betriebszustand zu gewährleisten.

Die abgestrahlte Schallleistung eines Elektromotors kann über drei sequentielle, schwach gekoppelte Finite Elemente Simulationen - eine elektromagnetische, eine stukturdynamische und eine akustische Simulation - numerisch bestimmt werden. Es wird ein Modellreduktionsverfahren auf Basis der Moment-Matching-Methode mit Krylov-Unterräumen eingesetzt. Hierdurch wird der Rechenaufwand für das akustische System, der bei höheren Frequenzen steigt, reduziert. In diesem Beitrag wird ein optimiertes Reduktionsverfahren vorgestellt, welches die Strukturmoden des Motorgehäuses als Eingänge für die Berechnung unabhängiger Krylov-Unterräume verwendet. Jeder Unterraum wird mit Hilfe eines Arnoldi-Algorithmus zweiter Ordnung berechnet. Der Berechnungsaufwand des reduzierten Modells skaliert jedoch mit der Anzahl der Eingänge sowie mit der Ordnung der entsprechenden Unterräume. Das optimierte Reduktionsverfahren beinhaltet deshalb eine automatisierte Auswahl der zu berücksichtigenden Strukturmoden, um die Anzahl an Eingängen so gering wie möglich zu halten. Durch eine parallelisierte Berechnung der Unterräume wird eine zeiteffiziente Bestimmung des reduzierten Modells ermöglicht. Hiermit kann die abgestrahlte Schallleistung in geringer Rechenzeit in einem vorgegebenen Frequenzspektrum berechnet werden.

Mi. 10:00 Raum 7 Numerische Akustik 2

Reduzierte Modellierung von Verkleidungen zur Vorhersage des Schalldrucks im Fahrzeuginnenraum

Kai Bahrke[a], Lukas Berk[b], Christian Adams[a] und Tobias Melz[a,c]
[a] *TU Darmstadt, Fachgebiet SAM;* [b] *BMW Group;* [c] *Fraunhofer LBF*

Mit stetig steigendem Komfort im Fahrzeug gewinnt die Akustik im Fahrzeuginnenraum immer mehr an Bedeutung. Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit und der Leichtbauoptimierung wird bestrebt, die Innenraumgeräusche so genau wie nötig zu prognostizieren. Die notwendige Rechenkapazität der numerischen Simulation steigt jedoch mit zunehmender Komplexität des Fahrzeugmodells. Daher werden Innenverkleidungen im Fahrzeug bislang stark vereinfacht oder gar vernachlässigt, was zu Abweichungen in der Vorhersage des Schalldrucks im Innenraum und zu teuren Nachbesserungsmaßnahmen führt. Mittels einer reduzierten Modellierung soll die Komplexität der Modelle von Fahrzeuginnenverkleidungen verringert werden. In diesem Beitrag wird die Patch-Transfer-Funktion (PTF) vorgestellt, mit der ein gekoppeltes akustisches Problem in mehrere Teilsysteme zerlegt werden kann. Die Fläche zwischen zwei gekoppelten Teilsystemen besteht aus Elementarflächen, sogenannten Patches. Für jeden Patch wird die PTF ermittelt und anschließend zu einer Transferfunktion des Teilsystems zusammengesetzt. Aus einer Superposition der Körperschall- und Luftschall-Transferpfade lässt sich der Schalldruck im Innenraum vorhersagen. Die PTF wird an einer gelenkig gelagerten Rechteckplatte numerisch angewendet, zuerst ohne und anschließend mit einer direkt aufgebrachten Verkleidung konstanter Dicke. Die Platte ist auf einer Akustikbox angebracht, sodass sich an das

Messobjekt eine Kavität ähnlich des Innenraums eines Fahrzeugs anschließt, in der der Schalldruckpegel gemessen wird. Die durchgeführte FE-Simulation wird zukünftig durch experimentelle Daten validiert.

Mi. 10:40 Raum 7 Numerische Akustik 2

Effizienzsteigerung eines CFD-BEM Workflows durch Block-Krylow-Unterraumverfahren

Christopher Jelich[a], Mahmoud Karimi[b] und Steffen Marburg[a]

[a] *TU München, Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme;* [b] *Centre for Audio, Acoustics and Vibration, University of Technology Sydney*

Die Reduzierung von strömungsinduziertem Schall ist ein wichtiges Forschungsgebiet. Als Beispiel sei hier die Umströmung von Tragflächen genannt. Sowohl an der Vorder- als auch an der Hinterkante kommt es zur Schallentstehung in signifikantem Ausmaß. Um diese zu reduzieren können unterschiedliche Maßnahmen wie geometrische Modifikationen an den jeweiligen Kanten vorgenommen werden. Die Effektivität dieser Modifikationen wird üblicherweise zunächst numerisch untersucht. In Zeiten immer kürzerer Entwicklungsprozesse ist man bemüht, diese numerischen Untersuchungen effizienter zu gestalten.
Unter diesem Hintergrund wird in dieser Arbeit ein validierter CFD- BEM Workflow zur Berechnung von strömungsinduziertem Schall durch die Anwendung eines Block-Krylow-Unterraumverfahrens beschleunigt. Innerhalb des Workflows wird basierend auf einer RANS Simulation zunächst die Anregungen für die nachfolgende akustische Berechnung mithilfe eines semi-analytischen Ansatzes bestimmt. Unter Verwendung der Randelementmethode (BEM) wird dann der akustische Druck auf der Oberfläche gelöst. Da für den semi-analytischen Ansatz mehrere Realisationen berücksichtigt werden, müssen die akustischen Simulationen für eine entsprechende Anzahl an Anregungen durchgeführt werden. Anhand eines numerischen Beispiel wird gezeigt, dass hierbei die Verwendung von Block-Krylow-Unterraumverfahren zu einer signifikanten Reduzierung der Rechenzeit führt.

Mi. 11:00 Raum 7 Numerische Akustik 2

Charakterisierung eines aktiven Backscatter Modells in VLES anhand der Vorflügel-Schallabstrahlung bei einem 3-Element-Hochauftriebsflügel

Dirk Heitmann und Roland Ewert

DLR, Inst. für Aerodynamik und Strömungstechnik, Braunschweig

Ein aktives Backscatter Modell zur Verwendung in VLES wurde entwickelt. Die VLES wird mittels eines hybriden Ansatzes basierend auf RANS und CAA mit stochastischen Quellen realisiert. Das aktive Backscatter Modell zielt darauf ab, mehr physikalische Effekte als ein rein dissipatives Subfiltermodell zu berücksichtigen, indem die turbulente Produktion von nicht aufgelösten Skalen sowie deren Interaktion mit aufgelösten Skalen berücksichtigt werden. Dies könnte eine Reduzierung der notwendigen Gitterauflösung ermöglichen.

In dieser Arbeit wird das Backscatter Modell anhand der Strömungstopologie und Schallabstrahlung bei einem 3-Element Hochauftriebsflügels charakterisiert. Dazu werden Simulationen mit und ohne Backscatter Modell vorgestellt. Auch auf den Effekt eines verfeinerten Gitters wird eingegangen. Die Ergebnisse werden mit diversen veröffentlichten numerischen und experimentellen Untersuchungen an der gleichen Geometrie verglichen. Dies ermöglicht die Charakterisierung des Subfiltermodells hinsichtlich möglicher Vorteile und vorhandener Limitierungen.

Mi. 11:20 Raum 7 Numerische Akustik 2

Strahlgeräuschvorhersagen mittels Forced Eddy Simulation für flache Rechteckdüse

Andrej Neifeld und Roland Ewert
DLR, Inst. für Aerodynamik und Strömungstechnik, Braunschweig

Bei dem Vortrag werden Akustikvorhersagen für einen Einfachstrahl mit rechteckiger Düsengeometrie und einer Machzahl von 0.85 diskutiert. Zur direkten Geräuschvorhersage wird eine skalenauflösende Methode, die sogenannte "Forced Eddy Simulation" (FES), eingesetzt, wo die Navier-Stokes Gleichungen in Form nichtlinearer Störungsgleichungen (NLDE) auf strukturierten Gittern gelöst werden. Der aufgelöste FES-Bereich beschränkt sich auf ein kleineres Teilgebiet der RANS Lösung, die eine zeitgemittelte Hintergrundströmung vorgibt. Daher kann dieser Ansatz zu den zonalen RANS/LES Verfahren zugeordnet werden. Zusätzlich wird bei dem Verfahren die Fast Random Particle Mesh Methode (FRPM) eingesetzt, die durch den "Backscatter"-Mechanismus ein aktives "Subgridscale" (SGS) Modell realisiert. Dabei wird von FRPM der Anteil der turbulenten Produktion nichtaufgelöster Skalen mittels stochastischer Anregung in den Energiegehalt des aufgelösten Bereichs eingebracht.

Mit der oben beschriebenen Methode lassen sich skalenauflösende Rechnungen auf vergleichsweise groben Gittern durchführen. Um die offenen Fragestellungen bezüglich des Konvergenzverhaltens in Abhängigkeit von der Gitterauflösung zu untersuchen, wird für diese Konfiguration die Auflösung sukzessiv verfeinert. Dabei soll auch ermittelt werden bis zur welchen Auflösungsgrenze das aktive SGS Modell vom Vorteil ist und ab welcher Auflösung rein dissipatives SGS Modell ausreichend ist. In dieser Hinsicht ist eine isolierte rechteckige Düsengeometrie gut geeignet, da die Variation der Auflösung relativ einfach angepasst werden kann.

Sitzung „Technik und Methoden für den Luftultraschall: Quantitative und qualitative Analyse“

Mi. 13:40 Raum 7 Technik und Methoden für den Luftultraschall

Luftschallbasierte Leckagendetektion

Judith Liebetrau[a], Jakob Kirner[a], Sascha Grollmisch[a] und Joachim Bös[a,b]

[a] *Fraunhofer IDMT;* [b] *TU Ilmenau, Industrielle Anwend. von Medientechnologien*

Druckluft wird in vielen Industriezweigen eingesetzt und zählt zu den teuersten Betriebsmitteln von Industrieanlagen. Durchschnittlich 10 % des gesamten Energieverbrauchs und je nach Standort oder Technologie, sogar bis 90 % wird für die Aufrechterhaltung des Drucks verwendet. Eine effiziente Detektion und Beseitigung von Leckagen und Undichtigkeiten gehen daher mit Kosteneinsparungen durch verminderten Energieaufwand und erhöhte Betriebssicherheit einher. Einige Verfahren der Dichtigkeitsmessung basieren auf der Messung von Schallemissionen. Im Bereich der luftschallbasierten Leckagendetektion setzt man unter anderem auf das bloße Gehör von geschultem Personal oder auf Verfahren außerhalb des hörbaren Bereichs mittels Ultraschall. In diesem Vortrag wird die Möglichkeit einer luftschallbasierten Leckagendetektion im hörbaren Frequenzbereich unter Nutzung von künstlichen neuronalen Netzen vorgestellt. Die Planung, Durchführung und Auswertung von systematischen Experimenten in Laborbedingungen wird präsentiert. Geräusche einer einstellbaren Leckage an einer pneumatischen Vorrichtung wurden in unterschiedlichen Abständen mit und ohne Hintergrundschall aufgenommen. Diese Daten wurden mit Hilfe eines neuronalen Netzes analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Leckagedetektion mittels Luftschall im hörbaren Bereich unter Verwendung von maschinellen Lernverfahren generell möglich ist. Die Erkenntnisse sollen zur Entwicklung von Algorithmen genutzt werden, welche es ermöglichen, entweichende Prozessluft berührungslos durch den Einsatz von Mikrofonen zu erkennen und somit die Leckagedetektion zu unterstützen.

Mi. 14:00 Raum 7 Technik und Methoden für den Luftultraschall

Luftgekoppelte Ultraschallwandler für zerstörungsfreie Prüfung

Mate Gaal, Daniel Hufschläger und Klaas Bente

BAM Berlin

Handelsübliche Luftultraschallwandler für zerstörungsfreie Prüfung bestehen aus Piezokompositen und Anpassschichten zur Verringerung des Impedanzsprungs zwischen den Piezokompositen und der Luft. Dieser Beitrag ist eine Übersicht von anderweitigen Ansätzen zur Ultraschallerzeugung und - messung in Luft.

Es werden neue piezoelektrische Materialien und selten verwendete physikalische Prinzipien der Erzeugung und Messung von Ultraschall in Luft dargestellt. Der Schwerpunkt wird auf Ferroelektrete, thermoakustische Wandler und plasma-basierte Wandler gelegt. Ferroelektrete sind polarisierte zelluläre Polymere mit piezoelektrischen Eigenschaften und weisen eine sehr geringe akustische Impedanz auf, welche eine gute Anpassung an das Transportmedium ermöglicht. Ferroelektret-Wandler erreichen dabei ungefähr dieselbe Bandbreite wie handelsübliche Luftultraschall-Wandler, aber eine höhere Empfindlichkeit. Thermoakustische Wandler wandeln thermische Energie in die akustische um und erreichen Bandbreiten weit über den Ultraschallbereich hinaus. Die neuesten Luftultraschall-Wandler basieren auf Plasma. Plasmaakustische Sender arbeiten auch nach dem thermoakustischen Prinzip, aber erzeugen durch die Auslenkung von Ionen ebenfalls eine akustische Welle. Das breitbandige Spektrum von thermoakustischen und plasma- basierten Wandlern eröffnet neue Möglichkeiten für kontaktfreie Ultraschallspektroskopie.

Mi. 14:20 Raum 7 Technik und Methoden für den Luftultraschall

Schallfeldformung in Luft mit Linear-Array-Ultraschallwandlern

Andreas Bodi[a], Tobias Gautzsch[a], Mario Kiel[b] und Stefan Scheunemann[b]

[a] *Sonotec GmbH;* [b] *Forschungszentrum Ultraschall gGmbH*

In den letzten Jahren wurden erste Phased Array Verfahren für Luftultraschall entwickelt. So wurde ein erstes Prüfverfahren mit einem Annular Array zur elektronischen Fokussierung realisiert. Einen weiteren interessanten Ansatz zeigt der Aufbau eines Annular Array Prüfkopfes mit bis zu 4 unterschiedlichen Frequenzen, zur Erhöhung der Bandbreite und somit zur Verbesserung der Signalcharakteristik. In beiden Verfahren sind die Schwingerelemente ringförmig um einen zentralen Punkt angeordnet. Das Schallfeld hat einen ausgeprägten natürlichen Fokus entlang der Schallachse. In dieser Arbeit soll ein neuartiger Multi-Element-Luftultraschallwandler vorgestellt werden. Der entwickelte Prüfkopf hat 16 linear angeordnete Schwingerelemente mit einem Pitch von 2mm und einer Mittenfrequenz von 400 kHz. Erste Labormessungen haben gezeigt, wie sich das Schallfeld an realen Testproben verhält und welche applikativen Möglichkeiten sich aus der Schallfeldformung ergeben. Anhand ausgewählter Testproben wird die Leistungsfähigkeit des Verfahrens demonstriert. In einem Ausführungsbeispiel wird gezeigt, wie die Prüfgeschwindigkeit und damit die Prüfeffizienz durch die Kombination eines Linearscans des Multielementwandlers in Verbindung mit der mechanischen Bewegung des Prüflings oder der Probe gesteigert werden kann. Neben der Betrachtung der Prüfgeschwindigkeit wird auch die Prüfqualität betrachtet. Es sollen erste Ergebnisse zur Schallfeldformung in Bezug auf Fokussierungen untersucht und dargestellt werden.

Mi. 14:40 Raum 7 Technik und Methoden für den Luftultraschall

Charakterisierung von Luftultraschallfeldern für den Arbeitsschutz

Christoph Kling[a], Robert Schöneweiß[a], Andrea Wolff[b] und Christian Koch[a]

[a] *Physikalisch-Technische Bundesanstalt;* [b] *Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzl. Unfallversicherung*

An Arbeitsplätzen stellt Lärm im Ultraschallbereich ein zunehmendes Problem dar. Beispiele sind Arbeitsplätze an Ultraschallschweißmaschinen, -schneidemaschinen oder auch an einfachen Druckluftpistolen. Die Risikobewertung für den Arbeitsschutz wird gemäß VDI 3766 mit Methoden vorgenommen, die der Lärmbewertung im Hörschallbereich entnommen sind und nur wenig an die Besonderheiten des Ultraschalls angepasst sind. Als Folge davon werden in der Praxis von Arbeitsschützern immer wieder Schwierigkeiten bei der Anwendung der Methode berichtet. Dies war Anlass für nähere Untersuchungen im Projekt Ears2 "Metrology for modern hearing assessment and protecting public health from emerging noise sources", das im Rahmen des europäischen EMPIR-Programms gefördert wurde. Für detaillierte Untersuchungen an einer typischen Quelle wurde ein Referenzarbeitsplatz im Labor aufgebaut und das Schallfeld in hoher räumlicher Auflösung vermessen. Die Rohdaten dieser Schallfeldscans wurden einer eingehenden Analyse unterzogen, um Parameter für eine Charakterisierung von Luftultraschallfeldern zu identifizieren und schließlich eine verbesserte Lärmmessmethode abzuleiten. Der Vortrag stellt die gefundenen Parameter und Ihre Anwendung vor. Sie erlauben eine verbesserte quantitative Beschreibung der besonderen Eigenschaften von Luftultraschallfeldern und eine klare Abgrenzung zu Methodiken im Hörschall. Dabei wird auch der Einfluss des Arbeiters selbst auf das Schallfeld betrachtet.

Mi. 15:00 Raum 7 Technik und Methoden für den Luftultraschall

Approaching Higher Frequencies - Quantitative Evaluation of Air-Coupled UT Transmitters

Ralf Steinhausen[a], Mario Kiel[a], Stefan Scheunemann[a] und Klaus-V. Jenderka[b]

[a] *Forschungszentrum Ultraschall gGmbH;* [b] *Hochschule Merseburg*

In air-coupled ultrasonic testing the signal quality depends strongly on the performance of the transducers but their characterisation is still a challenge. There are strong limitations of the measurement equipment. Not only microphones but also well-defined sound sources in the necessary frequency range above 100 kHz are not yet available. Additionally, absolute values of the sound pressure are hardly evaluable with electromechanical transducers. In this paper the application of optical methods for the characterisation of air-borne ultrasound transmitters is discussed. Results of sound field measurements using an optical microphone (Xarion) and a scanning laser vibrometer (Polytec) are presented.

Both methods base on the relation between air density and the corresponding light velocity. Therefore, an optical detection of air-pressure variations and the visualisation of the sound wave is possible. Although the spatial resolution of the optical microphone is in the millimetre range it requires additional mechanical scan equipment. In contrast, the vibrometer provides internal scanning. Thus, less mechanical components are required but the signal is proportional to the integrated pressure over the actual measurement axis. However, the results can be compared to each other by recalculation the data. The adaption for the qualitative and quantitative characterisation of ultrasound transmitters is discussed.

Mi. 15:20 Raum 7 Technik und Methoden für den Luftultraschall

Verfahren zur Berechnung von Materialkennwerten aus Luftultraschalldaten

Sebastian Wöckel
ifak, Messtechnik und Leistungselektronik, Magdeburg

Die Messung mit luftgekoppelten Ultraschall in Kombination mit modernen KI-Verarbeitungstechniken stellt einen Entwicklungstrend in der modernen eingriffsfreie und kontaktfreie Materialprüfung dar. Unter Nutzung dieser Verfahren lassen sich, auch mit typischer Wandlertechnik, die effektiv auf einen Bereich kleiner als 1 MHz beschränkt ist, Materialfehler unterhalb der Wellenlänge auflösen oder unbekannte Materialeigenschaften mit einem absoluten Fehler kleiner als $<1\%$ bestimmen. Der vorliegende Beitrag stellt die Anwendung eines evolutionären Algorithmus zur akustischen Charakterisierung insbesondere von verdeckten Schichten vor. Es wird gezeigt, dass, nahezu unabhängig vom verwendeten Luftschallsystem, die inverse Berechnung von Materialparametern aus konventionellen Ultraschallsignalen möglich ist. Das Verfahren wird mit Labordaten einer Transmissionsmessung an verklebten Dreischichtproben mit Klebeschichten einer Dicke von wenigen Mikrometern verifiziert.

Sitzung „Numerische Akustik 3“

Mi. 16:40 Raum 7 Numerische Akustik 3

Parallel Simulation of Sound Particles on Graphics Cards

Jochen Schaal und Thomas Judd
SoundPLAN GMBH

In the last two decades there has been increasing use of computer hardware traditionally associated with graphics processing in the context of scientific computing. The higher level of parallelisation that is possible with these architectures compared with traditional methods can lead to significant speed-ups and represents a potential opportunity for acoustic simulation software. Here we consider an implementation of a sound particle algorithm (including diffraction) that allows end-users to run mass-parallel geometric acoustics simulations simultaneously on

central processing units and graphics cards. Calculations for sound intensity levels and room acoustic parameters are presented. Depending on the situations we consider, some speed-ups run to orders of magnitude. We discuss general practical issues regarding the implementation such as code design, memory management, optimisations and load-balancing multiple computer devices. We also discuss how other noise algorithms might benefit from these methods.

Mi. 17:00 Raum 7 Numerische Akustik 3

Interaktion akustischer Metaatome und der Einfluss von unsicheren Parametern

Felix Kronowetter, Kian K. Sepahvand und Steffen Marburg
TU München, Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme

Die Funktionsweise von Metamaterialien basiert auf zahlreichen physikalischen Phänomenen. In diesem Vortrag wird die Interaktion zweier oder mehrerer nebeneinanderliegender untersucht. Unterschiedliche geometrische Metaatome werden simuliert und analysiert. Die entkoppelten Außenraummoden werden mit Hilfe der Methode der infiniten Elemente ermittelt und das Einfügedämmmaß bestimmt. Die Modellierung erfolgt mit einer vollen Akustik-Struktur-Kopplung um den Einfluss von Strukturschwingungen zu berücksichtigen. Zuletzt werden einzelne physikalische sowie geometrische Variablen als unsicher angenommen und die Auswirkung auf die Systemantwort dargestellt.

Mi. 17:20 Raum 7 Numerische Akustik 3

Schallpegel und Nachhallzeit mit Boundary Element Method und Radiosity Method - ein Vergleich

Christian Steuck und Uwe Stephenson
HafenCity Universität Hamburg

Boundary Element Method (BEM) und die aus der Computergrafik stammende Radiosity Method (RadM) sind bewährte Methoden der Schallfeldberechnung in Innenräumen mit grundsätzlich unterschiedlichen Ansätzen und für unterschiedliche Frequenzbereiche: Die BEM liefert für tiefe Frequenzen phasenrichtige Schalldruckamplituden und berücksichtigt Wellenbeugung, die RadM als geometrische Methode basiert auf einem Energiegleichgewicht bei hohen Frequenzen und liefert Schallintensitäten. Ein Vergleich der Methoden ist interessant, denn beide werden durch mathematisch gleich strukturierte Integralgeichungen beschrieben, die durch Diskretisierung gelöst werden (BEM: Kirchhoff'sche Gleichung für den Schalldruck, RadM: Kuttruff'sche Gleichung für die Bestrahlungsstärke); ferner nutzen beide die gleiche Datenstruktur, nämlich eine Unterteilung der Raumoberfläche in viele Flächenelemente und je eine Matrix, die die geometrische Beziehung zwischen diesen Elementen beschreibt. In der BEM resultieren Absorption und Streuung

aus vorgegebenen Wandimpedanzen, in der RadM dagegen werden Absorptionsgrade vorgegeben, die Reflexionen sind, bedingt durch den Ansatz, immer diffus (Streugrad 100%). Verglichen werden die berechneten Schallpegel und Nachhallzeiten und deren Homogenität aus beiden Methoden und der Sabine'schen Formel in konvexen und nichtkonvexen Räumen. Weiterhin wird der Einfluss der räumlichen Verteilung der Absorptionsgrade untersucht. Bei der BEM werden diffuse Reflexionen durch Sprünge in der Wandimpedanz realisiert. Schließlich werden die Ergebnisse mit Messwerten aus einem realen Hallraum verglichen.

Mi. 17:40 Raum 7 Numerische Akustik 3

Berechnung von Transferfunktionen über einen Frequenzbereich im akustischen Außenraum mit Fluid-Struktur-Kopplung

Christopher Sittl[a], Marcus Wagner[a] und Steffen Marburg[b]

[a] *OTH Regensburg, Labor FEM;* [b] *TU München, Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme*

Bei der Berechnung von Transferfunktionen, bei technischen Anwendungen, ist eine Lösung über einen Frequenzbereich notwendig. Hierbei sind Methoden von Interesse, welche eine Lösung über einen breiten Frequenzbereich bieten. Eine Möglichkeit ist die Anwendung der Padé-via-Lanczos-Verknüpfung, bei welcher eine Padé-Approximation der Transferfunktion über ein reduziertes Modell bestimmt wird. Die Padé-via-Lanczos-Verknüpfung mit deren Erweiterung auf mehrere Eingangs- und Ausgangsgrößen, wird in dieser Arbeit für die Berechnung im akustischen Außenraum verwendet. Als nicht reflektierende Randbedingung wird die Dirichlet-to-Neumann Randbedingung verwendet. Ausgehend von einer Diskretisierung durch Finite-Elemente, soll die Effektivität der Methode für Fluid-Struktur-Kopplung aufgezeigt werden. Dabei werden Berechnungszeit und Anwendbarkeit im Vergleich zu einer konventionellen Methode, bei der eine Lösung für jede Frequenzstützstelle explizit berechnet wird, aufgezeigt. Bei der konventionellen Methode finden die sogenannten perfekt absorbierenden Schichten (PML) Verwendung, um die Schallabstrahlung ins akustische Fernfeld zu modellieren. Bei der vorgestellten Methode wird eine einfache proportional Dämpfung für die Struktur verwendet, um auch die Stabilität der Methode zu verbessern. Weiterhin werden die Ergebnisse der Berechnung mit akustischen Messungen verglichen und eine Möglichkeit aufgezeigt, die Methode auf mehrere Strahler zu erweitern.

Mi. 18:00 Raum 7 Numerische Akustik 3

Numerische Modellierung der Schallausbreitung im menschlichen Vokaltrakt

Pascal Hahn[a], Mario Fleischer[b] und Stefanie Retka[a]
[a] *Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt;* [b] *Charité Universitätsmedizin Berlin*

Die Ausbreitung des Schalls im menschlichen Vokaltrakt wird maßgeblich von dessen Geometrie und vorhandenen Randbedingungen beeinflusst. Dabei spielt die lokale Verteilung von verschiedenen akustischen Impedanzen im Vokaltrakt eine wichtige Rolle. So unterscheidet sich die Schallimpedanz im Rachenraum deutlich von der in der Mundhöhle. Ausgehend von diesen Beobachtungen geht es in diesem Beitrag um die Formulierung einer akustischen Impedanz, die eine Funktion vom Ort in einem geschlossenen Gebiet darstellt. Ziel ist es, mit Hilfe der Ortsabhängigkeit der Impedanz, das Auftreten bestimmter Eigenfrequenzen abzuschwächen bzw. zu unterdrücken. Die Berechnung der Schallausbreitung erfolgt unter Anwendung der Helmholtz-Gleichung und eines zunächst stark vereinfachten FEM - Modells des Vokaltrakts in Python, welches mit Hilfe der Python Akustik Bibliothek FEniCS numerisch umgesetzt wird. Für die Formulierung der Impedanz Z in Abhängigkeit des Ortes, wird eine Geometrie in verschiedene Gebiete unterteilt und das Medium Luft an einem Punkt mit konstantem Schalldruck angeregt. Der Schallwiderstand unterscheidet sich in jedem Gebiet, wobei ein Gebiet eine Impedanz Z aufweist und die anderen Gebiete schallhart sind. Es zeigt sich, dass sich der Schalldruck beim Auftreten der gleichen Eigenfrequenzen, um 65 % unterscheiden kann in Abhängigkeit des Ortes der Impedanz. Ebenfalls führt der Ort der Impedanz zu unterschiedlichen Abschwächungen der auftretenden Eigenfrequenzen.

Sitzung „Technische Akustik 1“

Mi. 9:20 Raum 8 Technische Akustik 1

Messtechnische Charakterisierung und dynamische Simulation von Kunststoffbauteilen

Tom Georgi[a], Jan Troge[a], Burkhard Kranz[a] und Jan Diemert[b]
[a] *Fraunhofer IWU;* [b] *Fraunhofer ICT*

Die Betriebsgeräusche von Elektrogeräten und elektrischen Kleinantrieben sind häufig unangenehm und laut. Klassische Maßnahmen für eine verbesserte Akustik sind vor allem aufgrund des eingeschränkten Bauraums oft nicht voll-umfänglich umsetzbar. Bei den meisten dieser Produkte sind zahlreiche Kunststoffbauteile integriert, deren Auslegung und Konstruktion gegenwärtig vor allem auf Funktionalität und Design beruht. Kunststoffe besitzen im Vergleich mit vielen anderen Materialien eine höhere innere Dämpfung und eine geringere dynamische Steifigkeit. Sie bieten daher hohes Potential hinsichtlich der Lärm-

und Schwingungsminderung entsprechender Produkte sowie für deren gezielte vibro-akustische Auslegung. Im Rahmen des Fraunhofer-Eigenforschungsprojektes"PolymerAkustik" der Fraunhofer-Institute IBP, ICT, IWM und IWU werden u.a. verschiedene Kunststoffmaterialien hinsichtlich ihres Dämpfungsverhaltens und ihrer elastischen Materialparameter charakterisiert. Die messtechnischen Untersuchungen erfolgen frequenzabhängig anhand von einfachen Probengeometrien und unter Variation des Feuchtegehalts der jeweiligen Materialien. Die Ergebnisse dienen anschließend als Materialparameter für dynamische Simulationsrechnungen von komplexeren Kunststoffbauteilen. In diesem Beitrag werden der messtechnische Aufbau zur Charakterisierung von Kunststoffmaterialien und die entsprechenden Ergebnisse vorgestellt. Hierbei wird insbesondere der Einfluss des Feuchtegehalts auf die innere Dämpfung betrachtet. Die Ergebnisse der Simulationsrechnungen von Kunststoffbauteilen werden mit Messergebnissen vergleichend gegenübergestellt und bewertet.

Mi. 9:40 Raum 8 Technische Akustik 1

Messtechnische Charakterisierung geschlossenzelliger Aluminiumschaumstrukturen

Rico Schmerler, Jan Bräunig und Eric Hensel
Fraunhofer IWU

In zahlreichen Baugruppen bis hin zu Gesamtfahrzeugen sind heutzutage zusätzliche Dämpfungselemente verbaut, um bspw. die akustische Güte zu verbessern. Unter diesem Aspekt sind gerade Metallschaumkomponenten prädestiniert, um bei geringer Masse und hoher Steifigkeit zusätzlich die Systemdämpfung zu erhöhen. Entsprechend gibt es bereits erste Anwendungen von Metallschaumkomponenten in Werkzeugmaschinen, wo solche Strukturen sehr werkzeugnah eingesetzt werden. Durch die Infiltration von Phasenwechselmaterial (PCM) in diese Strukturen lassen sich zusätzlich einstellbare thermische Funktionalitäten abbilden, wie beispielsweise Speicherung überschüssiger Wärmeenergie. Aufgrund der hohen spezifischen Festigkeiten und Steifigkeiten, Dämpfungseigenschaften sowie Energieabsorptionsvermögen der Schaumstrukturen stehen diese aktuell im Fokus der Entwicklung von Elektrofahrzeugkomponenten, wie Batteriegehäusen und Unterbodenbauteilen. Für diese gelten sehr hohe Anforderungen hinsichtlich Crashsicherheit und Thermomanagement. Entsprechend den Spezifikationen, die sich bereits aus den beiden Anwendungsfällen ableiten lassen, ist es sehr wünschenswert, die Eigenschaften des Schaumeswerkstoffs anwendungsgerecht einzustellen. Darauf basierend wurden am IWU Aluminiumschaumproben unterschiedlicher Dichte erstellt, die zum einen aus reinem Schaum und zum anderen aus Schaumsandwichen mit metallischen Decklagen bestehen. Weiterhin wurden Proben mit PCM infiltriert, um weitere Einstellungsmöglichkeiten der Werkstoffparameter aufzuzeigen. Konkret wurden im Rahmen der Untersuchungen Messungen

an diesen Proben durchgeführt, die die modalen Unterschiede aufzeigen. Dazu wird auch im Detail auf die Messung und die Durchführung eingegangen.

Mi. 10:00 Raum 8 Technische Akustik 1

Akustische Bestimmung der Werkstoffparameter faserverstärkter Kunststoffe durch Auswertung der Dispersionseigenschaften geführter Wellen

Jens Prager[a], Yevgeniya Lugovtsova[a], Jannis Bulling[a], Matthias Klärner[b] und Lothar Kroll[b]

[a] *BAM Berlin;* [b] *Institut für Strukturleichtbau, TU Chemnitz*

Akustische Verfahren eignen sich hervorragend zur Bestimmung der Werkstoffeigenschaften. Die Verfügbarkeit derartiger Verfahren ist vor allem für Kunststoffe wichtig, da deren Eigenschaften stark abhängig vom jeweiligen Herstellungsprozess und vom Alterungszustand sind. Exakte und vollständige Werte sind daher in Datenbanken oder von Herstellern nur begrenzt zu finden. Insbesondere die Entwicklung von Methoden zur Charakterisierung faserverstärkter Kunststoffe (FKV) ist nach wie vor Gegenstand der Forschung. Hier müssen anisotropiebedingt mehrere Kennwerte bestimmt werden. Da FKV zumeist als dünnwandige Bauteile zum Einsatz kommen, können die Werkstoffparameter aus den Dispersionseigenschaften der Lamb-Wellen, die sich in diesen Strukturen ausbreiten, abgeleitet werden. Dazu ist eine räumliche Abtastung des sich ausbreitenden Schallfelds erforderlich.

In der vorliegenden Untersuchung wird dieser Ansatz für die relativ neue Werkstoffklasse der faserverstärkten Thermoplaste angewendet. Diese zeichnet ein ausgeprägtes Dämpfungsverhalten und eine Anisotropie der Materialparameter aus. Dazu wurde das Schallfeld im Ultraschallbereich mit einem Laser-Doppler-Vibrometers vermessen. Rechnerisch bestimmte Dispersionskurven wurden dann an die gemessenen Werte angepasst, womit die richtungsabhängigen Materialparameter bestimmt werden konnten.

Im Vortrag wird das Messverfahren vorgestellt und auf spezielle Probleme, die sich z.B. aus dem Dämpfungsverhalten des Werkstoffs ergeben, eingegangen. Ausgewählte gemessene Werte werden mit den Ergebnissen von Referenzverfahren verglichen.

Mi. 10:20 Raum 8 Technische Akustik 1

Anwendung des Johnson-Champoux-Allard Modells für die Berechnung des Schallabsorptionsgrads von Aerogelgranulaten

Yama Abawi[a], Wolfgang Gleine[b], Felix Langfeldt[b], Hannah Hoppen[b] und Barbara Milow[c]

[a] *HAW Hamburg, Akustiklabor;* [b] *HAW Hamburg, Dep. Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau;* [c] *Universität zu Köln*

Ein wichtiges Kriterium für die Wahl einer Schallisolierung ist unter anderem der Absorptionsgrad eines Materials. Um diesen zu bestimmen, werden akustische Messungen durchgeführt, deren Ergebnisse

mit theoretischen Betrachtungen verglichen werden. Eine Berechnungsmethode ist das Johnson-Champoux-Allard (JCA) Modell, welches für die Bestimmung des Absorptionsgrads poröser Materialien entwickelt wurde. Dieses halb- empirische Modell liefert für poröse Materialien (z.B. Glaswolle) Schallabsorptionsgrad-Werte, die eine große Übereinstimmung mit den Messwerten vorweisen. In diesem Beitrag wird eine Untersuchung der Anwendbarkeit des JCA-Modells auf Aerogelgranulate vorgestellt. Die Kernfragen lauten dabei, ob bzw. für welche Granulatgrößen das JCA-Modell verwertbare Ergebnisse liefert, die mit den Werten aus akustischen Messungen gleichkommen, und ob Parameter der Granulate (wie z.B. die Porosität, die Tortuosität etc.), die durch eine inverse Charakterisierung bestimmt werden, realistisch sind.

Mi. 11:00 Raum 8 Technische Akustik 1

Experimenteller Aufbau zur akustischen Charakterisierung von Polymerbauteilen

Thomas Busse, Yohko Aoki und Jens Rohlfing
Fraunhofer-Institut für Bauphysik

Polymerwerkstoffe sind leicht, meist preiswert und komplex in 3D formbar, daher besitzen eine Vielzahl von elektrischen Kleingeräten und Werkzeugen Gehäuse aus Polymeren. Viele der heute verwendeten Polymerwerkstoffe sind, auf Grund Ihrer geringen Dichte und geringen inneren Dämpfung, nicht akustisch optimiert. Auch die Auslegung der Gehäusegeometrie erfolgt meist nicht aus akustischer Sicht, sondern überwiegend auf Basis von Design-, Funktionalitäts-, Fertigungs- und Kostengesichtspunkten. Maßgeschneiderte vibroakustisch optimierte Polymerwerkstoffe und Konstruktionsdetails bieten ein großes Potential zur Reduzierung und gezielten Beeinflussung der Geräuschemissionen von elektrischen Geräten. Im Rahmen des Fraunhofer-Eigenforschungsprojektes"PolymerAkustik“ wird hierzu ein umfassendes Technologieangebot erarbeitet. Eine Herausforderung besteht in der vibroakustischen Charakterisierung kleiner Probenkörper bei hohen Frequenzen. Für diesen Zweck wurde ein Versuchsaufbau entwickelt, der es erlaubt, mit geringen Aufwand A-B-Vergleiche durchzuführen, um qualitative Aussagen zu akustischen Eigenschaften abzuleiten. Mit diesem Versuchsaufbau können sowohl einfache plattenförmige Proben als auch Gehäuseschalen mit komplexeren Geometrien untersucht werden. Mittels eines Mikrofon-Arrays werden Nahfeld-Holographien der Proben durchgeführt. Hiermit können zum einen die schalldämmenden Eigenschaften geschlossener Proben bewertet, und zum andern die Schalltransmission durch Gehäuseöffnungen gezielt untersucht werden. Die Entwicklung des Versuchsaufbaus und experimentelle Untersuchungen wurden von FEM-BEM Simulationen begleitet. In diesem Konferenzbeitrag wird der Versuchsaufbau vorgestellt sowie erste experimentelle und numerische Ergebnisse präsentiert.

Mi. 11:20 Raum 8 Technische Akustik 1

Akustische Diagnose an Straßenbahnen

Peter Holstein[a], Maik Wolf[b], Johannes Köllner[c], Hans-Joachim Münch[a], Dominik Zschocke[b], Andreas Günther[b] und Mathias Rudolph[b]
[a] *Sonotec GmbH;* [b] *HTWK Leipzig, Fak. Maschinenbau, Industrielle Messtechnik;* [c] *SDS Schwingungs Diagnose Service GmbH*

Straßenbahnen gehören zu den wichtigsten Verkehrsmitteln im öffentlichen Nahverkehr. Die Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der Technik ist für einen effektiven Betrieb der Fahrzeugflotten von großer Bedeutung. Im Projekt SmartTram wurden wichtige Fragestellungen zur technischen Diagnose und darauf beruhende Aussagen zu Prognose von Instandhaltungsmaßnahmen bearbeitet. Sowohl Luftschall- als auch Körperschallmessungen (Hörschall- und Ultraschallbereich) wurden genutzt, um (instandhaltungsbezogen) auffällige Fahrzeuge zu erkennen und die technischen Ursachen dafür zu hinterfragen. Dabei zeigte sich, dass technischer Zustand und Lärmerzeugung direkt (wenn auch nicht immer in einfacher Weise) einander bedingen. Typische Beispiele sind die Entstehung von Polygonen an den Rädern und deren Auswirkung und die Bewertung lauter Drehgestelle. Dafür wurden verschiedene messtechnische und sensorische Zugänge entwickelt.

Mi. 11:40 Raum 8 Technische Akustik 1

Präsentation der Poster, die dieser Sitzung zugeordnet sind (s.u.)

Sitzung „Technische Akustik 1 (Poster)“
Kurzvorträge: Mi. 11:40 (Raum 8); Poster-Forum: Mi. 16:00

Di.-Do. Technische Akustik 1 (Poster)

Longitudinale ”One-Way”-Wellengleichung

Oskar Bschorr und Hans-Joachim Raida
Aeroakustik Stuttgart

Die in der Geoseismik benutzten Wellengleichungen basieren auf einem Kräftegleichgewicht und sind partielle Differentialgleichungen (PDG) 2. Ordnung. Diese enthalten mit dem quadratischen Geschwindigkeitsterm $c^2 = (+/-c)^2$ gleichwertig sowohl die hin- und auch rücklaufende Welle und gelten wegen dieser Doppeldeutigkeit als ”Two-ay wave equation”. Bei der analytischen Rechnung kann über das (+/-c)-Vorzeichen nachträglich die relevante Lösung ausgewählt werden. Dies ist bei der numerischen Rechnung via FE-Finite-Element nicht möglich und es kommt zu irregulären Phantomeffekten. Um diese Schwierigkeiten zu mindern, wurde von den Seismikern unter dem Sammelbegriff ”One-way wave equation” eine Vielzahl von heuristischen Näherungen entwickelt. Bislang konnte sich kein Ansatz durchsetzen. Ein neuerer Versuch benutzt die Antischall-Technik, um die unbrauchbaren Wellenteile auszulöschen.

Diese Eingriffe verletzen mehr oder weniger die klassische Grundgleichung und setzen sie mit Verwendung parabolischer Gleichungen gänzlich außer Kraft. - In dieser Arbeit wird die longitudinale Impedanz ohne zusätzliche Annahmen direkt als longitudinale PDG 1. Ordnung mit einer eindeutigen Lösung identifiziert. Die hypothetische Impuls-Bilanz, die den Vorgängerarbeiten der Autoren zugrunde liegt, ist dazu synonym und liefert identische Ergebnisse. Gegenüber der konventionellen, doppeldeutigen PDG 2. Ordnung ist die um eine Differentialstufe reduzierte Wellengleichung analytisch und numerisch wesentlich einfacher.

Di.-Do. Technische Akustik 1 (Poster)

Transversale "One-Way"-Wellengleichung

Oskar Bschorr und Hans-Joachim Raida
Aeroakustik Stuttgart

Die in der Geoseismik benutzten Wellengleichungen basieren auf einem Kräftegleichgewicht und sind partielle Differentialgleichungen (PDG) 2. Ordnung. Diese enthalten mit dem quadratischen Geschwindigkeitsterm $c^2 = (+/-c)^2$ gleichwertig sowohl die hin- und auch rücklaufende Welle und gelten egen dieser Doppeldeutigkeit als "Two-way wave equation". Bei der analytischen Rechnung kann über das (+/-c)-Vorzeichen nachträglich die relevante Lösung identifiziert werden. Dies ist bei der numerischen Rechnung via FE-Finite-Element nicht möglich und es kommt zu irregulären Phantomeffekten. Um diese Schwierigkeiten zu mindern, wurde von den Seismikern unter dem Sammelbegriff "One-way wave equation" eine Vielzahl von heuristischen Näherungen entwickelt. Bislang konnte sich kein Ansatz durchsetzen. Ein neuerer Versuch benutzt die Antischall-Technik um die unbrauchbaren Wellenteile auszulöschen. Diese Eingriffe verletzen mehr oder weniger die klassische Grundgleichung und setzen sie mit der Verwendung parabolischer Gleichungen gänzlich außer Kraft. - In dieser Arbeit wird die transversale Impedanz ohne zusätzliche Annahmen direkt als transversale PDG 1. Ordnung mit einer eindeutigen Lösung identifiziert. Gegenüber der konventionellen, doppeldeutigen PDG 2. Ordnung ist die um eine Differentialstufe reduzierte Wellengleichung PDG 1. Ordnung analytisch und numerisch wesentlich einfacher.

Di.-Do. Technische Akustik 1 (Poster)

Characterizing acoustical cues for lead voice segregation in popular music

Michel Bürgel[a], Lorenzo Picinali[b] und Kai Siedenburg[a]
[a] *CvO Universität Oldenburg, Dep. Medizinische Physik und Akustik;* [b] *Imperial College London*

The human auditory system is capable of segregating single instruments or singing voices in polyphonic musical mixtures, but only little is known about the underlying acoustical cues. Music composition and mixing often emphasize the melody of a song in styles of popular music, which is usually played by the lead instrument or sung by the lead vocals. Beyond

anecdotal evidence, however, we are not aware of research that has quantitatively characterized the corresponding acoustical properties of multitrack mixes. In this work, we approached this question by studying simple acoustical factors that facilitate the segregation of the lead voice by analysing a database of popular music containing separated tracks for each instrument (multitrack). The database, created by Tency Music and currently used within the Musiclarity web app (http://musiclarity.com), consists of sound-alike reproductions of well-known pieces of popular music. We specifically analysed the lead-accompaniment level ratio, the temporal synchronisation between lead and accompaniment, and distinctive spectral allocations of lead and accompaniment. To map out commonalities and differences between musical mixtures and the so-called ”cocktail party scenario” for speech segregation, these analyses were compared with plausible ranges of target speech-to-noise ratio, temporal synchronisation between target and interfering speakers, and spectral similarities between speakers.

Di.-Do. Technische Akustik 1 (Poster)

Ansätze zur Verringerung der systematischen Messabweichung bei akustischer Absorptionsmessung

Leander Claes, Elmar Baumhögger, Torben Rüther, Jan Gierse, Thomas Tröster und Bernd Henning
Universität Paderborn

Bei der Realisierung eines Messverfahrens für die akustische Absorption tritt häufig das Problem auf, dass der eigentliche Messeffekt, die Schwächung des akustischen Signals durch die Absorption im Medium, durch andere dissipative Effekte überlagert wird. Dies sind zum Beispiel Beugungseffekte aufgrund der endlichen Abmessung der akustischen Quelle, nicht- ideale Reflektoren oder Störsignale im Messsystem, deren Einfluss als systematische Messabweichung beschrieben werden kann. Der Einfluss dieser Effekte ist besonders dann problematisch, wenn die messtechnisch zu bestimmende akustische Absorption, wie etwa bei der Charakterisierung reiner Fluide, sehr gering ist.
Während es prinzipiell möglich ist, die durch die Schallausbreitung in der Messordnung hervorgerufene systematische Messabweichung rechnerisch zu kompensieren, soll in diesem Beitrag vor allem auf konstruktive Maßnahmen bei der Auslegung einer Messordnung eingegangen werden, durch die die systematische Messabweichung verringert werden kann. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Verwendung additiver Fertigungsmethoden, welche unter anderem eingesetzt werden können, um Oberflächen im Messsystem so zu gestalten, dass diffuse oder speziell gerichtete Reflexion von akustischen Wellen erzielt wird. Weitere Freiheitsgrade ergeben sich aus der Wahl des Schallwandlers und des Frequenzbereichs, in dem die Messungen durchgeführt werden.

Di.-Do. Technische Akustik 1 (Poster)

Das Schallfeld eines sich bewegenden und ein beliebiges Zeitsignal abstrahlenden Monopols über Impedanzboden

Rafael Piscoya und Martin Ochmann
Beuth Hochschule für Technik Berlin

In einer früheren Arbeit wurden analytische Formeln für die Impulsantwort eines stationären Monopols über masseartigen und absorbierenden Impedanzböden hergeleitet. Diese Impulsantworten konnten mittels inverser zeitlicher Fourier-Transformation der zugehörigen Greenschen Funktionen im Frequenzbereich gewonnen werden. Der Schalldruck einer Punktquelle, die ein beliebiges Zeitsignal abstrahlt, kann durch Faltung des Zeitsignals mit der Impulsantwort berechnet werden. In einer weiteren Arbeit konnte die exakte Lösung eines sich gleichförmig bewegenden und harmonisch mit fester Frequenz schwingenden Monopol oberhalb eines Impedanzboden durch Anwendung der Lorentz-Transformation hergeleitet werden. Diese beiden Ergebnisse sollen nun kombiniert werden, um den Schalldruck zu bestimmen, den eine sich bewegende Punktquelle mit beliebigem Zeitsignal über Impedanzböden erzeugt. Es werden zwei verschiedene Ansätze verfolgt: 1. Wir betrachten den sich bewegenden Monopol im Frequenzbereich. Dieser wird durch eine Lorentz-Transformation "stationär gemacht". Eine zeitliche Fourier-Transformation liefert dann die Impulsantwort im Lorentz-Raum, die mit einem gleichfalls Lorentz-transformierten Zeitsignal gefaltet wird. Abschließend wird das Ergebnis durch inverse Lorentz-Transformation in den physikalischen Raum überführt. 2. Nun betrachten wir den stationären Monopol im Zeitbereich, d.h. dessen Impulsantwort. Diese wird mit der Quellfunktion, die sich sowohl bewegen als auch ein beliebiges Zeitsignal abstrahlen darf, gefaltet. In der vorliegenden Arbeit werden beide Ansätze untersucht und die erzielten Ergebnisse werden miteinander verglichen.

Sitzung „Technische Akustik 2"

Mi. 13:40 Raum 8 Technische Akustik 2

Schalldämmmaßbeeinflussung von Sandwichstrukturen durch massenkonstante Wabenkerngeometrievariation

Martin Radestock, Hans Peter Monner und Thomas Haase
DLR, FA-ADA, Braunschweig

Die steigende Mobilität erfordert signifikante Schadstoffreduktionen bei CO2 und NOX. Ein Ansatz ist der verstärkte Einsatz von Leichtbaustrukturen. Allerdings führt die Massenreduktion bei gleichbleibender Steifigkeit bei Transportmitteln bereits bei tiefen Frequenzen zu einer Schallabstrahlung. Eine typische Leichtbaustruktur sind Sandwichplatten. Dieser Dreischichtverbund besteht aus dünnen biegesteifen Decklagen und einem leichten Kern dazwischen. Besonders leicht sind Wabenkerne. In

diesem Artikel soll gezeigt werden, dass die Geometrie des Wabenkerns das Schalldämmmaß beeinflussen kann, obwohl die mechanischen Eigenschaften des Kerns bei der Biegesteifigkeit des Sandwichs einen geringen Einfluss haben. Dazu werden verschiedene Wabenkerngeometrien massekonstant ausgelegt und mittels 3D Druck gefertigt. Die gewählten Wabenkerngeometrien besitzen Zelldurchmesser in der Größenordnung von 5 bis 10 Zentimetern, während konventionelle Wabenkerne im Bereich von 3 bis 5 Millimetern erhältlich sind. In einem Transmissionsprüfstand wird das Schalldämmmaß für die gefertigten Sandwichstrukturen bis 2000 Hertz bestimmt. Durch die gezielte Wahl der Wabenkerngeometrie in Größe und Form wird das Schalldämmmaß in definierten Frequenzbereichen abgesenkt und in anderen Bereich angehoben. Somit kann durch die Wahl des Wabenkerns das Schalldämmmaß eines Sandwichs angepasst werden, ohne die mechanischen Eigenschaften, wie z.B. die Biegesteifigkeit, signifikant zu beeinflussen. Dadurch werden akustisch angepasste Leichtbaustrukturen möglich, die weder an Steifigkeit verlieren noch an Masse zulegen.

Mi. 14:00 Raum 8 Technische Akustik 2

Experimentelle Untersuchung der Fluid-Struktur-Kopplung eines Systems aus CFK-Struktur und quaderförmiger Kavität

Thomas Roloff[a], Bernd-Christian Hölscher[a], Malte Misol[b] und Michael Sinapius[a]

[a] *TU Braunschweig, Institut für Adaptronik und Funktionsintegration;* [b] *DLR, Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik, Braunschweig*

Aktive Systeme eignen sich zur tieffrequenten Beruhigung von Strukturschwingungen und Minderung der strukturellen Schallabstrahlung. Zur Beschreibung des gekoppelten Systemverhaltens einer dünnwandigen Struktur mit angrenzender Kavität und daraus abzuleitenden Regelungskonzepten sind Kenntnisse über die Fluid-Struktur-Kopplung notwendig. Anhand einer generischen Geometrie wird die Interaktion zwischen einer rechteckförmigen Struktur aus kohlefaserverstärktem Kunststoff (CFK) und einer angrenzenden quaderförmigen Kavität im Frequenzbereich bis 500 Hz experimentell untersucht. Die untersuchte CFK-Platte besitzt eine akustisch relevante Anisotropie der Steifigkeit in Form eines überwiegend unidirektionalen Lagenaufbaus. Der Prüfstand ermöglicht die Reaktionskraft- und -momentenfreie Positionierung der Platte vor einer quaderförmigen Kavität. Es wird eine experimentelle Modalanalyse der Struktur zur Bestimmung des strukturdynamischen Verhaltens unter Berücksichtigung der angrenzenden Kavität sowie eine akustische Modalanalyse des Innenraumes zur Identifikation des akustischen Verhaltens unter verschiedenen Randbedingungen durchgeführt.

Die strukturdynamischen Untersuchungen ergeben lineares Verhalten der CFK-Platte bei struktureller Anregung und verdeutlichen, dass die Strukturdynamik unabhängig von der angrenzenden Kavität ist. Die akustischen Untersuchungen zeigen ebenfalls lineares Verhalten der Kavität, liefern jedoch keine eindeutige Aussage zur Kopplung zwischen

Kavität und Struktur. Zwar hat die Plattendynamik keinen Einfluss auf das akustische Verhalten der Kavität, es treten jedoch einige Phänomene bei der Betrachtung der Kavität mit frei davor gelagerter Platte auf, die weiterer Untersuchung bedürfen.

Mi. 14:20 Raum 8 Technische Akustik 2

Geführte Wellen in fluid-gekoppelten Platten

Daniel A. Kiefer, Michael Ponschab und Stefan J. Rupitsch
Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Sensorik

Mechanische Wellen in dünnen Strukturen finden vielfältige Anwendung in der Sensorik, Aktorik und Messtechnik. Oftmals ist dabei die Interaktion dieser Wellen mit einem angrenzenden Fluid von zentraler Bedeutung, beispielsweise in der Ultraschall- Durchflussmessung. Die dispersive Wellenausbreitung in solchen mechanischen Strukturen führt auf ein nichtlineares Eigenwertproblem. Kürzlich wurde am Lehrstuhl für Sensorik ein Verfahren entwickelt, mit dem dieses Eigenwertproblem zuverlässig und effizient gelöst werden kann. In diesem Konferenzbeitrag werden die Lösungen und die resultierenden physikalischen Eigenschaften und Phänomene der Wellenausbreitung in fluid-gekoppelten Platten diskutiert. Es lassen sich grundlegende Unterschiede zu den Eigenschaften geführter Wellen in freien Platten feststellen. Da es sich um ein offenes System handelt, kann ein Energieaustausch mit dem angrenzenden Fluid stattfinden. Dies wirkt sich nicht nur auf die Dispersionskurven aus, sondern auch auf die Modenstrukturen sowie den Energietransport entlang der Platte. All diese Eigenschaften sind wichtig für den optimalen Entwurf darauf basierender Sensoren und Aktoren.

Mi. 14:40 Raum 8 Technische Akustik 2

Optimierung eines Helmholtz-Resonators mit integriertem Biegebalken

Hannah Hoppen[a], Felix Langfeldt[a], Wolfgang Gleine[a] und Otto von Estorff[b]
[a] *HAW Hamburg, Dep. Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau;* [b] *Techn. Universität Hamburg, Institut für Modellierung und Berechnung*

Um effizienteres Fliegen zu ermöglichen, tendiert die derzeitige Entwicklung der Flugzeugtriebwerke zu größer werdenden Nebenstromverhältnissen. Einhergehend mit dieser Veränderung treten ausgeprägte tieffrequente Töne mit hohen Schallpegeln im Vergleich zum Hintergrundrauschen im Schallspektrum in der Kabine auf. Um den Komfort der Passagiere zu verbessern, können Resonanzabsorber, wie z. B. Helmholtz-Resonatoren, in die Flugzeugseitenwand eingebaut werden. Da diese Absorber aber nur in einem schmalen Frequenzband um die Resonanzfrequenz herum wirksam sind, ist ihre Anwendbarkeit auf tonale oder schmalbandige Spektralbereiche beschränkt. In einem Beitrag der Autoren zur DAGA 2019 wurde ein neuartiges Konzept für einen Helmholtz-Resonator mit erhöhter Bandbreite vorgestellt. Dazu wurde

ein U-förmiger Schlitz als Hals des Helmholtz-Resonators gewählt, sodass ein Biegebalken innerhalb des Schlitzes entsteht. Dieser Biegebalken sorgt für einen zweiten Resonanzmechanismus. Im gegenwärtigen Beitrag wird die Auswirkung der Modifikation verschiedener Parameter hinsichtlich einer Optimierung für die Anwendung im Flugzeug analysiert. Der Resonator soll so ausgelegt werden, dass die Schallisolation einer damit ausgestatteten Flugzeugkabinenwand gegengenüber einer dem heutigen Stand der Technik entsprechenden Kabinenwand in einem möglichst breiten Frequenzband unter 700 Hz deutlich erhöht ist.

Mi. 15:00 Raum 8 Technische Akustik 2

The use of Fresnel theory to predict attenuator values of attenuators in room acoustics and sound pressure under chimneys and openings

Glib Busch und Chris van Dijk
Alara-Lukagro GmbH

In order to predict the performance of noise mitigation measures a number of rules for calculations apply. The calculation is fed with laboratory results of different elements that are part of the mitigation measures. In reality predictions and results are not fully equal. In an extensive evaluation of measures in practice trends were discovered that could also be derived from a finite element model. In acoustic engineering the application of a finite element model is not practical to combine with an optimization, where too many degrees of freedom apply. In this presentation the Fresnel equation will be combined with Wellington wave propagation to predict angle of incident dependent leakage through splices and acoustic propagation around a pipe opening.

Mi. 15:20 Raum 8 Technische Akustik 2

Simulationsbasierte und experimentelle Untersuchung der Strömungsakustik von Wärmepumpen

Sebastian Wagner und Seiji Adachi
Fraunhofer-Institut für Bauphysik

Moderne elektrisch betriebene Wärmepumpen zeichnen sich durch einen hohen Wirkungsgrad aus und stellen eine attraktive Alternative zu herkömmlichen Heizungssystemen dar. Die Geräuschemissionen außenaufgestellter Wärmepumpen können allerdings zu einer steigenden Lärmbelastung führen, was eine Hürde für eine flächendeckende Verwendung von Wärmepumpen in dicht besiedelten Gebieten darstellt. Im Zuge des BMWi-Projektes"WAMS" wird die Akustik von Wärmepumpen gezielt untersucht; mit dem Ziel die akustische Emissionen von Wärmepumpen zu reduzieren und gezielt zu beeinflussen. Ein Augenmerk liegt dabei auf der Betrachtung strömungsakustischer Effekte aus der Interaktion von Ventilator und Wärmeübertrager. Diese Effekte werden sowohl mittels CFD/CAA Simulationen mit vereinfachten Geometrien in OpenFoam®, als auch an einem experimentellen Aufbauten untersucht. Ziel der CFD/CAA Simulationen ist es das Strömungsbild sowie den

durch Luftströmung erzeugten Schall zu charakterisieren und daraus die akustische Abstrahlcharakteristik sowie die Schallleistung qualitativ abzuschätzen. Am experimentellen Aufbau sollen zum einen die energetische Wirksamkeit unterschiedlicher Wärmeübertrager in unterschiedlichen Einbausituationen relativ zum Ventilator untersucht werden. Zum anderen werden an dem Aufbau akustische Untersuchungen in Bezug auf die Interaktion zwischen Wärmeübertrager und Ventilator durchgeführt, die mit den Ergebnissen aus den Simulationen abgeglichen werden können. In diesem Konferenzbeitrag werden sowohl das Simulationsmodell als auch der experimentelle Aufbau vorgestellt und erste Ergebnisse präsentiert.

Mi. 15:40 Raum 8 Technische Akustik 2

Präsentation der Poster, die dieser Sitzung zugeordnet sind (s.u.)

Sitzung „Technische Akustik 2 (Poster)“
Kurzvorträge: Mi. 15:40 (Raum 8); Poster-Forum: Mi. 16:00

Di.-Do. Technische Akustik 2 (Poster)

Numerische Untersuchung der Schalldämpfung von Absorptionsschalldämpfern unterschiedlicher Querschnittsform

Christopher Mai, Thomas Geyer und Anna-Sophia Henke
BTU Cottbus - Senftenberg, Fachgebiet Technische Akustik

Absorptionsschalldämpfer sind Kanäle oder Kanalstücke, deren Wände mit einem absorbierenden Material voll- oder teilweise ausgekleidet sind. Das der dabei entstehenden Schalldruckpegelminderung zu Grunde liegende Wirkungsprinzip ist die dissipative Umwandlung von Schallenergie in Wärmeenergie im Inneren des Absorbers. Unter anderen hat die Kanalquerschnittsform Einfluss auf die Schalldämpfung. In der Praxis sind fast ausschließlich kreisförmige oder rechteckige Kanäle vorzufinden. Ziel dieser Arbeit war es herauszufinden, wie stark die Schalldämpfung von der Querschnittsform abhängig ist. Daher wurde die Schalldämpfung mittels der Finiten Elementen Methode (FEM) für ausgewählte Schalldämpfer, deren Querschnittsfläche aus regelmäßigen Polygonen bestand, berechnet. Die freie Querschnittsfläche sowie die Absorbereigenschaften blieben dabei für jedes Modell stets identisch. Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl der Wert als auch der Frequenzbereich der maximalen Dämpfung von der Form der Querschnittsfläche abhängen. In Übereinstimmung mit der Abschätzformel von Piening ergaben sich die besten Dämpfungswerte für den Schalldämpfer mit dreieckiger Querschnittsfläche. Für eine größere Anzahl der Ecken (ab m = 10) ergab sich jedoch keine signifikante Änderung gegenüber der Dämpfungskurve eines Rohrschalldämpfers.

Sitzung „Musikalische Akustik 1“

Mi. 16:40 Raum 8 Musikalische Akustik 1

Akustische Messansätze zur Charakterisierung von Gitarren

Sebastian Merchel und M. Ercan Altinsoy
TU Dresden, Professur für Akustik und Haptik

Gitarren mit unterschiedlichem Design oder variierenden Materialparametern konnten in vorangegangen Studien verlässlich allein auf Grund ihres Klanges unterschieden und bezüglich ihrer Präferenz sortiert werden. Wünschenswert wäre nun die Korrelation dieser hörbaren Unterschiede mit akustisch messbaren Metriken. Dazu müssen zunächst potentielle Ansätze zur akustischen Charakterisierung der Instrumente ausgewählt werden. Dieser Beitrag diskutiert Konzept und Implementierung diverser Mess- und Analysemethoden. An ausgewählten Beispielinstrumenten werden verschiedene Verfahren erprobt. Es stellt sich die Frage ob charakteristische Klangunterschiede bereits durch die Analyse manuell gespielter Tonsequenzen erkennbar sind. Welche Instrumentenmerkmale können zusätzlich aus Transferfunktionen zwischen einer mit einem Impulshammer angeregten Resonanzdecke und dem abgestrahlten Schall abgelesen werden? Lassen sich weitere Aussagen über die Instrumente durch Auswertung des Ausschwingverhaltens einzelner gezupfter Saiten ableiten? Hilft die Modalanalyse bei der akustischen Bewertung der Instrumente? Alle genannten Ansätze besitzen wiederum zahlreiche messtechnische Freiheitsgrade, z. B. die Anschlagposition des Hammers auf dem Steg bei der Transferfunktionsmessung oder die verwendete Mechanik beim Zupfen der Saite. Weiterhin stehen unzählige Möglichkeiten zur Berechnung von Metriken aus den messtechnisch gewonnen Daten zur Verfügen (z. B. Energieverhältnisse zwischen Frequenzbändern, frequenzabhängige Ausschwingzeiten, psychoakustische Maße, ...).

Mi. 17:00 Raum 8 Musikalische Akustik 1

Der musikalische Fingerabdruck von Glocken als Mittel zur Schadensfrüherkennung

Michael Plitzner und Andreas Rupp
Hochschule Kempten, Europäisches Kompetenzzentrum für Glocken ECC-ProBell

Glocken sind Musikinstrumente, die bei der Klangerzeugung, insbesondere beim Läuten, hohen Beanspruchungen ausgesetzt sind. Nicht selten bekommen Glocken Risse, die auf zu hohe Beanspruchungen und ungünstige Anschlagskonditionen zurückzuführen sind. Mithilfe gängiger Prüfmethoden können Ermüdungsschäden jedoch erst dann festgestellt werden, wenn die Ausdehnung des Schadens den Klang der Glocke bereits nachhaltig verändert oder sogar zerstört hat. Das vorgestellte Verfahren ermöglicht ausgehend von akustischen Messungen eine derart frühzeitige Risserkennung, dass Klangveränderungen mit dem

Gehör noch nicht festgestellt werden und mithilfe schonender Läuteparameter ein Weiterbetrieb der geschädigten Glocke möglich ist. Das Verfahren basiert auf der spezifischen Eigenschaft von Glocken als rotationssymmetrische Körper, deren Eigenformen sich doppelt über den Umfang verdreht ausbilden. Bei idealer Rotationssymmetrie besitzen die paarweise vorhandenen Eigenformen identische Eigenfrequenzen, die sich jedoch bei Abweichungen von der Rotationssymmetrie aufspalten. Solche Abweichungen werden durch Fehlstellen hervorgerufen, die bedingt durch die Herstellung, die Oberflächengestaltung oder aufgrund von Ermüdungsrissen im Klangkörper von Glocken vorhanden sind. Abhängig von der Lage, Ausprägung und Art vorhandener Fehlstellen können charakteristische Veränderungen im Schwingverhalten von Glocken festgestellt werden, die eine Identifikation der verursachenden Fehlstelle möglich macht. Darüber hinaus können Fehlstellen durch die Lageveränderung der gespaltenen Eigenformen lokalisiert werden.

Mi. 17:20 Raum 8 Musikalische Akustik 1

Coupled vibroacoustic finite element model of the sound production of the xylophone

Mihaly Adam Ulveczki und Péter Rucz
Budapest University of Technology

Computer-aided design and simulation-based virtual prototyping play an increasingly important role in the design and optimization of new musical instrument models. These methods help to create precisely tuned, high-quality products and also facilitate the preparation of series production. In the case of the xylophone, two elements have a decisive role in the sound emission of the instrument: the sound bar and the resonator, which interact with each other and with the excitation produced by the mallet. For modeling realistic geometries (irregular tuning cuts, or resonators of various shapes), numerical tools, such as the finite element method, are necessarily applied.

In this contribution the vibroacoustic behavior of the sound bars and resonators of a xylophone are investigated, first independently, and then in a coupled model considering the two-way interactions of these elements. The implementation is validated by means of various tests and also by comparison with measured data. The established fully coupled model can be utilized for virtual prototyping, and for synthesizing xylophone sounds, in addition. Finally, the influence of changing certain parameters of the system on the perceived sound is illustrated, highlighting the importance of two-way coupling between sound bars and resonators.

Mi. 17:40 Raum 8 Musikalische Akustik 1

Modellierung der Abstrahlcharakteristik komplexer Musikinstrumente

Malte Kob, Timo Grothe und David Ackermann
HfM Detmold, Erich-Thienhaus-Institut

Während einfach konstruierte Musikinstrumente wie Horn oder Rahmentrommel in ausgewählten Frequenzbereichen mit der Richtcharakteristik einfacher Modellstrahler (z.B. Kugelquelle, Dipol, ebene Welle) beschrieben werden können, ist dies für Instrumente mit komplexerer Geometrie und Funktion meist nicht mehr möglich. So weist das Fagott aufgrund seiner mehrfach gefalteten Tonlochanordnung ein Abstrahlverhalten auf, das nur bei sehr tiefen Frequenzen einem Kugelstrahler ähnelt, darüber jedoch graduell ansteigend eine zunehmend komplexere und mit jedem Griff und jeder Frequenz unterschiedliche Richtfunktion aufweist. In diesem Beitrag untersuchen wir die Eignung eines einfachen Multistrahlermodells, das für eine Auswahl von Griffkombinationen die Abstrahlcharakteristik von Musikinstrumenten bei verschiedenen Frequenzen nachbildet. Hierfür kommen nach Betrag und Phase gewichtete Elementarschallquellen an den offenen Tonlöchern und weiteren Abstrahlungsöffnungen des Instruments zum Einsatz. Die Simulationsergebnisse werden mit einem Kugelflächen-Modell sowie vorhandenen Richtcharakteristik-Messungen im Freifeldraum für vier Griffvariationen eines Fagotts verglichen und die dabei auftretenden Unterschiede erläutert.

Sitzung „Akustische Messtechnik und Sensorik 2“

Mi. 9:00 Raum 11 Akustische Messtechnik und Sensorik 2

Charakterisierung frequenzabhängiger Eigenschaften poröser Materialien, Teil 2: Mechanische Parameter

Meike Faulhaber, Claudia Bardt und Kurt Jürgen Mick
Sennheiser electronic GmbH & Co. KG

Während in Teil 1 dieses Vortrages der Fokus auf einer akustischen Charakterisierung von Polymerschäumen gelegt wird, behandelt der zweite Teil die Ermittlung ihrer mechanischen Parameter. Neben den akustischen Größen, wie z.B. spezifische Impedanz oder komplexe Wellenzahl, werden E-Modul, Verlustfaktor und Querdehnzahl zur vibromechanischen Beschreibung dieser Materialien benötigt. Diese Parameter können stark frequenzabhängig sein.
Zu ihrer Ermittlung existiert eine Vielzahl von Methoden, aber kein etablierter Standard. Ein Round-Robin Test [1] zeigte erst kürzlich die enorme Varianz der Messergebnisse und die Abhängigkeit der Genauigkeit von Probengröße und Messaufbau.

In eigenen Studien mit einer ausgewählten Resonanzmethode konnten ebenfalls inkonsistente Ergebnisse bezüglich des Formfaktors beobachtet werden. In diesem Beitrag wird daher auf Basis von Finite-Elemente Simulationen der Gültigkeitsbereich der Resonanzmethode erörtert. Es folgt die Vorstellung eines erweiterten Verfahrens zur Ermittlung der mechanischen Parameter mittels FEM.
[1] Bonfiglio, P. How reproducible are methods to measure the dynamic viscoelastic properties of poroelastic media? Journal of Sound and Vibration. 428. 26-43. (2018)

Mi. 9:20 Raum 11 Akustische Messtechnik und Sensorik 2

Coherence based Reflection Coefficient Estimation
Armin Goudarzi
DLR, Göttingen
A new method to measure the reflection coefficient of surfaces is presented. It only relies on a single noise source and a single microphone. The method is robust to inaccuracies in the experimental setup and does not require high end measurement equipment. It is derived from the blind source separation problem where the direct and reflected sound are reconstructed from their mixed signal. To do so, an analytical solution to the mixing matrix is presented. It is based on a short window Welch coherence estimation of the measured signal and a by the reflection time shifted version of the signal. The method is validated with simulated and real experimental data.

Mi. 9:40 Raum 11 Akustische Messtechnik und Sensorik 2

Untersuchungen zu einer möglichen Qualifikation von Freifeldumgebungen mit Hilfe von Impulsmethoden
Daniel Sgrieß, Kevin Picker und Volker Wittstock
Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Freifeldumgebungen werden aktuell nach DIN EN ISO 26101 und DIN EN ISO 3745 Anhang A qualifiziert. Dieses Verfahren beruht auf der 1/r-Gesetzmäßigkeit. Im Idealfall fällt danach der Schalldruckpegel um 6 dB pro Verdopplung des Abstands von einer Punktschallquelle. In realen Freifeldräumen entstehen Abweichungen von diesem Idealfall durch verbleibende Reflexionen von den Raumbegrenzungsflächen oder Einbauten. Um die Reflexionen bei hohen Frequenzen zu detektieren, muss der Schalldruckpegel mit hoher räumlicher Auflösung gemessen werden, wodurch ein großer apparativer Aufwand bei der Überprüfung von Freifeldbedingungen entsteht.
An der PTB wurde deshalb untersucht, ob Impulsmethoden für die Qualifikation von Freifeldräumen verwendet werden können. Aufgrund der verschiedenen Laufzeiten von Direktschall und Reflexionen konnten beide Komponenten getrennt und energetisch ins Verhältnis gesetzt werden. Verglichen wurden die so erzielten Werte mit Ergebnissen der herkömmlichen Qualifizierungsmethode. Im Beitrag wird auf die an der PTB

durchgeführten Messungen, die verwendeten Schallquellen sowie auf die Auswertealgorithmen eingegangen.

Mi. 10:20 Raum 11 Akustische Messtechnik und Sensorik 2

Correlation of transmission loss of simple representative sidewall to full scale fuselage demonstrator

Pankaj Joshi, Felix Bootsveld, Jonathan Löwen, Patrick Cordes, Patrick Naujoks und Kay Kochan

ZAL Zentrum für Angewandte Luftfahrtforschung GmbH

Recent developments in advanced material technology such as acoustic metamaterials seem to have potential to replace the traditional glass wool technology for thermal and acoustic insulation in aerospace vehicles. However, due to inherent challenges to derive material properties of metamaterials, small scale measurements to predict vibroacoustic response of material sample are favorable and cost effective. This paper discusses such small scale vibroacoustic measurements to predict transmission loss using p-u probe. A test bench to represent the double wall cavity as seen in a typical aircraft is developed and sound transmission tests are performed using p-u probe inhouse and a p-p probe at acoustic lab of Hamburg University of Applied Sciences. A measurement methodology is being developed to first corelate p-u measurement in alpha chamber and p-p measurement in a full-scale test facility. Subsequently, the goal of this work is to develop correlation between simple transmission loss (or insertion loss) test using p-u probe to full scale A320 fuselage located in acoustic flight lab of ZAL. Furthermore, numerical simulation using finite element method in Actran will be performed to complement the efforts to develop the correlation methodology between small scale and large-scale measurements.

Mi. 10:40 Raum 11 Akustische Messtechnik und Sensorik 2

Some aspects for a future revision of ISO 9614

Spyros Brezas[a], Fabian Heisterkamp[b] und Volker Wittstock[a]

[a]*Physikalisch-Technische Bundesanstalt;* [b]*Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin*

Sound power can be either determined by sound pressure or sound intensity measurements. For the latter, the ISO 9614 series applies, describing sound intensity measurements at discrete points or by scanning. The German National Metrology Institute (PTB) and the Federal Institute for Occupational Safety and Health (BAuA) will undertake a project for the improvement and simplification of sound power determination using sound intensity measurements. The project is part of a bundle of BAuA research activities intended to improve noise emission declarations of machines according to the Machinery Directive 2006/42/EC by simplifying noise emission measurement procedures. Sound intensity measurements can be simplified by using common formulas in the entire ISO 9614-series of standards. Merging the two scanning method standards into a single one is to be studied. The extension of the upper frequency

limit will be investigated along with the phase error compensation based on a single spacer. Another part will be the estimation of the related uncertainty with an effort for reduction. A final project result will be a new work item proposal for the revision of the current ISO 9614 series. The contribution presents the project to the acoustical community and to stakeholders, for information and constructive commentary.

Mi. 11:00 Raum 11 Akustische Messtechnik und Sensorik 2

Zur Berücksichtigung des Strömungswiderstands bei der Messung der dynamischen Steifigkeit von Fußbodenunterlagen

Martin Schmelzer und Volker Wittstock
Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Die Norm DIN EN 29052-1 (1992) beschreibt die Messung der dynamischen Steifigkeit einer Unterlage unter schwimmendem Estrich. Sie nutzt einen gegenüber dem realen Fall verkleinerten Messaufbau von 20 cm Kantenlänge. Dieser Messaufbau wird vereinfachend als Feder-Masse-System betrachtet. Die dynamische Steifigkeit wird aus der Lage der Resonanzfrequenz berechnet. Die interessierende Steifigkeit setzt sich zusammen aus der Gefügesteifigkeit und der Steifigkeit der Luft im Inneren dieses Gefüges. Dabei ist der Einfluss der Luftströmung innerhalb dieses Gefüges zu berücksichtigen und das Ergebnis darum entsprechend zu korrigieren. Die deutsche Version der Norm verwendet andere Wertebereiche des Strömungswiderstands für diese Korrektur. Kraak hatte dies System 1959 berechnet und so die physikalischen Grundlagen obiger Norm gelegt. Dieser Vortrag erweitert das Modell von Kraak um die Verformbarkeit der Deckplatte und stellt die Rechenergebnisse für verschiedene Systemparameter gegenüber.

Mi. 11:20 Raum 11 Akustische Messtechnik und Sensorik 2

Verbesserung der Reproduzierbarkeit von akustischen Messungen bei In-Concha Ohrhörern in realitätsnaher Messumgebung

Claudia Bardt, Meike Faulhaber und Kurt Jürgen Mick
Sennheiser electronic GmbH & Co. KG

Concha-eingeführte Ohrhörer erfreuen sich immer größerer Beliebtheit. Ein möglicher Grund dafür ist der nicht abdichtende Sitz, welcher einen guten Tragekomfort über viele Stunden verspricht. Diese Art Ohrhörer besteht aus einem festen Gehäuse und werden ohne Silikonaufsatz locker in das Cavum Conchae (den Eingang des Gehörgangs) gehängt. Für eine Messung der akustischen Eigenschaften bietet es sich an, eine künstliche Pinna in Verbindung mit einem Ohr-Simulator nach IEC 60318-4 zu verwenden. Hierdurch wird eine realitätsnahe Messumgebung erreicht. Der Nachteil dieser Methode ist die geringe Messwiederholbarkeit, da das Einsetzen des Hörers in das Cavum Conchae nicht exakt reproduziert werden kann. Um dieses Problem zu umgehen, wurde eine Methode entwickelt, welche sowohl die Unsicherheit durch den Einsetzvorgang als auch den Einfluss unterschiedlicher Bediener minimiert. Für einen definierten Referenzhörer wird ein Adapter vorgestellt,

der anstelle der künstlichen Pinna direkt an den Ohr-Simulator angeschlossen werden kann. Um eine realitätsnahe Messung zu gewährleisten, ist dieser mit einer definierten Undichtigkeit (z.B. eine bedämpfte Öffnung) ausgeführt. Diese Undichtigkeit im Adapter wurde so abgestimmt, dass die Messung des Referenzhörers dem Mittelwert aller Messungen desselben Hörers in der künstlichen Pinna entspricht. Auf diese Weise lassen sich nicht nur akustische Messungen besser reproduzieren, sondern auch verschiedene Kopfhörer ähnlicher Geometrie leichter miteinander vergleichen.

Mi. 11:40 Raum 11 Akustische Messtechnik und Sensorik 2

Präsentation der Poster, die dieser Sitzung zugeordnet sind (s.u.)

Sitzung „Akustische Messtechnik und Sensorik (Poster)“
Kurzvorträge: Mi. 11:40 (Raum 11); Poster-Forum: Mi. 16:00

Di.-Do. Akustische Messtechnik und Sensorik (Poster)

Vergleich verschiedener Verfahren zur Erfassung einer Lautsprechermembranbewegung

Kai Simanowski und Delf Sachau
Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, Mechatronik

Ein Lautsprecher wandelt elektrische Signale in messbare mechanische, bzw. akustische Schwingungen um. Für die flächige Bewegungsmessung einer schwingenden Lautsprechermembran werden die Verfahren Laser-Scanning-Vibrometrie und Optische Bewegungsanalyse mit Hochgeschwindigkeitskamera verwendet und gegenübergestellt. Die Ergebnisse werden verglichen mit Finite-Element-Berechnungen und Messungen mit Akustischer Nahfeldholografie.

Di.-Do. Akustische Messtechnik und Sensorik (Poster)

Verwendung eines akustischen Verfahrens zur Messung der Verdunstung freier Wasserflächen

Armin Raabe[a], Peter Holstein[b] und Jose Carlos de Araujo[c]
[a] *Leipziger Institut für Meteorologie;* [b] *Sonotec GmbH;* [c] *Universidade Federal do Ceara, Brazil*

Aktuell besteht ein bestimmtes Interesse, die Verdunstung von Gewässeroberflächen in das Management der Wasserversorgung einzubeziehen, vor allem dort, wo zu bestimmten Jahreszeiten wenig Niederschlag fällt und die Versorgung dann mit Wasser vollständig über Wasserreservoire erfolgt. Ziel ist eine Optimierung der Verdunstungsverluste durch geeignete Maßnahmen.
Voraussetzung ist die genaue Bestimmung des Verdunstungsanteils.
Es wird eine Messmethode und deren technische Umsetzung vorgestellt, die für das Bestimmen der Verdunstung von Ausschnitten von Wasserflächen geeignet ist. Eine direkte Messung der Verdunstung von

einer Seeoberfläche wurde in der Vergangenheit u.a. mit Verdunstungsbehältern durchgeführt, die auf Flößen installiert waren. Die Bestimmung der Verdunstungsmengen erfolgte dabei früher durch Beobachter per Hand u.a. unter Verwendung von mechanischen Mikrometer-Messgeräten. Ziel dabei die Ermittlung der Verdunstung pro Tag. Derzeit dienen z.B. hochempfindliche Differenzdrucksensoren dazu, um die Messungen kontinuierlich und automatisch durchführen zu können, um so auch Aussagen über tageszeitrelevante Verdunstungsanteile zu erfassen. Hier wird ein Messverfahren vorgestellt, das aus der akustischen Laufzeit- und Füllstandsüberwachung und stammt und das nach dem Echolotprinzip funktioniert. Die Empfindlichkeit der Messanordnung reicht für den Nachweis von Verdunstungshöhen von 0,1mm aus, was empfindlich genug ist, um den Tagesgang der Verdunstung direkt für eine Wasserfläche zu bestimmen.

Di.-Do. Akustische Messtechnik und Sensorik (Poster)

Probleme und Lösungsstrategien bei der Verwendung von Messungen zur Algorithmus-Evaluation am Beispiel von Beugung an Schirmen

Stefan Weigand
HafenCity Universität Hamburg

Zur Validierung von Algorithmen oder analytischen bzw. physikalischen Modellen ist der Abgleich mit Messungen nötig oder erwünscht. Oft sind zwar bereits geeignete Messungen in der Literatur vorhanden, deren Verwendung als Referenz aber dennoch nicht möglich, da eine ausreichend detaillierte bzw. vollständige Beschreibung des Versuchsaufbaus, -auswertung oder der Rahmenbedingungen nicht (mehr) verfügbar ist. Auch Ergebnisse sind nur als Graphen bzw. nur eine Auswahl derer in den Publikationen abgebildet. Dies erschwert den Abgleich oder macht ihn unmöglich. Dieses Problem hat seine Ursache in den üblichen Grenzen von Print-Publikationen der Wissenschaft. Seit einiger Zeit gibt es verschiedenen Bemühungen die Publikationen derart zu ändern bzw. online zu ergänzen, dass auch Versuchsaufbauten und Ergebnisse - auch in numerischer Form- ausreichend detailliert verfügbar gemacht werden können. Der vorliegende Beitrag schildert diese Problematik am Beispiel der Evaluation von Beugungsalgorithmen am Schirm und zeigt Lösungsmöglichkeiten zur geeigneten Verfügbarmachung von Messdaten auf. Hierfür wurden nach intensiver Literaturrecherche letztlich eigene Messungen an diversen Schirmaufbauten durchgeführt und veröffentlicht. Außerdem werden Strategien diskutiert, wie solche Datenarchive, die derzeit mehrfach entstehen, für einen hinreichend langen Zeitraum verfügbar gehalten und evtl. auch homogenisiert werden können. Bei geeigneter Ausführung können solche Archive einen wichtigen Beitrag zur Wissenschaft und der Qualitätssicherung von Software leisten.

Do. 16:20 Niedersachsenhalle B Mikrofonarrays 2

SpectAcoular! An extension for Acoular

Adam Kujawski, Gert Herold, Simon Jekosch und Ennes Sarradj
TU Berlin, Fachgebiet Technische Akustik

Acoular is an open source software package written in Python programming language for processing and analysis of microphone array data. With its object-oriented design, it allows to build complex script-based processing pipelines. SpectAcoular is built on top of Acoular and offers additional modules to further simplify the handling of Acoular. It implements interactive controls (widgets) for building individual graphical user interfaces with the visualization library Bokeh. Bokeh uses web browsers for visualization, whereby rendering and event handling is performed by a high-level JavaScript library. This allows to create real-time applications and to use the capabilities of Acoular independently from the operating system. In addition, building client-server applications is supported, which makes it possible to interactively control microphone array data processing in a distributed scenario. Examples of SpectAcoular use for acquisition and analysis of microphone array data with a low cost sensor array are given. The talk will be held in german language.

Sitzung „AUDICTIVE: Auditory Cognition in Interactive Virtual Environments 1“

Mi. 13:40 Raum 11 AUDICTIVE 1

Development of a Method for Measuring, Displaying, and Evaluating Behavior in a Position-dynamic Binaural Synthesis Application

Karlheinz Brandenburg[a], Dominik Zapf[a], Stephan Fremerey[b], Stephan Werner[a] und Alexander Raake[b]
[a] *TU Ilmenau, Fachgebiet Elektronische Medientechnik;* [b] *TU Ilmenau, Fachgebiet Audiovisuelle Technik*

As binaural sound reproduction systems find more and more applications, understanding user behavior can be critical to the success of these applications providing a plausible sound reproduction. Such sound rendering enables interactive virtual (or augmented) environments. In this work here, we track the position of test subjects in an augmented audio environment. Six degrees of freedom for the position and head orientation of a listener are recorded. 23 persons participated in five different test scenarios, for an exploration time of approximately three minutes. For the first four scenarios, the listeners were asked to find a specific audio object, allowing for different degrees of freedom (head rotation, lateral motion). The last scenario consisted of a piece of music with free movement of the listener. Lateral motion was enabled in an area of 4 m x 4 m, with a spatial grid of binaural filters of 0.25 m steps and 5° head rotation. Several features are extracted from the data: Yaw angle, inclination angle, yaw angle speed, xyz position, walking speed, path and area

walked, time for localization and reaction time. It turns out that most people behave similarly, especially in simpler scenarios. The explored area and detailed exploration behavior, however, differ.

Mi. 14:00 Raum 11 AUDICTIVE 1

Benefit of visual cues to sustained auditory attention in realistic environments

Bojana Mirkovic[a], Mareike Daeglau[a], Giso Grimm[b], Stefan Debener[a] und Volker Hohmann[b]

[a] *CvO Universität Oldenburg, Department of Psychology;* [b] *CvO Universität Oldenburg, Dep. Medizinische Physik und Akustik*

Brain entrainment to attended speech is positively influenced by visual cues, such as facial expressions and lip movement, thus enhancing our ability to comprehend speakers in every-day life. This mechanism may have a significant impact on the amount of fatigue caused by casual listening, particularly in hearing-impaired individuals. In a controlled laboratory environment, we investigated neural bases of audiovisual benefit when listening to running speech. We recorded electroencephalogram (EEG) from 40 participants while they were listening to speech with and without a video of speaker's face. Participants were instructed to press a button when target word was presented. We found that target word detection significantly increased when video of the speaker was shown. On neural level, using attention tracking models, we observed enhancement of speech entrainment with additional visual cues. The amount of enhancement was correlated with subjective ratings of listening effort. These results speak for undisputable importance of visual cues in running speech perception. We will next focus on investigating neural underpinnings of audiovisual benefit in more realistic, ecologically valid situations using virtual environment and completely mobile, transparent EEG devices. Impact of specific visual cues on auditory attention will be addressed, shedding light on speech comprehension in real-life.

Mi. 14:20 Raum 11 AUDICTIVE 1

Audio-visuelles Sprachverstehen in dynamischen Cocktailparty-Situationen: Einflüsse visueller Sprachinformation bei schnellen Sprecherwechseln

Alexandra Begau und Stephan Getzmann

IfADo Dortmund

Sprachverstehen in Gegenwart konkurrierender Schallreize stellt eine große Herausforderung für das auditive System dar. Vor allem ältere Menschen haben Schwierigkeiten einem Sprecher zu folgen und Störreize zu unterdrücken. Bisherige Befunde zur auditiven Szenenanalyse in Cocktailparty-Situationen basieren jedoch zum größten Teil auf Studien mit unimodal auditiven Sprachreizen. Dabei kommt es in realen komplexen Hörsituationen häufig zu einer vermehrten Nutzung visueller Sprachinformation, durch die altersbedingte Defizite im Hören zum Teil kompensiert werden können. Wir berichten Ergebnisse einer

aktuellen Studie, die untersucht, inwieweit audio-visuelle Sprachinformation gegenüber rein auditiver Sprache in dynamischen Cocktailparty-Situationen überlegen ist. Dabei werden jüngeren und älteren Teilnehmern aus drei unterschiedlichen Raumrichtungen kurze audio-visuelle Sprachreize präsentiert, die aus Zielwörtern und konkurrierenden Wörtern bestehen. Dargeboten werden Videosequenzen realer Sprecher, wobei die Menge an visueller Information experimentell variiert wird. Die Ergebnisse deuten auf einen Vorteil audio-visueller Sprache gegenüber rein visueller Sprache sowie unspezifischer visueller Information bei statischer Zielreizposition. Bei rasch wechselnder Zielreizposition stellt sich audio-visuelle Sprachinformation jedoch als nachteilig heraus. Die Analyse der ereigniskorrelierten Hirnpotenziale deutet auf altersspezifische Unterschiede in der Verarbeitung der audio-visuellen Sprachreize hin. In zukünftigen Studien sollten die vorliegenden Befunde in Hinblick auf noch natürlichere Sprechszenarien überprüft werden, beispielsweise mit längeren Sprachsequenzen oder innerhalb von VR-Umgebungen.

Mi. 14:40 Raum 11 AUDICTIVE 1

Examining Different Cue Types in a Listening Test on Auditory Selective Attention

Josefa Oberem[a], Iring Koch[b] und Janina Fels[a]
[a]*RWTH Aachen, ITA, Medical Acoustics;* [b]*RWTH Aachen, Institut für Psychologie*

To attract a participant's attention to an up-coming event, visual and acoustical cues can be used. These cues can be exogenous or endogenous and therefore require different degrees of abstraction to draw attention to a certain direction in space. Using a well-established binaural-listening paradigm, the ability to intentionally switch auditory selective attention was examined investigating exogenous vs. endogenous and visual vs. acoustical cues. In this paradigm two speakers simultaneously present spoken word pairs from two of four azimuth positions. Hence, the cue was used to indicating the position of the target speaker prior to actual stimulus onset. The stimuli were word pairs that consisted of a single number word (i.e., 1 to 9) followed by either the German direction "UP" or "DOWN". Young, normal-hearing participants were asked to identify whether the target number was numerically smaller or greater than five and to categorize the direction of the second word. Switch costs (i.e. reaction time differences between a position switch of the target relative to a position repetition) and error rates were analyzed with regard to the type of cue.

Mi. 15:00 Raum 11 AUDICTIVE 1

The effect of self-orienting on speech perception in an acoustically complex audiovisual scene

Lubos Hladek und Bernhard Seeber
TU München, Audio Information Processing

In real life, people often move during conversations, which affects speech intelligibility, but the established speech measures do not reflect the natural behavior. Here were present a listening experiment in which people were standing and could orient to speech sounds coming from different directions indicated by a virtual visual character of life-like size. The acoustic simulation interactively adapted according to the current orientation of the participant at the beginning of each trial. Besides having to report the words understood, participants received no instructions to reduce possible effects on behavior. The target speech material was taken from the standard OLSA test, convolved with a simulated room impulse response generated for one of four possible directions: front, two at the side, and the back. The interfering sound, six female co-located talkers asynchronously speaking OSLA sentences, came from the front. The results showed that participants oriented towards the targets during the target presentation. This put them in an acoustically more favorable condition at the end of the test sentence but this has not been reflected to the possible extent in the increase of speech intelligibility. The performance is discussed with respect to predictions of a speech intelligibility model (Jelfs et al., 2011).

Mi. 15:20 Raum 11 AUDICTIVE 1

Brain Signatures of Auditory Attention in Real-Life Listening Scenarios

Malte Wöstmann[a], Lorenz Fiedler[b], Martin Orf[a] und Jonas Obleser[a]
[a] *Universität zu Lübeck;* [b] *Eriksholm Research Centre*

Selective attention to relevant acoustic stimuli is critical for scene analysis and communication. In the laboratory, two oscillatory brain processes index auditory attention. First, slow neural oscillations ($\sim$4 Hz) reveal the brain's tracking of relevant acoustic stimuli. Second, the power of alpha oscillations ($\sim$10 Hz) indexes attention deployment to overcome listening challenges. In recent years, we found that investigation of these brain processes in more real-life listening scenarios significantly advances auditory attention research. Portable Electroencephalography (EEG), recorded inside the ear canal, reveals which sound source a listener attends to and is thus relevant for development of future hearing aids. Furthermore, EEG recordings differentiate a listener's attentional suppression of stationary versus moving distractor sounds in a 360° loudspeaker array. While previous spatial attention studies often used rather unrealistic dichotic listening setups with competing sounds on the left versus right ear, we have recently shown that hemispheric lateralization of alpha power differentially signifies auditory target selection versus

distractor suppression in case one sound source is presented in the free field in front of the listener, while another sound source systematically varies between left and right. Our findings enrich the development of realistic scenarios, such as virtual reality (VR), to study auditory attention.

Mi. 15:40 Raum 11 AUDICTIVE 1

Präsentation der Poster, die dieser Sitzung zugeordnet sind (s.u.)

Sitzung „AUDICTIVE: Auditory Cognition in Interactive Virtual Environments (Poster)“
Kurzvorträge: Mi. 15:40 (Raum 11); Poster-Forum: Mi. 16:00

Di.-Do. AUDICTIVE (Poster)

Child-appropriate Experiment on Auditory Selective Attention in a Virtual Acoustic Environment

Karin Loh[a], Christoph Hoog Antink[b], Leon Mayer[b] und Janina Fels[a]
[a] *RWTH Aachen, ITA, Medical Acoustics;* [b] *Chair for Medical Information Technology, RWTH Aachen*

Auditory selective attention enables the extraction of relevant sound sources from distracting sounds or background noise. In the context of primary and preschool life, children are typically exposed to noisy and complex acoustic scenes. To ensure a proper development of children's communicative and cognitive skills, their perception of the acoustic environments need to be addressed and understood. Hence, it is important to understand to what extent children's auditory selective attention is developed and affected under the influence of noise or disturbing acoustic features. This work introduces a child-appropriate paradigm on auditory selective attention, in which the categorization task was subsequently extended from a "two choices task" to a "four choices task". This extension provides both more information on the inhibition of irrelevant information and the possibility to include room acoustic effects. This work presents the paradigm and an implementation in a virtual acoustic environment to show its practical feasibility. Then, the results of a pilot-study are presented and discussed.

Di.-Do. AUDICTIVE (Poster)

Discrimination of Distances Travelled by Moving Sound Sources in Virtual Free-Field and Reverberant Environments

Michael Schutte[a], Stephan D. Ewert[b] und Lutz Wiegrebe[a]
[a] *Ludwig-Maximilians-Universität München, Biologie II;* [b] *CvO Universität Oldenburg, Mediz. Physik und Cluster of Excellence Hearing4all*

The human auditory system has a well-known bias towards sounds which increase in level at the ear. Sounds with increasing level are perceived as louder overall and result in a larger change of perceived distance than sounds which decrease in level at the same rate. This can be explained by an evolutionary benefit of caution towards threatening animals and objects that approach the listener.
Studies of this phenomenon have so far focused on sounds in the free field, where distance is altogether difficult to assess from auditory information. We are interested in how reverberation interacts with this bias. We presented listeners with pairs of either approaching or receding sounds in a virtual environment, where both sounds were rendered either anechoically (free field) or with simulated room acoustics (reverberation time of 0.4 s). The listeners had to decide which virtual sound source (approaching or receding) travelled a larger distance. We hypothesise that the task is more difficult for receding than for approaching sounds. Moreover, we expect that it will be either easier (due to the availability of additional spatial cues) or harder (due to reduced sound level dynamics) in a reverberant condition than in an anechoic one.

Di.-Do. AUDICTIVE (Poster)

Extraction of Auditory Health Parameters from Simultaneous Compound action potentials and Evoked Otoacoustic Emissions

Philipp Aichinger
Medizinische Universität Wien

The distinction between different types of hearing loss and characterization thereof is important for the clinical care of impaired hearing. For example, the decision whether to use a hearing aid or a cochlear implant is crucial, because implantation cannot be reversed without harm to residual hearing. Types of hearing loss include cochlear gain loss (CGL) due to damage of outer hair cells, and cochlear synaptopathy (CS) due to damage of synapses between inner hair cells and the auditory nerve. CGL is characterized by the hearing threshold, which is a function of frequency. CS is characterized by the number of functional synapses with respect to their spontaneous rates. Synthetic click-evoked otoacoustic emissions (OAEs) and auditory brainstem responses (ABRs) are obtained using an available computational model [Verhulst et al. 2018]. As a model of measurement noise, random walk cumulated white Gaussian noise is added. Model fitting based analysis of OAEs and ABRs is used to (i) predict types of hearing loss (flat or sloping CGL, selective or severe CS), and (ii) estimate flat and sloping components of CGL in dB, as

well as numbers of functional synapses respective their spontaneous rate. Accuracy is shown to decrease with increases of measurement noise level.

Di.-Do. AUDICTIVE (Poster)

Sensorimotor Coupling in Virtual Audio: Psychoacoustic Studies on the Minimum Audible Angle with 6 DoF Movement

Olli S. Rummukainen und Emanuël A. P. Habets
International Audio Laboratories Erlangen

Virtual reality systems with 6-degrees-of-freedom tracking enable sensory information to be rendered in real time in response to the listener's motor actions. The minimum audible angle (MAA) has been studied with a stationary listener and a stationary or a moving sound source. The studies at hand focus on a scenario where the angle is induced by listener self-translation in relation to a stationary sound source. First, the classic stationary listener minimum audible angle experiment is replicated using a headphone-based reproduction system. This experiment confirms that the reproduction system is able to produce a localization cue resolution comparable to loudspeaker reproduction. Next, the self-translation minimum audible angle (ST-MAA) is shown to be 3.3° in the horizontal plane in front of the listener. Furthermore, in contrast to stationary listener MAA, the ST-MAA is shown to be unaffected by an additional visual cue.

Sitzung „AUDICTIVE: Auditory Cognition in Interactive Virtual Environments 2"

Mi. 16:40 Raum 11 AUDICTIVE 2

Real-time sound insulation auralization framework for indoor and outdoor sources for virtual building acoustic environments

Anne Heimes, Imran Muhammad und Michael Vorländer
RWTH Aachen, Institute of Technical Acoustics

In last decades, the introduction of new building technologies and new powerful sound sources in and outside the dwellings have contributed to an increased awareness of noise. Along the progress in modelling methods, the development of sound insulation auralization can contribute to studies of noise effects. Important parts of this development are the technical descriptions and solutions to various auralization methods for simulating sound insulation between adjacent rooms and for facades in virtual reality (VR) environments. In this context, a real-time building acoustic auralization framework in 3D audio-visual technology is developed which introduces more realism and contextual features into psychoacoustic experiments. The framework relies on up-to-date implementation of building acoustic prediction models and enables a perceptually plausible airborne sound insulation auralization in virtual environments. All features are evaluated by investigating both, the overall accuracy of

the building acoustics filters and the computational performance of implemented algorithms.

Mi. 17:00 Raum 11 AUDICTIVE 2

Evaluation of work performance and subjective ratings under sound insulation conditions of a pass by outdoor source in virtual reality environments

Imran Muhammad und Michael Vorländer
RWTH Aachen, Institute of Technical Acoustics

This study describes the effects of outdoor pass by noise sources, i.e. moving vehicle, on work performance under different sound insulation conditions of virtual built up building structures. The performance of buildings concerning protection against noise exposure is evaluated from technical and human-centred perspectives. The technical-oriented evaluation is based on the standard measurement and sound insulation prediction techniques. Whereas, the human-centred approach, based on dynamic auralization of virtual reality (VR) scenes, is adopted to explore the potential of audio-visual VR to evaluate outdoor noise by building characteristics. Different background intermittent noise conditions, convolved with sound insulation filters of facade of an office room, were presented in a VR office environment and the effects on working performances and subjective ratings were measured and presented.

Mi. 17:20 Raum 11 AUDICTIVE 2

Requirements for the spatial resolution of late reverberation in virtual acoustic environments

Christoph Kirsch[a], Josef Poppitz[b], Steven van de Par[c] und Stephan D. Ewert[a]
[a] *CvO Universität Oldenburg, Mediz. Physik und Cluster of Excellence Hearing4all;* [b] *CvO Universität Oldenburg, Dep. Medizinische Physik und Akustik;* [c] *CvO Universität Oldenburg, Acoustics Group and Cluster of Excellence Hearing4all*

The room acoustics simulator RAZR [Wendt et al., J. Audio Eng. Soc., 62, 11 (2014)] has been developed to generate perceptually plausible Room Impulse Responses (RIR) in a computationally efficient manner. In a hybrid approach, the early part of the RIR is simulated by an image source model. Statistical assumptions allow for computing the later part of the RIR with a Feedback Delay Network (FDN). The number of FDN channels and associated with it, the number of fixed discrete directions to represent the spatially distributed late reverberant field, is directly linked to the computational effort. Here the minimum number of channels required to achieve simulations that are both perceptually plausible and suitable for the technical evaluation of multi-microphone signal processing algorithms is assessed. The spatial rendering used an 86-channel spherical loudspeaker array in an anechoic chamber. The spatial resolution of the late reverb was systematically reduced by using subsets of

the speakers. It was tested whether listeners can distinguish lower spatial resolutions from the highest spatial resolution in different simulated rooms. For the technical evaluation of hearing aid signal processing, the performance of a binaural Minimum Variance Distortionless Response Beamformer was assessed for different spatial resolutions.

Mi. 17:40 Raum 11 AUDICTIVE 2

Ein kombiniertes audio-visuelles System zur Untersuchung der Wahrnehmung und des Verhaltens in dynamischen Verkehrssituationen

Daniel Oberfeld-Twistel[a], Sören Wenzel[b], Stefan Leinen[c], Björn Reuper[c], Joachim Bös[d,e] und Giso Grimm[f]

[a] *Johannes Gutenberg-Univ. Mainz, Allg. Experimentelle Psychologie;* [b] *TU Darmstadt, Fachgebiet SAM;* [c] *TU Darmstadt, Fachgebiet Physikalische Geodäsie und Satellitengeodäsie;* [d] *Fraunhofer IDMT;* [e] *TU Ilmenau, Industrielle Anwend. von Medientechnologien;* [f] *CvO Universität Oldenburg, Dep. Medizinische Physik und Akustik*

Auch wenn in der Forschung zur auditiven Wahrnehmung und Kognition der Fokus häufig auf der Sprachkommunikation liegt, sind akustische Informationen von hoher Bedeutung für eine weitere entscheidende kognitive Leistung: unsere Navigation durch die Umwelt. So detektieren wir auditiv ein Fahrzeug, das sich uns von hinten nähert und sich somit außerhalb unseres Blickfelds befindet. In diesem Beitrag wird ein audio-visuelles Simulationssystem für Studien zur Nutzung auditiver Information in Verkehrssituationen vorgestellt. Da für die Simulation von Reifen-, Motor- und Antriebsstranggeräuschen in dynamischen Fahrsituationen mit wechselnder Geschwindigkeit, Beschleunigung und Lastzustand derzeit noch keine überzeugenden Ansätze existieren, basieren die verwendeten Stimuli auf akustischen Aufnahmen von realen Fahrzeugen auf einer Teststrecke. Die Signale von an verschiedenen Positionen am Fahrzeug positionierten Mikrofonen werden in einer akustischen Simulationssoftware (https://github.com/gisogrimm/tascar) als Schallquellen verwendet und anhand auf der Teststrecke aufgezeichneter hochpräziser GPS-Positionsdaten animiert, so dass das dynamische räumliche Schallfeld nachgebildet wird. Die resultierenden Simulationen werden mittels higher-order Ambisonics auralisiert und mit stereoskopisch dargebotenen interaktiven visuellen Simulationen (HTC Vive Pro) kombiniert. Die mit diesem System erzeugten detailgetreuen und plausiblen interaktiv-dynamischen audio-visuellen virtual-reality-Simulationen können unter anderem für die Untersuchung von time-to-collision-Schätzungen und von Straßenüberquerungsentscheidungen aus der Sicht von Fußgängern verwendet werden. Einige Daten aus entsprechenden Experimenten werden diskutiert.

Mi. 18:00 Raum 11 AUDICTIVE 2

Localization Performance in the Absence of Visual Cues for Binaural Renderings generated with a Virtual Artificial Head

Mina Fallahi[a], Martin Hansen[a], Steven van de Par[b], Simon Doclo[c], Dirk Püschel[d] und Matthias Blau[a]

[a]*Jade Hochschule Oldenburg, Inst. f. Hörtechnik u. Audiologie;* [b]*CvO Universität Oldenburg, Acoustics Group and Cluster of Excellence Hearing4all;* [c]*CvO Universität Oldenburg, Dep. Medizinische Physik und Akustik;* [d]*Akustik Technologie Göttingen*

The ability to quickly and reliably detect sources in realistic environments is believed to play a key role in many applications of interactive virtual environments, e.g. in the psychotherapy of social anxiety. One way of creating convincing virtual acoustic environments is to record actual scenes using the Virtual Artificial Head (VAH) technology [Rasumow et al. JAES 2017]. Previously, the VAH was evaluated as perceptually convincing in a dynamic (head-tracked) binaural scenario and in direct comparison to the real sound source in the room with respect to different aspects including the source position [Fallahi et al. ICA 2019]. Since the listeners were able to see the sound source in those experiments, the presence of visual cues could have promoted the localization ratings. In the present study, the VAH was evaluated in a subjective listening test in which the subjects had to localize actual (loudspeaker) and virtual sources, without supplying them with any visual information about the source position. The virtual sources were dynamically rendered using the VAH technology with individual and KEMAR HRTFs in the same way as the previous experiment. The listening test results allowed to evaluate the impact of missing visual cues on localization accuracy.

Sitzung „Lärmwirkungen“

Mi. 8:40 Raum 12 Lärmwirkungen

Einfluss des Stapediusreflexes auf den Gehörschadenindex des AHAAH-Modells

Christian Kleinhenrich, Philipp Bechtel, Carsten Hudasch und Tobias Langenbucher

Cervus Consult GmbH

Das vom amerikanischen Army Research Laboratory (ARL) entwickelte AHAAH-Modell (Auditory Hazard Assessment Algorithm for Humans) stellt ein Bewertungsverfahren für Impulsschall dar. Mithilfe eines elektro-akustischen Ersatznetzwerks führt es die Analyse eines Schalldruckzeitverlaufs durch und gibt eine Abschätzung des Gefährdungsrisikos für das menschliche Gehör zurück. Seit dem Jahr 2015 ist es Teil des militärischen Standard MIL-STD-1474E und wird sowohl von den

US- als auch bereits von anderen Streitkräften eingesetzt. Darüber hinaus findet das AHAAH-Modell zunehmend zivile Anwendung, wie zum Beispiel bei der Risikobewertung von Gehörschäden durch Airbags.
Ein Alleinstellungsmerkmal des AHAAH-Modells ist die Integration des Stapediusreflexes als nicht-lineares Element. In der Implementierung des ARL ist eine Analyse von Schalldruckzeitverläufen nur unter der Annahme eines vorhandenen Reflexes möglich. Dieser setzt mit konstanter Verzögerung und Anstiegszeit nach Erreichen eines Schwellwerts im Eingangssignal von 134 dB ein. Verschiedene Forschungsergebnisse zeigen allerdings, dass der Mittelohrreflex in der Bevölkerung nicht so stark verbreitet ist, wie es das Modell annimmt.
Aus diesem Grund wird in diesem Beitrag der Frage nachgegangen, welche Ergebnisse das AHAAH-Modell ohne vorhandenen Stapediusreflex für ausgesuchte Signale liefert. Außerdem wird gezeigt, welchen Einfluss das zeitliche Verhalten des Reflexes auf das Analyseergebnis hat. Dazu werden sowohl der Zeitverlauf als auch das Abklingverhalten des Mittelohrreflexes modifiziert.

Mi. 9:00 Raum 12 Lärmwirkungen

Das Pfander-Kriterium im Vergleich zum Gehörgefährdungsindex des AHAAH-Modells

Carsten Hudasch, Philipp Bechtel, Karl-Wilhelm Hirsch, Christian Kleinhenrich und Tobias Langenbucher
Cervus Consult GmbH

Zur Einschätzung des Gefährdungsrisikos von Impulsschall für das menschliche Gehör stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Das Pfander-Kriterium ermittelt zulässige Expositionen auf der Basis von Spitzenschalldruck und Wirkzeit eines Signalverlaufs. Dagegen führt das vom amerikanischen Army Research Laborator (ARL) entwickelte AHAAH-Modell (Auditory Hazard Assessment Algorithm for Humans) eine Risikobewertung mit Hilfe eines elektro-akustischen Modells des menschlichen Gehörs durch. Es wurde im Jahr 2015 in den militärischen Standard MIL-STD-1474E integriert. Neben dem US-Militär wird das AHAAH-Modell auch von anderen Streitkräften eingesetzt sowie bei zivilen Anwendungen zur Risikobewertung von Impulsschall genutzt.
In einem Beitrag auf der DAGA 2019 konnte gezeigt werden, dass der Gehörschadenindex des AHAAH-Modells nicht mit Einzahlwerten wie der im Arbeitsschutz gebräuchlichen Spitzen- oder Energiepegeln korreliert. Vielmehr wurde dabei deutlich, dass es unter bestimmten Umständen sogar zu einer Abnahme des Gefährdungsindexes trotz zunehmender Pegel kommen kann. Diese Umkehr wurde zuletzt auch von Zagadou et al. beobachtet. Auch Pfander hat diesen Effekt 1994 auf Grundlage empirischer Untersuchungen beschrieben.
In diesem Beitrag wird der Frage nachgegangen, inwieweit eine Korrelation zwischen den Ergebnissen des AHAAH-Modells und der Bewertungsmethode nach Pfander besteht. Dazu werden praxisrelevante Signale als Eingangsgrößen verwendet.

Mi. 9:20 Raum 12 Lärmwirkungen

Variation der Parameter des AHAAH-Modells - eine Empfindlichkeitsanalyse

Tobias Langenbucher, Philipp Bechtel, Carsten Hudasch und Christian Kleinhenrich
Cervus Consult GmbH

Das AHAAH-Modell (Auditory Hazard Assessment Algorithm for Humans) stellt ein Gehörmodell auf der Basis einer elektro-akustischen Ersatzschaltung dar. Mithilfe dieses Modells des amerikanischen Army Research Laboratory (ARL) ist es möglich, das Gefährdungsrisiko von Impulsschall auf das menschliche Gehör abzuschätzen. Seit seiner Integration in den militärischen Standard MIL-STD-1474E im Jahr 2015 kann es als Stand der Technik hinsichtlich der Bewertung von Impulsschall gesehen werden. Zudem findet es auch viele Anwendungen im zivilen Bereich wie beispielsweise bei der Entwicklung von Airbags.
Im Vergleich des Modells mit anderen Bewertungsverfahren fällt auf, dass das AHAAH-Modell mit 69 Parametern eine sehr große Zahl an Stellgrößen aufweist. Zur Ermittlung dieser Werte wurden von den Entwicklern zahlreiche Untersuchungen an Menschen und Versuchstieren, beispielsweise Katzen und Chinchilla, durchgeführt. Ebenso wurde auf damals vorliegende Forschungsergebnisse zurückgegriffen.
Jüngste Veröffentlichungen stellen die Übertragung von an Versuchstieren gewonnenen Erkenntnissen auf das menschliche Gehör in Frage. Beispielsweise wird im AHAAH-Modell für die Fläche der Fußplatte des Steigbügels bis heute der Wert für Chinchilla verwendet. Daher wird in diesem Beitrag der Frage nachgegangen, wie kritisch einzelne Parameter für das Analyseergebnis des Modells sind. Dazu werden Variationsrechnungen für verschiedene Parameter mithilfe einer eigenen Implementierung des AHAAH-Modells durchgeführt.

Mi. 9:40 Raum 12 Lärmwirkungen

Erinnerungsleistung für Landmarks in virtuellen Labyrinthen: Spielt die räumliche Lokalisation eines Hintergrundsprechers eine Rolle für seine Störwirkung?

Sabine Schlittmeier und Edina Fintor
RWTH Aachen, Institut für Psychologie, Auditive Kognition

Ob ein bestimmter Hintergrundschall kognitive Leistungen stört, hängt davon ab, ob Schallverarbeitung und Aufgabenbearbeitung auf denselben kognitiven Prozessen oder Funktionen fußen. Dieses so genannte Interference-by-Process Principle (z.B. Marsh et al., 2009) wird zwar grundsätzlich nicht in Frage gestellt, ist aber noch nicht vollständig empirisch getestet. In den letzten Jahren konzentrierte sich die Forschung zu kognitiven Lärmeffekten auf die Störwirkung von Hintergrundsprache auf verbale Aufgaben (z.B. verbales Kurzzeitgedächtnis, Lesen, Schreiben), sowie auf die Rolle von Sprachverständlichkeit, Semantik und temporal-spektraler Variabilität für die Störwirkung. Entsprechend dem

Interference-by-Process Principle sollten jedoch bei visuell-räumlichen Aufgaben die räumlichen Eigenschaften eines Hintergrundschalls für seine Störwirkung ausschlaggebend sein.
Wir stellen eine Serie von Experimenten vor, in der die Wirkung von Hintergrundsprache auf die Kapazität des visuell-räumlichen Kurzzeitgedächtnisses geprüft wurde, wobei der Hintergrundsprecher entweder immer von derselben räumlichen Position oder nacheinander von verschiedenen Positionen sprach. Wayfindung und Orientierung als alltägliche visuell-räumliche Aufgabe wurden mittels virtueller Labyrinthe mit Landmarks (z.B. eine Bäckerei, ein Park) operationalisiert. Die Versuchsteilnehmer sollten den Weg durch diese virtuellen Labyrinthe finden und danach die räumliche Position der Landmarks erinnern. Es zeigte sich, dass sich die beiden Sprachschallbedingungen in ihrer Wirkung auf das visuell-räumliche Kurzzeitgedächtnis unterscheiden. Dieser Befund wird bezüglich seiner kognitionspsychologischen Implikationen diskutiert.

Mi. 10:00 Raum 12 Lärmwirkungen

Deduktive Entwicklung und Validierung eines Fragebogens zur Erfassung von Sensitivität im sehr tiefen und sehr hohen Frequenzbereich: SUSIS-Q (Sensitivity to Ultrasound and Infrasound Questionnaire)

Leonie Ascone
Universitätsklinik Hamburg-Eppendorf

Akustische/ auditorische Forschung und Beschwerden zu Umweltlärm zeigen, dass es eine kleine, signifikante Sub-Gruppe innerhalb der Bevölkerung gibt, die besonders sensitiv gegenüber Infra-/ tieffrequentem (ILF) oder Ultra-/ hochfrequentem (UHF) Schall zu sein scheint. Dieser Beitrag berichtet über die Entwicklung, Faktorisierung, und Validierung eines Fragebogens zur Erfassung von Geräusch-Sensitivität außerhalb des normalen Hörschallbereichs. Eine Hauptkomponentenanalyse in einer Stichprobe von N = 267 Europäern (UK, Slovenien, Deutschland) legt nahe dass ILF/UHF-Sensitivität abgrenzbare Konstrukte, und somit vermutlich teils unabhängige Arten von Geräuschsensitivität darstellen. Die jeweilige Sensitivität ist charakterisiert durch sensorische Empfindlichkeit, Stressresponsivität und Vermeidungsverhalten. Interessanterweise luden die Gefährlichkeitsbewertungen für ILF/UHF auf einem weiteren, abgrenzbaren Faktor - was dafür spricht, dass kognitive Aspekte per se keine essenziellen Merkmale von Infra- oder Ultraschallsensitivität darstellen. Die Faktorlösung (Ifraschallsensitivität, Ultraschallsensitivität, Gefährlichkeitsbewertung von ILF und UHF Schall) konnte auch in nationalen Sub-Stichproben (Deutschland, UK) repliziert werden, was eine Robustheit der Lösung nahelegt. Die Reliabilität der resultierenden Skalen war akzeptabel bis exzellent. Korrelationen der ILF/UHF Sensitivitätsskalen mit etablierten Hörschall-Sensitivitätsfragebögen, psychiatrischen/ somatischen Symptomskalen, sowie Persönlichkeitstests, sprechen für die Validität des Fragebogens.

Das neu entwickelte Instrument könnte für die Verwendung zur Erhebung moderierender Effekte der UHF und ILF Schallexposition, beispielweise in Feldstudien oder akustischen Experimenten zur Prädiktion differenzieller Outcomes verwendet werden.

Sitzung „Aktive akustische Systeme“

Mi. 10:20 Raum 12 Aktive akustische Systeme

Lokale Dämpfung breitbandigen Lärms mittels adaptiver Mehrkanal-Steuerung

Julian Schiller, Christian Pape und Eduard Reithmeier
Leibniz Universität Hannover, Inst. für Mess- und Regelungstechik

Die dämpfende Wirkung aktiver akustischer Systeme zur Reduktion störenden Lärms ist räumlich auf sogenannte Ruhezonen begrenzt, die sich lokal an den ortsfesten Fehlermikrofonen ausbilden. Um derartige Systeme am Menschen einsetzen zu können und eine wahrnehmbare Lärmreduktion zu gewährleisten, sind die Ruhezonen z.B. mittels virtueller Sensorik von den Fehlermikrofonen zu den Ohren zu verschieben. Im Rahmen dieses Beitrags wurde eine adaptive Mehrkanal-Steuerung auf Basis des konventionellen FxLMS-Algorithmus implementiert und durch die Remote-Microphone-Technique erweitert. Mittels des entwickelten Systems konnte an einem entsprechenden Prüfstand bei Lärm mit einer Bandbreite von bis zu 1 kHz eine 0,7 m breite Ruhezone um einen platzierten Kunstkopf erzeugt werden. Messungen in den künstlichen Gehörgängen zeigten, dass auch bei Kopfdrehungen ohne Anpassung der Steuerungsparameter stets Dämpfungen von bis zu 9 dBV gewährleistet werden konnten.

Mi. 10:40 Raum 12 Aktive akustische Systeme

Movable Quiet Zones for Permanent Noise Reduction

Sven Höber, Christian Pape und Eduard Reithmeier
Leibniz Universität Hannover, Inst. für Mess- und Regelungstechik

Active noise control (ANC) systems can by now be encountered in numerous applications such as headphones for the consumer but also the professional market. Particularly, at industrial workplaces or open-plan offices, where people are exposed to high and permanent noise levels, ANC could provide a substantial ear protection. However, most available solutions are either designed as devices to be carried or are tailored to specific environments and require costly arrangements. The present contribution introduces a compact and remote ANC system that aims to provide a permanent noise level reduction at a listener's ears by creating an accurately placed quiet zone (the area of reduced sound pressure). Moreover, the quiet zone is tracked in respect of the target position using a stereo camera to ensure attenuation even when the listener is moving. To avoid the rearrangement of any sensors for this, virtual microphones are employed by using the remote microphone technique. As part of the

validation, this contribution discusses the noise reduction and tracking performance by means of sound field measurements and continuous noise level evaluation at the target position.

Mi. 11:00 Raum 12 Aktive akustische Systeme

Versuchsträger zur aktiven Minderung der Schalleinstrahlung zylindrischer Strukturen

Bernd-Christian Hölscher[a], Stephan Algermissen[b], Christian Hesse[c] und Michael Sinapius[a]

[a] *TU Braunschweig, Institut für Adaptronik und Funktionsintegration;* [b] *DLR, Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik, Braunschweig;* [c] *DLR, Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt*

Aktive Systeme sind effektive Lösungen für tieffrequente Problemstellungen der Schwingungsdämpfung, sowohl zur Unterdrückung von Strukturschwingungen als auch für Probleme der Schallab- und -einstrahlung. Insbesondere für gekoppelte Systeme aus Struktur und Fluid, bei denen unter Verwendung struktureller Fehlersensoren eine globale Reduktion des Schallfeldes erreicht werden soll, ist die Implementierung derartiger Lösungen allerdings häufig sehr ineffizient. Bei der oft verwendeten Behandlung der Schallabstrahlung mittels Singulärwertzerlegung entstehen frequenzabhängige Schallstrahlungsmoden, die daraus resultierende hohe Modellordnung des benötigten Reglers ist durch heutige Signalverarbeitungssysteme kaum leistbar. Für Phänomene der Schalleinstrahlung in Innenräume erlauben die Fluidmoden jedoch die Formulierung frequenzunabhängiger Moden des gekoppelten Systems. Mit den frequenzabhängigen Schallstrahlungseffizienzen ermöglichen diese eine erhebliche Ordnungsreduktion des Reglers. Der Nachweis der Umsetzbarkeit eines solchen Ansatzes ist durch Vorarbeiten analytisch für generische Kavitätsgeometrien (Quader und Zylinder) erbracht. Für komplexere Geometrien muss dieser Nachweis numerisch und insbesondere experimentell erfolgen. In diesem Beitrag wird ein hierzu geeigneter Versuchsträger vorgestellt. Der Versuchsträger besteht aus einer zylindrischen CFK-Struktur, Randabschlüssen zum Abschluss des Innenraums sowie Vorrichtungen für vibroakustische Vermessung und Lagerung von Struktur und Randabschlüssen. Im Beitrag wird zum einen auf die konstruktiven Aspekte des Versuchsträgers eingegangen, zum anderen werden Ergebnisse der Messungen sowie ein Ausblick auf zukünftige Untersuchungen vorgestellt.

Mi. 11:20 Raum 12 Aktive akustische Systeme

A Non-parametric Method for Online Secondary Path Estimation in Active Noise Control Systems

Samira Mohamady[a], Yanrong Niu[b] und Allahyar Montazeri[c]

[a] *IAV GmbH;* [b] *Technische Universität München (TUM);* [c] *Engineering Department, Lancaster University, UK*

Online secondary path estimation plays an important role in design of active noise control (ANC) systems and the final achievable performance for the overall system. However, due to cross coupling and the effect of nonlinearities in the system, the results are usually poor, and the problem requires specific attentions. In this study, we aim to investigate the impact of finite measured multi-sine data as an input excitation signal to find the best linear approximation for the secondary path estimation. The approach relies on robust local polynomial method as an advanced technique for non-parametric measurement of the room impulse responses. In this way, it is possible to quantify various sources of uncertainties such as measurement noise, leakage, and nonlinear distortions by deeper analysis of the results. The information can be used to understand the situation of ANC system and improve the online the secondary path estimation, subsequently.

Mi. 11:40 Raum 12 Aktive akustische Systeme

Präsentation der Poster, die dieser Sitzung zugeordnet sind (s.u.)

Sitzung „Aktive akustische Systeme (Poster)“
Kurzvorträge: Mi. 11:40 (Raum 12); Poster-Forum: Mi. 16:00

Di.-Do. Aktive akustische Systeme (Poster)

Vibrationsdämpfung an Fensterscheiben von Arbeitsfahrzeugen zur Lärmreduzierung in der Fahrgastzelle

Bernhard Heinemann[a], Sergej Jukkert[a] und Delf Sachau[b]

[a] *Helmut-Schmidt-Universität Hamburg;* [b] *Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, Mechatronik*

Fahrgastkabinen von Arbeitsfahrzeugen sind zum Schutz des Fahrers vor Witterungseinflüssen in der Regel geschlossen. Im Gegensatz zu Personenkraftwagen spielt bei Arbeitsfahrzeugen der Luftwiderstand auf Grund der geringen Fahrtgeschwindigkeit eine untergeordnete Rolle. Daher und für eine gute Rundumsicht verfügen diese Fahrzeuge über große und oft flache Fensterscheiben. Vibrationen, z.B. des Antriebsstrangs oder verursacht durch das Abrollen über ein grobes Radstollenprofil, werden auf die Fahrgastkabine übertragen und regen dort nicht hinreichend entkoppelte Flächen zum Schwingen an. Die Fensterscheiben sind üblicherweise viskoelastisch in Gummidichtungen gelagert. Durch die Dichtung, die Lagerung und die großen Flächen neigen die Fenster zum Schwingen, wenn sie durch Vibrationen geeignet angeregt

werden. Vibrierende Fenster erzeugen im Inneren der Fahrgastkabine unerwünschten Lärm, der gesundheitsschädliche Folgen haben kann. In diesem Beitrag wird von einem Verfahren zur Schwingungsreduktion der Fensterscheibe eines Arbeitsfahrzeugs berichtet. Durch Verwendung mehrerer, auf der Scheibe montierter, Inertialschwingerreger als hybride Tilger in Kombination mit Fehlermikrofon und adaptiver Regelung gelingt die Beruhigung der Scheibe und in Folge die Lärmreduktion im Innenraum der Fahrgastkabine. Im Unterschied zu Lösungsansätzen mit Piezoaktoren sind Inertialschwingerreger in der Lage durch größeren Hub und höhere Stellenergie akustischen Moden im tieferen Frequenzbereich unter 100 Hz entgegenzuwirken.

Sitzung „Meeresakustik und Wasserschall 1“

Mi. 13:40 Raum 12 Meeresakustik und Wasserschall 1

Variabilität der Schallausbreitung in einem Tiefwasserkanal

Jan Abshagen und Volkmar Nejedl
Wehrtechnische Dienststelle 71

Die vertikale Schichtung von Temperatur und Salzgehalt im Meer oder auch in tiefen Fjorden kann zur Bildung eines Schallkanals in tieferen Wasserschichten führen. Insbesondere die Druckzunahme mit zunehmender Tiefe und die damit verbundene Zunahme der Schallgeschwindigkeit führt in der Regel zur Bildung eines Schallkanals unterhalb der Thermokline. Die Schallausbreitungsbedingungen in einem solchen Tiefwasserkanal sind dabei weder zeitlich noch räumlich stationär, sondern können eine ausgeprägte Variabilität aufweisen. In dieser Arbeit werden experimentelle Ergebnisse zur Schallausbreitung und deren Variabilität in einem Tiefwasserkanal vorgestellt. Die Messungen wurden mit dem FS Elisabeth Mann Borgese im Sognefjord, Norwegen, durchgeführt. Die Richtungsabhängigkeit der Schallausbreitung wurde dabei mittels eines Vertikal- sowie eines Kreisarrays untersucht. Die Messstrecke zwischen Sender und Empfänger wurde mit einem Bojensystems realisiert und die Messungen driftend, d.h. (quasi-)stationär, in unterschiedlichen Abständen bis zu 10 km durchgeführt

Mi. 14:00 Raum 12 Meeresakustik und Wasserschall 1

Zielmaßverminderung eines skalierten Stahlkörpers mit Innenstruktur

Arne Stoltenberg und Ingo Schäfer
Wehrtechnische Dienststelle 71

Das Zielmaß eines skalierter zylindrischen Stahlkörpers mit dünner Aussenhaut und massiver Innenstruktur wurde in der Vergangenheit experimentell bestimmt und mit den Ergebnissen verschiedener numerischer Rechenmodelle verglichen. Hierbei treten unter bestimmten Aspektwinkeln besondere Effekte auf.

Nach Aufbringen eines Absorbermaterials mit bekannten akustischen Eigenschaften in verschiedenen Schichtdicken wird jeweils das Zielmaß und seine Verringerung abhängig vom Aspektwinkel untersucht. Wiederum werden die experimentell erlangten Ergebnisse mit denen der numerischen Zielmaßmodellierung verglichen.

Mi. 14:20 Raum 12 Meeresakustik und Wasserschall 1

Untersuchung zur Schallentstehung bei der Umströmung einer vereinfachten Schleppantenne

Florian Wachter und Stefan Becker
Univ. Erlangen-Nürnberg, Lehrst. Prozessmaschinen u. Anlagentechnik

Sonar-Schleppantennen sind geschleppte hydroakustische Messsysteme, die wegen der räumlichen Trennung der Sensoren von der schleppenden Messplattform (Schleppschiff) deutlich geringeren Störgeräuschen ausgesetzt sind als plattformgebundene Systeme. Solche Systeme bestehen meist aus einem öl- oder gelgefüllten, elastischen Schlauch, in dessen Inneren sich mehrere Hydrophone befinden. Die Schleppantennen zeichnen sich durch ein Verhältnis von Länge zu Radius aus, das in Größenordnungen von O(10ˆ 2) bis zu O(10ˆ 6) liegt. Beim Einsatz und damit bei der Umströmung solcher Systeme bildet sich eine axial-symmetrische, turbulente Grenzschicht (ATGS) um das schlauchartige Messsystem, dessen Grenzschichtdicke den Radius der Antennenhülle um ein Mehrfaches übersteigt. Derartige Grenzschichten unterscheiden sich von den turbulenten Grenzschichten an planaren oder schwach gekrümmten Oberflächen. Die durch Krümmungseffekte beeinflussten ATGS sind in Bezug auf die Schleppantennen interessant, da die strömungsinduzierten Eigenstörgeräusche, die aus den Fluktuationen innerhalb der turbulenten Grenzschichtströmung resultieren, in bestimmten Situationen das dominierende Störgeräusch darstellen können und damit die Einsatzmöglichkeiten des Messsystems limitieren. Um die grundlegenden Prinzipien der grenzschichtinduzierten Eigenstörgeräuschentstehung, die Wechselwirkung zwischen Grenzschicht und elastischer Schlauchhülle sowie die Akustik im Inneren der Schleppantenne untersuchen zu können, werden Simulationen der Fluid-Struktur-Akustik-Interaktion an einer vereinfachten Schleppantennengeometrie durchgeführt. Im Rahmen des Vortrags werden Herangehensweise und Ergebnisse vorgestellt.

Mi. 14:40 Raum 12 Meeresakustik und Wasserschall 1

Hydroakustische Sensoren auf Basis von piezoelektrischen Aluminiumnitrid-Dünnschichten

Hanna Lewitz[a], Bastian Kaulen[a], Jan Abshagen[b], Gerhard Schmidt[a] und Eckhard Quandt[a]
[a] *Christian-Albrechts-Universität zu Kiel;* [b] *Wehrtechn. Dienststelle 71*

Diese Arbeit befasst sich mit der Entwicklung und Charakterisierung von piezoelektrischen Dünnschichten für hydroakustischen Sensoren,

die mittels MEMS kompatiblen Dünnschichtverfahren hergestellt werden. Die Sensoren bieten eine Miniaturisierungsmöglichkeit vor allem für Arrayanwendungen, wenn eine hohe räumliche Auflösung oder ein geringes Gewicht benötigt wird, dabei sollen allerdings ähnliche Leistung (Empfindlichkeit, Detektionsgrenze) wie bei den großvolumigen Sensoren erreicht werden. Herkömmlich hergestellte Sensoren werden aus Pulvern gepresst und gesintert. Dabei wird Blei-Zirkonat-Titanat (PZT) verwendet, das dank seines großen piezoelektrischen Effekts in vielen kommerziellen Produkten genutzt wird. Durch die Herstellung von Sensoren auf Dünnschichtbasis steht eine andere Auswahl an piezoelektrischen Materialien zur Verfügung. Eine theoretische Abschätzung mit Hilfe des piezoelektrischen Koeffizienten und der dielektrischen Konstante zeigt zum Beispiel, dass von Aluminiumnitrid (AlN) eine 10 dB größere Sensitivität als von PZT-Dünnschicht zu erwarten ist. Dementsprechend wurden AlN-Sensoren mittels reaktiver Kathodenzerstäubung hergestellt. Zudem erlauben Dünnschichtsensoren den Aufbau von speziellen Layouts, die zu einer Sensitivitätssteigerung beitragen. Es werden Dünnschichtsensoren auf einem Membranlayout mit Sensoren auf einem festen Substrat und kommerziellen PZT-Hydrophonen verglichen.

Mi. 15:00 Raum 12 Meeresakustik und Wasserschall 1

Validierung eines Modells zur Berechnung von Offshore-Rammschall für hohe Frequenzen

Jonas von Pein, Stephan Lippert und Otto von Estorff
Techn. Universität Hamburg, Institut für Modellierung und Berechnung

Offshore-Infrastrukturen, wie z.B. Offshore-Windenergieanlagen, werden hauptsächlich mit Pfählen im Meeresboden verankert. Bei den dafür notwendigen Rammungen entstehen sehr hohe Schalldruckpegel im Wasser, die für die marine Fauna potentiell gefährliche Größen erreichen können. Um die Meeresumwelt zu schützen, sind in vielen Ländern Grenzwerte einzuhalten. Hierfür sind verschiedene breitbandige und frequenzabhängige Grenzwerte definiert. Ein wichtiger Grenzwert ist der breitbandigen Einzelereignispegel (SEL). Für die Vorhersage der Schalldruckpegel sind numerische Berechnungsmethoden notwendig. Die Berechnung des SEL kann oftmals unter Berücksichtigung von Frequenzen bis zu 1 kHz durchgeführt werden, da der wesentliche Anteil der Schallenergie zwischen 50 Hz und 300 Hz abgestrahlt wird. Vor diesem Hintergrund sind die meisten Modelle zur Berechnung von Offshore-Rammschall für einen vergleichsweise niedrigen Frequenzbereich validiert. Jedoch können die Hörkurven betroffener Arten, wie z.B. dem Schweinswal, eine deutliche Empfindlichkeit im höheren Frequenzbereich aufweisen, weshalb die Schalldruckpegel des Rammschalls auch in diesem Frequenzbereich von Interesse sind. Aufgrund der notwendigen feineren Diskritisierung steigt mit der Frequenz allerdings der Rechenaufwand. In dem vorliegenden Beitrag wird die Validierung eines hybriden Modellansatzes mit einem Finite-Elemente-Modell für den Nahbereich und einem Parabolic-Equations-Fernfeldmodell für Frequenzen

bis zu 20 kHz vorgestellt. Zum Abgleich wird auf Messergebnisse verschiedener Messkampagnen zurückgegriffen und der Einfluss frequenzabhängiger akustischer Parameter untersucht.

Mi. 15:20 Raum 12 Meeresakustik und Wasserschall 1

Formoptimierung eines Impulshammers zur Schallminderung bei Offshore-Pfahlrammungen

Elin Klages, Stephan Lippert und Otto von Estorff
Techn. Universität Hamburg, Institut für Modellierung und Berechnung

Bei der Rammung von Gründungspfählen zur Errichtung von Offshore-Windturbinen wird über die Pfahlmantelfläche Unterwasserschall emittiert. Zum Schutz von Meereslebewesen sind die zulässigen Schallpegel in Deutschland sowie zahlreichen anderen Ländern per Gesetz begrenzt. Zur Einhaltung dieser Grenzwerte werden üblicherweise sekundäre Schallschutzsysteme, welche die Schallausbreitung im Wasser vermindern, eingesetzt.

Die Notwendigkeit von effektiven Schallminderungssystemen hat in den letzten Jahren, aufgrund von größeren Pfählen und damit höheren Energieeinträgen, immer weiter zugenommen. Im Kontext dieser Entwicklung wächst das Interesse an primären Schallminderungsmaßnahmen, welche die Schallentstehung an der Quelle reduzieren, als Ergänzung zu vorhandenen sekundären Maßnahmen.

Der gegenwärtige Beitrag diskutiert die Verringerung der Schallabstrahlung über ein gezieltes Design des für die Rammung verwendeten Hammers. Hier hat sich gezeigt, dass insbesondere durch eine Streckung des Rammimpulses sowie die Vermeidung von Kraftspitzen die Schallabstrahlung, bei gleicher Rammenergie, erheblich reduziert werden kann. Ein akustisch zuträgliches Design zeigt allerdings oftmals Nachteile bei der Rammbarkeit des Pfahls sowie der Lebensdauer und Fertigung des Hammers. Erste Ergebnisse einer Formoptimierung der Hammerkomponenten, welche alle diese Faktoren berücksichtigt, werden vorgestellt.

Mi. 15:40 Raum 12 Meeresakustik und Wasserschall 1

Implementierung einer Unterwassertelefonieschnittstelle in einem SONAR-Simulator

Tim Owe Wisch[a], Till Wiegand[b], Florian Schulz[b] und Gerhard Schmidt[a]
[a] *Christian-Albrechts-Universität zu Kiel;* [b] *Atlas Elektronik GmbH*

Sprachkommunikation unter Wasser unter Nutzung von sowohl analogen, digitalen und auch gemischten Verfahren ist noch immer ein spannendes Forschungsfeld. Durch die kostengünstige Verfügbarkeit von leistungsfähiger Hardware lassen sich die Algorithmen vollständig in Software realisieren. Im Sinne einer fortschreitenden Systemintegration ist eine Integration von Kommunikationssystemen in SONAR-Systeme,

auch auf simulativer Ebene, eine logische Folge. Selbst in den Grenzen etablierter Standards können Sprachverbesserungsansätze die Verständlichkeit der Übertragung steigern und für eine verbesserte Sprachkommunikation sorgen. Aufgrund der geringen zur Verfügung stehenden Bandbreiten werden einige Sprachmerkmale, deren Energien in höheren Frequenzbereichen liegen, oftmals abgeschnitten. Während herkömmliche Techniken nur darauf abzielen, das Signal-zu-Rausch-Verhältnis zu verbessern und Spracheigenschaften außer Acht lassen, zeigt das hier vorgestellte System zusätzlich das Abbilden hochfrequenter Sprachmerkmale in niedrigere Frequenzbereiche. Auf diese Weise können auch Ansätze von Frikativen über einen stark bandbegrenzten Kanal übertragen werden.

Sitzung „Sprache und Audio im KFZ“

Mi. 16:40 Raum 12 Sprache und Audio im KFZ

DNN-based Speech Enhancement with Harmonics Regeneration

Patrick Preißner[a], Jonas Sautter[a], Friedrich Faubel[a], Markus Buck[a] und Wolfgang Minker[b]

[a] *Cerence Inc.;* [b] *Institute of Communications Engineering, Univ. Ulm*

In a hands-free telephony setting for automotive environments, driving noise distorts both the phase and amplitude of acquired speech signals. The aim of noise reduction approaches is to restore clean speech before sending it over the telephone channel. State-of-the-art approaches use DNN-based filters that estimate real or complex-valued filter coefficients in the frequency domain. While real-valued filters can only correct the spectral magnitude, complex-valued filters can also correct the phase. But the latter comes at a significantly higher computational cost.

In this work, we take an alternative approach that re-synthesizes the harmonic structure of speech by using DNN-based pitch trackers and voiced/unvoiced detectors. The re-synthesis concentrates on the frequency band between 0 and 1000Hz as the human hearing system is most sensitive to phase errors in this range. Higher frequency bands of the speech signal are obtained with a real-valued filter whose coefficients are estimated with a DNN.

The perceived speech quality of the processed speech is evaluated in subjective listening tests.

Mi. 17:00 Raum 12 Sprache und Audio im KFZ

Perceived Listening Effort for ICC systems - a multi-language comparison

Jan Reimes[a] und Jan Holub[b]
[a] *HEAD acoustics GmbH;* [b] *Faculty of Electr. Engineering, CTU Prague*

Communication inside a car cabin can be quite difficult depending on the driving situation, mainly due to high driving noise. Up to a certain degree, in-car communication (ICC) systems serve as a remedy for this situation. However, as for many speech-processing systems, often a trade-off between (improved) listening effort and (possibly decreased) speech quality has to be made.

In previous work, it was shown that the combined auditory assessment of speech quality and listening effort might be a suitable framework for the evaluation of ICC systems. Most of these experiments were conducted with a comprehensive test corpus, but so far only in German language. For auditory evaluations with speech samples in general, it is important that the language, which is used in the stimuli does match the one of the subjects. In particular, for the assessment of listening effort, this requirement becomes even more important.

This contribution presents new auditory results of an ICC system in three different languages. Identically processed speech samples in American English, Mandarin and German were obtained and tested in two different listening laboratories. Results of auditory tests and multi-language comparisons are presented and analyzed.

Mi. 17:20 Raum 12 Sprache und Audio im KFZ

Untersuchungen zur Selbstwahrnehmung des Sprechers in Fahrzeugen mit ICC-System

Tobias Hübschen[a], Stefan Bleiholder[b], Frank Kettler[b] und Gerhard Schmidt[a]
[a] *Christian-Albrechts-Universität zu Kiel;* [b] *HEAD acoustics GmbH*

Systeme zur Fahrzeuginnenraumkommunikation (ICC-Systeme) dienen allgemein dem Zweck die Verständlichkeit des Gesagten zu verbessern bzw. auch die Höranstrengung zu reduzieren. Welchen konkreten Einfluss solche Systeme auf den Zuhörer haben, insbesondere auch durch die Verzögerung zwischen ursprünglichem und verstärktem Signal, wurde ansatzweise schon in vorliegenden Arbeiten analysiert. Durch die fehlende räumliche Trennung von Zuhörer und Sprecher haben besagte Systeme allerdings zusätzlich einen signifikanten Einfluss auf den Sprecher. In diesem Zusammenhang konnte bereits eine Veränderung des Lombard-Effektes beobachtet werden. Weiterführende Analysen bezüglich des Einflusses des Systems auf den Sprecher, bzw. auch wie der Sprecher das System und sich selbst wahrnimmt, sind aktuell jedoch noch nicht ausreichend verfügbar. Dementsprechend stellt dieser Beitrag eine Studie vor, in der die Selbstwahrnehmung des Sprechers in Abhängigkeit von Systemverstärkung und Signal-Rausch-Verhältnis sowie von der Systemlaufzeit analysiert wird.

Mi. 17:40 Raum 12 Sprache und Audio im KFZ

Baby Cry Recognition in Vehicles

Jan Baumann, Jan Franzen, Timo Lohrenz und Tim Fingscheidt
TU Braunschweig, Institut für Nachrichtentechnik

In an automotive environment the driver's attention to traffic and the surrounding environment is a safety-critical aspect. Distracting situations and events around the driver can significantly decrease his/her focus and increase the risk of driving mistakes and accidents. Therefore, it is desirable to prevent an unfocussed state of the driver. Various systems are designed to alert the driver in such situations and thereby prevent possible damage. While these systems often rely on visual input, usually requiring high computational power, it is also possible to obtain information from acoustic signals as they are acquired via the already existing hands-free microphone. Recent systems for automatic sound event detection can be used to detect and classify various types of sound events, even when high-level background noise is present. When it comes to sound events diverting the attention of the driver, high-power sound events with rare occurrences can often be observed as the cause: Such as a baby crying in the backseat. For this use case we propose a neural network-based detector for baby cries in vehicles. The method detects baby cries in the presence of typical vehicle noise, and in consequence triggers an increased support from driver assistance systems or autonomous driving functions.

NEU: Do. 8:40 Raum 11 Sprachverarbeitung

Overall End-to-End Conversation Quality in Complex Scenarios

Stefan Bleiholder, Nils Rohrer und Frank Kettler
HEAD acoustics GmbH

Conversational quality may be diversely disturbed, e.g. by distorted speech sound, audible echo, sluggish interaction due to long delay, insufficient double talk capability and more. The complexity arises from the perceptual weighting of these single disturbances in the conversation context, the combination of multiple disturbances and the mutual influence of disturbances from the phones used on both ends. Thus, the determination of overall end-to-end communication quality is a very complex and challenging task, both, for test subjects in auditory conversational tests, and -even more- for instrumental models. A conversational test was conducted using commercial wireless phones on both ends, which have been specifically manipulated in order to cover a wide range of possible impairments. The results reflect overall end-to-end quality for single disturbances on one side, on both sides, multiple disturbances and also the mutual influence and interaction between the phones. The results of this study are discussed in this contribution and future work is outlined.

Sitzung „SFB1330 Hörakustik: Perzeptive Prinzipien, Algorithmen und Anwendungen“

Mi. 8:40 Raum 27 SFB1330 Hörakustik

Using a blind binaural model predicting the effect of useful and detrimental speech reflections on intelligibility

Thomas Brand[a], Saskia Röttges[a], Christopher Hauth[a] und Jan Rennies-Hochmuth[b]

[a] *CvO Universität Oldenburg, Dep. Medizinische Physik und Akustik;* [b] *Fraunhofer IDMT*

Speech intelligibility in rooms is typically modelled by assuming that early reflections of the target speech are beneficial because they can be integrated with the direct sound while late speech reflections are detrimental. However, there are situations, for example when public address systems are used, where late reflections contain more useful speech information than the direct sound and the early reflections. Rennies et al. (2019) measured binaural speech reception thresholds in stationary noise with 86 artificial combinations of early and late reflections. They showed that a binaural speech intelligibility model (BSIM) can only account for the interactions between binaural processing and temporal integration when it distinguishes between useful and detrimental reflections instead of early and late reflections. The present study re-analyses these data using a blind version of BSIM which has no access to the room impulse response (RIR). Instead the blind model uses only the left and right ear signal as input to the binaural stage which uses equalization cancellation processing maximizing speech-like modulations. In this way the separation between useful and detrimental reflections is due to the maximization of speech information. This corresponds closer to the processing of human listeners and does not require knowledge about the RIR.

Mi. 9:00 Raum 27 SFB1330 Hörakustik

Release from energetic and informational masking as revealed by listening effort and speech intelligibility

Jan Rennies-Hochmuth[a], Virginia Best[b], Elin Roverud[b], Melanie Krueger[c] und Gerald Kidd Jr.[b]

[a] *Fraunhofer IDMT;* [b] *Department of Speech, Language and Hearing Sciences, Boston University, MA, USA;* [c] *Hörzentrum Oldenburg GmbH*

Normal-hearing listeners can exploit different unmasking cues to recognize target speech in complex sound fields. While this capability is typically measured as improvement in speech intelligibility, this study additionally investigated the release from perceived listening effort that could be achieved by three unmasking cues (spatial separation, gender differences, and masker time reversal). Speech intelligibility and categorically scaled listening effort were measured for a fixed target talker masked by two competing talkers with no unmasking cues or one to three

unmasking cues. In addition to natural stimuli, measurements were also conducted with so-called ”glimpsed speech” to estimate the relative amounts of informational and energetic masking as well as the effort associated with source segregation. For normal-hearing listeners, all unmasking cues as well as glimpsing improved intelligibility and reduced listening effort, and providing more than one cue was beneficial in overcoming informational masking. The reduction in listening effort due to glimpsing corresponded to increases in signal-to- noise ratio of up to 18 dB, indicating that a significant amount of listening effort was devoted to segregating the target from the maskers. For hearing-impaired listeners, the benefit was reduced and varied considerably across subjects.

Mi. 9:20 Raum 27 SFB1330 Hörakustik

Assessment and modelling of auditory perception in complex scenes

Thomas Biberger, Stefan Fichna und Stephan D. Ewert
CvO Universität Oldenburg, Mediz. Physik und Cluster of Excellence Hearing4all

Nowadays, several applications like television sets, loudspeakers or (ear-level) hearing supportive devices are applied for sound reproduction of speech and music. These systems potentially introduce linear, non-linear, and spatial (binaural) distortions to the original audio signal, which might affect the audio quality. In common acoustical scenarios humans are surrounded by multiple sound objects, comprising the target (e.g., talker or music from sound reproduction systems), as well as interferers like disturbing talkers or other disturbing sound sources. Given that such situations often take place in rooms, reverberation additionally interferes with the (distorted) target. In this study we assess how the auditory system detects and rates linear, non- linear, and spatial distortions in real-life target stimuli (speech, music and noise reference) in such complex scenes, involving one or two interferer sounds and different amounts of reverberation, including an anechoic reference condition. For a subset (living room scenario), the target and interferers were either co-located as if contained in the original audio, e.g., a news broadcast on the television, or spatially separated as if the target source was interfered by additional sources in the room. Detection thresholds and quality ratings were measured providing reference data for the development of a binaural audio-quality model.

Mi. 9:40 Raum 27 SFB1330 Hörakustik

Simulating Spatial Speech Recognition Performance with an Automatic-Speech-Recognition-based Model

Marc René Schädler, Paul Kranzusch, Christopher Hauth und Anna Warzybok

CvO Universität Oldenburg, Dep. Medizinische Physik und Akustik

The individual speech recognition performance of listeners with aided impaired hearing could recently be predicted with high accuracy in monaural noisy listening conditions. Those predictions were based on simulations of speech recognition experiments with a modified automatic speech recognition system, where the loss of information due to the hearing impairment was implemented in the feature extraction stage. In realistic listening conditions, however, the signals are presented binaurally and encode spatial information. For predictions of benefits due to using a hearing device in realistic listening conditions an extension of the speech recognition system to exploit advantages of binaural listening is required. Two extensions of the model are considered: 1) The concatenation of the separable Gabor filter bank feature vectors from the left and the right signal channel, and 2) the additional concatenation of the difference of the feature vectors. The two model variants are used to simulate the binaural masking level difference (BMLD) and speech recognition thresholds. Only the second variant shows a binaural speech recognition performance improvement beyond better ear listening. This model was found to simulate human recognition performance in anechoic and realistic room acoustics. Further, the same model could also predict the psychoacustic BMLD data.

Mi. 10:20 Raum 27 SFB1330 Hörakustik

The 'missing 6 dB' revisited: Loudness mismatch between headphone and loudspeaker presentation

Florian Denk[a], Josep Llorca-Bofí[b], Michael Kohnen[b], Michael Vorländer[b] und Birger Kollmeier[a]

[a] *CvO Universität Oldenburg, Mediz. Physik und Cluster of Excellence Hearing4all;* [b] *RWTH Aachen, Institute of Technical Acoustics*

Since the 1930s, generations of researchers observed a mismatch between headphone and loudspeaker presentation: The sound pressure level at the eardrum generated by a headphone has to be about 6 dB higher compared to a free-field source to elicit the same perceived loudness. While it has been shown that this effect vanishes if the same waveforms are generated at the eardrum in a blind comparison, the origin of the mismatch is still unclear. We present new data on the issue that systematically characterizes this mismatch under variation of the stimulus frequency, presentation room, headphone type, and binaural parameters of the headphone presentation. Subjects adjusted the playback level of a headphone presentation to equal loudness as loudspeaker presentation; the levels at the eardrum were determined through appropriate

transfer function measurements. Identical experiments were conducted at Oldenburg and Aachen with 40 normal-hearing subjects, including 14 that passed through both sites. Our data verifies a mismatch between loudspeaker and diotic headphone presentation, especially at low frequencies. This mismatch depends on the room acoustics of the loudspeaker presentation, and strongly on the interaural correlation in both presentation modes. Funded by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) - Projektnummer 352015383 - SFB 1330 A4.

Mi. 10:40 Raum 27 SFB1330 Hörakustik

Machine learning for voice estimation: Statistical mapping between glimpsed periodicity features and high-level voice parameters

Joanna Luberadzka[a], Hendrik Kayser[a] und Volker Hohmann[b]
[a] *CvO Universität Oldenburg;* [b] *CvO Universität Oldenburg, Dep. Medizinische Physik und Akustik*

The human ability to follow a voice in the presence of competing voices is a classical example of selective attention in hearing. We investigate this phenomenon by developing a computational model of attentive tracking of voices. The model consists of (i) extraction of the sparse periodicity-based auditory features, (ii) feature decomposition into foreground and background stream and (iii) Bayesian tracking of the time-varying parameters of voices: fundamental frequency, formants and direction of arrival. The final stage of the model requires statistical models describing (a) the relation between the features and the tracked parameters and (b) the temporal transitions of the parameters. In this study, we propose a supervised machine learning technique for finding the best models for the competing talker scenario. One important aspect of our feature extraction method is that it passes through only the non-disrupted "periodicity glimpses", providing a robust, but sparse representation of the scene. It allows us to assume that the training must only contain the clean speech, but there are challenges related to sparsity. We investigate a single-voice and a two-voice training scheme, compare the voice tracking performance in various acoustic conditions and discuss the relevance of different methods in the context of auditory modeling.

Mi. 11:00 Raum 27 SFB1330 Hörakustik

The Acoustically transparent hearing device: overview and subjective quality evaluations

Henning Schepker[a], Florian Denk[b], Reinhild Roden[c], Matthias Blau[d], Birger Kollmeier[b] und Simon Doclo[a]
[a] *CvO Universität Oldenburg, Dep. Medizinische Physik und Akustik;* [b] *CvO Universität Oldenburg, Mediz. Physik und Cluster of Excellence Hearing4all;* [c] *Jade Hochschule Oldenburg;* [d] *Jade Hochschule Oldenburg, Inst. f. Hörtechnik u. Audiologie*

Assistive hearing devices often have a low user acceptance due to a limited sound quality. Recently, the concept of acoustic transparency was

proposed to increase the sound quality for hearing-impaired and normal-hearing users. Acoustic transparency of a hearing device refers to the acoustic perception of an open ear canal while the device is inserted in the ear. This can be achieved by applying an equalization filter to the output of the device such that the transmission properties of the open ear are obtained. In this contribution we give an overview of our approach to acoustically transparent sound presentation. We present recent advances in our custom earpiece design with multiple receivers and multiple microphones as well as signal processing algorithms for robust acoustic feedback suppression and sound pressure equalization. We present results from several subjective quality evaluation experiments in terms of the overall quality of a real-time demonstrator and several commercially available devices compared to the open ear and outline future research directions, e.g., using individualized electro-acoustic models to alleviate the necessity of measuring the acoustic transfer functions within the device and to the eardrum. Funded by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) - Projektnummer 352015383 - SFB 1330 A4 and C1.

Mi. 11:20 Raum 27 SFB1330 Hörakustik

An 'Unreal' Framework for Creating and Controlling Audio-Visual Scenes for the rtSOFE

Felix Enghofer, Lubos Hladek und Bernhard Seeber
TU München, Audio Information Processing

Highly realistic audio-visual environments have their application in various areas, including architecture, gaming, art, perceptual research, and beyond. The reproduction of complex scenes requires advanced and complex tools, for instance game engines, but these often lack advanced acoustical simulations. The real-time Simulated Open Field Environment (rtSOFE) is an interactive room simulator for rooms of arbitrary shapes and has been designed to meet criteria of precision, interactivity, and real-time performance - all important for virtual reality. However, the rtSOFE has not been fully integrated with other virtual reality tools. Here, we present a new framework that integrates an established tool for virtual reality with the rtSOFE, to ease the production of complex environments with highly precise video and audio. We created a game engine plugin, which automatizes the management of the distributed rtSOFE system and exploits many existing game engine features, like the support for visual CAVE systems, visual scripting, predefining sound trajectories, interactivity, definition of collisions, creation of virtual characters etc. The performance of the framework is demonstrated with an audiovisual interactive simulation of a highly realistic classroom with changeable acoustics and a movable sound source.

Sitzung „Psychoakustik 1“

Mi. 13:40 Raum 27 Psychoakustik 1

Wahrnehmungsschwellen von Latenzen in simulierten offenen Hörsystemen

Kristin Ohlmann, Birger Kollmeier und Florian Denk
CvO Universität Oldenburg, Mediz. Physik und Cluster of Excellence Hearing4all

Bei offenen Hörsystemen kann die Klangqualität unter anderem durch Kammfiltereffekte beeinträchtigt werden, die durch Überlagerung von Direktschall und verzögert wiedergegebenen Hörsystem-Outputs entstehen. Während bisherige Studien vor allem den Einfluss dieser Effekte auf die Klangqualität untersucht haben, werden in diesem Beitrag die Wahrnehmungsschwellen für diese Latenzen auf der Basis eines simpel simulierten linearen Hörsystems bestimmt. Hierzu werden Direktschallkomponente und Output des Hörsystems durch überlappende Tiefpass- und Hochpassfilter mit variabler Lage und Überlapp simuliert und über Kopfhörer wiedergegeben. Außerdem wird eine Modellierung der spektralen Wahrnehmung durchgeführt. Die experimentell bestimmten Wahrnehmungsschwellen der Latenzen liegen im Bereich von 0.14 ms bis 0.95 ms. Eine Verschiebung des Überlappbereichs zwischen Tiefpass- und Hochpassfilter zu höheren Frequenzen hin oder eine Vergrößerung des Überlappbereichs führt zu sinkenden Wahrnehmungsschwellen, während eine Verstärkung des Hörsystem-Outputs zu einer Erhöhung der Wahrnehmungsschwellen führt. Der wesentliche Faktor ist hierbei die höchste Frequenz, bei der beide Komponenten einen vergleichbaren Einfluss auf den Schallübertragungsweg haben. Eine spektrale Kompensation der Kammfiltereffekte ohne Veränderung der groben zeitlichen Struktur führt zu einer deutlichen Erhöhung der Wahrnehmungsschwellen (0.92 ms bis 4.91 ms), was bestätigt, dass Kammfilter besser spektral wahrgenommen werden.

Mi. 14:00 Raum 27 Psychoakustik 1

Tonale Komponenten und deren Effekte auf kognitive Leistungsfähigkeit und Physiologie

Andreas Herweg, Christian Laufs und Julian Becker
HEAD acoustics GmbH

Tonale Komponenten innerhalb von technischen Geräuschen beeinflussen meist maßgeblich die wahrgenommene Lästigkeit eines Geräusches. Sie sind daher von großer Bedeutung bei der Optimierung der Produktqualität und von gesteigertem Interesse für die Psychoakustik. Mittels des in der 15. Edition des ECMA-74 Standards publizierten Tonhaltigkeits-Modells kann die empfundene Tonhaltigkeit eines Signals berechnet werden. Im Rahmen von Hörversuchen ist dabei wichtig zu unterscheiden, ob Teilnehmer, je nach Aufgabestellung, die Lautheit

oder die Lästigkeit einer tonalen Komponente bewerten. Vorhergegangene Studien zeigten dabei für tonale Signale deutliche Unterschiede für Kurven gleicher Tonaler Lautheit und Kurven gleicher Tonaler Lästigkeit. Im Rahmen der vorgestellten Studie wurde der störende Effekt von tonalen Signalen auf Konzentration und Aufmerksamkeit untersucht. Hierfür wurde ein kognitiver Test (Stroop Test) unter verschiedenen Störschall Situationen durchgeführt. Die Leistung innerhalb des Tests, sowie die physiologischen Reaktionen während der Durchführung wurden ausgewertet. Dabei sollte zusätzlich untersucht werden, welches Konstrukt (Tonale Lautheit oder Tonale Lästigkeit) entscheidender für eine Abschätzung des negativen Effekts auf die kognitive Leistungsfähigkeit ist.

Mi. 14:20 Raum 27 Psychoakustik 1

Application of Psychoacoustic Tonality for Product Sound Development

Julian Becker und Roland Sottek
HEAD acoustics GmbH

The perception of tonal sounds is one of the most important psychoacoustic sensations for product sound quality. In the past, a lot of work has been carried out to automatically quantify tonal sound events. The psychoacoustic tonality is a method for the quantification of tonal sounds, which is based on a hearing model which emulates the processing of human hearing. It is standardized in the ECMA-74 standard (since June 2018). In this paper, the results of the psychoacoustic tonality are validated by comparison with the results of listening tests for different signal types. The application of the psychoacoustic tonality according to the ECMA-74 standard is described. For several examples, it is shown how the psychoacoustic tonality can be used for product sound development and how the results can be interpreted.

Mi. 14:40 Raum 27 Psychoakustik 1

Tonhaltigkeit und Hörvermögen

Jesko Verhey, Shirin Ashraf Vaghefi und Jan Hots
OvG-Universität Magdeburg, Abteilung Experimentelle Audiologie

In unserer technisierten Umwelt sind wir zunehmend von tonalen Signalen umgeben. Im Fahrzeugbereich sind dieses zum Beispiel die Schallemission alternativer Antriebssysteme und Warnsignale. Hierbei können auch mehrere tonale Komponenten auftreten. Der vorliegende Beitrag untersucht die Wahrnehmung von tonalen Anteilen im Geräusch als Funktion der Anzahl der Komponenten. Zur experimentellen Erfassung der Tonhaltigkeit wurde die Lautheit des tonalen Anteils in einem adaptiven Vergleichsverfahren bestimmt. Als Vergleichssignal wurde ein Stimulus mit nur einer Sinuskomponente genutzt. Zusätzlich wurde die störende Wirkung des tonalen Anteils durch einen Vergleich mit einem Signal ohne tonale Komponenten bestimmt. Letztere Messung erlaubt eine Abschätzung des Tonzuschlags, wie er in der DIN 45681 vergeben

wird. An den Messungen nahmen sowohl normalhörende Versuchspersonen als auch Personen mit einem verminderten Hörvermögen teil. Die Ausgeprägtheit der Tonhöhe ändert sich bei vermindertem Hörvermögen. Dieses legt nahe, dass auch die Tonhaltigkeit sich ändert. Für beide Versuchspersonengruppen nimmt mit zunehmender Anzahl der Komponenten die Lautheit des tonalen Anteils zu. Eine Zunahme des Pegels des tonalen Anteils reduziert die Angenehmheit des Stimulus. Die Messungen mit den normalhörenden Versuchspersonen bestätigen hierbei frühere Messungen mit einem anderen Versuchspersonenkollektiv. Die Messungen mit den Schwerhörenden deuten an, dass das Hörvermögen einen Einfluss auf die Tonhaltigkeit hat.

Mi. 15:00 Raum 27 Psychoakustik 1

Dissonanz als Bewertungskriterium multi-tonalen Schalls

Anna Rieger[a], Christian Mühlbauer[a], Rainer Weber[b] und Hans-Peter Rabl[a]

[a] *OTH Regensburg;* [b] *Vitesco Technologies*

Ob Menschen ein Geräusch als angenehm oder störend empfinden, hängt unter anderem maßgeblich von dessen tonalen Komponenten ab. Die adäquate Charakterisierung dieser Komponenten ist daher unerlässlich. In der Elektromobilität stellen neben Einzeltönen vor allem mehrere, gleichzeitig erklingende Tonhöhen neue akustische Herausforderungen dar. Aus der Musiktheorie ist zudem bekannt, dass nicht jede Kombination aus zusammen erklingenden Tönen ein wohlklingendes Schallereignis erzeugt. Im allgemeinen Sprachgebrauch wird dieser Zusammenhang mit dem Namenspaar Konsonanz/Dissonanz umschrieben. In aktuellen psychoakustischen Analysen ist es möglich, Einzeltöne bezüglich einiger Merkmale zu bewerten, jedoch wird dabei nicht der Zusammenklang der einzelnen Komponenten miteinbezogen. Zur Erforschung der Grundlagen menschlichen Dissonanzempfindens wurde daher ein Hörtest basierend auf synthetischen Zwei- und Dreiklängen durchgeführt. Die Versuchspersonen haben neben der Dissonanz außerdem die Lästigkeit der Beispielsounds bewertet. Es konnte dadurch beobachtet werden, was Probanden unter Dissonanz verstehen und wie sich Dissonanz und Lästigkeit zueinander verhalten. Neben der Interpretation der Ergebnisse wurden außerdem bestehende Literaturmodelle mit den Daten des Hörtests auf Korrelation untersucht.

Mi. 15:20 Raum 27 Psychoakustik 1

Modell zur Detektion und Quantifizierung von zeitlich variablen tonalen Komponenten

Eike Claaßen[a], Arne Oetjen[a] und Steven van de Par[b]

[a] *CvO Universität Oldenburg, Abt. Akustik;* [b] *CvO Universität Oldenburg, Acoustics Group and Cluster of Excellence Hearing4all*

Gerade durch eine stetig wachsende Bedeutung der Elektromobilität wird die Tonhaltigkeit eines Geräuschs immer mehr zur dominierenden Größe im Bezug auf den Klangkomfort von Fahrzeuggeräuschen.

Hier führt ähnlich wie bei Fahrzeugen der Oberklasse ein reduziertes Antriebsgeräusch zu einer geringeren Maskierungswirkung auf Nebenaggregate und Getriebe. Tonhaltige Geräuschkomponenten können in diese Kontext als schmalbandige Rauschsignale und/oder sehr schnell zeitlich veränderliche Signale auftreten. Diese beiden Aspekte werden in der aktuellen DIN 45681 jedoch nicht berücksichtigt. Um eine besseres Verständnis für diese Vorgänge zu erlangen wurde ein Hörversuch entwickelt, dessen Ziel die Bestimmung der Tonhaltigkeit von Schmalbandrauschen war. Hierfür wurde eine Point-of-Subjective-Equality (PSE) Messung durchgeführt. Als Referenz diente bandbegrenztes Rauschen mit 13 Bandpass- und einer Tiefpass- Kondition. Als Testsignal wurde ein Sinus in weißem Rauschen verwendet, bei dem das Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) als Anpassungskriterium diente. Basierend unter anderem auf diesen Daten wurde ausgehend vom Detektionsverfahren von Volk et al. (2004) eine Berechnungsmethode für die Tonhaltigkeit entwickelt. Die Detektion der tonhaltigen Komponenten erfolgt bei dieser Methode mittels einer Template-basierten Erkennung von tonale Komponenten innerhalb des Erregungsmusters. Besonderes Augenmerk lag hierbei auf der Verbesserung der Quantifizierung zeitlich variabler tonhaltiger Komponenten. Zur Weiterentwicklung dieses Verfahrens wurde die Anzahl der Vergleichs-Templates erhöht und ein Pattern-Matching mittels des Skalarproduktes implementiert.

Mi. 15:40 Raum 27 Psychoakustik 1

Präsentation der Poster, die dieser Sitzung zugeordnet sind (s.u.)

Sitzung „Psychoakustik (Poster)“
Kurzvorträge: Mi. 15:40 (Raum 27); Poster-Forum: Mi. 16:00

Di.-Do. Psychoakustik (Poster)

Untersuchungen zur Dynamik auditiver Aufmerksamkeitsverteilung

Bernhard Eurich[a], Manfred Mauermann[a] und Birger Kollmeier[b]
[a] *CvO Universität Oldenburg, Dep. Medizinische Physik und Akustik;* [b] *CvO Universität Oldenburg, Mediz. Physik und Cluster of Excellence Hearing4all*

Normalhörenden gelingt es in komplexen akustischen Umgebungen, eine Schallquelle hervorzuheben und dabei weitere Schallquellen weitgehend auszublenden (”Cocktail-Party-Effekt”). Diese perzeptuelle Trennung basiert auf einem Wechselspiel zwischen salienzgesteuerter (”bottom-up”) und willentlicher, selektiver Aufmerksamkeit auf verschiedene auditorische Objekte (”top down”). Mutmaßlich erfolgen entsprechende Aufmerksamkeitswechsel zwischen Zeitfenstern spezifischer Dauer. Ergebnisse aus EEG-Messungen zeigen häufig eine Synchronisation der neuronalen Aktivitäten (Entrainment) mit der Zeitstruktur der

attendierten Schallquelle, allerdings fast ausschließlich für rhythmische Fluktuationen etwa im Frequenzbereich üblicher Silbenraten von Sprache (Theta-Bereich). Die genaue Charakterisierung solcher Zeitfenster in der Wahrnehmung ist allerdings noch unklar. Spielt z.B. der Theta-Bereich auch in Experimenten zur zeitfenster-basierten Aufmerksamkeitsverteilung eine besondere Rolle? Hierzu wurde untersucht, inwieweit sich dieser Einfluss der Stimulus-Zeitstruktur auf die selektive Aufmerksamkeit auch auf Silbenerkennung und kognitive Beanspruchung auswirkt. In einem psychoakustischen Oddball-Experiment wurden die Erkennungsraten von Silben sowie die entsprechenden Antwortzeiten bei unterschiedlich schnellen Darbietungsraten gemessen. Die Messungen erfolgten sowohl in Ruhe als auch mit einem gleichzeitig dargebotenen sprachähnlichen Störsignal. Für Darbietungsraten der Stimuli unterhalb des Theta-Bereichs zeigten sich signifikant längere Reaktionszeiten und höhere Fehlerraten im Vergleich zu Darbietungsraten im Theta-Bereich. Dies wird als Beeinträchtigung der selektiven Aufmerksamkeit und gleichzeitig höherer kognitiver Beanspruchung für Zielsignale mit unnatürlich langsamer Silbenrate (unterhalb des Theta- Bereichs) interpretiert.

Di.-Do. Psychoakustik (Poster)

Disentangling spatial sound perception with drawings

Josep Llorca-Bofí, Michael Kohnen und Michael Vorländer
RWTH Aachen, Institute of Technical Acoustics

Sound localization experiments are common tests describing the individual perception of the spatial sound. However, 3-D audio auralization techniques include spatial scenarios more complex than those presented in the experiments. In those cases, a three-dimensional drawing of the aurally perceived space would deliver detailed information about the individual perception. The present experiment was performed by architecture students, who listened to an auralized scene while scale drawing what they thought the auditory environment could look like. This poster presents the graphical data produced in the experiment. The correlation of the design properties of the drawings with some psychoacoustic parameters are presented by Kohnen et. al also in this conference.

Di.-Do. Psychoakustik (Poster)

Vibroakustische Beats - Durch Ganzkörperschwingungen hervorgerufene akustische Reize

Anna Schwendicke[a], Felix Reichmann[b] und M. Ercan Altinsoy[a]
[a] *TU Dresden, Professur für Akustik und Haptik;* [b] *TU Dresden*

Im Alltag sind Menschen Ganzkörperschwingungen (GKS) in vielen verschiedenen Situationen ausgesetzt. Meistens treten die Schwingungen gleichzeitig mit akustischen Signalen auf, da Schwingung und Schall aus derselben Quelle stammen. Dies führt zu multimodalen Effekten zwischen GKS und Geräuschen, die für die Gestaltung multimodaler virtueller Umgebungen genutzt werden können und die Gesamtwahrnehmung

von beispielsweise Komfort in multimodalen Situationen wie Autofahren oder Konzertbesuch beeinflussen. Dabei können GKS in geringem Maße die Wahrnehmung akustischer Reize auslösen. Dieses Phänomen kann indirekt durch die Erweiterung des Konzeptes von binauralen Beats auf vibroakustische Beats nachgewiesen werden. Die gleichzeitige Darbietung von zwei sinusförmigen Signalen mit wenigen Hertz Unterschied zwischen Kopfhörer und Ganzkörperschwingung führt zur akustischen Wahrnehmung von Schwebungseffekten. In dieser Studie wurde der Effekt systematisch mit über 20 Versuchspersonen mit zwei verschiedenen Lautheitspegeln über für fünf verschiedene Frequenzen im tiefen, gerade noch hörbaren Bereich, untersucht. Durch den Vergleich der Ergebnisse der vibroakustischen Beats mit rein akustisch erzeugten Beats kann eine Abschätzung der empfundenen Lautstärke erfolgen.

Sitzung „Psychoakustik 2“

Mi. 16:40 Raum 27 Psychoakustik 2

Vermeidung von Overfitting bei der Vorhersage von subjektiven Tonalitätsbewertungen auf Basis künstlicher neuronaler Netze mit kleinen Trainingsmengen

Tim Holzhäuser, Robert Rosenkranz und M. Ercan Altinsoy
TU Dresden, Professur für Akustik und Haptik

Bei der Produktentwicklung werden typischerweise psychoakustische Hörversuche mit Probanden durchgeführt, um unter anderem die Wahrnehmung von Tonalität zu ermittelt. Da Hörversuche mit deutlichen Zeit- und Kostenaufwand verbunden sein können, wäre es wünschenswert eine modellbasierte Vorhersage einzusetzen. Für die Modellierung komplexer Zusammenhänge eignen sich künstliche neuronale Netze. Für das Training der künstlichen neuronalen Netze werden einmalig Tonalitätsbewertungen von Probanden für Stimuli benötigt. In diesem Beitrag wurden hierfür Elektomotorengeräusche in Hörversuchen durch Probanden hinsichtlich ihrer Tonalität bewertet. Bedingt durch den hohen Aufwand der Hörversuche stehen oft nur kleine Mengen an Trainingsdaten zur Verfügung. Dadurch besteht die Gefahr von Overfitting. Dieser Beitrag schlägt einen grundlegenden Ansatz zur quadratischen Vergrößerung der Trainingsmenge durch die Transformation von ratioskalierten Daten in ordinalskalierte Daten vor. Die zusätzlichen Trainingsdaten erhöhen die Anzahl der Randbedingungen die ein Modell erfüllen muss, und verringert so die Chance für Overfitting. Durch den Vergleich mit alternativen Ansätzen wird die Wirksamkeit des neuen Ansatzes gezeigt.

Mi. 17:00 Raum 27 Psychoakustik 2

Rauigkeitswahrnehmung wird durch spektrale Prominenz beeinflusst

Michael Schaffert[a], Arne Oetjen[a] und Steven van de Par[b]
[a] *CvO Universität Oldenburg, Abt. Akustik;* [b] *CvO Universität Oldenburg, Acoustics Group and Cluster of Excellence Hearing4all*

Die Ausgeprägtheit der Rauigkeit von Produktgeräuschen hat einen starken Einfluss auf die Geräuschqualität. Rauigkeit als psychoakustische Größe wurde bisher vorwiegend anhand von synthetischen Signalen untersucht, die über das komplette vorhandene Frequenzband moduliert waren. Vorherige Versuchsergebnisse haben jedoch gezeigt, dass die anhand dieser Erkenntnisse vorhergesagten Rauigkeiten von den tatsächlich wahrgenommenen bei bestimmten Signalen abweichen. Diese Art von Signalen ist nur in einem bestimmten Frequenzband moduliert, dessen Leistungsdichte im Vergleich zum restlichen Spektrum angehoben ist. Dieses Phänomen wurde als "spektrale Prominenz" bezeichnet. Zur Untersuchung wurde rosa Rauschen nur in bestimmten Frequenzbereichen moduliert, deren spektrale Leistungsdichte variiert wurde. Diese Stimuli wurden von Probanden mit einem rosa Rauschen mit variierender Modulationstiefe mit Hilfe einer adaptiven Versuchsprozedur verglichen und auf gleiche Rauigkeit eingestellt. Die Ergebnisse dieser Studie bestätigten den von der Norm abweichenden Zusammenhang zwischen wahrgenommener Rauigkeit und Pegel des modulierten Signales. In der vorgestellten Studie wurde ein anderes Testverfahren verwendet, sowie deutlich erweiterte Parametervariationen untersucht, um einen systematischen Einblick in die Funktionsweise der hinterliegenden Mechanismen zu erlangen. Sämtliche Stimuli wurden mit dem definierten 1-asper Referenzgeräusch verglichen, um eine direkte Einteilung in asper vornehmen zu können. In diesem Vortrag werden die neuen Ergebnisse mit dem vorherigen Experiment, sowie den theoretischen Definitionen, verglichen.

Mi. 17:20 Raum 27 Psychoakustik 2

Annoyance Perception of Dishwasher Noise

Serkan Atamer und M. Ercan Altinsoy
TU Dresden, Professur für Akustik und Haptik

Annoyance, as a categorized human emotion to particular stressors in defined context, is an ever-increasing topic of acoustics especially in sound quality studies of household appliances. Imposed legislative limit values of sound power levels decreased the overall levels of the devices in recent years. Nowadays, the acoustical differences between the rival products in market lie not only in the overall levels but also in the perceived sound quality of the devices. This study gives baseline of sound generation mechanisms of a dishwasher and tries to understand the perceived annoyance of the dishwasher noise. With the help of structured

successive listening tests, effects of different acoustical and psychoacoustical parameters on annoyance perception is investigated. With the help of obtained correlations, it also focuses on increasing the perceived quality of dishwashers and discusses the possibility of better- sounding devices.

Mi. 17:40 Raum 27 Psychoakustik 2

Räumliche Gewichtung bei der Lautheitswahrnehmung

Jan Hots[a], Daniel Oberfeld-Twistel[b], Alexander Fischenich[b] und Jesko Verhey[a]

[a] *OvG-Universität Magdeburg, Abteilung Experimentelle Audiologie;* [b] *Johannes Gutenberg-Univ. Mainz, Allg. Experimentelle Psychologie*

Lautheit ist die empfundene Intensität des Schalls. Die Empfindungsgröße hängt neben der physikalischen Schallintensität auch von anderen Signaleigenschaften wie dem spektralen Gehalt oder der Signaldauer ab. Die Abhängigkeit von diesen (monauralen) physikalischen Einflussgrößen wird in aktuellen Lautheitsberechnungsverfahren bereits erfolgreich modelliert. Noch wenig verstanden ist der Einfluss der räumlichen Position der Schallquelle auf die Wahrnehmung des Schalls. Der vorliegende Beitrag untersucht, ob unterschiedliche räumliche Positionen der Schallquellen unterschiedliche Gewichte bei der Bewertung der Lautheit haben. Hierbei wird ein Ansatz verwendet, der bereits erfolgreich dazu genutzt wurde, eine spektrale oder zeitliche Gewichtung bei der Lautheitswahrnehmung zu quantifizieren. Es werden fünf verschiedene Rauschbänder aus fünf verschiedenen Lautsprechern präsentiert, die sich vor, hinter, links, rechts und über der Versuchsperson befinden. Zunächst werden die einzelnen Rauschbänder aus jeder Richtung in einem adaptiven Verfahren in ihrer Lautheit individuell ausgeglichen. Anschließend werden zufällige Kombinationen der in ihrer Lautheit ausgeglichenen fünf Rauschbänder und fünf Richtungen mit zufälligen Pegelvariationen versehen. Die Versuchspersonen bewerten jeweils das gesamte räumliche Schallfeld in seiner Lautheit. Die Bewertungen werden durch eine multiple logistische Regression in relative Gewichte der einzelnen Richtungen überführt. Für eine realistische Lautheitsvorhersage in alltäglichen Umgebungen mit räumlich verteilten Schallquellen sollten zukünftige Verfahren zur Berechnung der Lautheit diese Gewichte berücksichtigten

Mi. 18:00 Raum 27 Psychoakustik 2

Loudness and distance perception in complex reverberant audio-visual environments

Stefan Fichna, Thomas Biberger und Stephan D. Ewert

CvO Universität Oldenburg, Mediz. Physik und Cluster of Excellence Hearing4all

In daily life auditory perception is accompanied by visual cues, mediating awareness of our surroundings including distance perception for objects. Auditory cues in isolation are far less reliable, particularly in absence of

sound reflections and reverberation, where the distance-dependent level of an object translates into loudness as the main cue. In rooms, the distance-dependent direct-to-reverberant ratio (DRR) provides additional cues. Both cues, however, might be affected in complex scenes with additional interfering sound sources. Moreover, congruent or incongruent visuals of the surroundings might affect the expected reverberation and distance of the sound source and in turn perceived loudness. Here, loudness and just-noticeable level differences of a single target sound source was estimated in absence or presence of one or two interfering sound sources in an anechoic environment and in a small and large room with reverberation times (T60) of about 0.6s and 1.5s. The acoustic scenarios were presented with either congruent or incongruent visuals, e.g., the small room paired with the long reverberation time. Additionally, the visual distance of the target either matched its level in relation to the interferers or not. The results are discussed and the freely available audio-visual experiment framework using Unreal engine and Matlab is presented.

Sitzung „Philosophie in der Akustik“

Mi. 13:40 Future Space A Philosophie in der Akustik

Die Phänomenologisch-Aristotelische Methode

Monika Gatt, Marcus Maeder und Steffen Marburg
TU München, Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme

Die wiederholte Problematisierung der Akustik mit philosophischen Mitteln hat gezeigt, dass es möglich ist, eine neue Forschungsmethode zu etablieren. Diese bezeichnen wir als Phänomenologisch-Aristotelische Methode, kurz PA Methode. Ausgangspunkt für dieses Verfahren ist in Aristotelischem Sinne das konkrete, empirisch messbare Vorkommen von akustischen Einzelphänomenen sowie deren philosophische Erfassbarkeit als klar und deutlich. Mit klar und deutlich definiert Descartes die philosophischen Kategorien der Evidenz als sine qua non Voraussetzung für wissenschaftliche Forschung und als Garant für Objektivität. In phänomenologischer Art erwirbt man kontextuelle Daten und legt diese mit philosophischen Instrumenten, Begriffen und Sprachspielen fest. Während Instrumente logischen Charakter haben und Begriffe helfen, Spannungsfelder herzuleiten und zu durchdenken, begleiten Wittgensteins's Sprachspiele das Verfahren auf sozial-psychologische Weise. Sodann reduziert man Ergebnisse auf Kerngedanken mit dem Ziel, dem Fortschreiten eine schlichte und intersubjektiv einsehbare, nämlich belastbare Struktur zu geben. Aus den Ergebnissen werden Schlüsse gezogen. Eine neue Anwendung folgt. In der Erforschung der Privatsphäre, bekannt in der Akustik als ”privacy range”, wird die PA-Methode von uns bereits mit Ergebnissen positiv angewandt. Insgesamt ist für unsere

vertiefte interdisziplinäre Herangehensweise festzuhalten, dass sich Ingenieursakustik und Philosophie in fünf Beziehungen berühren: logisch, ästhetisch, ethisch, methodisch und strukturell. In diesem Vortrag geht es um die Betrachtung der Methode.

Mi. 14:00 Future Space A Philosophie in der Akustik

Würde als zentrale Kategorie zur Ableitung von Lärmschutzzielen
Heinz-Martin Fischer und Andreas Drechsler
Hochschule für Technik Stuttgart
Ausgehend von dem Beitrag "Schallschutz und Menschenbild" auf der DAGA 2019 in Rostock, wird der Versuch gewagt, das dort vorgeschlagene methodische Vorgehen zu vertiefen und zu verfeinern. Die Würde des Menschen dient dabei als zentrale Kategorie zur Ableitung von Lärmschutzzielen.
Zunächst soll die Würde im Kontext der Akustik und des Lärmschutzes genauer betrachtet werden. In einem weiteren Schritt wird untersucht, inwieweit in gängigen akustischen Richtlinien die Würde des Menschen Berücksichtigung findet. Abschließend wird versucht Vorschläge zu machen, wie Würde als zentrale Kategorie für die Formulierung von Anforderungen an den Lärmschutz stärker verankert werden kann.

Mi. 14:20 Future Space A Philosophie in der Akustik

Was haben das Ingenieurwesen und die Philosophie gemeinsam?
Andrea Ebner, Daniel Podszuweit und Monika Gatt
TU München, Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme
Seit dem zunehmenden Einsatz von sogenannter Künstlicher Intelligenz haben philosophische Themen wie die Ethik und die Suche nach dem, was den Menschen als Mensch ausmacht (Sprachassistenten, humanoide Roboter, uvm.), wieder einen Aufschwung erfahren. Doch warum und wofür muss ich mich heutzutage immer noch rechtfertigen, wenn ich mich als Studentin der Elektrotechnik mit philosophischen Fragestellungen auseinandersetze?
Vor über hundert Jahren waren Ingenieure und Naturwissenschaftler noch gleichzeitig als Philosophen anerkannt. Wittgenstein etwa war als Flugzeugingenieur tätig und machte sich zusätzlich einen Namen als bedeutender Sprachphilosoph. In der Tradition bezeichnete man sogar Künstler, Philosophen und Ingenieure allesamt als Universalgelehrte, wie Leonardo da Vinci und Leibniz.
Woher also kommt die Distanzierung der Disziplinen? Wie sehen die inhaltlichen Gemeinsamkeiten aus? Weshalb sollte man sich über die abstrakt erscheinenden Gedankengänge der Philosophie auch als Nicht-Philosoph den Kopf zerbrechen?

Nach einer kurzen historischen Analyse über die Gründe des schlechten Images der Philosophie wird der Vortrag einen Überblick über verschiedene, "klassisch" philosophische Ansätze wie beispielsweise Metaphysik, Logik und Sprachphilosophie geben. Weiterhin werden Gemeinsamkeiten und Unterschiede in den Herangehensweisen der Philosophie und des Ingenieurwesens betrachtet. Abschließend wird der Zusammenhang und die Einsetzbarkeit von Methoden und Denkansätzen aus der Philosophie auf das Ingenieurwesen (und die Akustik im Besonderen) diskutiert.

Mi. 14:40 Future Space A Philosophie in der Akustik

Akustik, Perzeption, Soziologie und Quantenmechanik - Versuch eines philosophischen Brückenschlags

Oliver Wolff
Geberit International AG

Akustik ist Information. Wie diese Information wahrgenommen wird, ist eine Frage der Perzeption. Perzeption ist subjektiv, erfolgt oft unbewusst, ist kulturabhängig und unterliegt verschiedenen Kontextsituationen.
Die Perzeption steuert bei Menschen wichtige Beurteilungs- und Entscheidungsprozesse. Soziologische Faktoren spielen hierbei eine zentrale Rolle.
Anhand von "La Ola" Wellen in Stadien wird beispielhaft der Wellencharakter von sozialen Phänomenen auf physikalische Grundgrössen zurückgeführt und die soziale, zwischenmenschliche Kopplungsstärke quantitativ ermittelt. Die so bestimmte "soziale Kraft" zwischen den Zuschauern ist, wenn man sie als rein physisch wirkende Kraft versteht, mit über 1000 Newton erstaunlich hoch und zeigt das grosse Potential soziologischer Einflussgrössen. Die "Materialkonstante" der Menschenmenge, die sich aufgrund dieses Beispiels berechnen lässt, entspricht, rein physikalisch betrachtet, der eines sehr weichen Schaumes.
Bei der "La Ola" Welle gibt es nur zwei diskrete, mögliche Zustände, "aufstehen" und "sitzenbleiben". Eine ähnliche Quantisierung von Zuständen existiert im Bereich der Quantenmechanik. Entscheidend für das Auftreten von Quanteneffekten ist das sogenannte "Plancksche Wirkungsquantum". Basierend auf Analogiebetrachtungen wird ein entsprechendes "Soziales Wirkungsquantum" für soziale Phänomene eingeführt und quantitativ bestimmt.
Der relativ grosse Zahlenwert des "Sozialen Wirkungsquantums" deutet auf die Relevanz sozialer Quanteneffekte in der makroskopischen Alltagserfahrung hin. Konkrete Beispiele werden vorgestellt.

Mi. 15:00 Future Space A Philosophie in der Akustik

Auditive Wahrnehmung und die subjektive Repräsentation der Zeit - eine Orientierungswanderung

Michael Haverkamp
Freiberuflich / Consulant

Der Kurzvortrag verfolgt das Ziel einer ersten Annäherung an die Phänomenologie der Zeitwahrnehmung, soweit sie für die auditive Wahrnehmung bedeutsam erscheint. In diesem ersten Schritt ist die Entwicklung präziser Fragen zu leisten.

Eine Frage betrifft die Existenz einer subjektiven Raumzeit als Wahrnehmungsphänomen der auditiven Signalverarbeitung. Welchen Einfluss übt die subjektive und möglicherweise idiosynkratische Zeitwahrnehmung auf die Bildung auditiver Gestalten, die Dekodierung nonverbaler Information und die psychische Belastung aus, die von störenden Geräuschen ausgeht? In welchen Aspekten korreliert die subjektive Repräsentation der Zeit überhaupt mit objektiven Gegebenheiten einer physikalischen Zeit?

Die subjektive Raumzeit ist deshalb von höchster Bedeutung, da sich im Bewusstsein Umwandlungen zeitlicher Aspekte in räumliche Konfigurationen ereignen. Dabei finden Transformationen von Koordinatensystemen und Umskalierungen statt. Dies wird mit Beispielen illustriert.

Die perzeptive und/oder kognitive Etablierung der subjektiven Raumzeit hat weitreichende Folgen für die Interpretation von Feedbacksignalen, für das Verständnis musikalischer Prozesse sowie für die Detektion des Bewegungsgehaltes von Geräuschen und Musik. Dies ist auch von wesentlicher Bedeutung für die Beurteilung der psychischen und emotionalen Wirkungen, die Geräusche auf die Hörenden ausüben.

Mi. 15:20 Future Space A Philosophie in der Akustik

Anthropologische Akustik

Peter Androsch
Hörstadt, Linz (A)

Die Hörstadt ist seit der Gründung im Rahmen der Europäischen Kulturhauptstadt Linz 2009 um einen ganzheitlichen Zugang zu akustischen Themen bemüht. Deshalb begreift sie sich auch als Labor für Akustik, Raum und Gesellschaft und arbeitet konsequent an einer Anthropologischen - menschenzentrierten - Akustik. Diese fragt nach den Bedürfnissen, die der Mensch über das Medium Schall befriedigt. Jede Person versucht, Kommunikation (mit Reden und Hören), Erinnerung, Orientierung und Souveränität mit Hilfe von Schall zu bewältigen bzw. zu erlangen.

Daher greifen wir auf die von R. Murray Schafer begründete Akustische Ökologie zurück, auch um die gesellschaftlichen Grundlagen des Prozesses der Schallnutzung verstehen zu können. Schall ist eine Lebensressource wie Boden, Wasser, Luft, die einer gesellschaftlichen (politischen) Gestaltung bedarf, lautet die Essenz dieses Zugangs.

Als logischen nächsten Schritt entwickeln wir das Forschungsfeld Inklusive Akustik. Gefragt wird, unter welchen Bedingungen möglichst alle Menschen ihre ”Schall-Bedürfnisse” - also Kommunikation (durch Reden und Hören), Erinnerung, Orientierung und Souveränität mittels der Ressource Schall - decken können. Hier wird ersichtlich, welch große Rolle Schall für die volle Teilhabe am gesellschaftlichen Leben und für die Gesundheit spielt.

Sitzung „Virtuelle Akustik 2“

Mi. 8:40 Future Space B Virtuelle Akustik 2

Limitations of spatial perception in room auralizations

Michael Kohnen, Josep Llorca-Bofí und Michael Vorländer
RWTH Aachen, Institute of Technical Acoustics

Modern 3-D audio auralization techniques are evolving with their need due to 3-D visual capturing, synthetization and reproduction approaches. On the one hand, real-time rendering of room acoustics is a costly but crucial part to excite a sensation of acoustic plausibility or authenticity. On the other hand, our perception of complex acoustic auralizations is usually superposed by multi-modal stimuli, especially visual cues. Yet, research on acoustic sound presentation typically focusses on a pure acoustic stimulus presentation. This study investigates whether people are biased in their perception when listening to a pure acoustic auralization. Architectural students were listening to an auralized scene while scale drawing what they thought the environment could look like. Later on they were tested on source distance, room volume and room geometry perception separately to correlate both findings.

Mi. 9:00 Future Space B Virtuelle Akustik 2

Bestimmung des Reflexionsfaktors mit einem sphärischen Mikrofonarray

Robert Hupke, Sebastian Lauster, Marcel Nophut, Stephan Preihs und Jürgen Peissig
Leibniz Universität Hannover, Institut für Kommunikationstechnik

Die Reflexions- und Absorptionseigenschaften der Wände eines Raumes sind wichtige Parameter für die Auralisierung von virtuellen Umgebungen. Für die Bestimmung dieser akustischen Materialparameter existiert eine Vielzahl etablierter Verfahren. Ein Ansatz ist es, die Reflexionsfaktoren auf Grundlage von Raumimpulsantworten zu schätzen, die in existierenden Räumen mit sphärischen Mikrofonarrays gemessen wurden. Durch die Analyse der räumlich-zeitlichen Struktur der ”Plane Wave Decomposition” kann dabei das Schallfeld in seiner Zusammensetzung untersucht werden. Die geschätzten Parameter können dann in eine virtuelle Umgebung übertragen werden. Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Verfahren zur Schätzung des Reflexionsfaktors mit Hilfe

eines sphärischen Mikrofonarrays vorgestellt. Eine automatische Detektion der Reflexionen erster Ordnung im dreidimensionalen Raum wurde implementiert, um anschließend mit Hilfe eines LCMV-Beamformers die Reflexionsfaktoren der Wände abzuschätzen. Raumimpulsantworten wurden in mehreren Räumen mit unterschiedlichen akustischen Eigenschaften gemessen, sowie durch eine numerische Simulation erzeugt. Die Ergebnisse der Schätzung aus den real durchgeführten Messungen werden mit den Ergebnissen aus der Simulation verglichen. Hierbei wird auf Einschränkungen des Verfahrens in der Signalverarbeitung eingegangen.

Mi. 9:20 Future Space B Virtuelle Akustik 2

Discrete Time Modeling of Regular Spherical Harmonic Expansion by Using Band-Limited Step Functions

Nara Hahn und Sascha Spors
Universität Rostock, Institut für Nachrichtentechnik

In the spherical harmonics expansion of a homogeneous sound field, the radial components are described by the spherical Bessel functions. The time-domain counterparts are the Legendre polynomials windowed by a rectangular pulse, thus forming an orthogonal basis set in the finite interval. Since the discontinuity occurring at the edge of the rectangular window exhibits an infinite bandwidth, a discrete-time signal obtained by trivial time discretization typically suffers from aliasing. For an aliasing-free sampling, the discontinuities need to be smoothed so that the bandwidth of the signal is limited. In this paper, the so called band-limited step (BLEP) function is adopted which was primarily proposed for digital synthesis of analog synthesizer sounds such as square waves and sawtooth waves. By superimposing two delayed BLEP functions with opposite sign, a band-limited rectangular pulse can be generated, which corresponds to the zeroth-order basis signal. The basis signals for higher orders are then computed efficiently by exploiting the recurrence relation of the Legendre polynomials. Finally, the band-limited signals can be sampled with substantially reduced aliasing. The temporal and spectral properties of the proposed discrete-time spherical harmonics expansion will be discussed.

Mi. 9:40 Future Space B Virtuelle Akustik 2

Synthese komplexer Richtcharakteristiken für eine Schallfeldoptimierung im Zeitbereich

Mathias Lemke[a], Lewin Stein[a], Arne Hölter[b], Florian Straube[b] und Stefan Weinzierl[b]
[a] *TU Berlin, ISTA;* [b] *TU Berlin, Fachgebiet Audiokommunikation*

Die Bestimmung optimaler Treiberfunktionen von Lautsprechern in beliebiger Anordnung ist ein schlecht gestelltes Optimierungsproblem. Typischerweise werden bisher frequenz-basierte Löser eingesetzt.

In einem vorangegangenen Beitrag haben die Autoren einen Adjungierten-basierten Ansatz vorgestellt, um optimale Treiberfunktionen im Zeitbereich zu bestimmen. Die Methode erlaubt es, inhomogene Windprofile und Temperaturschichtungen einzubeziehen, die normalerweise nicht berücksichtigt werden können. Darüber hinaus können komplexe Geometrien und Randbedingungen berücksichtigt werden. Bisher war diese Methode auf Monopolquellen beschränkt.
Die Autoren stellen eine Erweiterung des Ansatzes in Bezug auf eine Adjungierten-basierte Monopolsynthese vor, die es ermöglicht, auch komplexe Richtcharakteristiken zu betrachten. Das Verfahren wird für typische Quellsignale und ein repräsentatives Lautsprechermodell mit komplexer Richtcharakteristik validiert.

Sitzung „Soundscape“

Mi. 10:20 Future Space B Soundscape

Hearing Hannover - Hauptstadt für Akustik, Schall und Klang
Nils Meyer
Hörregion Hannover
Seit 2016 entwickelt die Region Hannover ein interdisziplinäres Netzwerk rund um das Thema Hören - die Hörregion Hannover. Ziele sind, für gutes Hören zu werben, Lust auf guten Sound zu machen und damit den Hörstandort zu stärken. Die Initiative stützt sich auf eine - wohl deutschlandweit einmalig - hohe Dichte herausragender Unternehmen, Einrichtungen und Institute, die sich aus medizinischer, technischer, wissenschaftlicher und kultureller Perspektive mit den Bereichen Schall, Klang und Akustik beschäftigen. Hier haben das größte Zentrum für die Versorgung mit Cochlea-Implantaten, Marktführer in der Hörgeräteindustrie, Hersteller von Kopfhörern, Mikrofonen und Lautsprechern mit weltweitem Ruf und eine der besten Musikhochschulen ihren Sitz. Als Geburtsort der Schallplatte und der seriellen Produktion von CDs ist Hannover zudem UNESCO City of Music. In dem Beitrag werden Idee, Projekte und klangvolle Beispiele aus der Hörregion Hannover zu Gehör gebracht.

Mi. 10:40 Future Space B Soundscape

Soundscape Planning in der Raumplanung
Moritz Lippold
TU Dortmund
Die akustische Umwelt hat Einfluss auf Gesundheit, Wohlbefinden und Handlungsmöglichkeiten des Menschen. Durch die zunehmende Urbanisierung nimmt die Lärmbelastung zu und ist für Städte eine große Herausforderung. Die planerische Praxis in Deutschland basiert aktuell auf

der Idee der Lärmvermeidung, wobei Lärm als zu reduzierendes Abfallprodukt betrachtet wird. Gleichzeitig gibt es in verschiedenen Fachbereichen den Konsens, dass die quantitative Lärmreduktion nicht genügt, um der akustischen Umwelt gerecht zu werden, sodass ein Nachjustieren der Instrumente und Methoden der Raumplanung nötig ist. Als geeignete Alternative zum Thema Lärm kann der Soundscape Ansatz neue, ganzheitlichere Perspektiven eröffnen, indem die akustische Umgebung als Ressource betrachtet wird. Es fehlen jedoch praktische Ansätze bezüglich der Einbindung in die Planung. Daher wurde folgender Forschungsfrage nachgegangen: Wie kann der Ansatz des Soundscape Planning, als Planungsinstrument in der raumplanerischen Praxis in Deutschland integriert werden? Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurden die rechtlichen Grundlagen und Planungsinstrumente für den Umgang mit Lärm in Deutschland aufgearbeitet. Auf Grundlage einer systematischen Literaturrecherche wurden Beispiele aufgezeigt, wie die Soundscape Idee in Planungsprozessen integriert werden kann. Zudem wurden die erörterten Ansätze in Verbindung mit Experteninterviews auf ihre praktische Eignung diskutiert.

Mi. 11:00 Future Space B Soundscape

3D-Aufnahmen in 5.1.2 für die Lautsprecherwiedergabe realer Geräuschlandschaften

Beat W. Hohmann
SGA-SSA (CH)

Für eine Fachtagung der Schweizerischen Gesellschaft für Akustik sollten die Geräuschlandschaften von städtischen Erholungsorten während der Referate (deshalb nicht mit Kopfhörern) den 90 Teilnehmern möglichst realitätsgetreu und im Originalpegel "vor Ohren geführt" werden. Aus praktischen Gründen war die Anzahl der Tonkanäle auf 8 beschränkt und eine kompakte (rucksacktaugliche) Mikrofonanordnung verlangt. Zunächst wurde eine Wiedergabe im Format Auro-3D (8.0) vorgesehen, das vor allem für Musikaufnahmen angewandt wird. Verschiedene Überlegungen liessen dann aber eine Heimkino-gemässe Wiedergabe in 5.1 mit 2 Deckenlautsprechern (Dolby Atmos minimal) als geeigneter erscheinen. Aufgrund der guten Erfahrungen mit ORTF-Stereo-Aufnahmen wurde als seitlicher Abstand der Mikrofone der Ohrabstand übernommen. Ein separater Tieftonkanal (LFE) erscheint zwar als redundant, doch diente das hierfür eingesetzte Kugelmikrofon gleichzeitig der Kalibrierung des Wiedergabepegels. Weil Richtmikrofone auf Wind und Erschütterungen zudem empfindlicher reagieren als Kugelmikrofone, wurden alle Frequenzen unter 80 Hz dem LFE-Kanal und bei der Wiedergabe dem Subwoofer überlassen, was gleichzeitig kompaktere Lautsprecher erlaubt. Für die Präsentation wurden die Originalaufnahmen pro Ort auf 90 Sekunden verdichtet, jeweils in der Abfolge "Grundgeräusch (GG) / GG + Sound Marks / GG + Störung". Die Überlegungen und die gewählte Mikrofon-Anordnung werden präsentiert und die Ergebnisse und Erfahrungen damit dargelegt.

Mi. 11:20 Future Space B Soundscape

Simulation der Wirkung von Lärmschutz auf den Soundscape einer Parklandschaft

Frieder Kunz[a], Pascal Zehmer[b] und Nico Petry[a]
[a] *Technische Hochschule Bingen;* [b] *TH Mittelhessen*

Eine Parklandschaft direkt an der rechtsrheinischen Eisenbahnstrecke im oberen Mittelrheintal soll Teil der geplanten Gartenschau BUGA 2029 werden. Die Situation wurde an verschiedenen Orten binaural aufgezeichnet. Die heute gemessenen Geräusche lassen keine sinnvolle Nutzung zu. Rechnerisch werden verschiedene Lärmschutzmaßnahmen im Gelände simuliert und hörbar gemacht. Testhörer erleben die Verbesserung als spürbar. Die Eisenbahn dominiert aber immer noch das Geräusch auf eine störende Art und Weise. Die lärmgeminderten Eisenbahngeräusche wurden dann mit verschiedenen nicht-technischen Geräuschen kombiniert. Es gelang, die Eisenbahn in den Hintergrund der Wahrnehmung zu verschieben. Testhörer erleben eine angenehme Situation.

Mi. 11:40 Future Space B Soundscape

Präsentation der Poster, die dieser Sitzung zugeordnet sind (s.u.)

Sitzung „Soundscape (Poster)“
Kurzvorträge: Mi. 11:40 (Future Space B); Poster-Forum: Mi. 16:00

Di.-Do. Soundscape (Poster)

Eine Studie zur Bewertung innerstädtischer Geräuschumgebungen in VR

Dominik Thönnessen, Sabrina Skoda und Jörg Becker-Schweitzer
Hochschule Düsseldorf, ISAVE

Der Soundwalk stellt eine etablierte Methodik zur Bewertung städtischer Geräuschumgebungen unter alltagsnahen Bedingungen dar. Bei dieser Versuchsmethode werden wichtige situative und kontextuelle Einflussvariablen in die Bewertung der jeweiligen Geräuschsituation miteinbezogen. Wie in jedem Feldversuch lassen sich Störvariablen jedoch schwerer kontrollieren als im Labor, so dass zufällig auftretende Einzelereignisse während eines Soundwalks die Vergleichbarkeit der Versuchsergebnisse erschweren können. Mit modernen VR-Techniken kann bereits ein hoher Grad an Immersion innerhalb einer virtuellen Umgebung erzielt werden. Somit stellt sich die Frage, wie gut das reale Erlebnis eines Soundwalks in einer solchen Laborumgebung reproduziert werden kann, bei gleichzeitig besserer Kontrollierbarkeit der Versuchssituation. In einer Vergleichsstudie an der Hochschule Düsseldorf wurde untersucht, wie differenziert ausgewählte innerstädtische Geräuschszenarien im Feldversuch und in einer VR-Laborumgebung von Versuchspersonen bewertet werden. Da in städtischen Umgebungen zunehmend

elektrisch betriebene Fortbewegungsmittel (E-Roller, Segway) genutzt werden, was mit veränderten Hörsituationen einhergeht, wurde die Vergleichsstudie als Segwayfahrt konzipiert. Im Feldversuch fuhren die Teilnehmer per Segway eine definierte Route ab, auf der an einzelnen Haltepunkten die Geräuschsituation zu bewerten war. Im Laborversuch wurden 360°-Video- und 3D-Audioaufnahmen der realen Szenarien wiedergegeben. Ein eigens entwickelter Segwaysimulator wurde eingesetzt, um eine alltagsnahe Interaktion der Versuchspersonen mit der Versuchsumgebung zu gewährleisten. In diesem Beitrag werden die Studienergebnisse diskutiert.

Sitzung „6DoF Spatial Audio Recording and Rendering“

Mi. 14:00 Future Space B 6DoF Spatial Audio

Multi-Perspective Scene Analysis from Tetrahedral Microphone Recordings with Particle Filters

Matthias Blochberger[a] und Franz Zotter[b]

[a] *Technische Universität Graz;* [b] *Institut für Elektronische Musik und Akustik, Graz*

This contribution provides details on a method of sound object detection and localization for multi-perspective recordings in a sound scene. A perspective denotes the sound scene received at a single position using a tetrahedral microphone array. To establish a new approach for 6DoF rendering of such recordings, an analysis calculates a directional histogram from the direction-of-arrival (DOA) information of each tetrahedral microphone, for each frequency of a short-term Fourier analysis. The combination of the directional histograms from every perspective into a 3-dimensional map yields an instantaneous estimate for every point in space of how probably it is populated by a sound object. Tracked sound objects are assigned to the peaks in the probability map by transition probabilities. Peaks of low transition probability yield the addition of a new instance of a tracked sound object, whereas sound objects to which no continuation is found are being removed. Each sound object is tracked by a particle filter that is fed by the probability map. The rendered result is compared with that of another algorithm in a listening experiment.

Mi. 14:20 Future Space B 6DoF Spatial Audio

Wiedergabe von aufgenommenen Schallfeldern über ein nicht geschlossenes Lautsprecherarray

Matthieu Kuntz und Bernhard Seeber

TU München, Audio Information Processing

Für die Wiedergabe von Schallfeldern mit Ambisonics sollte idealerweise ein Lautsprecherarray mit regelmäßig verteilten Lautsprechern verwendet werden. Hier wurde die zweidimensionale Wiedergabe jedoch

auf 9 Lautsprecher, die innerhalb ± 40 ° in regelmäßigen Winkelabständen platziert waren (offenes Lautsprecherarray), beschränkt. Die zu wiedergebende Schallszene wurde mit einem 36-kanaligen zylindrischen Mikrofonarray aufgenommen. Generell werden bei Mikrofonarrays tiefe Frequenzen mit einer niedrigeren Richtungsauflösung aufgenommen. Dies führt zu einem Abspielen dieser Frequenzen aus allen Lautsprechern mit geringen Pegelunterschieden, wodurch im wiedergegebenen Schallfeld hörbare Kammfilter entstehen. Mit einem geschlossenen Lautsprecherarray können diese durch gegenphasiges Abspielen des Signals mit den gegenüberliegenden Lautsprechern reduziert werden. Dies ist bei einem offenen Lautsprecherarray nur bedingt möglich. Deshalb wurde für jede Frequenz die dominante Ordnung der Zerlegung in Kreisharmonische N ausgerechnet. Die Anzahl der aktiven Lautsprecher L wurde proportional der Ordnung angepasst, nach der Gleichung L=2N+1. Dieser Ansatz wurde mit dem Sampling-decoder verglichen. Die Lautsprechersignale wurden für ein zirkuläres, 36-kanaliges Lautsprecherarray ausgerechnet und räumlich gefenstert. Zur Evaluierung wurden auf einer Fläche von ungefähr 2 m x 2 m 31 Messpunkte verteilt und die Impulsantworten der einzelnen Lautsprecher gemessen. Erste Ergebnisse zeigen, dass der über alle Messpunkte gemittelte, breitbandige RMS-Fehler von 5.0 dB auf 3.9 dB reduziert werden konnte.

Mi. 14:40 Future Space B 6DoF Spatial Audio

Hörversuch zur Plausibilität audiovisueller Modellierungen in Virtual Reality

Kajetan Enge, Matthias Frank und Robert Höldrich
Institut für Elektronische Musik und Akustik, Graz

Dreidimensionaler Klang spielt bei der Plausibilität virtueller Umgebungen eine bedeutende Rolle, bereits aus dem Grund, dass realer Raum vom Menschen maßgeblich über seinen Klang charakterisiert wird. Im Rahmen dieses Beitrags wurde ein Hörversuch in virtueller Umgebung durchgeführt, mit dem Ziel verschiedene akustische Modellierungen auf deren Plausibilität zu untersuchen. Dazu wurde ein realer Studioraum virtualisiert, in dessen Mitte ein Lautsprecher zu sehen und zu hören war. Im Hörversuch wurden den Versuchspersonen verschiedene akustische Modellierungen über offene Kopfhörer und der echte Lautsprecher im Studioraum präsentiert, die sie auf einer Skala von 1 (= völlig unplausibel) bis 7 (= völlig plausibel) entsprechend ihrer Plausibilität in Kombination mit dem visuellen Eindruck bewerten sollten. Die akustischen Modellierungen verwendeten eine Kombination aus Spiegelquellenmodell für frühe Reflexionen und Rückkopplungsnetzwerk für späten Nachhall oder alternativ die gemessene binaurale Raumimpulsantwort des Studios. Der Direktschall wurde in 1., 3. oder 7. Ordnung Ambisonics wiedergegeben und die Richtcharakteristik des Lautsprechers wurde entweder berücksichtigt oder vernachlässigt. Der Hörversuch wurde

sowohl mit der visuellen Studiovirtualisierung, als auch blind durchgeführt und die Freiheitsgrade der Bewegung der Versuchspersonen wurden variiert: (a) statisch, (b) nur Kopfdrehungen und (c) Translation im Raum.

Mi. 15:00 Future Space B 6DoF Spatial Audio

6DoF Audio Rendering from B-format Impulse Responses at Multiple Perspectives

Kaspar Müller und Franz Zotter
Institut für Elektronische Musik und Akustik, Graz

It would offer an exciting alternative to build virtual acoustic environments purely from a spatially distributed grid of directional room impulse responses (DRIR), measured at multiple perspectives in a given room. While DRIRs in first-order Ambisonics (B-format) are not resolving the directions highly, they are still efficient for the early part of the DRIR. This is because most content of the early DRIRs can be expected to be well-localized directionally and well-separated temporally. The present contribution first discusses ways of directional resolution enhancement of the multiple B-format DRIR perspectives to higher order Ambisonic DRIRs. To moreover endow the virtual listener with the ability to move with six degrees of freedom (6DoF), our main approach is to interpolate between the multiple perspectives, i.e. variable-perspective audio rendering. In particular, our approach parametrically decomposes the B-format DRIRs to detect early DRIR segments of commonly localized source objects from several perspectives. We propose a position-dependent interpolation of the detected early DRIR segments together with linearly combined late DRIR parts to obtain a variable-perspective, highly resolved DRIR for convolution-based rendering. Finally, the proposed method is evaluated in a listening experiment using both measured and simulated RIR data sets, and different configurations.

Mi. 15:20 Future Space B 6DoF Spatial Audio

Triplet-based variable-perspective (6DoF) audio rendering from simultaneous surround recordings taken at multiple perspectives

Christian Schörkhuber, Robert Höldrich und Franz Zotter
Institut für Elektronische Musik und Akustik, Graz

Recently, Six-Degrees-of-Freedom (6DoF) audio recording and rendering approaches have been recently proposed to enable a variable-perspective playback for a virtual listener. We assume that a distributed sound scene is simultaneously recorded by various main microphone arrays positioned at multiple perspectives. Variable-perspective rendering enables the virtual subject to freely move within and listen to the (virtual) sound scene. To avoid annoying artifacts that signal and position excraction of a complex recorded scene can entail, this contribution presents a simple, nearly signal-independent strategy. We assumes the presence of a single source and a diffuse sound field seen by any local triplet of recording perspectives. Our contribution reveals that weighted aerial

coordinates provide a linear combination rule to mix neighboring recording perspectives in a way that provide consistent audio rendering for the virtual listener in terms of the sound power and intensity measures E and rE.

Mi. 15:40 Future Space B 6DoF Spatial Audio

Präsentation der Poster, die dieser Sitzung zugeordnet sind (s.u.)

Sitzung „6DoF Spatial Audio Recording and Rendering (Poster)“
Kurzvorträge: Mi. 15:40 (Future Space B); Poster-Forum: Mi. 16:00

Di.-Do. 6DoF Spatial Audio (Poster)

Signal-independent approach to variable-perspective (6DoF) audio rendering from simultaneous surround recordings taken at multiple perspectives

Franz Zotter, Matthias Frank, Christian Schörkhuber und Robert Höldrich
Institut für Elektronische Musik und Akustik, Graz

Six-Degrees-of-Freedom audio recording and rendering approaches have been recently proposed to enable a variable- perspective playback for a virtual listener. We assume that a distributed sound scene is simultaneously recorded by various main microphone arrays positioned at multiple perspectives. Variable-perspective rendering enables the virtual subject to freely move within the sound scene. To avoid annoying artifacts that signal and position excraction of a complex recorded scene can entail, this contribution presents a simple and signal-independent strategy. For each recording perspective, playback is accomplished by several loudspeaker objects of a virtual surround setup whose center is collocated with the physical recording perspective. Each of the loudspeaker signals is rendered by directional placement relative to the listener and by weighting with 1/r of the relative distance. To avoid poor imaging, additional gains are applied on every virtual loudspeaker signal to suppress its signal whenever the virtual listener either gets too close, or stands far behind the virtual loudspeaker. To avoid boundary effects, consistent additional surround perspectives are simulated by the image source method, with regard to virtual room walls.

Di.-Do. 6DoF Spatial Audio (Poster)

Effect of subject misalignment during HRTF measurements on spatial acoustic resonances

Shaima'a Doma und Janina Fels
RWTH Aachen, ITA, Medical Acoustics

Acoustical measurement setups for head-related transfer functions (HRTFs) are often evaluated by means of artificial heads or simple spherical shapes. Previously performed measurements or simulations on these geometrical objects, as well as the known analytical solution in case of the sphere, can be used for comparison, allowing the use of multiple distance metrics in the time, frequency and spatial domain. A new measurement object is analyzed, consisting of a sphere with cylindrical cavity resonator extensions. In contrast to the complex spectral and spatial variations in HRTFs, as well as to the comparatively flat spherical transfer functions (STFs), the newly designed shapes produce defined spectral features, that can be more easily traced over space. This promises better insight into the preservation of specific resonances by the HRTF measurement system and allows an investigation into the underlying distortion mechanisms, e.g. due to the subject's misalignment with the target position, i.e. the center of the measurement setup.

Sitzung „Binauraltechnik"

Mi. 16:40 Future Space B Binauraltechnik

Perceptual Evaluation of Systematic Modifications to Head and Pinna Geometries

Hark Braren und Janina Fels
RWTH Aachen, ITA, Medical Acoustics

Head-related transfer functions (HRTFs) are known to be highly subject-specific, due to vary-ing expressions of anthropometric features, such as the shape and size of head, pinna and tor-so geometries, between humans and especially between children and adults. Modern 3D-scanners capture the shape of these features with a high level of accuracy. Com-bined with well-established simulation methods, e.g. the boundary element method (BEM) it is possible to simulate their effect on the sound field as it is captured by the HRTF. In addi-tion, these 3D-shapes can be manipulated, in order to introduce systematically controlled anthropometric differences to assess their effect on the HRTF and the resulting perceptual dif-ferences. In this study, the effect of controlled modifications to the head and pinna geometry of a known artificial head geometry on perceptual parameters is evaluated. Shape parameters of the outer ear are modified and the effect on the HRTF is evaluated in a listening test in order to be able to compare the perceptual effects to those exhibited by children, who are known to perceive the same sound field different compared to adults.

Mi. 17:00 Future Space B Binauraltechnik

Automatic Approximation of Head-Related Transfer Functions Using Parametric IIR Filters

Patrick Nowak[a], Véronique Zimpfer[a] und Udo Zölzer[b]
[a] *DE-FR Forschungsinstitut Saint-Louis;* [b] *Helmut-Schmidt-Universität Hamburg*

Head-related transfer functions (HRTFs) are used in many applications for 3D spatial audio through headphones. Often, the HRTFs are stored as FIR filters. However, IIR filters give the opportunity to approximate the magnitude of these FIR filters with less coefficients. By using a cascade of parametric IIR filters such as shelving and peak filters, the amount of stored data can be reduced to three parameters (center frequency, gain and quality factor) per filter stage. In a first step, the low and high frequency shelving filters are adjusted. Secondly, peak filters are added consecutively until the error is inside the given tolerance. After including a new peak filter, the cascade of IIR filters is post-optimized in order to yield the best approximation for the current number of peak filters. In this work, the minimum number of peak filters needed to approximate HRTFs with a given error tolerance is evaluated for different directions.

Mi. 17:20 Future Space B Binauraltechnik

Investigations on the Influence of a Dynamic Binaural Synthesis on Speech Intelligibility in Communication Applications

Nils Poschadel, Mahdi Alyasin, Stephan Preihs und Jürgen Peissig
Leibniz Universität Hannover, Institut für Kommunikationstechnik

Within the project VIA^{2}mobiL, we developed signal processing algorithms and methods for a dynamic headphone based binaural synthesis, with a special focus on radio communication in mobile control centers. Our aim is to achieve a better speech intelligibility in radio communication through the binaural presentation of a conversation scene with several separately locatable interlocutors. In our investigations, a method for determining word recognition rates and 50% speech intelligibility thresholds was developed on the basis of the methodology of the Oldenburg sentence test (OLSA). By means of conducted listening experiments, we examined whether the application of a dynamic binaural synthesis results in a gain in speech intelligibility compared to monophonic or stereophonic reproduction. We present the study design and the results of the experiments. They show that up to 44 % and 9 % higher word recognition rates can be achieved with a binaural synthesis compared to a monophonic and stereophonic reproduction at the same level. A similar increase in speech intelligibility/word recognition rate can also be observed for TETRA-coded speech. The threshold, in terms of level, for a speech intelligibility of 50 % in noise is approx. 15 dB and 13 dB below the threshold of monophonic and stereophonic reproduction.

Mi. 17:40 Future Space B Binauraltechnik

Vergleich unterschiedlicher Ton-Wiedergabesysteme von Virtual-Reality-Brillen

Jelena Kitanovic, Dieter Leckschat und Christian Epe
Hochschule Düsseldorf, FB Medien - Tonstudiotechnik

Während die visuelle Qualität bei VR-Anwendungen in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen ist, wurde der Ton und dessen Wiedergabe als zweitrangig behandelt. Bei den meisten Head-Mounted-Displays sind Kopfhörer oder Lautsprecher verbaut, die für die Wiedergabe von 3D- Audio ungeeignet sind. In diesem Beitrag geht es um die Konzeption, Vorbereitung, Durchführung und Auswertung eines Hörversuchs, bei dem der Einfluss verschiedener Kopfhörer-Typen auf die Ortung virtueller Schallquellen in einer VR- Umgebung untersucht wurde. Zum Einsatz kamen dabei extraaurale Kopfhörer, sowie herkömmliche In-Ear-Hörer und circumaurale Kopfhörer.

Fachvorträge und Poster am Donnerstag, den 19.03.2020

Sitzung „Tieffrequenter Trittschall“

Do. 8:40 Niedersachsenhalle B Tieffrequenter Trittschall

Literaturübersicht tieffrequenter Trittschall

Berndt Zeitler[a], Martin Schneider[a], Ulrich Schanda[b] und Christoph Höller[c]

[a] *Hochschule für Technik Stuttgart;* [b] *Techn. Hochschule Rosenheim;* [c] *OTH Regensburg*

Der Schutz vor tieffrequentem Trittschall ist schon seit langem ein Thema in Fachkreisen, gewinnt in letzter Zeit aber immer mehr an Bedeutung, auch auf Grund häufigerer Beschwerden von Bewohnern. Aktuell wird in vielen Ländern, im Leicht- und Massivbau, nach Lösungen zur Reduzierung dieser Belästigung gesucht.

Dazu gehört die Bestimmung geeigneter Kenngrößen und Messmethoden, die auch mit der subjektiven Wahrnehmung korrelieren. Sowohl Simulations- und Auralisierungsmethoden als auch die Verbesserung von Messmethoden und Anregungsquellen, die sich in den verschiedenen Ländern stark unterscheiden, wurden untersucht. Die Ergebnisse all dieser Untersuchungen sind für Normungsarbeiten und zur Festlegung geeigneter nationaler Anforderungsgrößen sehr bedeutsam.

Dieser Beitrag liefert eine Übersicht der durchgeführten Untersuchungen zur Messung und Beurteilung von tieffrequentem Trittschall.

Do. 9:00 Niedersachsenhalle B Tieffrequenter Trittschall

Wie und warum stört tieffrequenter Trittschall eigentlich so stark

Henning Alphei und Karsten Köhler

Akustikbüro Göttingen

Im Rahmen der strukturierten Sitzung wird auf die Wahrnehmung von tieffrequenten Trittschallgeräuschen eingegangen. Dazu werden die bekannten Mechanismen der Lautheitsempfindung im tieffrequenten Bereich beleuchtet. Ziel ist es, ein Kriterium für die Bewertung des tieffrequenten Trittschalles zu ermitteln, das auch psychoakustisch belegt ist. Dazu werden typische tieffrequente Trittschallgeräusche analysiert, um deren tatsächliche Störwirkung zu beurteilen. Zusätzlich werden sie mit den Charakeristika der Geräusche bei Messung mit dem Norm-Hammerwerk verglichen. Es wird versucht, daraus ein belastbares Kriterium für die Bewertung zu ermitteln und vorzustellen.

Do. 9:20 Niedersachsenhalle B Tieffrequenter Trittschall

Psychoakustische Beurteilung der Trittschallübertragung einer Massivtreppe

Maren Wolters[a], Jochen Scheck[b], Andreas Drechsler[b] und Ulrich Schanda[a]

[a] *Technische Hochschule Rosenheim;* [b] *Hochsch. für Technik Stuttgart*

Ziel einer Bachelorarbeit war es, die Entkopplung einer Massivtreppe durch psychoakustische Kenngrößen zu beurteilen und der bauakustischen Beurteilung durch Norm-Trittschallpegel und Spektrum-Anpassungswerte gegenüberzustellen. Dazu wurde in einem schalltechnischen Treppenprüfstand ein Aufbau nach DIN 7396 mit einem entkoppelten Treppenlauf und einem starr verbundenen Podest realisiert und Messungen bei Anregung durch gehende und hüpfende Personen mit unterschiedlichem Schuhwerk, sowie mit Norm-Hammerwerk und Gummiball nach DIN EN ISO 10140-5 durchgeführt. Die vorgenommenen Auswertungen deuten darauf hin, dass der für die Wahrnehmung problematische Frequenzbereich bei entkoppelten Massivtreppen unter 100 Hz liegt.

Do. 9:40 Niedersachsenhalle B Tieffrequenter Trittschall

Tieffrequenter Trittschall: Thesen aus rechtlicher Sicht

Steffen Hettler

Jahn Hettler Rechtsanwälte PartG mbB

Als regelmäßiger Teilnehmer der DAGA ist festzustellen, dass der Trittschall unter 100 Hz und seine dort auftretenden Probleme regelmäßiger Gegenstand von Vorträgen und Lösungsansätzen sind. Je nach Problemstellung wird ein schlechter Trittschallschutz - i.d.R. dann unter 100 Hz - in Fachkreisen auch als "Estrichdröhnen" bezeichnet. Zwischenzeitlich hat die Problematik auch die Rechtsprechung erreicht. Das OLG München hat mit einer ersten Entscheidung aus dem Sommer 2018 ein Urteil gefällt. Daraus kann festgehalten werden, dass aus rechtlicher Sicht die Beurteilung des Schallschutzes nicht nur im bauakustischen Frequenzbereich stattfindet. Ob der richterliche "Ohrenschein" ein richtiges Beurteilungsmittel ist, bleibt zu besprechen. Eine akustische Beurteilung kann jedenfalls durchaus auch aus der Ermittlung der Wahrnehmungsschwelle oder aus eigener Wahrnehmung und Erfahrung festhalten, ob hier eine Störung der Bewohner gegeben ist. Konstruktionen mit schlechter Trittschalldämmung (Estrichdröhnen) unter 100 Hz sind bei üblicher Vertragslage mangelhaft. Der Beitrag versucht sich hierzu in Form eines Thesenpapiers eine rechtliche Herleitung.

Do. 10:00 Niedersachsenhalle B Tieffrequenter Trittschall

Planungs- und Nachweisverfahren von Holzdecken unter Berücksichtigung der tieffrequenten Trittschallübertragung

Andreas Rabold
Technische Hochschule Rosenheim

Trittschallübertragungen aus fremden Wohn- und Arbeitsbereichen werden bei Befragungen von Nutzern immer wieder als die am meisten störenden Übertragungen benannt. Die Beurteilung dieser Übertragungen anhand des bewerteten Norm-Trittschallpegels, wird seit vielen Jahren in verschiedenen Projekten untersucht und kontrovers diskutiert. Übereinstimmend wird dabei festgestellt, dass der im Nachweisverfahren verwendete Einzahlwert L'n,w ungeeignet ist, um die für den Bewohner zu erwartende Trittschallbelästigung zu beurteilen. Ursache hierfür ist die geringe Korrelation zwischen dem subjektiven Empfinden des Bewohners und dem nach DIN EN ISO 717-2 bewerteten Norm-Trittschallpegel, solange sich die Auswertung auf den Bereich von 100 - 3150 Hz beschränkt. Um dem Problem zu begegnen, wurden in DIN EN ISO 717-2 bereits 1996 Spektrum-Anpassungswerte eingeführt, die auch für den nach unten erweiterten Frequenzbereich bis 50 Hz angewendet werden können. Bereits die einfache Berücksichtigung dieser Zusatzgrößen führt zu einer signifikanten Verbesserung der Korrelation und bietet die Möglichkeit geeignete Zielwerte festzulegen. Hinweise wie die so abgeleiteten Zielwerte im Planungsalltag umgesetzt und nachgewiesen werden können, fehlen bislang jedoch noch weitgehend. In diesem Beitrag wird deshalb für Gebäude in Holzbauweise ein Verfahren vorgestellt, das die Berücksichtigung der erweiterten Spektrum-Anpassungswerte für Deckenaufbauten mit einem angehobenen Schallschutzniveau ermöglicht.

Do. 10:20 Niedersachsenhalle B Tieffrequenter Trittschall

Trittschallminderung von Bodenbelägen in Hantelbereichen

Mark Koehler und Nico Schreiner
Fraunhofer-Institut für Bauphysik

Die zunehmende Verbreitung von Fitnessstudios gepaart mit dem Trend regelmäßiges Intensivtraining in den Tagesablauf zu integrieren führt vor allem in Großstädten, in denen im Übrigen auch die höchste Dichte an Studios pro Einwohnerzahl herrscht, immer häufiger auch zu Lärmproblemen. Crossfit-Trainings oder vergleichbare Trainingsformen in Fitnessstudios, die sich in unmittelbarer Nachbarschaft bzw. im selben Gebäude wie Wohn-, Büro-, oder Hotelbereiche befinden, sind dabei besonders kritisch. Bei Crossfit-Trainings werden Hanteln aller Art mit Gewichten von teilweise über 100 kg aus einer Höhe von bis zu 2 m abgeworfen und auf den Boden fallen gelassen. Die Anforderungen die dabei an die Böden gestellt werden, sind äußerst anspruchsvoll. Zunächst

müssen die Trainierenden einen sicheren Stand haben und die Gewichte dürfen beim Aufprall nicht zurückfedern. Dabei muss der Belag möglichst elastisch sein, um sowohl Lärm als auch Schäden am Gebäude langfristig vorzubeugen, wobei auch schwere, kompakte Gewichte die weichfedernden Schichten nicht einfach durchschlagen dürfen.
Aufgrund fehlender Messwerte und Prognosehilfen werden in der Praxis gegenwärtig noch allzuoft pauschale Maßnahmen auf Basis von Erfahrungen umgesetzt, die leider nur selten die optimale Lösung darstellen. Am Fraunhofer IBP wurden deshalb messtechnische Untersuchungen durchgeführt, mit dem Ziel ein zuverlässiges Verfahren für die Bestimmung der Trittschallminderung in Hantelbereichen zu entwickeln.

Do. 10:40 Niedersachsenhalle B Tieffrequenter Trittschall

Dröhnende Estriche - Einflussfaktoren
Christian Burkhart und Michael Wolf
Akustikbüro Schwartzenberger und Burkhart
Immer wieder wird von Bewohnern in Mehrfamilienhäusern ein starkes Dröhnen beim Begehen von schwimmenden Estrichkonstruktionen beklagt. Über die möglichen Ursachen wurde in den vergangenen Jahren viel diskutiert, aber wenig veröffentlicht und es scheint als wäre das Problem unverändert nicht gelöst. Aktuell wird im Fachausschuss Bau- und Raumakustik der DEGA eine Stellungnahme zu diesem Thema bearbeitet. Die möglichen Einflussfaktoren, bzw. beteiligten Bauteile, die ein Dröhnen von Estrichen begünstigen oder eher reduzieren werden aufgezeigt und erläutert. Es wird gezeigt, wie groß der Einfluss der einzelnen Faktoren oder Bauteile tatsächlich ist und welche der beteiligten Personen bei der Planung, Ausführung und Nutzung der Wohnräume diese beeinflussen können.

Sitzung „Mikrofonarrays in Theorie und Praxis 2“

Do. 14:00 Niedersachsenhalle B Mikrofonarrays 2

Akustische Quelldetektion rotierender Quellen mit virtuell rotierendem Array und beliebigen Mikrofonanordnungen
Simon Jekosch und Ennes Sarradj
TU Berlin, Fachgebiet Technische Akustik
Rotierendes Beamforming hat sich als eine effiziente Möglichkeit erwiesen Akustische Quellen von rotierenden Maschinen wie Ventilatoren, Triebwerken oder Windkraftanlagen zu beschreiben. Für die Berechnung von rotierendem Beamforming unterscheiden sich die Methoden in Beamforming im Zeitbereich, bei dem der Fokus auf dem Berechnungsgitter der Bewegung der Quelle folgt, und Beamforming im Frequenzbereich, bei dem das Mikrofonarray virtuell die Rotation der Quelle imitiert. Die größte Limitation für das Verfahren des virtuell rotierenden Mikrofonarrays ist die Beschränkung auf Ringgeometrien der Mikrofone,

die Zentriert um die Drehachse angeordnet sein müssen. Dieser Beitrag stellt ein Verfahren vor, bei dem die virtuelle Rotation mit beliebigen Mikrofonanordnungen möglich ist. Das Verfahren basiert auf zwei verschiedenen Interpolationsansätzen: Die Interpolation der Zeitdaten zwischen den Mikrofonpositionen kann dabei entweder durch Delaunay-Triangulierung oder durch Radiale Basisfunktion Interpolation erfolgen. Zur Überprüfung der Implementation wurde ein Experiment mit einem 5-flügeligem Axialventilator in Verbindung einem spiralförmigen Arraygeometrie durchgeführt. Die Ergebnisse aus dem Datensatz werden mit denen eines Ringarrays verglichen.

Do. 14:20 Niedersachsenhalle B Mikrofonarrays 2

Bestimmung der Flugpfade und individueller akustischer Signale von vier im Schwarm fliegenden Quadrocopter-Drohnen mit einem Mikrofonarray

Gert Herold[a], Adam Kujawski[a], Christoph Strümpfel[b], Svenja Huschbeck[b], Maarten Uijt De Haag[b] und Ennes Sarradj[a]

[a] *TU Berlin, Fachgebiet Technische Akustik;* [b] *TU Berlin, Fachgebiet Flugführung u. Luftverkehr*

Der Einsatz unbemannter Luftfahrtsysteme (UAS) findet in Bereichen wie Landwirtschaft, Kartierung, Rettungs- und Polizeiarbeit oder Journalismus immer weitere Verbreitung. Die Untersuchung der Auswirkungen solcher Systeme auf die Umgebung, im urbanen wie im ländlichen Raum, ist daher von steigender Relevanz. Des Weiteren stellen unerlaubt eindringende Drohnen Flughäfen vor neue Herausforderungen, den sicheren Flugbetrieb aufrecht zu erhalten.

In diesem Beitrag wird eine Methode zur Separation der Schallimmissionen und Flugpfade mehrerer gleichzeitig fliegender Drohnen vorgestellt. Hierfür wird die Schallabstrahlung vier im Schwarm fliegender Quadrocopter-Drohnen mit einem Mikrofonarray aufgezeichnet und in einem zweistufigen Verfahren ausgewertet. Zunächst werden aus den akustischen Daten die individuellen Trajektorien bestimmt. Im zweiten Schritt werden diese verwendet, um die Signale der jeweiligen Drohnen mittels Zeitbereichs-Beamforming zu filtern.

Die Genauigkeit der akustisch bestimmten Trajektorien wird über einen Abgleich mit aufgezeichneten Positionsdaten der Drohnen bewertet. Die aus den Schwarmmessungen gefilterten Einzelsignale werden mit Referenzmessungen isoliert fliegender Drohnen gleichen Typs verglichen.

Do. 14:40 Niedersachsenhalle B Mikrofonarrays 2

Inverse scheme for sound localization

Jonathan Nowak[a], Stefan Gombots[a], Manfred Kaltenbacher[a] und Barbara Kaltenbacher[b]

[a] *TU Wien, Institut für Mechanik und Mechatronik;* [b] *Alpen-Adria-Universität Klagenfurt*

Methods that are using microphone arrays for acoustic source localization have become well known as ”acoustic beamforming” and are used e.g. for noise reduction tasks. Although improvements to the standard beamforming method (like CLEAN-SC, DAMAS, Orthogonal Beamforming etc.) have been developed, drawbacks in beamforming are that no phase information of the acoustic sources can be recovered, applicability in the low frequency range is limited and that the assumed free field radiation is not realistic in most practical cases. The method presented in this talk uses a different approach for acoustic source localization. The underlying acoustic PDE is solved by use of the Finite Element Method considering the actual boundary conditions present in the measurement setup. Then the inverse problem of matching the measured acoustic pressure to the simulated pressure at the microphone positions is solved in order to identify the source locations with corresponding amplitudes and phases. Thereby, we either assume monopole sources in the volume or we identify the particle velocity on the surface.

Do. 15:20 Niedersachsenhalle B Mikrofonarrays 2

Schallfeldextrapolation mit Mikrofonarrays

Volker Becker, Christof Puhle und Dirk Döbler

GFaI e.V.

Für die Ortung von Schallquellen und die Bestimmung von deren Quellpegeln mittels Beamforming oder Nahfeldholografie ist der Einsatz von Mikrofonarrays seit vielen Jahren Stand der Technik. Typischerweise befindet sich hier das Untersuchungsobjekt vor einem Mikrofonarray und das gemessene Schallfeld wird auf das Objekt zurückgerechnet. Für einige Anwendungen ist aber auch die Entwicklung und Ausbreitung des Schallfeldes hinter dem Array von Interesse. In einem Artikel von Puhle zur Internoise 2019 wurden hierzu theoretische Grundlagen und Methoden in Form des Algorithmus ”Spherical Integration Farfield Acoustic Holographie) (SIFAH) vorgestellt. In diesem Beitrag stellen wir erste Messungen mit einem sowohl für Beamforming als auch für SIFAH optimierten Mikrofonarray vor. Schallquellen an unterschiedlichen Positionen vor dem Array wurden aufgenommen, das Schallfeld hinter dem Array extrapoliert und mit Messungen realer, dort an verschiedenen Positionen aufgestellten Mikrofonen verglichen. Der Einfluss und die Behandlung von Bodenreflexionen werden diskutiert sowie die erreichte Genauigkeit anhand von Pegelverläufen dargestellt.

Do. 15:40 Niedersachsenhalle B Mikrofonarrays 2

Bestimmung des winkelabhängigen Absorptiongsgrades mit einem Mikrofonarray-Verfahren

Artur Paszkiewicz, Gert Herold und Ennes Sarradj
TU Berlin, Fachgebiet Technische Akustik

Ein Mikrofonarray-Verfahren zur in-situ-Messung des winkelabhängigen Absorptiongrades wird vorgestellt. Das Verfahren bestimmt den Absorptionsgrad durch Ermittlung des einfallenden und reflektierenden Schallanteils auf Basis eines Array-Algorithmus. Dieser beruht auf dem Konzept des Beamformings. Zur präzisen Ermittlung des Einfallswinkels der Schallwelle wird zunächst ein Delay-and-Sum Beamformer verwendet. Das dargestellte Verfahren wird anhand einer Simulation des Schallfeldes über einem Absorber validiert. Das Schallfeld wird hierbei mit dem Spiegelschallquellenmodel generiert. Ebenfalls wird eine experimentelle Untersuchung zum Einfluss der Probengröße des Materials, der Mikrofonanzahl und -anordnung auf das Verfahren durchgeführt. Hierfür wird eine in-situ-Messung im Reflexionsarmen Raum durchgeführt. Die Ergebnisse der Untersuchung werden mit standardisierten Verfahren zur Absorptionsgradbestimmung verglichen.

Do. 16:00 Niedersachsenhalle B Mikrofonarrays 2

Untersuchung zur Abstrahlcharakteristik von Windenergieanlagen mit einer akustischen Kamera

Sebastian Mellert, Dagmar Rokita und Friedrich Ueberle
HAW Hamburg, LS-Physik

Windenergieanlagen (WEA) emittieren nicht in jede Richtung gleich viel Schall. Diese Annahme wurde bereits mehrfach untersucht und bestätigt. Die bisherigen Untersuchungen zeigen, dass WEA neben einer omnidirektionalen auch parallel zur Windrichtung eine bidirektionale Abstrahlcharakteristik besitzen. Entsprechend konnte bisher vor und hinter den WEA höhere Schallpegel als in den seitlichen Bereichen nachgewiesen werden. Aus diesen Messungen, die vor allem an kleineren Einzelanlagen durchgeführt wurden, sind einfache Modelle für die horizontale Abstrahlcharakteristik einer WEA abgeleitet worden. Beobachtungen an einigen 180 m hohen WEA in Hamburg legen jedoch nahe, dass die Schallausbreitung seitlich dieser Anlagen komplexer sein könnten als in den bisherigen Modellen beschrieben. Deshalb wurde eine Messkampagne mit einer akustischen Kamera gestartet, die die Abstrahlcharakteristik der Anlagen untersucht. An drei Messtagen wurde bei ähnlichen Wetterbedingungen Messungen an einer Nordex N117 durchgeführt. Dabei wurde jeweils im Abstand von 130-140 m zum Fuß der WEA ein Halbkreis in Schritten von 20° vermessen. Die sich überlappenden Halbkreise der drei Messtage bilden einen fast vollständigen Kreis mit der WEA als Mittelpunkt. Die Auswertung der Messungen zeigt, dass

sich bei der untersuchten Anlage in einigen Bereichen höherfrequente, modulierte Geräuschanteile ausbilden, die den Gesamtpegel jedoch nicht nennenswert beeinflussen.

Sitzung „Lärmschutz 1“

Do. 8:40 Blauer Saal Lärmschutz 1

Cmet - Was Behörden wirklich dürfen

Karl-Wilhelm Hirsch, Christian Kleinhenrich und Frank Hammelmann
Cervus Consult GmbH

Das Cmet dient in der TA Lärm bzw. DIN ISO 9613-2 dazu, die nach dem Schema der Norm ermittelten Langzeit-Mittelungspegel für Mitwind auf Langzeitmittelungspegel für alle Ausbreitungssituationen zu korrigieren. Das Cmet wird abstands- und höhenabhängig über ein winkelabhängiges C0 bestimmt. In der Regel geben die Länder das Berechnungsverfahren für das C0 vor. Sie erwarten dann vom Gutachter, dass er die verfahrensrelevanten Wetterdaten einholt, um mit diesen Angaben über das vorgegebene C0-Verfahren das Cmet für die konkrete Ausbreitungssituation zu berechnen. In diesem Beitrag wird festgestellt und begründet, dass diese Vorgehensweise nicht TA-Lärm-konform ist, weil die Länder zur Vorgabe des C0 keine Rechtsgrundlage haben. Nach DIN ISO 9613-2 ist es genau umgekehrt: Die Behörden können das Wetter vorgeben, der Normenanwender wendet sein Verfahren zur Bestimmung des C0 an. Dies stellten schon KURZE und SCHIRMACHER in einer grundsätzlichen Betrachtung zum Cmet vor mehr als 20 Jahren fest. Im vorliegenden Beitrag wird keineswegs dafür plädiert, endlich TA-Lärm-konform vorzugehen und jedem Gutachter zu überlassen, wie er aus den behördlichen Wetterangaben das C0 und das Cmet bestimmt. Es wird vielmehr vorgeschlagen, dass zuständigkeitshalber die LAI, z. B. in einem Leitfaden, bundesweit eine Vorgehensweise der C0-Bestimmung empfiehlt und damit rechtssicher die Lücke in der Norm schließt.

Do. 9:00 Blauer Saal Lärmschutz 1

Schutz vor Gewerbelärm bei heranrückender Wohnbebauung - die TA Lärm und die DIN 18005 in der Bauleitplanung - Experimentierklausel und Urbane Gebiete in der Diskussion

Eckhard Bock
planungsbüro shelter, SRL

Seit 2017 ist die Gebietskategorie ”Urbanes Gebiet-(MU)” in die Baunutzungsverordnung eingeführt worden. Eine größere Nutzungsmischung verbunden mit höheren Immissionswerten der TA Lärm ist vom Gesetzgeber beabsichtigt. Der zunehmende Wohnungsbedarf insbesondere in den Wachstumsregionen hat zu weiteren Novellierungsvorschlägen des

Baugesetzbuchs geführt. Aktuell wird eine Experimentierklausel diskutiert, auf deren Grundlage Städte die Normwerte der TA Lärm in der Bauleitplanung selbstständig interpretieren sollen. Zusätzlich soll eine weitere Nutzungskategorie das "Urbane Wohngebiet-(WU)" (Wohngebiete mit höheren Immissionsbelastungen) eingeführt werden. Die Bauleitplanung ist bei an Gewerbegebiete heranrückender Wohnbebauung gehalten, Vorsorgemaßstäbe, die in der DIN 18005 und der TA Lärm definiert sind, zu berücksichtigen. Die bisherige Handhabung der TA Lärm mit Zwischenwertbildungen im bebauten Bereich hat bisher zu Nutzungsmischungen und zur Wohnqualität beigetragen. Dabei ist insbesondere der aktive Lärmschutz (z.B. Einhausungen) von besonderer Bedeutung gewesen. Die aktuelle Absicht, den städtebaulichen Lärmschutz zu reduzieren, bzw. die Wohnbebauung allein durch passiven Schallschutz zu schützen, ist rechtssystematisch bedenklich. Anhand von Fallbeipielen werden effektive Konfliktbewältigungen und Szenarien für die Umsetzung des Lärmschutzes aufgezeigt.

Do. 9:20 Blauer Saal Lärmschutz 1

Zur Revision der ISO 9613-2 - Probleme bei der Modifizierung gesetzlich eingeführter Verfahren

Wolfgang Probst
DataKustik GmbH

Nach TA-Lärm ist für die rechnerische Prognose der durch Anlagen verursachten Geräuschimmission der Entwurf September 1997 der DIN ISO 9613-2 anzuwenden. Allerdings musste dieses Verfahren inzwischen in mehreren Punkten modifiziert werden, weil es in der im festgelegten Entwurf festgeschriebenen Form zu offensichtlichen Fehlern führte oder auch in einigen Punkten so nicht anwendbar war. Berater und Softwarehäuser haben sich auf einheitliche Verbesserungen festgelegt, die heute über gutachterliche Berechnungen auch in die Beurteilung nach TA-Lärm einfließen. Die Vergangenheit hat gezeigt, dass unsere Organisation der umwelttechnischen Beurteilung mit datierten Verweisen ein extrem starres und nur schwer fortschreibbares System darstellt. Dies zeigt sich auch bei den Überlegungen zur Revision des Berechnungsverfahrens nach ISO 9613-2. An einigen Beispielen wird gezeigt, wie das Regelwerk aufgrund vorliegender Erkenntnisse zwar verbessert werden kann, welche Probleme sich dabei aber für die Anwendung im gesetzlich geregelten Bereich ergeben können. Als Anregung zur Verbesserung werden bestimmte Minimalforderungen benannt, die bei der Fortschreibung dieser wie auch anderer Richtlinien beachtet werden sollten.

Do. 9:40 Blauer Saal Lärmschutz 1

Tieffrequente Immissionen im Freizeitlärm - Wie gehen wir damit um?

Benjamin Bernschütz[a] und Jörn Latz[b]
[a] *TH Mittelhessen, FB MuK, Eventmanagement und -technik, Gießen;* [b] *Kramer Schalltechnik GmbH*

Bei der Durchführung von Veranstaltungen kann es auch unter Einhaltung der Immissionsrichtwerte - LAeq zzgl. der üblichen Zuschläge - zu wesentlicher Geräuschbelästigung im tieffrequenten Bereich innerhalb schutzbedürftiger Nutzungen im Umfeld der Veranstaltung kommen. Das Programmmaterial vieler Veranstaltungen mit Musikdarbietung weist hohe Energieanteile im tieffrequenten Bereich auf, die durch aktuelle Beschallungssysteme auch mit hohen Schalldruckpegeln reproduziert werden können. Die formal anzuwendende - auf Gewerbelärm fokussierte - DIN 45680 ist aus verschiedenen Gründen im spezifischen Kontext typischer Szenarien im Freizeitlärm wenig praktikabel und somit bleibt eine schalltechnische Betrachtung tieffrequenter Immissionen in der Praxis weitestgehend unberücksichtigt. Durch diese Vernachlässigung immissionsrechtlich relevanter Aspekte kann dem Schutz der Anwohner nicht hinreichend Rechnung getragen werden. Zunächst sollen die in der Praxis auftretenden Herausforderungen im Kontext des Freizeitlärms diskutiert werden. Weiterhin wird ein Ansatz für ein vereinfachtes Mess- und Beurteilungsverfahren erörtert, das zumindest eine näherungsweise Abschätzung der Immissionsbelastung innerhalb der schutzbedürftigen Nutzungen auf Basis von Messungen im Außenbereich ermöglichen soll. Eine Echtzeitüberwachung der Immissionssituation bei Veranstaltungen findet bereits regelmäßige Anwendung. Es wäre somit wünschenswert, auf Basis dieser ohnehin erfassten Messdaten - ohne wesentlichen Mehraufwand - eine Abschätzung der tieffrequenten Anteile im Sinne der DIN 45680 treffen zu können.

Do. 10:00 Blauer Saal Lärmschutz 1

Untersuchung der Fassadendämmung bei tieffrequenten Geräuschen unter besonderer Berücksichtigung der Gegebenheiten im Freizeitlärm

Lukas Roskosch[a], Benjamin Bernschütz[a] und Ralf Tölke[b]
[a] *TH Mittelhessen, FB MuK, Eventmanagement und -technik, Gießen;* [b] *Kramer Schalltechnik GmbH*

Bei der Durchführung von Veranstaltungen kann es auch unter Einhaltung der Immissionsrichtwerte - LAeq zzgl. der üblichen Zuschläge - zu wesentlicher Geräuschbelästigung im tieffrequenten Bereich innerhalb schutzbedürftiger Nutzungen im Umfeld der Veranstaltung kommen. Das Programmmaterial vieler Veranstaltungen mit Musikdarbietung weist hohe Energieanteile im tieffrequenten Bereich auf, die durch aktuelle Beschallungssysteme mit hohen Schalldruckpegeln reproduziert werden können. Die formal anzuwendende DIN 45680 erfordert die Messung

innerhalb der schutzbedürftigen Nutzung, was im spezifischen Kontext typischer Szenarien im Freizeitlärm aus verschiedenen Gründen wenig praktikabel ist. In der Folge wird diese Prozedur in der Praxis auch nur vergleichsweise selten durchgeführt. Sehr wohl aber etablieren sich Echtzeitmessungen an den Immissionsorten im Außenbereich immer regelmäßiger. Wünschenswert wäre es nun, auf Basis der ohnehin durchgeführten Messungen im Außenbereich zumindest eine grobe Abschätzung der tieffrequenten Immissionspegel innerhalb der schutzbedürftigen Nutzungen treffen zu können. Hierfür muss mindestens der Betrag der Übertragungsfunktion vom Außenmesspunkt in den Innenraum bekannt sein. In erster Näherung wäre dafür bereits ein statistischer Schalldämmwert typischer Baukörper hilfreich. Hier liegen aber bisher vergleichsweise wenige empirische Daten im tieffrequenten Bereich vor. In diesem Kontext wurden exemplarisch 20 Baukörper als Prüfobjekte im tieffrequenten Bereich untersucht, um erste Basisdaten zu erhalten und einen empirischen Ansatzpunkt für weitere Überlegungen zu bieten.

Do. 10:20 Blauer Saal Lärmschutz 1

Akustische Wirksamkeit von Lärmschutzwandaufsätzen: Vergleich von Modell- und Freifeldmessungen mit FE-Simulationen

Fabio Strigari, Wolfram Bartolomaeus und Jennifer Sammet
Bundesanstalt für Straßenwesen

Lärmschutzwandaufsätze bieten eine einfache Möglichkeit zur Verbesserung der akustischen Wirksamkeit bestehender Lärmschutzwände, beispielsweise um gestiegenen Schutzanforderungen gerecht zu werden. Hierbei ergibt sich zum einen eine höhere Pegelminderung aufgrund der faktischen Erhöhung der Wand, zum anderen lassen sich durch spezielle Geometrien, periodische Strukturen oder absorbierende Materialien zusätzliche Einfügungsdämpfungen generieren. Am Beispiel eines Lärmspoilers aus Flüsterschaum wird im Rahmen dieser Studie die durch den Aufsatz erzeugte Pegelminderung untersucht und einer äquivalenten Erhöhung der Lärmschutzwand gegenübergestellt. Hierfür wird auf Freifeldmessungen im Nah- und Fernfeld, Modellmessungen in der Halle für akustische Modelltechnik der Bundesanstalt für Straßenwesen, sowie auf FE-(Finite-Elemente-)Simulationen der Schallausbreitung über die Aufsatzelemente mittels ANSYS zurückgegriffen. Die methodenübergreifende Analyse der Ergebnisse erlaubt es, das Pegelminderungspotential zu quantifizieren und Aussagen über die Vorhersagbarkeit der akustischen Wirksamkeit von Lärmschutzwandaufsätzen mit Hilfe von FE-Simulationen zu treffen. Darüber hinaus lässt sich aus den Simulationen mittels Variantenbetrachtung der Einfluss des Aufsatzmaterials genauer quantifizieren und vom Einfluss der Aufsatzgeometrie trennen. Das Wissen um die Qualität numerischer Simulationen soll zukünftig bei der Optimierung und praktischen Umsetzung derartiger Aufsätze helfen.

Do. 10:40 Blauer Saal Lärmschutz 1

Bestimmung von Parametern Poröser Medien mit Unsicherheiten

Karl-Alexander Hoppe, Ferina Saati Khosroshahi und Steffen Marburg
TU München, Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme

Poröse Medien gelten auf der mikroskopischen Ebene wegen der geometrischen Eigenschaften ihrer Poren als schwer modellierbar. Eine akustische Simulation, bei der thermisch-viskose Effekte berücksichtigt werden, stellt sich vom Rechenaufwand her als aufwändig dar. Deswegen sind Modelle gängig, die global konstante Eigenschaften für eine mit Fluid saturierte Rahmenstruktur annehmen. Diese Modelle weisen vergleichsweise kurze Rechenzeiten auf, sind aber nur auf eingeschränkte Geometrien anwendbar. Dieser Arbeit liegen Messreihen zu Glasperlen hinsichtlich ihrer Absorption von akustischen Wellen zu Grunde. Populäre Charakterisierungsmodelle werden angewendet, um die Parameter des porösen Materials zu schätzen. Ausgehend von den Absorptionsfunktionen lassen sich durch eine stochastische Betrachtung Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion und Korrelation der jeweiligen Parameter bestimmen.

Sitzung „Lärmschutz 2“

Do. 14:20 Blauer Saal Lärmschutz 2

Einzelfallgerechtigkeit - ein Konzept für eine situationsbezogene Irrelevanzprüfung

Johannes Baumgart[a], Tim Spielvogel[b] und Martin Maslaton[b]
[a] *GICON - Großmann Ingenieur Consult GmbH;* [b] *Maslaton Rechtsanwaltsgesellschaft mbH*

Liegt an einem Immissionsort der Pegel durch bereits vorhandene Schallquellen deutlich über dem Richtwert, ist eine weitere Schall emittierende Anlage nur dann genehmigungsfähig, wenn diese deutlich unter dem Richtwert liegt. Derzeit werden Richtwertunterschreitungen von 6 dB(A) angewandt, bei Windenergieanlagen teilweise von 15 dB(A). Dies wird jedoch nicht jeder konkreten Situation gerecht.

Das Konzept der Einzelfallgerechtigkeit betrachtet alle auf den Immissionsort wirkenden Quellen. Die geplante Anlage wird folgendermaßen auf Irrelevanz geprüft: Alle Teilpegel die am Immissionsort über dem der geplanten Anlage liegen werden auf den der geplanten Anlage gesetzt. Der energetische Summenpegel der so reduzierten Pegel, der unveränderten leiseren Teilpegel und dem der geplanten Anlage ergibt den zu prüfenden Pegel. Hält dieser den Richtwert ein, ist der Beitrag der geplanten Anlage in Bezug auf den geprüften Immissionsort als irrelevant zu beurteilen.

Durch dieses Vorgehen ergibt sich eine Gleichbehandlung im Sinne der auf den Immissionsort einwirkenden Teilpegeln. Die anzuwendende Richtwertunterschreitung ergibt sich aus der Berechnung und ist kein

fester Wert mehr. Mit dem vorgeschlagenen Vorgehen ist eine langfristige Lärmsanierung gewährleistet.

Do. 14:40 Blauer Saal Lärmschutz 2

Schutzkonzept an einer innerstädtischen Großbaustelle

Urs Reichart und Olaf Bielich
DEGES, Berlin

Die Autobahn A7 in Hamburg Stellingen wird derzeit von 6 auf 8 Fahrstreifen erweitert. Um den nötigen Lärmschutz zu erreichen wird ein 893 m langer Lärmschutztunnel errichtet und die angrenzende Langenfelder Brücke mit umfangreichem Lärmschutz versehen. Die Arbeiten erfolgen unter laufendem Verkehr und beengten Platzverhältnissen, da die angrenzende Bebauung teilweise weniger als 10m vom Fahrbahnrand entfernt liegt. Das gesamte Gebiet ist durch Fernstraßen (A7 und Bundesstraßen), Nah- und Fernverkehrsstrecken der Bahn, sowie Fluglärm und städtische Straßen stark mit Lärm vorbelastet. Der Vortrag möchte einen Einblick geben in die Entwicklung des Lärmschutzkonzeptes im Rahmen der Planfeststellung, der Bauvorbereitung und der Baudurchführung. Es werden Probleme aufgezeigt, die sich bei der praktischen Umsetzung ergaben und Lösungen diskutiert.

Do. 15:00 Blauer Saal Lärmschutz 2

Verkehrsträgerübergreifende Lärmkumulation in komplexen Situationen (Lärmkumulation I)

Sebastian Eggers[a], Frank Heidebrunn[a] und Michael Chudalla[b]
[a] *Lärmkontor GmbH;* [b] *Bundesanstalt für Straßenwesen*

Das Einwirken mehrerer Lärmquellen (Lärmkumulation) ist nicht nur in urbanen, sondern auch in ländlichen Situationen ein grundlegendes Problem. Das Forschungsprojekt "Verkehrsträgerübergreifende Lärmkumulation in komplexen Situationen" behandelt insbesondere Bündelungslagen, in denen mindestens zwei Verkehrsträger auf die Immissionssituation einwirken. Diese werden systematisch analysiert und ein einheitlicher Ansatz für eine verkehrsträgerübergreifende Betrachtung der Lärmbelastung wird entwickelt. In einer ersten theoretischen Betrachtung wird der Einfluss des Kreuzungswinkels beziehungsweise des Abstands zweier gleich lauter Quellen auf den Anteil der Gesamtbelastung und den möglichen effektiven Wirkungsbereich einer Minderungsmaßnahme untersucht. Anhand einer vereinfachten tabellarischen Auswertung wird zudem die erzielbare Pegelminderung an einem Immissionsort in Abhängigkeit vom jeweiligen Quellenanteil dargestellt. Zur Einschätzung der praktischen Bedeutung der Lärmkumulationen werden verschiedene Gebiete in Deutschland identifiziert, in denen mehrere Lärmquellen relevant wirken. Im ersten Schritt der Ermittlung wird eine systematische Prüfung von ausgewählten Lärmkartierungen und Lärmaktionsplanungen nach EU-Umgebungslärmrichtlinie durchgeführt.

Insgesamt zeigt die Analyse von 13 Städten und 19 Lärmaktionsplanungen, dass nur selten das Thema Gesamtlärm bzw. Mehrfachbelastungen relevant in den Ausführungen betrachtet wird. Für die im Projekt durchgeführten Modellberechnungen wurden daraus verschiedene Gebietstypen abgeleitet. Die Untersuchungen bilden die Grundlage für die Entwicklung eines Verfahrens, das einen systematischen Umgang mit verkehrsträgerübergreifenden Lärmbelastungen bieten soll.

Do. 15:20 Blauer Saal Lärmschutz 2

Verfahren zum Umgang mit verkehrsträgerübergreifenden Lärmkumulationen (Lärmkumulation II)

Michael Chudalla[a], Sebastian Eggers[b] und Frank Heidebrunn[b]
[a] *Bundesanstalt für Straßenwesen;* [b] *Lärmkontor GmbH*

Ziel des Forschungsprojektes war es, ein Verfahren für eine verkehrsträgerübergreifende Betrachtung der Lärmbelastung zu entwickeln. Die Auswertung von Lärmkumulationen in Modellgebieten hat dabei gezeigt, dass das Auftreten von Lärmkumulation von vielen Parametern abhängt und sich keine allgemeingültigen Aussagen zu effektiven Lärmschutzmaßnahmen ableiten lassen. Es wurde daher für den grundsätzlichen Umgang mit Lärmkumulationen ein Verfahren entwickelt, das möglichst unabhängig von den rechtlichen Vorgaben ist, dennoch aber eine transparente und praktikable Handlungsempfehlung geben kann und auch bei Änderungen der rechtlichen Grundlagen anwendbar bleibt. Es werden dafür im Wesentlichen zwei Methoden vorgestellt: Anhand der Darstellung der Pegelverteilung kann eine Situation hinsichtlich der notwendigen Maßnahmen bzw. der Einhaltung eines Schutzziels untersucht werden. Anhand einer Darstellung der Pegeländerungen kann eine Maßnahmenvariante in ihrer Wirkung eingeschätzt werden. Darauf aufbauend wird ein zweistufiges Verfahren vorgeschlagen. Zuerst wird das Vorliegen einer Lärmkumulation sowie die Voraussetzungen für eine Anwendung des Verfahrens geprüft. Wenn die Voraussetzungen gegeben sind, wird im Anschluss ein Prüfverfahren für zwei relevante Quellen zur Maßnahmenfindung durchlaufen. Mit dem im Forschungsprojekt entwickelten Leitfaden steht nun ein transparentes und einfaches Werkzeug für die Praxis zur Verfügung, mit welchem die Problematik der Gesamtlärmbetrachtung systematisch angegangen werden kann und eine einheitliche, verkehrsträgerübergreifende Betrachtung der Lärmbelastung definiert wird.

Do. 16:00 Blauer Saal Lärmschutz 2

Machine-learning-Ansätze zur Vorhersage von Rollgeräuschemissionen

Reinhard Wehr und Andreas Fuchs
AIT Austrian Institute of Technology

Mit zunehmenden Verkehrsmengen wird der Bedarf an dauerhaften lärmmindernden Straßendeckschichten deutlich. Um dabei die Entstehungsmechanismen des Rollgeräusches besser zu verstehen, müssen die Lärmemissionen mit den Oberflächentexturen der Fahrbahnen, die als Anregungsfunktionen der Reifenschwingungen wirken, gemeinsam betrachtet werden. Dabei können neben einem physikalischen Simulationsansatz Methoden des maschinellen Lernens eingesetzt werden. Im vorliegenden Paper sollen verschiedene Ansätze zur Modellierung des Rollgeräusches mittels Machine Learning miteinander verglichen werden. Es wird dabei eine Unterscheidung gezogen, ob in erster Linie eine hohe Vorhersagegenauigkeit gesucht wird, oder ob eine physikalische Interpretierbarkeit der Zusammenhänge zwischen Rollgeräusch und Fahrbahntextur im Vordergrund steht. Als Eingangsfunktion, d.h. als Texturkenngrößen, werden verschiedene Parameter-Auswertungen einer mehrere Kilometer umfassenden Datenbasis an hochaufgelösten 3D-Texturdaten verwendet. Zur Bewertung der Schallemissionen werden diesen gekoppelte CPX-Messungen gegenübergestellt.

Do. 16:20 Blauer Saal Lärmschutz 2

Lärmminderung durch Bewuchsstreifen an Verkehrswegen? Eine Untersuchung über die akustische Wirksamkeit von Bewuchs und dessen Einfluss auf die empfundene Belästigung durch Straßenverkehrslärm

Martin Czuka und Marco Conter
AIT Austrian Institute of Technology

Bewuchsstreifen entlang von Verkehrswegen weisen eine Vielzahl an positiven Effekten auf, wie z.B. optische Führung, Blend-, Wind- und Schneeschutz. Allerdings ist die regelmäßige Durchführung von Erhaltungs- und Sicherheitsschnitten erforderlich, wobei es durch die anwohnende Bevölkerung oftmals zu Rückmeldungen über eine dadurch verschlechterte Lärmsituation kommt. Aus diesem Grund wurde im Forschungsprojekt LAUB die lärmdämpfende Wirkung von Bewuchsstreifen entlang von Autobahnen untersucht. Dabei fanden an insgesamt drei an Autobahnen gelegenen Bewuchsstreifen statistische und kontrollierte Vorbeifahrtsmessungen vor und nach der Entfernung des Bewuchses statt. Die so aufgezeichneten akustischen und visuellen Daten wurden einerseits miteinander vergleichen und bildeten die Basis für einen audiovisuellen Versuch zur Untersuchung der empfundenen Lärmbelästigung. Unter Berücksichtigung der prognostizierten Wirkung von berechneten Lärmindizes wurden die aus dem Versuch und den

Messungen gewonnenen Erkenntnisse in einem Leitfaden zusammengefasst. Dieser Leitfaden beschreibt die Durchführung von Erhaltungs- und Sicherheitsschnitten des Bewuchses entlang von Verkehrswegen bezüglich Ausmaß und gegebenenfalls notwendiger begleitender Öffentlichkeitsarbeit. Das Forschungsprojekt LAUB (VIF 2016, FFG-Nr. 860548) wurde durch die ASFiNAG (Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft) und BMVIT (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie) finanziert und durch die FFG (Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft) abgewickelt.

Sitzung „Kfz-Lärm - neue Probleme und Lösungen“

Do. 8:40 Roter Saal Kfz-Lärm - neue Probleme und Lösungen

Sound-Design - Sind moderne Fahrzeuge so leise wie möglich?

Jan Gebhardt und Lars Schade
Umweltbundesamt

Motorräder verursachen trotz ihres geringen Anteils an der deutschen Fahrzeugflotte und ihrer geringen spezifischen Fahrleistung massive Lärmbelästigungen. Dies liegt zum Teil daran, dass viele Motorräder hauptsächlich auf malerischen Strecken, an denen andere Ruhe und Entspannung suchen, als Sportausrüstung eingesetzt werden. Andererseits ist für viele Fahrer der vermeintlich kraftvolle Klang ihrer Maschinen ein wesentlicher Faktor für den Fahrspaß. Motorräder, wie sonst nur Sportwagen, verkörpern den Konflikt zwischen einem besonderen Klangerlebnis für Auto-, bzw. Motorradfahrer und Lärm für viele Anwohner. Um diesen Konflikt zu lösen, unterliegen die Geräuschemissionen von Motorrädern und anderen Kraftfahrzeugen seit Jahrzehnten den Grenzwerten für die Typgenehmigung. Um Mängel in den Vorschriften aus den neunziger Jahren zu beheben, wurden in der jüngeren Vergangenheit in der Europäischen Union das Prüfverfahren und das Genehmigungsverfahren für Motorräder sowie für Personenkraftwagen und Lastkraftwagen geändert. Die neuen Regelungen gelten bereits für neue Fahrzeugtypen. In dieser Präsentation werden Ergebnisse vorgestellt, die im Rahmen eines Forschungsprojekts ermittelt wurden und einen dringenden Handlungsbedarf hervorrufen. In diesem Vorhaben wurde untersucht inwieweit die neuen Regelungen geeignet sind die Geräuschemissionen im realen Verkehr auf ein technisch unvermeidbares Maß zu begrenzen.

Do. 9:00 Roter Saal Kfz-Lärm - neue Probleme und Lösungen

Maßnahmen zum verhaltensbedingten Lärm

Eckhart Heinrichs[a] und Bernd Lehming[b]

[a] *LK Argus GmbH;* [b] *Arbeitsrung Lärm der DEGA (ALD)*

Das individuelle Verhalten im Kfz-Verkehr hat Einfluss auf die Lärmbelastung. Unnötiger Lärm entsteht vor allem durch das Fahren mit hoher Drehzahl und das Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Aber auch das Parken und Halten in zweiter Reihe erzeugt häufig Lärm. Hinzu kommt die Behinderung der lärmarmen Verkehrsarten Radfahren und Zufußgehen. Zugeparkte Radfahrstreifen machen das Radfahren unattraktiver und der Fußverkehr leidet oft unter mangelnden Sichtbeziehungen und fehlender Barrierefreiheit an ordnungswidrig beparkten Querungen. Schließlich können Verhaltensänderungen auch zur Lärmminderung bei besonders lauten Fahrzeugarten wie Motorrädern und Lkw führen. Es ist daher sinnvoll auch Strategien zu den derzeit ungenutzten Potenzialen durch ein geändertes Verkehrshalten der Kfz-Führenden zu entwickeln.

Do. 9:20 Roter Saal Kfz-Lärm - neue Probleme und Lösungen

Unnötiger Lärm durch PKW-, Kräder- und LKW-Vorbeifahrten

Dietrich Kühner

Sachverständiger für Industrie und Verkehrslärm

Ausgehend von der Straßenverkehrsordnung und der Straßenverkehrszulassungsordnung wird gezeigt, wie anhand der mit einem Messpfosten der Firma RTB erhobenen Daten unnötiger Lärm durch Vorbeifahrten definiert werden kann. In die Untersuchung sind rund 900000 PKW, 94000 Kräder und 20000 LKW Vorbeifahrten einbezogen worden, um den Ansatz statistisch abzusichern.

Do. 9:40 Roter Saal Kfz-Lärm - neue Probleme und Lösungen

A Comparison-Based Study of Psychoacoustic Parameters of Motorcycle Noise Emission

Omid Samani und M. Ercan Altinsoy

TU Dresden, Professur für Akustik und Haptik

Nowadays, more than ever, there is an intention to reduce environmental disturbing factors. Undoubtedly traffic noise is one of the most crucial causes of environmental disturbance. Various categories of vehicles play roles in overall noise emission, however, the effects of these categories are not identical. Two-wheelers and specially motorcycles are a very influential noise emission sources in this investigation. Although the contribution of this category of vehicles in sound pressure level is not significant and is not considered in noise maps, they are very likely to emit extremely annoying noises. This is due to the characteristics of psychoacoustic parameters which they generate and could have grave consequences on physical and mental well-being of individuals. Therefore, it is vital to realize the weights of these parameters by conducting

a thorough investigation. This paper aims to study the psychoacoustic parameters of motorcycle noises in various conditions such as acceleration, deceleration, and different engine speeds and finally to draw a comparison between motorcycles and other vehicle categories based on psychoacoustic parameters.

Do. 10:00 Roter Saal Kfz-Lärm - neue Probleme und Lösungen

EU 540/2014 Verordnung Akustische Fahrzeug-Warnsysteme (AVAS) - Was können wir besser machen?

M. Ercan Altinsoy und Lisa Steinbach
TU Dresden, Professur für Akustik und Haptik

In diesem Vortrag wird zuerst der Einfluss von Elektrofahrzeugen auf die gesamte Verkehrslärmemission diskutiert. Vor dem Hintergrund des zunehmenden Einsatzes von Elektrofahrzeugen im Straßenverkehr besteht ein wachsender Bedarf zur Bestimmung der Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugaußengeräuschen durch Passanten. Seit ca. 10 Jahren liefern verschiedene Studien Anregungen und Empfehlungen, wie Fußgänger auch mit alternativ angetriebenen Fahrzeugen sicher interagieren können. Laut EU Verordnung 540/2014 müssen ab dem 1. Juli 2019 alle neuen Fahrzeugtypen mit einem Akustischen Fahrzeug-Warnsystem (AVAS) ausgestattet sein. Die Gesetzgebung definiert die minimal einzuhaltenden Terzpegelwerte und die minimal einzuhaltenden Gesamtpegel je Fahrsituation bis zu 20 km/h. Allerdings möchte man durch den Einsatz von AVAS die Verkehrslärmbelästigung so wenig wie möglich erhöhen. Durch verschiedene Maßnahmen, die noch nicht in der Verordnung vorgesehen sind, ist es möglich, die Belästigung, die durch AVAS entstehen wird, gering zu halten. In dem Vortrag wird eine Diskussion über diese Maßnahmen durchgeführt.

Do. 10:20 Roter Saal Kfz-Lärm - neue Probleme und Lösungen

Lästigkeit der Geräusche von E-Pkw und Pkw mit Verbrennungsmotor und mögliche Konsequenzen für die städtische Lebensqualität

Felix Laib und J. Alexander Schmidt
Universität Duisburg-Essen

Viele Menschen fühlen sich von Straßenverkehrslärm gestört oder belästigt. Beim Einsatz von Elektrofahrzeugen besteht im Vergleich zu Kfz mit Verbrennungsmotor bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten ein relevantes Lärmminderungspotential. Allerdings müssen neue E-Pkw seit 2019 mit einem akustischen Warnsystem (AVAS) ausgestattet sein, insbesondere um Fußgänger zu warnen. Künstlich erzeugte Geräusche könnten das Lärmminderungspotential einschränken und besonders lästig wahrgenommen werden. In einer Fallstudie wurden vergleichende

Hörversuche zur Lästigkeit der Geräusche von E-Pkw und Pkw mit Verbrennungsmotor mit 60 Teilnehmern durchgeführt. Die Hörbeispiele wurden aus Audioaufnahmen bei Vorbeifahrt der Pkw erstellt und den Personen über Kopfhörer vorgespielt. Die Teilnehmer bewerteten die Lästigkeit der Geräusche bei der Vorbeifahrt einzelner Pkw mit Verbrennungs- oder E-Motor mit und ohne AVAS sowie bei der Vorbeifahrt mehrerer Pkw mit Verbrennungs- oder E Motor. Die Ergebnisse zeigen, dass die Geräusche der E-Pkw grundsätzlich weniger lästig bewertet wurden als die Geräusche der Pkw mit Verbrennungsmotor. Allerdings konnte festgestellt werden, dass sich die Lästigkeitsbewertung beim E-Pkw durch das AVAS erhöht. Überlagerte Vorbeifahrten mehrerer Pkw wurden erheblich lästiger bewertet, als Vorbeifahrten einzelner Kfz. Lästige Geräusche können die Aufenthaltsqualität mindern oder gar negative Auswirkungen auf die Gesundheit hervorrufen. Hinsichtlich eines steigenden Anteils von Elektrofahrzeugen werden mögliche negative Effekte auf die städtische Lebensqualität diskutiert.

Sitzung „Fahrzeugakustik 4“

Do. 14:00 Roter Saal Fahrzeugakustik 4

Einfluss verschiedener Radquerschnitte auf Rollgeräusche bei Schienenfahrzeugen

Christian Klaus, Katja Stampka und Ennes Sarradj
TU Berlin, Fachgebiet Technische Akustik

Rollgeräusche stellen bei mittleren Geschwindigkeiten die dominante Geräuschquelle bei Schienenfahrzeugen dar. Während bei tiefen Frequenzen der Anteil der Schiene dominant am Rollgeräusch ist, wird bei höheren Frequenzen der Radanteil wichtiger. Auf Seite des Rades wird neben der Rauheit der Lauffläche den Radialmoden des Rades der größte Einfluss auf das Rollgeräusch zugeschrieben. Daher wird das Modalverhalten mehrerer Räder untersucht. Positive Effekte werden durch den Kontaktfiltereffekt, steifere Konstruktionen und eine symmetrische Masseverteilung um die Radmittelachse erwartet. Daraus resultieren fünf Radentwürfe mit systematischen Abwandlungen der Radquerschnitte. Zur Beurteilung der Querschnittsänderungen werden die Rezeptanzen der Räder mithilfe der Finite-Elemente-Methode bestimmt. Im Anschluss wird sowohl die Lage als auch die Ausprägung der Radialmoden der unterschiedlichen Räder miteinander verglichen und es werden mögliche Auswirkungen auf das Rollgeräusch diskutiert.

Do. 14:20 Roter Saal Fahrzeugakustik 4

Finite-Differenzen-Verfahren zur Vorhersage der Track Decay Rate

Katja Stampka und Ennes Sarradj
TU Berlin, Fachgebiet Technische Akustik

Bei mittleren Fahrgeschwindigkeiten von Schienenfahrzeugen ist das Rollgeräusch dominant. Dabei werden die Schallanteile sowohl von der Schiene als auch vom Rad abgestrahlt. Das durch die Schiene verursachte Rollgeräusch wird dabei von verschiedenen Faktoren bestimmt, wie der Gesamtrauheit, der Zuggeschwindigkeit und der Struktur, die unter der Schiene verbaut ist. Um den Oberbau zu charakterisieren, wird die Track Decay Rate (TDR) der Schiene gemessen, die ein Maß für das Abklingverhalten der Schiene darstellt.
Vorgestellt wird ein neues numerisches Verfahren auf Grundlage der Finiten-Differenzen-Methode (FDM) im Zeitbereich. Die Schiene wird für dieses Verfahren als ein unendlicher Euler-Bernoulli-Balken, welcher verschieden gebettet werden kann, angenähert. Die Schwingungsantwort des Systems wird mit einem impliziten Crank-Nicolson-Verfahren mit Ordnung 2 bestimmt. Aus der Schwingungsantwort wird die TDR nach DIN EN 15461 berechnet. Numerische Ergebnisse werden mit gemessenen TDRs von Schienen mit Oberbauten mit kontinuierlicher als auch mit diskreter Lagerung verglichen und diskutiert. Außerdem wird die TDR für Aufbauten mit nicht äquidistanten Schwellenabständen bzw. variierenden Steifigkeiten der Zwischenlagen vorhergesagt.

Do. 14:40 Roter Saal Fahrzeugakustik 4

Wie unterscheidet sich die Reaktion von Passanten bei Vorhandensein oder Fehlen eines Stationär-Geräuschs bei elektrisch fahrenden Fahrzeugen?

Lisa Steinbach und M. Ercan Altinsoy
TU Dresden, Professur für Akustik und Haptik

Bei der Generierung von synthetischen Geräuschen für elektrisch angetriebene Fahrzeuge spielt neben der Ästhetik auch der Sicherheitsaspekt eine große Rolle. Die Detektionsfähigkeit eines Warngeräusches aus einem Hintergrundgeräusch ist für die Funktionserfüllung eines solchen Geräusches essentiell. Die EU-Verordnung erlaubt eine freiwillige Einführung eines stationären Geräusches, welches aus Sicht der Blindenverbände jedoch bei weitem nicht ausreichend ist, um die Sicherheit für gefährdete Verkehrsteilnehmer zu gewährleisten. Diese Arbeit analysiert die Fragestellungen, ob künstlich erzeugte Stationär-Geräusche die Sicherheit von schwächeren Verkehrsteilnehmern in sicherheitskritischen Situationen beeinflussen. In einer Verkehrssituation, in welcher es für Fußgänger mit Seheinschränkungen sicherheitsrelevant ist, den Betriebszustand eines Fahrzeuges auditiv zu erkennen, werden unterschiedliche Stationär-Geräusche in Verbindung mit einem Fahrgeräusch auf ihren Wahrnehmungseinfluss getestet.

Do. 15:20 Roter Saal Fahrzeugakustik 4

Messung zum Nachweis ausreichender Sprachverständlichkeit in Schienenfahrzeugen

Dennis Mann, Christoph Eichenlaub, Deborah Brosig und Ferdinand Bruns

Alstom Transport Deutschland GmbH

In den technischen Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI) bezüglich der Zugänglichkeit des Eisenbahnsystems der Union für Menschen mit Behinderungen und Menschen mit einge-schränkter Mobilität (TSI PRM) werden Anforderungen an die Sprachverständlichkeit in Schie-nenfahrzeugen gestellt. Der STIPA-Wert gesprochener Informationen gemäß Anhang B der EN 60268 16:2011 mindestens 0,45 betragen. Diese Anforderung an die Lautsprecheranlage des Fahrzeugs muss an jedem Sitzplatz und jedem Rollstuhlplatz erfüllt werden. Weder die TSI PRM noch die darin referenzierte EN 60268-16:2011 stellen konkrete Anforde-rungen an den Nachweisweg, die Fahrzeugzustände oder die Messpositionen. Da Prüflaborato-rien auch den Zeit- und Kostenaufwand für Konformitätsnachweise optimieren wollen, scheint es sinnvoll, die Erfüllung an vorab als besonders ungünstig eingeschätzten Positionen bei re-präsentativen Fahrzeugzuständen zu überprüfen und daraus die Aussage über die Einhaltung der Anforderung für das gesamte Fahrzeug und alle anderen Betriebszustände mit ausreichen-der Sicherheit zu schließen. Entscheidend hierfür ist, ob ein valides Verfahren zur Auswahl der Messpositionen und Be-triebsbedingungen etabliert werden kann. Der Beitrag zeigt anhand von Messdaten, ob die Vorgehensweise der Auswahl und Verallgemeinerung zu einem verwendbaren Anforderungsnach-weis führt.

Do. 15:40 Roter Saal Fahrzeugakustik 4

Computation of speech clarity indicators in a car accounting for background noise

Arnaud Caillet[a], Joseph Venor[b], Simon Martin[b], Massimiliano Calloni[c] und Oussama Fatmi[a]

[a] *Engineering System International GmbH;* [b] *ESI UK Ltd;* [c] *ESI Italia*

In the context of the increase of customer requirements for the quality of the audio system in cars and the new regulation regarding emergency calls, evaluating the speech clarity in vehicles has become more important. The background noise around the vehicle is playing an important role to evaluate this parameter. This paper will present a workflow to evaluate the speech clarity indicators using ray tracing method with a realistic background noise computed in a previous step using Statistical Energy Analysis (SEA). On a first step a car SEA model will be excited with realistic loads from powertrain, rolling noise and windnoise to evaluate the sound pressure level in the vehicle. On a second step, a ray tracing model based on the SEA model geometry of the interior of the vehicle is created to evaluate the speech clarity indicators. The influence

of the background noise on the speech clarity will be demonstrated. The influence of a design change in the vehicle sound package will be investigated.

Do. 16:00 Roter Saal Fahrzeugakustik 4

Konsistente Aktive Geräuschgestaltung für Hybridfahrzeuge

Markus Bodden und Torsten Belschner
neosonic, Essen

Hybridfahrzeuge stellen aus akustischer Sicht das komplexeste Szenario in Bezug auf die Innengeräuschzusammensetzung dar, werden aber bisher im Vergleich zum betriebenen Aufwand der aktiven Optimierung von Fahrzeugen mit reinem Verbrennungsmotor vernachlässigt. Dieses Szenario wird durch die gesetzliche Anforderung, Hybridfahrzeuge mit einem Fußgängerwarnsystem (AVAS) auszustatten, noch weiter erschwert. Der Fahrer wird inhomogenen Geräuschkompositionen aus rein elektrischen oder verbrennungsmotorgetriebenen Fahrgeräuschen, unterschiedlichen Kombinationen aus beiden, sowie den im Innenraum hörbaren Anteilen des AVAS-Geräusches ausgesetzt. Dies führt zu einer inkonsistenten akustischen Darstellung des Fahrzeugs und stellt hohe Anforderungen an die NVH-Performance, die darauf abzielen muss, alle unterschiedlichen akustischen Beiträge auf ein Minimum zu reduzieren - diese führt zu hohen Kosten und erhöhtem Gewicht. Active Sound Methoden bieten einen eleganten und kostensparenden Ansatz, um dieses Problem zu lösen, da sie die Implementierung eines stringenten Klangkonzepts ermöglichen. Die verschiedenen Fahrweisen müssen so dargestellt werden, dass sie vom Fahrer noch erkannt werden können, gleichzeitig müssen aber die Übergänge harmonisiert und ein geschlossener Gesamteindruck erzeugt werden. Das Konzept für eine entsprechende Umsetzung wird vorgestellt und diskutiert.

Do. 16:20 Roter Saal Fahrzeugakustik 4

Inequidistant planetary gears - feasibility study for gear noise reduction

Philipp Neubauer[a], Christian Adams[b], Tobias Melz[b,c] und Joachim Bös[d,e]

[a] *ehem. Fachgebiet SAM, TU Darmstadt;* [b] *TU Darmstadt, Fachgebiet SAM;* [c] *Fraunhofer LBF;* [d] *Fraunhofer IDMT;* [e] *TU Ilmenau, Industrielle Anwend. von Medientechnologien*

Inequidistant gears are characterized by uneven tooth thicknesses and uneven tooth positions. They are designed to minimize tonal gear noise by rendering the teeths' meshing irregular. In recent years, the principle of inequidistant gears, developed at the research group SAM at TU Darmstadt, was successfully applied to spur gears and helical gears (see DAGA 2018 and DAGA 2019, for example). However, in many drive train applications, as those in automotive and robotic industry, planetary gears are used. Therefore, this paper evaluates the noise reduction

potential of inequidistant planetary gears. The requirements for the design of inequidistant planetary gears are presented and discussed. An exemplary inequidistant planetary gear set and an equivalent conventional planetary gear set with regular toothing are designed. The excitation forces of both planetary gear sets due to the elastic deformation in the mesh are determined by means of numerical simulations. The radiated airborne noise is estimated by calculating the sound radiation of a simplified housing using the fundamental equation of machine acoustics. The results show that the principle of inequidistant gears is also suitable to reduce the noise of planetary gears. Finally, the chances and risks of inequidistant planetary gears regarding their practical application are discussed.

Do. 16:40 Roter Saal Fahrzeugakustik 4

Modeling and experimental validation of in-plane wheel vibrations due to tire non-uniformity

Zhe Liu[a], Kian K. Sepahvand[a], Yintao Wei[b] und Steffen Marburg[a]
[a] *TU München, Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme;* [b] *School of Vehicle and Mobility, Tsinghua University, China*

Tire non-uniformities give rise to rolling force variation at the spindle during steady-state rolling. The higher-order harmonics of the axial forces caused by the tire uniformity subsequently induce the noise within the passenger car. This paper presents a multi-body model for analyzing the characteristics of the force transmissibility of non-uniform tire. The analytical model includes mass imbalance, stiffness non-uniformity, and radial run-out. The model is established based on a three-dimensional ring on an elastic foundation model. Considering the non-uniformity of the tire, the variations of the force on the tire-road contacting area and the length of the footprint are analyzed. The longitudinal and radial forces are calculated and validated by the experimental data. The higher-order harmonics of in-plane axial force vs. the velocity and frequency are given. The proposed model provides a method which should greatly improve the dynamic characteristics of tire/wheel assemblies.

Sitzung „Physik der Strömungsakustik 1“

Do. 8:40 Bonatz Saal Physik der Strömungsakustik 1

Ist die turbulente kinetische Energie ein Indikator für akustische Quellterme in der Strömungsakustik?

Stefan Becker
Univ. Erlangen-Nürnberg, Lehrst. Prozessmaschinen u. Anlagentechnik

In vielen Anwendungen wird die Verringerung der turbulenten kinetischen Energie als ein wichtiger Parameter zur Verringerung der strömungsakustischen Schallentstehung genutzt. Die Größe der turbulenten kinetischen Energie lässt sich aus Messungen und zeitgemittelten

numerischen Simulationen bestimmen. Sie ist eine wichtige Größe in der statistischen Turbulenzmodellierung und zur Verringerung des strömungsmechanischen Widerstandes bzw. der Reibungsverluste. Ausgehend von den Definitionen der turbulenten kinetischen Energie in der Turbulenztheorie und der Definition der strömungsakustischen Quellterme wird ein physikalischer Zusammenhang hergestellt inwieweit die turbulente kinetische Energie für die Optimierung der strömungsinduzierten Schallabstrahlung in der Strömungsakustik genutzt werden kann. Die Erkenntnisse werden durch Anwendungen aus der Grundlagenforschung (wandgebundener Zylinder, vorwärtsspringende Stufe), aber auch durch praktische Anwendungsbeispiele (Ventilator) validiert.

Do. 9:00 Bonatz Saal Physik der Strömungsakustik 1

Revisiting Lighthill's acoustic analogy

Manfred Kaltenbacher und Stefan Schoder
TU Wien, Institut für Mechanik und Mechatronik

Lighthill's analogy is an exact reformulation of the fluid dynamic equations into an inhomogeneous wave equation. Thereby, the source term not only accounts for generation of sound but also for acoustic nonlinearity, convection and refraction of sound waves by the flow, as well as attenuation due to thermal and viscous actions. In order to compute the flow induced sound, one needs Lighthill's tensor for which the full set of compressible flow dynamics equations have to be solved. However, for low Mach number flows, the Reynolds stress tensor is the leading order term, which can be obtained by an incompressible flow computation. Furthermore, we want to note that Lighthill's inhomogeneous wave equation with the physical correct boundary conditions can be applied to any aeroacoustic application and the second spatial derivative of Lighthill's tensor contains all physical aeroacoustic source terms.

Do. 9:20 Bonatz Saal Physik der Strömungsakustik 1

Exakte gekoppelte akustisch-inkompressible Lösung der kompressiblen Navier-Stokes Gleichungen

Johannes Kreuzinger[a] und Roland Ewert[b]
[a] *KM-Turbulenz GmbH;* [b] *DLR, Inst. für Aerodynamik und Strömungstechnik, Braunschweig*

Hybride strömungsakustische Zweischritt-Verfahren basierend auf skalenauflösender inkompressibler Navier-Stokes Simulation (CFD) und akustischer Störungssimulation (CAA) stellen eine gut validierte Methodik für das breitbandige Umströmungsgeräuschproblem bei kleiner Machzahl dar. Als akustischer Quellterm wird zumeist die substantielle Zeitableitung des inkompressiblen Drucks verwendet. Hybride Verfahren sind jedoch nicht in der Lage, tonale Quellen aus strömungsakustischer Rückkopplung zu beschreiben. Ausgehend von den kompressiblen Navier-Stokes Gleichungen wird in dieser Arbeit eine exakte Aufspaltung in zwei gekoppelte Gleichungssysteme für Strömung und Akustik aufgezeigt, welche die strömungsakustische Rückkopplung

berücksichtigt. Die akustische Propagation wird durch akustische Störungsgleichungen (APE) über der instationären Hintergrundströmung beschrieben, der strömungsmechanische Teil über eine den inkompressiblen Navier-Stokes Gleichungen equivalente Form mit zusätzlichem CAA-nach-CFD Kopplungstermen. Das gekoppelte Gleichungssystem ist nicht in der Machzahl beschränkt und kann z.B. im gesamten subsonischen Strömungsbereich eingesetzt werden. Die gekoppelte Simulation liefert eine alternative Methodik zur Lösung der kompressiblen Navier-Stokes Gleichungen. Die quasi-inkompressible Behandlung des Strömungsproblems bietet eine effiziente zeitgenaue Simulationsmethodik, die mit optimalen numerischen Verfahren für jeden Gleichungstyp auf unterschiedlichen Netzen für Strömung und Akustik realisiert werden kann. Die neue Methode wurde zur Simulation von zwei Fällen mit strömungsakustischer RÃ¼ckkopplung eingesetzt (Parker-Mode im Kanal und Orgelpfeife). Die Ergebnisse werden mit Messungen bzw. der Lösung der kompressiblen Navier-Stokes Gleichungen verglichen.

Do. 9:40 Bonatz Saal Physik der Strömungsakustik 1

Changing perspectives in Aero-Acoustics

Marcus Maeder und Steffen Marburg
TU München, Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme

Since the pioneering works of Lighthill, Curle and Ffowcs Williams and Hawkings, the engineering field of aero-acoustics was dominated by further developing acoustic analogies or mathematical frame works such as the Linearized Navier-Stokes, Linearized Euler or Acoustic Perturbation Equations to understand the sound wave generation and propagation in moving media. Especially the aircraft industry benefits from these innovative technologies and developments with respect to engines emitting less noise or aircraft cabins with lower background noise levels. Despite the groundbreaking developments during the last decades, understanding the physical mechanisms of sound generation in turbulent flow still remains an open question. Further, utilizing standard small perturbation approaches within an Eulerian frame, no consistent balance equation for wave propagation is possible to derive. In this paper, the authors want to stress a change of perspective towards aero-acoustics. By applying a mixed Lagrangian-Eulerian frame, it is possible to derive balance equations and create a Lagrangian density function from where it is possible to derive a wave equation from a pseudo acoustic energy formulation. In addition, aspects of sound generation in flow are discussed.

Do. 10:00 Bonatz Saal Physik der Strömungsakustik 1

Akustische Black-Hole Analogie mit exakter Raumzeit Repräsentation

Roland Ewert[a] und Stanislav Proskurov[b]
[a] *DLR, Inst. für Aerodynamik und Strömungstechnik, Braunschweig;* [b] *DLR*

Beginnend mit der Arbeit von W. Unruh 1981 wird im Rahmen von Analogiemodellen der intrinsische Zusammenhang zwischen der Schallausbreitung in einem inhomogenen strömenden Medium und der durch die Allgemeinen Relativitätstheorie (ART) beschriebenen Wellenausbreitung in der gekrümmten Raumzeit genutzt, um wechselseitig physikalische Phänomene zu untersuchen. Einerseits, in einem Antritt, um mit den Methoden der ART akustische Problemstellungen zu lösen. Andererseits, um mit den Methoden der Strömungsmechanik und Akustik komplexere Fragestellungen der ART zu beleuchten. Obwohl die Strömungsakustik auf klassisch nicht-relativistischer Newtonscher Physik in flacher Raumzeit basiert, kann die Ausbreitung von Schallwellen im strömenden Medium durch eine effektive akustische Metrik in einer 3+1-dimensionalen Lorentz Raumzeit beschrieben werden, aus der eine tiefgehende Analogie zwischen Schwarzen Löchern (Black-Holes) mit Schwarzschild-Metrik und einer einfachen Überschall-Senken-Strömung (Sonic Black-Hole) hergeleitet werden kann. Es werden die theoretischen Grundlagen und die Grenzen des akustischen Analogiemodells diskutiert. Der Zusammenhang von d'Alembert Operator in der Lorentz Raumzeit und Pierce'scher Wellengleichung im strömenden Medium erzwingt Nebenbedingungen, die nur eine qualitative Entsprechung von akustischer und Schwarzschild Metrik zulassen. Die Erweiterung des akustischen Analogmodells mittels "Acoustic Perturbation Equations" (APE) zur exakten Repräsentation der Schwarzschild Metrik wird aufgezeigt. Es werden Simulationsergebnisse für ein akustisches Black-Hole mittels Methoden der "Computational Aeroacoustics" zur Lösung der APE vorgestellt.

Do. 10:20 Bonatz Saal Physik der Strömungsakustik 1

Lorentz Invariance and Lagrangian Formulations of Acoustics in Fluids

Drasko Masovic und Ennes Sarradj
TU Berlin, Fachgebiet Technische Akustik

Physical description of acoustics in fluids is commonly derived from the Newtonian equations of fluid dynamics and their simplifications. The alternative approach based on Lagrangian functions and variational principles has been used sporadically, even though it is central for most of the modern field theories, such as electromagnetism, gravity, and quantum field theory. These theories are typically formulated with Lorentz-invariant Lagrangians defined in the four-dimensional spacetime. In accordance with the increasing interest in the analogy between classical

acoustics and relativistic theories, which has been established on the concept of acoustic spacetime, we inspect several Lagrangian formulations which can capture different acoustic phenomena in fluids. In particular, we show that essentially incompressible near acoustic field corresponds to adding mass to the massless gauge field associated with acoustics through the process of spontaneous symmetry breaking. Large but spatially confined mass violating the Lorentz invariance is used to represent rigid boundaries explicitly in the equation of motion, while the sources are modeled as Noether currents, which follow from the symmetries of Lagrangians describing the non-acoustical field of fluid particles. Although more abstract, the considered approach allows more straightforward introduction of main physical phenomena compared with the traditional approach starting with the conservation laws.

Sitzung „Physik der Strömungsakustik 2“

Do. 14:00 Bonatz Saal Physik der Strömungsakustik 2

Lighthill’s Analogy Applied to an Automotive Turbocharger Compressor

Clemens Freidhager, Stefan Schoder und Manfred Kaltenbacher
TU Wien, Institut für Mechanik und Mechatronik

Due to improvements regarding electric engine injection, the noise generated by a combustion engine has been significantly decreased over the last years. Consequently, a major remaining noise source is the turbocharger. A direct numerical simulation resolving both the vortical flow structures and the propagating acoustic waves is computational too demanding. Therefore, a hybrid aeroacoustics method, considering Lighthill’s analogy, is applied for coupling the flow and the acoustic field. In doing so, the compressible flow simulation is restricted to the relevant domain of the flow, where Lighthill’s source terms are computed and then propagated by the wave equation to the whole acoustic domain. Thereby, the influence of all three parts of Lighthill’s tensor are investigated: (1) the Reynolds stress term, (2) the excess term and the (3) viscosity term. The investigation will be performed both in time and frequency domain, and in addition their propagation via the wave equation will be analyzed.

Do. 14:20 Bonatz Saal Physik der Strömungsakustik 2

3D aeroacoustic simulations of a flow-excited Helmholtz resonator
Péter Rucz
Budapest University of Technology
The flow-excited Helmholtz resonator is a classical example of acoustical resonance induced by fluid flow. When the frequency of the hydrodynamic instabilities of the shear layer formed at the orifice of the cavity is close to the natural resonance frequency of the resonator, high amplitude pressure oscillations occur, and a strong acoustical feedback on the shear layer is observed. Similar phenomena of sound production are also responsible for the noise amplification in ventilation ducts with side branches and the sound generation of air reed wind instruments, for example.
This paper presents three-dimensional aeroacoustic simulations of a Helmholtz resonator excited by grazing flow in different configurations. First, the oscillations of the shear layer are analyzed without acoustical feedback using incompressible simulations. Then, the acoustical impulse response of the resonator is evaluated in the absence of the flow excitation. Finally, flow induced acoustical resonance is examined at different flow speeds by means of compressible large eddy simulations. All cases are implemented using the OpenFOAM software package. The results of numerical simulations are compared with previous 2D models and experimental as well as computational data published earlier by other authors.

Do. 14:40 Bonatz Saal Physik der Strömungsakustik 2

Eigenvalue and dimensional analysis of convective wave operators
Stefan Schoder, Clemens Freidhager und Manfred Kaltenbacher
TU Wien, Institut für Mechanik und Mechatronik
The convective wave equation models wave propagation in flowing media by including convection and refraction effects. The primary physical quantity is the scalar acoustic potential, which refers to the sound pressure by the essential derivative in relation to time, scaled by the mean density of the medium. A standard finite element formulation of this partial differential equation leads to interfering modes and can even become unstable. Therefore, we revisit a stable, Mach number independent finite element formulation. The properties of this formulation are investigated by eigenvalue analysis and dimensional analysis for stationary and moving grids. Finally, the theoretical findings are verified by the example ”cylinder in a cross-flow” and ”rotating cylinder in a cross-flow”.

Do. 15:20 Bonatz Saal Physik der Strömungsakustik 2

Eine schnelle Vorhersagemethode für Vorderkantenschall

Ennes Sarradj[a] und Sparsh Sharma[b]
[a] *TU Berlin, Fachgebiet Techn. Akustik;* [b] *BTU Cottbus - Senftenberg*

Befindet sich ein Tragflügel- oder Schaufelprofil in einer turbulenzreichen Zuströmung, spielt die Schallentstehung durch die Wechselwirkung mit zuströmender Turbulenz eine wichtige Rolle. Da der Ort der Schallentstehung dabei im wesentlichen nahe der Vorderkante des Profils ist, wird von Vorderkantenschall gesprochen. Zur Vorhersage gibt es bereits mehrere Verfahren, die entweder nicht geeignet sind, Details des Schaufeldesigns und der Strömung zu betrachten oder wegen der erforderlichen sehr aufwändigen numerischen Berechnung der Strömung bislang nur eingeschränkt für das Design eingesetzt werden können. Im Beitrag wird ein numerisches Verfahren vorgestellt, mit dem ein Kompromiss zwischen diesen beiden Klassen von Verfahren realisiert werden soll. Grundlegende Idee ist dabei, auf eine zeitabhängige Berechnung des Strömungsfeldes zu verzichten und nur die mittlere Strömung zu betrachten, in der einzelne Modellwirbel konvektiert werden. Mit wenig Aufwand kann dann die daraus resultierende Schallabstrahlung mit Hilfe der Integration über Randelemente (Ffwocs Williams-Hawkings) berechnet werden. In einem zweiten Schritt wird untersucht, welche statistische Verteilung der Parameter der Modellwirbel nötig ist, um die Parameter der turbulenten Strömung nachzuahmen. Schließlich wird basierend auf einigen wenigen Trajektorien der Modellwirbel eine lineare Überlagerung des erzeugten Schalls durchgeführt. Im Beitrag wird die Anwendung der Methode für verschiedene Schaufelprofile gezeigt und auf anderem Wege erhaltenen Ergebnissen gegenübergestellt.

Do. 15:40 Bonatz Saal Physik der Strömungsakustik 2

Noise sources of an unconfined and a confined swirl burner

Sohel Herff, Konrad Pausch und Wolfgang Schröder
RWTH Aachen, Aerodynamisches Institut

The sound sources of an unconfined and a confined swirl burner are investigated by a two-step approach. The Reynolds number based on the injector diameter downstream of the swirler is ReD = 8800 and the swirl number is S = 0.73. First, the conservation equations of a compressible fluid are solved to determine the flow field under reacting and non-reacting conditions. The solution determines the mean flow field and the source terms of the acoustic perturbation equations (APE). The contributions of the various sound sources are analyzed by solving the acoustic perturbation equations (APE) in a computational aeroacoustics (CAA) simulation for each of the source terms. For the unconfined swirl burner, the precessing vortex core (PVC) of the swirl flow is a dominant sound source in non-reacting flow, whereas in reacting flow the unsteady heat release dominates the sound field. This changes when the burner is confined. A self-excited instability occurs at the quarter-wave mode of

the burner and further sources, i.e., the momentum source due to fluctuations of the pressure at the flame front and the energy source due to velocity fluctuations at the flame front, become important to accurately predict the sound pressure amplitude of the limit cycle.

Do. 16:00 Bonatz Saal Physik der Strömungsakustik 2

Porous treatment to mitigate trailing edge noise

Sutharsan Satcunanathan, Matthias Meinke und Wolfgang Schröder
RWTH Aachen, Aerodynamisches Institut

The present contribution deals with the numerical analysis of the application of porous materials to reduce the turbulent boundary layer trailing edge noise. The aerodynamically generated sound is simulated by a hybrid two-step LES/CAA method, where the rigid frame porous material is treated by the method of volume averaging in the Navier-Stokes and the acoustic perturbation equations, thus defining continuously varying flow and acoustic state variables inside the porous media. A NACA 0012 airfoil with a sharp trailing edge at zero angle-of- attack at a Reynolds number of 1·10ˆ 6 in a low Mach number flow of 0.01 is considered, to isolate the broadband noise contribution from the bluntness noise. The LES domain will cover the last 20% of the chord. A preceding 2D RANS simulation together with a synthetic eddy generation method will provide the inflow data for the LES. The noise mitigation potential will be evaluated by comparing a solid baseline configuration, for which reference data exists in the literature, against an airfoil, whose rear part is made of a realistic porous material, calibrated beforehand, in terms of the near far field acoustics. The acoustical benefit will be discussed with simultaneous consideration of the effects on the aerodynamic performance.

Sitzung „Audiotechnik“

Do. 9:00 Neuer Saal Audiotechnik

Professional Audio Production in 5G?

Jan Dürre
Sennheiser electronic GmbH & Co. KG

The upcoming fifth generation (5G) of cellular technology is promising a significant performance increase in many key performance indicators (KPI) that will enable new applications in future mobile networks. One set of 5G KPIs known as ultra-reliable low latency communication (URLLC) aims among other things for a wireless transmission latency of under 1 ms. Similar low transfer delays can be seen in today’s professional digital wireless audio devices based on proprietary radio technology. The reason for the low transmission latency is a very strict requirement of many artists for a round-trip time from wireless microphone to mixing console

and back to a wireless in-ear-monitor. Thus, 5G could be a feasible technology to implement professional audio applications. Moreover, the potential integration of professional audio production networks into cellular networks could even create new possibilities for artists and producers. This talk will give an overview of the upcoming 5G technology from a perspective of professional audio applications. The current status of 5G will be evaluated and remaining challenges will be discussed.

Do. 9:20 Neuer Saal Audiotechnik

Wi-Fi IEM - In-Ear Monitoring über WLAN

Sven Thielen, Dieter Leckschat und Christian Epe
Hochschule Düsseldorf, FB Medien - Tonstudiotechnik

Durch WLAN sind drahtlose Netzwerkverbindungen keine Seltenheit mehr. In der professionellen Audiodomäne, insbesondere im Niedriglatenzbereich (bspw. In-Ear Monitoring) findet es hingegen kaum Anwendung. Konventionelle Systeme für In-Ear Monitoring sind meist teuer und daher bei Künstler*innen mit geringem Budget weniger verbreitet.
Wi-Fi IEM ist der Prototyp eines kostengünstigen WLAN In-Ear Monitoring Systems auf Basis von Raspberry Pi Einplatinencomputern und Freier Software. Eine große Herausforderung stellt die unterbrechungsfreie Audioübertragung bei minimaler Latenz dar. Das System arbeitet bereits im Bereich von 8 ms und wird fortlaufend in der Übertragungsqualität optimiert.

Do. 9:40 Neuer Saal Audiotechnik

Entwicklung von adaptiven Flachlautsprechern für die Flugzeugkabine

Patrick Naujoks, Farid Quaium, Pankaj Joshi, Patrick Cordes und Kay Kochan
ZAL Zentrum für Angewandte Luftfahrtforschung GmbH

Die Beschallungsanlagen in Flugzeugen sind eine für die Zertifizierung des Flugzeugs relevante Komponente. Folgend benötigen Passagierflugzeuge ein gut durchdachtes Passagieradresssystem (PA), um die Verständlichkeit relevanter Ansagen für die Passagiersicherheit zu gewährleisten. Dies konkretisiert sich in den Mindestanforderungen für die objektive Messung der Sprachverständlichkeit (z.B. STI, RASTI). Zum Einsatz kommen dabei häufig verteilte passive Tauchspulenlautsprecher, jedoch bieten elektrodynamische Flachlautsprecher weitreichende Vorteile für die Beschallung von Flugzeugkabinen: unsichtbare Montagemöglichkeiten, bessere Klänge und durch die geschlossene Form sind sie ebenfalls reinigungsärmer. Der ZAL GmbH hat hierbei ein ”Smart Exciter Module” entwickelt, welches zur Beschallung der Flugzeugkabine ein zur Schwingung angeregtes flächiges Kabinenbauteil nutzt. Zur Realisierung des Flachlautsprechers wird ein elektrodynamischer Exciter auf die Rückseite einer bereits in der Kabine vorhandenen Oberfläche aufgebracht. Das akustische Design von Flachlautsprechern erfolgt gegenwärtig häufig nach der Methode Versuch und Irrtum

(eng. ”Trial and Error”). Dies erfordert das zeitaufwändige Produzieren und Testen vieler Varianten. Der innovative Kern der präsentierten Produktentwicklung ist dabei die selbstständige Adaption des Schwingungserregers an die vibro-akustischen Eigenschaften der Kabinenbauteile. Hierdurch wird der Einsatz des adaptiven Schwingungserregers auf beliebigen Kabinenbauteilen ermöglicht und eine aufwendige konstruktive Anpassung der Kabinenbauteile entfällt.

Do. 10:00 Neuer Saal Audiotechnik

T-PAPER - Rollengedrucktes Lautsprecherpapier

Georg C. Schmidt, Xunlin Qiu, Pramul Panicker, Ricardo Soler, Aravindan Benjamin und Arved C. Hübler
TU Chemnitz, Institut für Print- und Medientechnik

Das Forschungsgebiet Gedruckte Elektronik entwickelt sich mehr und mehr von der reinen Grundlagenforschung hin zu anwendungsorientierten Produktentwicklungen mit einer Vielzahl von verschiedenen gedruckten Funktionalitäten. Ein Spezialgebiet dabei stellt die massendrucktechnische Herstellung von flexiblen, ultra-dünnen, leichten und farbig bedruckbaren Lautsprechern dar, deren Entwicklung das Institut für Print- und Medientechnik der TU Chemnitz in den Jahren massiv vorangetrieben hat. Im Rahmen des BMBF VIP+ Projektes T-PAPER (dabei steht ”T” für ”Tone”, also ”Klang-Papier”) konnte nun erstmals eine Technologie zur Herstellung von quasi unendlich langem, Rolle-zu-Rolle gedrucktem piezoelektrischen Lautsprecherpapier entwickelt werden. Die Veröffentlichung stellt die Herstellungstechnologie, die elektroakustischen Eigenschaften von T-PAPER sowie neuartige Anwendungsszenarien für diese neue Lautsprecherform wie z.B. das T-Book, ein Buch mit sprechenden Papierseiten, vor.

Do. 10:20 Neuer Saal Audiotechnik

Modifizierte Baggally Verstärker-Topologie besser als Current-Dumping?

Drazenko Sukalo
TU Kaiserslautern

Wie wir wissen, sind in einem Feedback-Verstärker mit globaler Rückkopplung die Möglichkeiten zur Erreichung minimaler nichtlinearer Verzerrungen bereits bei einer maximalen Gegenkopplungsstärke=1 voll und ganz ausgereizt. Gibt es jedoch eine solche global gekoppelte Verstärker-Topologie, die bei jeder eingestellten Zielverstärkung diese maximale Gegenkopplungsstärke aufweist? Im Beitrag wurde diese neue ”State-of-the-Art”-Feedback-Topologie als eine Modifikation des Designs von Baggally vorgestellt. Baggally Design ist etwas in Vergessenheit geraten, obwohl es zum Zeitpunkt seiner Veröffentlichung beachtenswert war und es auch noch heute ist. Denn als Baggally im Jahr 1933 seinen weltweit ersten verzerrungsfreien Feedback-Verstärker im Journal ”Wireless Engineer and Experimental Wireless” vorstellte, lag

die Technik der Gegenkopplung topologisch gesehen praktisch noch in der Wiege.

Do. 10:40 Neuer Saal Audiotechnik

Präsentation der Poster, die dieser Sitzung zugeordnet sind (s.u.)

Sitzung „Audiotechnik (Poster)“
Kurzvorträge: Do. 10:40 (Neuer Saal); Poster-Forum: Do. 11:00

Di.-Do. Audiotechnik (Poster)

Assistive Listening over WiFi - Campuswide Audio. Challenges and Solutions

Jakub Kolacz
Sennheiser Streaming Technologies GmbH

Personalized accessibility for students and audiences MobileConnect is Sennheiser's WiFi-based system for accessible hearing. It is optimized for the use in universities where it serves best the demand of students for state-of-the-art audio technology that is easy to use. With MobileConnect, the innovative assistive listening system, lectures are transmitted over WiFi in real-time and in high quality to mobile devices and smartphones. To access a live stream, students simply need to download and install the free MobileConnect app (available for iOS and Android) and connect to their university's WiFi network with their own device.

Di.-Do. Audiotechnik (Poster)

Using Uniform Microphone Arrays to Design Sparse Microphone Arrays with Frequency Invariant Beam Pattern

Le Son Phan
TU Kaiserslautern, Electrical & Computer Engineering

Using uniform arrays to obtain frequency invariant beam patterns is a powerful method but it requires a large number of microphones. Alternately, sparse arrays could be used to reduce the number of microphones and still ensure frequency invariant beam pattern constraints. However, finding good microphone locations in the sparse array is not easy in general. Many studies focus on optimization methods to find both the locations and weights of microphones. This paper presents an alternative method to find the locations of microphones. Starting from the weight spectrum of a uniform array designed for a frequency invariant beam pattern, some techniques are used like Principle Component Analysis to reduce the dimension of the weight matrix, analyzing the energy density of weight spectrum to find the important microphones and K-means cluster algorithm to group the remain microphones and find the representative microphone for each group. After microphone locations are specified, we apply an optimization method to find the microphones' weights

for the sparse array: minimization of White Noise Gain with subject to side-lobe, main-lobe and distortion-less constraints. The provided method achieves good results for frequency invariant beam patterns and the computational complexity is reduced significantly compared to other optimization methods.

Di.-Do. Audiotechnik (Poster)

Zeit-Frequenz Synthese von Audiosignalen für maschinelles Lernen

Andres Marafioti[a], Piotr Majdak[a], Nicki Holighaus[a] und Nathanaël Perraudin[b]

[a] *Institut für Schallforschung, ÖAW;* [b] *Swiss Data Science Center*

Zeit-Frequenz Darstellungen (TF) bieten leistungsstarke und intuitive Funktionen für die Analyse von Audiosignalen. Dennoch ist die Synthese von Audiosignalen auf der Basis von TF Koeffizienten eine subtile Angelegenheit. Speziell in jenem Bereich des maschinellen Lernens, in dem TF Koeffizienten von neuronalen Netzen generiert werden, ist es schwierig die Audiosynthese mit zufriedenstellender Qualität zu garantieren. Folglich beruht die neuronale Audiosynthese weitgehend auf der direkten Modellierung der Wellenform. In diesem Vortrag, werden diverse Herausforderungen der Audiosynthese auf der Basis von TF Koeffizienten erörtert. Wir werden die Problematik der invertierbaren TF Koeffizienten erörtern und Regeln zu Lösung dieser Problematik präsentieren. Wir werden das Potenzial der generativen TF Modellierung anhand eines sogenannten Generative Adversarial Networks (GAN) demonstrieren. Wir werden zeigen, dass durch die Anwendung der vorgeschlagenen Regeln, die Qualität eines GAN-generierten Audiosignals, im Vergleich zu einem ähnlichen Netzwerk mit direkter Wellenformsynthese, dem neuesten Stand der Technik entsprechen kann.

Sitzung „Schwingungstechnik“

Do. 14:00 Neuer Saal Schwingungstechnik

Simulation des Anregungsverhaltens von Zahnradgetrieben

Andreas Beinstingel[a], Michael Keller[b], Michael Heider[b] und Steffen Marburg[c]

[a] *Renk AG, TU München;* [b] *Renk AG;* [c] *TU München, Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme*

Bereits in der frühen Entwicklungsphase von Zahnradgetrieben nimmt die Untersuchung des Schwingungs- und Geräuschverhaltens eine zentrale Rolle ein. Dabei stellen die wechselnden Kontaktverhältnisse bei der Kraftübertragung die maßgebliche Anregungsquelle dar. Eine effiziente und möglichst genaue Abbildung des Zahneingriffs bestimmt daher zunächst die Qualität der Simulation. Der anschließende Transport des erzwungenen Körperschalls zur Gehäuseoberfläche wird zusätzlich

durch die Wechselwirkungen zwischen Verzahnung, Welle, Lager und Gehäuse beeinflusst. Allerdings steigt die Kenntnis über die genannten Bauteile und deren Eigenschaften meist erst im Laufe der Produktentwicklung an. Aus diesem Grund ist eine effiziente und modular einsetzbare Verzahnungsmodellierung oftmals zielführend. In diesem Vortrag wird eine hierzu passende Methodik - basierend auf einer analytischen Zahnkontaktberechnung in Verbindung mit der Isogeometrischen Analyse - vorgestellt und anschließend in Anwendung gebracht.

Do. 14:20 Neuer Saal Schwingungstechnik

Experimentelle Dämpfungsbestimmung bei unterschiedlicher Lagerung

Christian A. Geweth, Ferina Saati Khosroshahi, Kian K. Sepahvand und Steffen Marburg

TU München, Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme

In der Regel ist es ein aufwändiges und auch kostspieliges Unterfangen einen zuverlässigen Abgleich von Dämpfungswerten aus Simulation und durchzuführen. Dabei stellt sich die Frage nach der Zuverlässigkeit des Simulationsmodells und den zugrundliegenden Parametern, als auch nach der Genauigkeit des Experimentes. Vor diesem Hintergrund wird in dieser Studie der Einfluss von verschieden Lagerungsarten auf experimentell bestimmte Dämpfungswerte untersucht. Zu diesem Zweck wird bei ansonsten identischem Aufbau eine Probe mit unterschiedlichen annähernd frei-freien Lagerungen vermessen.

Do. 14:40 Neuer Saal Schwingungstechnik

Stochastic stability analysis of a general rotor-bearing system considering the misalignment effect

Xiaodong Sun[a], Kian K. Sepahvand[b] und Steffen Marburg[b]

[a] *TU München, Department of Mechanical Engineering;* [b] *TU München, Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme*

Stochastic stability problem for a general rotor-bearing system is still a challenging issue. The most published works in this area are usually focused on the rotor supported by a relatively short bearing and the impact of misalignment effect has been ignored. In this study, the threshold of a rotor-bearing system which characterizing the stability of system is studied under considering the uncertainty in a general cylindrical hydrodynamic bearing (HDB) and the misalignment effect. To analyze the stability problem under the misalignment, the thickness expression of the oil film is characterized. The static and dynamic characteristics under different eccentricities are then numerically calculated by solving the Reynold's equation and perturbating pressure. Meanwhile, the startup curve characterizing the relationship between eccentricity and rotating speed is obtained under a specific static load. The borderline between stable and unstable zone is identified by solving the characteristic equation of the rotor-bearing system. Accordingly, the cross point of borderline and startup curve is characterized. Finally, the generalized polynomial

chaos (gPC) expansion is employed to evaluate the influence of uncertain factors such as viscosity and clearance on the stability problem of system. The accuracy of the proposed method is compared with results from the Monte Carlo simulations.

Do. 15:00 Neuer Saal Schwingungstechnik

Static Performances Study on a Three-pad Air Journal Bearing Based on Near Field Acoustic Levitation

Yuanyuan Liu, Kian K. Sepahvand und Steffen Marburg
TU München, Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme

Owing to its distinct non-contact and oil-free characteristics, squeeze-film air bearing can be introduced to satisfy ultra-precision, low wear, and oil-free requirements. This study presents a numerical analysis of the float characteristics of a three-pad squeeze-film air bearing based on squeeze film levitation technology. Unlike conventional squeeze-film bearings, this kind of bearing has two distinguishing characteristics: significantly improved load capacity, and the ability of precision spindle position control. The resonant frequency and vibration mode of the bearing are obtained by using finite element modeling and validated by experimental results. Furthermore, the mechanism of pressure generation of squeeze film is investigated. The load capacity and stability of the bearing can be improved by utilizing the squeeze film effect. Numerical and experimental results show a feasible non-contact bearing with the application potential in the high-speed and high-precision rotating machinery.

Do. 15:40 Neuer Saal Schwingungstechnik

Lebensdauerabschätzung von Composite-Druckbehältern mittels Modalanalyse

Sebastian John und Georg Mair
BAM Berlin

Zur Erhöhung der Lastwechselfestigkeit von Composite-Druckbehältern mit metallischem Liner erfolgt bereits während des Fertigungsprozesses eine Einbringung von Eigenspannungen in die Gesamtstruktur. Untersuchungen zeigen, dass mit zunehmender Alterung von einer Änderung des initialen Eigenspannungszustandes auszugehen ist, was sich wiederum direkt auf die Lebensdauer auswirkt. Zur Erfassung dieser Eigenspannungsänderung wird ein zerstörungsfreier Ansatz auf Grundlage einer experimentellen Modalanalyse vorgestellt. Die daraus gewonnen Ergebnisse fließen direkt in ein erarbeitetes Lebensdauermodell ein. Im Rahmen der Entwicklung einer Methodik für eine genauere Lebensdauerabschätzung werden die Modellergebnisse abschließend mit experimentell ermittelten Lebensdauern verglichen und bewertet.

Do. 16:00 Neuer Saal Schwingungstechnik

Uncertainty analysis in dynamic response of composite structures in thermal environment

Sourav Chandra, Kian K. Sepahvand und Steffen Marburg
TU München, Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme

Uncertainty analysis of various engineering structures is essential in various manufacturing sector such as aerospace, automobile etc. Application of the composite material are increasing in these sectors over the conventional materials. Moreover, these structures are often experienced rise of temperature during high speed maneuvering. Due to high strength and low coefficient of thermal expansion (CTE) graphite-epoxy, carbon-epoxy, carbon-carbon, and IM7-PEEK composites are generally used as principal structural materials to these vehicles. Therefore, uncertainty analysis of the dynamic response in various thermal environment requires for assessing the reliability of the structure. This study presents the uncertainty to the transient response for various shape of composite structure such as folded plate, stiffened plate and cylindrical shell, etc. at various temperature. The elastic parameters of IM7-PEEK composite material, and applied loading on the composite structures are considered as uncertain at various discrete temperatures. Stochastic finite element method (SFEM) is used for uncertainty analysis of the composite structure. In this study, computationally efficient collocation based generalized polynomial chaos (gPC) expansion method is used to evaluate the stochastic dynamic response of for various shapes of the composite structure. The method show a very accurate results compared with sampling based method with large number of realizations.

Do. 16:20 Neuer Saal Schwingungstechnik

An Iterative Eigenvalue Solver for Systems with Frequency Dependent Material Properties

Martin Gröhlich, Marc Böswald und René Winter
DLR, Institut für Aeroelastik, Göttingen

An essential requirement of aeronautic structures is their lightweight design. Such a characteristic yields a considerable susceptibility to vibrations, which as a consequence results in an increased cabin-interior noise. In order to reduce structure-borne noise, viscoelastic materials can be integrated as damping layers in the fuselage structure. A special property of viscoelastic materials is the frequency dependence of their material parameters. At different excitation frequencies, both the stiffness and the damping capability of the material can vary significantly. Therefore, to evaluate the influence of local viscoelastic elements on a global structure regarding modal parameters such as eigenfrequencies and damping ratios, it is necessary to solve a frequency dependent, nonlinear eigenvalue problem.

At first, the paper introduces and demonstrates the principle of an iterative eigenvalue solver on a simple spring-mass system. In addition, an

approach is provided to use the iterative eigenvalue solver in conjunction with MSC Nastran. Using a finite element model, the modal parameters of the iterative eigenvalue solver are finally compared with parameters identified from a frequency response analysis.

Do. 16:40 Neuer Saal Schwingungstechnik

Bestimmung des Elastizitätsmoduls zylindrischer Beton-Prüfkörper aus dem Spaltzug-Schwellversuch

Paul Lindner[a], Christian Schulze[a], Jörn Hübelt[b], Paul Bolz[c] und Frohmut Wellner[c]

[a] *Gesellschaft für Akustikforschung Dresden mbH;* [b] *Hochschule Mittweida;* [c] *TU Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, Institut für Stadtb.*

Beton unterliegt als Baustoff in zahlreichen Anwendungsbereichen nicht nur statischen, sondern auch zeitlich veränderlichen bzw. sich wiederholenden Belastungen. Um die Eignung von Baustoffen in Bezug auf diese zyklischen Beanspruchungen sicherzustellen, existieren Verfahren zur gezielten Ermüdung von Prüfkörpern, wie der Spaltzug-Schwellversuch. Es wird ein Messverfahren vorgestellt, mithilfe dessen die Degradation zylindrischer Beton-Prüfkörper aus dem Spaltzug-Schwellversuch abgeschätzt werden kann, indem der dynamische Elastizitätsmodul in verschiedenen Ermüdungszuständen ermittelt wird. Es werden zwei weitere Verfahren zur Bestimmung des Elastizitätsmoduls hinzugezogen. Die Messergebnisse aus den in unterschiedlichen Frequenzbereichen arbeitenden Verfahren werden vergleichend gegenübergestellt.

Sitzung „Raumakustik 3“

Do. 8:40 Runder Saal Raumakustik 3

Generatives Design für eine akustische Optimierung von Räumen für Sprache

Omid Kokabi und Stefan Weinzierl

TU Berlin, Fachgebiet Audiokommunikation

Die akustische Optimierung von Räumen für Musik und Sprache ist derzeit meist noch ein weitgehend manueller Prozess, bei dem architektonische Entwürfe durch den Akustiker iterativ angepasst, und die Wirkung dieser Anpassung jeweils durch analytische oder numerische Verfahren auf den Einzelfall bezogen überprüft wird. Eine rein algorithmische, automatische Optimierung steht derzeit noch vor der Herausforderung, einerseits die große Anzahl möglicher Freiheitsgrade im Hinblick auf die Primär- und Sekundärstruktur zu bewältigen, andererseits verschiedene Algorithmen für die Modellierung des Raums, für die raumakustische Simulation, und für die Optimierung selbst miteinander zu verbinden. Die vorliegende Studie ist ein erster Schritt in diese Richtung. Am Beispiel eines Klassenraums, dessen Volumen, geometrische Proportionen

und Wandmaterialien im Hinblick auf eine optimale Sprachverständlichkeit variiert werden sollen, stellen wir ein Software-Framework vor, das Algorithmen zur stochastischen Optimierung, zur Formgenerierung und zur akustischen Simulation kombiniert, und damit in der Lage ist, aus einer sehr großen Anzahl möglicher Lösungen nicht nur den "optimalen Raum" zu finden, sondern auch den Einfluss einzelner Designvariablen und deren komplexes Zusammenspiel systematisch zu untersuchen.

Do. 9:00 Runder Saal Raumakustik 3

Einflussgrößen der Sprachverständlichkeit

Jörn Hoffmeier

ABH Akustikbüro Hoffmeier

Die Sprachverständlichkeit spielt bei der Auslegung von Beschallungsanlagen und bei der raumakustischen Auslegung von Darbietungsräumen eine sehr große Rolle. Daher wird in diesem Beitrag ein Überblick über die Einflussgrößen auf die Sprachverständlichkeit gegeben. Ausgehend vom Zusammenhang zwischen Silben-, Wort-, Satzverständlichkeit wird eine Klassierung der Verständlichkeit vorgenommen. Die Messung der Silbenverständlichkeit mit Hilfe von subjektiven Tests wird dargestellt. Auf die Einflussgrößen wie Artikulation des Sprechers, Sprechgeschwindigkeit der Quelle, Lautstärke / Störgeräusch, Übertragungsbandbreite, Einfluss der Raumübertragung (zeitlicher Einfluss von Reflexionen), Echos, Spracherkennungsvermögen des Hörenden wird im Einzelnen eingegangen. Abschließend wird kurz auf verschiedene Möglichkeiten der objektiven Messung und der Sprachverständlichkeit eingegangen. Gegenübergestellt werden schwerpunkmäßig die Messungen mit Hilfe der raumakustischen Parameter Speech Transmission Index STI, Deutlichkeitsmaß C50, Schwerpunkzeit ts sowie die Bewertung der Ergebnisse.

Do. 9:20 Runder Saal Raumakustik 3

Modeling audience noise during speech and musical performances

Sebastian Böldt[a], Jochen Steffens[b], Clemens Büttner[a] und Stefan Weinzierl[a]

[a] *TU Berlin, Fachgebiet Audiokommunikation;* [b] *Hochschule Düsseldorf, ISAVE / TU Berlin*

The sounds caused by the audience account for a large part of the background sound field in a concert. However, little is known about its spectral composition, room acoustic influences, or even mood-dependent changes. Therefore, we first analyzed audience sounds from eight recordings in five different rooms with regard to its spectral distribution and temporal development. A statistical prediction model was computed to assess the influence of technical background noise, room acoustics, and audience mood. Moreover, statistical analyses revealed a significant association between the audience sound level and the technical background noise on the one side and the number of spectators on the other. Also, two

characteristic curves for the A-weighted broadband audience sound level over time were determined. To further investigate the influence of the audience's mood on the overall sound level, a self-assessment during one concert and a listening test were carried out. As a result, a terminology underlying three factors was developed to describe the perceived atmosphere (e.g., eventfulness, exuberance) and the acoustical properties of audience sounds. The findings can be used for further research on audience sound synthesis and offer valuable insights for room acoustic planning where the predictions regarding audience sound levels are needed.

Do. 9:40 Runder Saal Raumakustik 3

Room acoustics, soundscapes and customer satisfaction in restaurants - a field study

Tobias Wilczek[a], Jochen Steffens[b] und Stefan Weinzierl[a]
[a] *TU Berlin, Fachgebiet Audiokommunikation;* [b] *Hochschule Düsseldorf, ISAVE / TU Berlin*

Studies of the hospitality industry on restaurant quality only partially consider the acoustical side of atmosphere. In contrast, studies on restaurant acoustics make high demands in terms of low reverberation times to account for speech intelligibility. This raises questions regarding the reasons for this discrepancy and desirable auditive characteristics in the context of restaurants. We thus carried out a correlational field study involving a sample of 12 restaurant settings. In this study, we investigated the effect of reverberation time and sound pressure level on customers' perceived affective quality of the soundscape. In addition, the relationship between soundscape pleasantness and the overall satisfaction with the restaurant was analyzed. Analyses using linear mixed-effects models revealed that the soundscape indicators pleasantness and eventfulness are related to the (room) acoustical parameters sound pressure level and reverberation time. Moreover, soundscape pleasantness judgments were shown to predict overall customer satisfaction. Theoretical and practical implications for the acoustical design of restaurants are discussed.

Do. 10:00 Runder Saal Raumakustik 3

Validierung von Schallteilchen-Raumakustik-Simulationen mit Beugung mittels Messungen an verschiedenen Schirmaufbauten im Halbfreifeldraum

Stefan Weigand[a], Uwe Stephenson[a] und Jochen Schaal[b]
[a] *HafenCity Universität Hamburg;* [b] *SoundPLAN GMBH*

Raumakustik-Simulationen sind ein etabliertes Werkzeug im planerischen Arbeitsalltag von Akustikern. Dabei haben sich verschiedene Verfahren seit mehreren Jahrzenten etabliert, eine davon das Schallteilchen-Simulationsverfahren. Es gehört in die Klasse der energetisch, geometrischen Raumakustik-Simulationsverfahren (Ray Tracing). Im letzten Jahrzehnt ist es gelungen, dieses Verfahren um einen

grundlegenden physikalischen Ausbreitungseffekt zu erweitern: Basierend auf der Unschärferelation wurde das Schalteilchenverfahren um Beugung (Sound Particle Diffraction) ergänzt, was den Anwendungsbereich zu tieferen Frequenzen und komplexeren Geometrien, wie z.B. in Großraumbüros, Fabrikhallen oder gekoppelten Räumen hin erweitert. In diesem Beitrag werden Ergebnisse von 3D-SPD-Simulationen mit Messungen an Schirmaufbauten im Halbfreifeldraum verglichen. Dabei wird eine Vielzahl von Schirmaufbauten, Quell- und Empfangspositionen und akustischen Randbedingungen (reflektierend und absorbierend) untersucht. Es kommen Einfach- sowie Mehrfachschirme, sowie verschiedene Schirmbreiten und -höhen und Kombinationen mit Reflektoren zum Einsatz. Dies erlaubt eine breite Validierung von Einfach- und Mehrfachbeugung vorzunehmen und den Algorithmus unter kontrollierten Bedingungen, auch in Kombination mit Reflektionen, zu überprüfen. Die zum Abgleich verwendete Zielgröße ist das Einfügedämmmaß (insertion loss) in Oktavbändern, welches aus Impulsantworten berechnet wird, die mit Sinus-Sweeps gemessen wurden. Die Ergebnisse zeigen gute Übereinstimmung. Somit sind Schallteilchen-Simulationen mit Beugung ein valides Verfahren zur Berechnung von Schallpegeln, auch in komplexeren Innenräumen.

Do. 10:20 Runder Saal Raumakustik 3

Zum neuen elektronischen Enhancement-System für konzertante Darbietungen im CongressCentrum Suhl

Wolfgang Ahnert und Tobias Behrens
ADA - Acoustics & Media Consultants GmbH

Im großen Saal (Raumvolumen ca. 34.000 m^3, 2.350 Sitzplätze) des CongressCentrum Suhl (CCS), der in den 90er Jahren raumakustisch für voll elektroakustisch verstärkte Veranstaltungen ausgelegt wurde, also entsprechend 'trocken' ist, finden regelmäßig gut besuchte konzertante Darbietungen unter Einsatz eines mobilen Konzertzimmers statt. Das Ende der 90erJahre dort eingebaute elektroakustische Nachhallsystem wurde den heutigen Anforderungen nicht mehr gerecht, so dass im Jahre 2018 eine Neukonzeption und Detailplanung für ein nun modernes elektroakustisches Enhancement-System für diesen Saal erarbeitet werden konnte. Zum Einsatz kam hierfür das System 'Amadeus Active Acoustics'. Dabei wurde auf die vorhandenen Lautsprecher und Installationen im Deckenraum aufgesetzt, jedoch auch neue Lautsprecher an den Wänden implementiert. Der Vortrag geht auf die Neukonzeption des elektronischen Enhancement-Systems und das damit in Praxis erzielte raumakustische Ergebnis ein.

Do. 10:40 Runder Saal Raumakustik 3

Gibt es raumakustische Hörexpertise?

Markus von Berg[a], Jochen Steffens[b], Daniel Müllensiefen[c] und Stefan Weinzierl[d]

[a] *TU Berlin;* [b] *Hochschule Düsseldorf, ISAVE / TU Berlin;* [c] *Goldsmiths College, University of London;* [d] *TU Berlin, Fachgebiet Audiokommunikation*

In zahlreichen raum- und psychoakustischen Untersuchungen wird bestimmten Versuchsteilnehmern eine "Hör-Expertise" im Hinblick auf die zu bewertenden Stimuli unterstellt. Als Experten werden dabei häufig Musiker oder Personen mit akademischer und/oder praktischer akustischer Erfahrung eingesetzt. Inwieweit es eine individuell unterschiedliche raumakustische Hörexpertise jedoch überhaupt gibt, wie diese gemessen werden kann und von welchen Faktoren sie abhängt, wurde in der vorliegenden explorativen Studie untersucht. Dazu wurde eine Batterie raumakustischer Hörtests entwickelt, welche individuelle Unterschiede bei mehreren Einzelfähigkeiten, etwa einer Bestimmung von Dauer und Klangfarbe der Nachhallzeit, mit unterschiedlichen experimentellen Paradigmen (ABX, Sortieraufgabe, Reproduktion mit slider) misst. Zur Messung der musikalischen Erfahrenheit wurden bestimmte Dimensionen des Goldsmiths Musical Sophistication Index (Gold-MSI) verwendet. Mithilfe von Faktorenanalysen wurde ermittelt, ob ein einzelner Faktor den Testleistungen der Versuchspersonen zugrunde liegt und somit von raumakustischer Hörexpertise als einer kohärenten, übergeordneten Fähigkeit ausgegangen werden kann. Die Ergebnisse können instruktiv für die Anwendung von Kriterien für zukünftige Hörversuche sein, bei denen eine Trennung von Laien- und Expertenhörern von Bedeutung ist.

Sitzung „Raumakustik 4"

Do. 14:00 Runder Saal Raumakustik 4

Acoustic Scattering from Suspended Ceiling with Perforated Facing

Yohko Aoki[a], Klaudius Hengst[b], Moritz Späh[a] und Xiaoru Zhou[a]

[a] *Fraunhofer-Institut für Bauphysik;* [b] *Knauf Gips KG*

This paper focuses on the scattering effect of a finite perforated plate suspended from a rigid backing. In the considered frequency range up to 5 kHz, the period of the perforation is much shorter than the trace wavelength of the incident wave on the structure. Therefore a perforated plate behaves as a flat homogeneous plate with uniform porosity. Thus only the specular reflected wave is transmitted from the perforated plate to far field, while the others exponentially decay. As a result the scattering effect is caused by the finiteness of the structure. It indicates that as the length of the specimen increases, the scattering coefficient

approaches zero. Nevertheless, the perforated plate modifies the directional distribution of the reflected sound pressure by its absorption. It is well-known that, when the quarter wavelength of the sound wave is equal to the suspension height of the perforated plate, the absorption of the perforated plate is maximized. As the absorber efficiently removes energy from the specular reflection direction, the scattering coefficient rises. Finally, the peak and dip frequencies of the scattering coefficient well agree with those of the absorption coefficient.

Do. 14:20 Runder Saal Raumakustik 4

Schallabsorption einer gelochten Akustikdecke bei streifendem Schalleinfall

Klaudius Hengst[a], Yohko Aoki[b], Moritz Späh[b] und Xiaoru Zhou[b]
[a] *Knauf Gips KG;* [b] *Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

Ein als Klassenzimmer ausgebildeter Testraum wurde mit Möblierung und Wandabsorbern ausgestattet. Wenn eine Akustikdecke eingebracht wurde, war es trotz Besetzung mit Personen nicht möglich ein dem Hallraum vergleichbares diffuses Schallfeld zu erzeugen. Infolgedessen konnten keine signifikanten Unterschiede der resultierenden Nachhallzeit zwischen einer nach DIN EN ISO 11654 bewerteten höchstabsorbierenden Mineralfaserdecke (alpha_w = 1,0; A-Absorber) und einer hochabsorbierenden Gipskarton-Lochdecke mit Mineralwolleauflage (alpha_w = 0,6; C-Absorber) festgestellt werden. Diese Ergebnisse konnten in einem weiteren Testraum bestätigt werden. Zudem stellten sich hierin mit der perforierten C-Absorber Decke teilweise signifikant niedrigere Nachhallzeiten als mit der homogenen A-Absorber Decke ein. Eine durch das Fraunhofer Institut Stuttgart durchgeführte FEM-Simulation beider Deckensysteme zeigt bei streifendem Schalleinfall höhere Absorptionseigenschaften bei einer periodisch gelochten als bei einer homogenen Struktur. Das ist ein Hinweis darauf, dass bei begrenzt diffusem Schallfeld mit höherem Anteil an streifendem Schalleinfall eine perforierte Oberfläche Schall effektiver absorbiert, als im ideal diffusen Schallfeld des Hallraums nach DIN EN ISO 354 gemessen.

Do. 14:40 Runder Saal Raumakustik 4

Hybrid Impedance Measurement Method for Porous Materials

Mark Müller-Giebeler und Michael Vorländer
RWTH Aachen, Institute of Technical Acoustics

This contribution addresses a hybrid method for determining reflection and material properties of finite porous absorber samples. In this approach, Finite Element Method (FEM) simulations corresponding to measurements in a hemic- anechoic environment are iteratively adjusted to match the measured complex pressure data. During this optimization process, the porous material parameters (flow resistivity, porosity, etc.) are adjusted using nonlinear fitting algorithms. Due to the consistency of simulation and measurement setup, this inverse approach can compensate for pronounced edge effects caused by the finite sample.

Furthermore, it is also possible to determine the angle-dependent surface impedances of nonlocally reacting materials. The work presented here focuses on two factors which influence the accuracy of the results and the computational effort required: the initial values for optimization and the number and positions of microphones used. Due to the possibility of convergence against local minima, the choice of suitable initial values is of great importance. Different approaches for their determination are investigated. The number of measuring positions, on the other hand, defines the size of the overdetermined system of equations. Strategic placement of microphones can reduce their minimum required number, which is especially important for small material samples.

Do. 15:00 Runder Saal Raumakustik 4

Aufbau und Charakterisierung nachhaltiger Absorptionselemente aus Schafwolle

Benedikt Bratz[a], Tobias P. Ring[a], Folke Köbberling[b] und Sabine C. Langer[a]

[a] *TU Braunschweig, Institut für Akustik;* [b] *TU Braunschweig, Institut für Architekturbezogene Kunst*

Das Ziel der Entwicklung nachhaltiger Produkte wird in den meisten Branchen bereits intensiv verfolgt. Auch die Entwicklung nachhaltiger Luftschallabsorber aus porösem Material ist ein für raumakustische Anwendungen wesentliches Ziel. Aufgrund der für eine effektive Luftschallabsorption erforderlichen komplexen Mikrogeometrie des Materials werden hier vielfach synthetische Materialien verwendet, deren Absorptionswirkung zwar hervorragend, Herstellung und Recycling hingegen jedoch herausfordernd ist.

Ein natürliches Material, dessen Eigenschaften für die Herstellung poröser Absorber geeignet erscheinen, ist Schafwolle. Dieses kostengünstige, natürliche Material fällt bei der Schafhaltung dauerhaft und regelmäßig an. Aufgrund des niedrigen Marktpreises stellt es für die Schafzüchter darüber hinaus zumeist einen Kostenfaktor dar. Eine Weiterverwendung als Absorbermaterial ermöglicht somit eine interessante Alternative.

In diesem Beitrag wird der Einsatz von roher Schafwolle als Grundmaterial zur Herstellung eines porösen Absorbers untersucht. Dazu wird die Wolle zunächst mit dem Modell von Delany & Bazley modelliert und anhand von Strömungswiderstandsmessungen eine möglichst optimale Einstellung der Packungsdichte des Materials erzielt. Die anhand des Modells prognostizierte Absorptionswirkung wird mit Messungen im Impedanzrohr verifiziert. Darauf aufbauend werden anschließend große Absorptionselemente hergestellt, mithilfe derer die Raumakustik eines Seminarraums positiv beeinflusst wird.

Do. 15:40 Runder Saal Raumakustik 4

Verbesserte Berechnung des Schallabsorptionsgrades von Prüfobjekten im Hallraum durch (Vermessung und) Auswertung der Nicht-Diffusität des Schallfeldes

Barbara Weese, Christian Steuck und Uwe Stephenson
HafenCity Universität Hamburg

Seit Jahrzehnten wird der Diffusfeld-Schallabsorptionsgrad von Wandverkleidungen durch Messung der Nachhallzeiten ohne und mit Probe im Hallraum unter Anwendung der Sabine'schen Formel bestimmt (DIN 354). Diese Bestimmungsmethode krankt systematisch daran, dass das Schallfeld nicht diffus ist; die so bestimmten Absorptionsgrade schwanken extrem. Alle Verbesserungsversuche durch Einsatz verschiedenster Diffusoren blieben ungenügend. Unser grundlegend neuer Ansatz ist stattdessen, die Nicht-Diffusität, des Schallfeldes zu akzeptieren, auszumessen und rechnerisch zu berücksichtigen. Nach Kuttruff wird dabei angenommen, dass der mittlere Absorptionsgrad des Raumes auch mit den lokalen Bestrahlungsdichten gewichtet ist. Diese wird deshalb bestimmt durch Ausmessung der lokalen Richtwirkung. Daraus ergeben sich ortsabhängige Korrekturfaktoren für die Rückrechnung von Nachhallzeiten auf den Proben-Absorptionsgrad.
Die Absorptionsgrade nach der neuen Berechnungsmethode liegen unter den nach Sabine berechneten Werten und die ortsabhängige Varianz bei verschiedenen Anordnungen ist kleiner. Während die Absorptionsgrade der 10cm-Mineralwolle-Matte nach Sabine im 1 kHz Band zwischen 0,74 und 0,99 liegen, liegen sie nach der neuen Auswertemethode zwischen 0,41 und 0,53. Zudem ist die Varianz von 0,08 auf 0,02 gesunken. Dies sind Indizien dafür, dass die Werte nach der neuen Berechnungsmethode den "wahren" Absorptionsgraden eher entsprechen, als die nach Sabine berechneten Werte.

Do. 16:00 Runder Saal Raumakustik 4

In-situ-Messverfahren zur Bestimmung des Reflexionsfaktors komplexer Oberflächen

Philipp Bechtel, Tobias Langenbucher, Carsten Hudasch und Christian Kleinhenrich
Cervus Consult GmbH

Beträge der komplexwertigen Reflexions- bzw. Absorptionskoeffizienten dienen in der Regel als Material- oder Wandeigenschaften bei der akustischen Gestaltung von Räumen. Diese Eigenschaften können richtungsunabhängig im Hallraum oder für senkrechte Einfallsrichtung im Impedanzrohr gemessen werden. Diese Messverfahren sind nicht anwendbar, wenn das Reflexionsverhalten einer konkreten Wand oder eines anderen Elements in situ gemessen werden soll. Zudem liefern diese Messverfahren auch keine Informationen über die Abhängigkeit vom Einfallswinkel und über die Phase der Koeffizienten. Diese Informationen sind aber entscheidend, wenn man das Reflexionsverhalten z. B.

von Schallimpulsen auf geometrisch komplexe Wandstrukturen angeben will, um den geometrischen Aufbau und die dabei verwendeten Materialen beschreiben und im Hinblick auf die Wirksamkeit in bestimmten Anwendungsfällen beurteilen will. Es wird ein Messverfahren vorgestellt, das den Herausforderungen einer In-situ-Messung - Vermeidung des störenden Einflusses durch Reflexions-, Beugungs- und Streuschall - gerecht wird und das den spektralen komplexen Reflexionsfaktor in Abhängigkeit vom Einfalls- und Ausfallwinkel einer Wandkonstruktion bestimmt. Es wird ein Mikrophon-Array eingesetzt, das ein Testschallfeld vor der Oberfläche abgetastet und mittels akustischer Nahfeldholographie in seine einlaufenden und reflektierten Anteile zerlegt, um diesen Reflexionsfaktor zu bestimmen. Nach einem validierenden Vergleich der Ergebnisse dieses Messverfahrens mit denen genormter Messverfahren an einfachen Strukturen wird die Vermessung einer komplexen Keil-Steg-Wandstruktur vorgestellt.

Do. 16:20 Runder Saal Raumakustik 4

Charakterisierung von flächigem Schallabsorber auf Basis von natürlichen Vliesstoffstrukturen

Andrés Eduardo Ramos Ruiz[a], Mila Klochkova-Schiefer[b], Tim Natzschka[c], Sebastian Merchel[a], Elke Haase[b], Sybille Krzywinski[b] und M. Ercan Altinsoy[a]

[a] *TU Dresden, Professur für Akustik und Haptik;* [b] *TU Dresden, Institut für Textilmaschinen ITM;* [c] *Norafin Industries (Germany) GmbH*

Zur Reduktion von Lärm und Störschall in Bürosituationen werden Akustikelementen zum Einsatz gebracht. Die Heimtextilbranche hat vielfältige Akustiktextilien aus Polyester-Vliesstoffen, klassische Filze in Kombination mit schallharten Strukturen (z. B. Kunststoffplatten) bzw. Melaminharzschäume entwickelt. Sie werden in Form von akustisch wirksamen Wand- und Deckenpaneelen oder als Raumteiler eingesetzt. Diese Aufbauten sind meist schwer, kostenintensiv und ggf. umweltschädlich. Dieser Beitrag untersucht ob eine kostengünstigere und nachhaltigere Lösung anhand textiler Verbundstoffe aus Naturfasern erreicht werden kann. Flachsfasern lassen sich durch mechanische Vernadelung (Needle-Punch-Verfahren) oder Wasserstrahlverfestigung (Spunlace-Verfahren) zu Vliesstoffen verarbeiten. Die resultierenden Faserstrukturen ermöglichen eine relativ hohe Porosität und bilden damit hocheffiziente Schallabsorbersysteme. Durch die Kombination von Vliesstoffmatten mit dichten Schichten (z. B. thermo-komprimierter Vliesstoff) ist es möglich, leistungsfähige Systeme mit breitbandiger Schallabsorption herzustellen. Dies basiert auf der Kombination von poröser Absorption im hochfrequenten Bereich und Plattenresonatoren im niederfrequenten Bereich. Die akustischen Dämpfungseigenschaften verschiedener Strukturen werden messtechnisch mit Hilfe eines Kundt'schen Rohres sowie im Hallraum vermessen. (DIN EN ISO 10534-2, DIN EN ISO 354).

Die physischen Eigenschaften des Materials werden durch bildgebende Verfahren geprüft. Mechanische Parameter und akustische Wirkung werden gegenübergestellt.

Do. 16:40 Runder Saal Raumakustik 4

Flexibel installierbare Breitband-Schallabsorber für Kommunikationsräume

Helmut V. Fuchs[a], Brad Alexander[b] und Stefan Weinzierl[b]
[a] *Casa Acustica;* [b] *TU Berlin, Fachgebiet Audiokommunikation*

Als breitbandig wirksame Absorber mit einem Frequenzbereich von bis zu 50 Hz haben sich in Kommunikationsräumen sowohl Verbundplatten-Resonatoren als auch kompakte Kanten-Absorber in Trockenbauweise bewährt, die i.d.R. an Decken und Wänden fest installiert werden. Bisher fehlte es aber an leicht handhabbaren Absorbern, die flexibel und bevorzugt nahe den Raumkanten im gesamten für Musik und Sprache relevanten Frequenzbereich wirksam werden. Der vorliegende Beitrag stellt ein neuartiges, komplett vorgefertigtes Absorber-Modul vor, das allseitig stabil von einem nur teilweise perforierten Metallgehäuse umschlossen ist. Hallraum-Messungen und akustische Sanierungen in einem kleineren Kommunikationsraum sowie einer größeren Werkhalle machen praktisch wertvolle Kanteneffekte deutlich. Weitere Anwendungen z.B. in Speise-, Küchen- sowie anderen Reinräumen, für die sich empfindlichere Decken- und Wandpaneele weniger eignen, werden diskutiert. Mit ihrem geringen Gewicht und ihrer robusten Bauweise lassen sich diese neuartigen Breitband-Kompaktabsorber für akustische Sanierungen nachträglich bequem sowohl von Decken abhängen als auch vor Raumkanten installieren.

Sitzung „Kavitation in Forschung und Anwendung 1“

Do. 8:40 Raum 7 Kavitation in Forschung und Anwendung 1

Cavitation Bubble Dynamics in Sonicated Submerged Flow Tubes

Busra Ekim Sarac[a], Dwayne Savio Stephens[a], Julian Eisener[b], Juan Manuel Rosselló[a] und Robert Mettin[a]
[a] *Drittes Physikalisches Institut, Georg-August-Universität Göttingen;* [b] *OvG-Universität Magdeburg, Institut für Physik*

Bubble dynamics and luminol emissions of cavitation in millimeter-sized PFA flow tubes, submerged in an ultrasonic bath reactor, are investigated for 25-27 kHz driving frequency. Nucleation of cavitation in the tubes only takes place via a free interface, realized here in form of a water-air slug flow. High-speed recordings show that cavitation bubbles in the water slugs frequently develop localized structures in form of clusters or bubble ”plugs”. Bubbles in these structures undergo frequent collisions with adjacent bubbles, i.e. the free paths before merging or splitting events are short. Due to motion and mutual interaction, bubbles often collapse with a fast displacement, suggesting jetting dynamics. Bubble

compression ratios are estimated on basis of observed individual bubble dynamics and numerical fitting by a single bubble model. The resulting conditions allow for dissociation of water vapor, which is in accordance with luminol emissions from active bubble zones in the tubes. Some peculiarities of bubble cluster dynamics and sonochemistry inside small flow tubes is discussed.

Do. 9:00 Raum 7 Kavitation in Forschung und Anwendung 1

Self-Organization of Laser Induced Bubbles under the Influence of Strong Acoustic Fields in Phosphoric Acid

Juan Manuel Rosselló, Dwayne Savio Stephens und Robert Mettin
Drittes Physikalisches Institut, Georg-August-Universität Göttingen

The mutual interaction and structure formation of cavitation bubbles in strong sound fields is still not fully understood. Here, we analyse the temporal evolution of an ensemble of bubbles seeded by a laser pulse in concentrated phosphoric acid and driven by an ultrasonic standing wave field. The bubbles nucleate at random positions in a cylindrical volume around the laser focus and immediately start volume oscillations, translations and interactions. High-speed videos show self-organization into several small spherical clusters that are driven away from the acoustic pressure anti-node, similar to single bubbles, and producing a streamer. Different bubble sizes and cylinder radii were explored by changing the laser pulse energy and the beam focusing. The temporal evolution of relevant parameters like average maximum bubble radius or void fraction is extracted from the images and discussed for the different experimental scenarios. The role of shape instabilities and the principal forces affecting both the individual and collective behaviour of the bubbles is analysed by comparing the experimental observations with a series of numerical simulations.

Do. 9:20 Raum 7 Kavitation in Forschung und Anwendung 1

High speed observations of gas bubble collapse due to shock waves

Siew-Wan Ohl[a] und Claus-Dieter Ohl[b]
[a] *OvG-Universität Magdeburg, Forschungscampus STIMULATE;* [b] *OvG-Universität Magdeburg, Department Soft Matter*

Bubble shock waves interaction has been studied both experimentally and numerically. The collapse of cavitation bubbles are responsible for breaking the kidney stones and causing collateral damages in Extracorporeal Shock Waves Lithotripsy. Detailed bubble cloud or multiple bubbles shock waves interaction are difficult to capture experimentally due to the lack of temporal and spatial resolution. Numerically simulating bubble clouds which includes bubble-bubble interaction, reflection of shock waves, and the shielding effect is computational complex and expensive. In this study, we focus on trapping gas bubbles in gelatin and observe their collapse by the lithotripter shock waves using high speed

photography up to 1 million frames per second. The gas bubbles are generated through gas diffusion process in the gelatin. They are typically a few hundred microns in diameter. Interesting phenomena are recorded, such as cavitation inception in the gelatin, different oscillation frequencies of the gas bubbles, and the bubbles jetting with jet directions being influenced by the nearby bubbles. We aim to understand how the presence of other bubbles affect the bubble collapse caused by a traveling shock wave.

Do. 9:40 Raum 7 Kavitation in Forschung und Anwendung 1

Experimental Investigations of Laser-induced Cavitation Bubbles: The Effect of Physicochemical Properties on Collapse Pressure

Fabian Reuter[a], Kristin Hecht[b] und Claus-Dieter Ohl[a]
[a] *OvG-Universität Magdeburg, Department Soft Matter;* [b] *OvGU Magdeburg, Institute of Apparatus and Environmental Technology*

The extreme pressures produced inside cavitation bubbles have made collapsing bubbles the object of interest in research fields ranging from cavitation erosion, sonochemistry to even sonofusion. These pressures are difficult to investigate experimentally because they occur in tiny volumes with short lifetimes before the pressures are dissipated and irradiated as shock waves. Due to these short time scales, the bubble interior cannot be assumed to be at thermodynamic equilibrium. Therefore, an accurate description of bubble collapse demands the consideration of many different physical effects and paths of energy conversion. The goal of this work is to estimate the pressure inside a bubble at the very moment of its collapse, and explore the collapse of cavitating bubbles in different liquids. A single bubble is generated in a liquid using a focused laser pulse. The shock waves emitted during bubble collapse are recorded using high-speed Schlieren images. The maximum pressures generated during the collapse are estimated from the shock waves. Using different types of liquids distinguished by different internal energy capacities reveals the influence of the physicochemical properties of the liquid. Effects of different liquids on collapse energy absorption are discussed, and consequences for the conditions in the bubble interior are derived.

Do. 10:00 Raum 7 Kavitation in Forschung und Anwendung 1

Extremely fast jets and vortex dynamics of single laser bubbles

Max Koch[a], Christiane Lechner[b], Juan Manuel Rosselló[a], Werner Lauterborn[a] und Robert Mettin[a]
[a] *Drittes Physikalisches Institut, Georg-August-Universität Göttingen;* [b] *TU Wien, Institut für Strömungsmechanik und Wärmeübertragung*

An extreme fast jet has recently been predicted by the authors for cavitation bubbles close to a solid boundary. Until then jet velocities were known only in the order of $\sim$100 m/s for large distances from the boundary, whereas the extreme fast jet is supposed to reach orders of $\sim$1000 m/s when the bubble collapses in the direct vicinity. The lifetime of this jet

is in sub- or few microseconds range. These properties make the experimental confirmation a laborous task. However, the authors made effort to photograph it. The results are discussed and a considerable lower bound for the jet velocity of $\sim$300 m/s can be given.

Do. 10:20 Raum 7 Kavitation in Forschung und Anwendung 1

Nanoparticle synthesis in laser-generated cavitation bubbles

Farbod Riahi[a], Bilal Gökce[a], Anton Plech[b], Stefan Reich[b], Alexander Letzel[a] und Stephan Barcikowski[a]

[a] *Technical Chemistry I, University of Duisburg-Essen;* [b] *KIT Karlsruhe, Institute for Photon Science and Synchrotron Radiation*

Laser Synthesis and Processing of Colloids (LSPC) [1] is a modern technique for materials synthesis linked to the formation and collapse of cavitation bubbles. This contribution will provide an overview of the physics of laser-induced bubble oscillations and describe how the high pressures and temperatures associated with ablation and bubble collapse take part in nanomaterial synthesis inside and around the bubble [2]. A step-by-step account of the events from laser ablation through interaction of ablation products with the surrounding liquid up to the modification or aggregation of particles within the bubble is given. Furthermore, synchrotron SAXS and WAXS measurements to map the bubble's interior solid matter with picosecond to microsecond resolution will be shown [3, 4]. We will conclude showing the unique properties of these laser-generated colloidal nanoparticles, their scalability and their connection to the cavitation bubble dynamics will be described [5].

Sitzung „Kavitation in Forschung und Anwendung 2“

Do. 14:00 Raum 7 Kavitation in Forschung und Anwendung 2

Numerical modelling of non-spherically collapsing moving bubbles

Matti Tervo[a], Max Koch[a], Christiane Lechner[b] und Robert Mettin[a]

[a] *Drittes Physikalisches Institut, Georg-August-Universität Göttingen;* [b] *TU Wien, Institut für Strömungsmechanik und Wärmeübertragung*

Acoustic cavitation bubbles are typically not stationary, but move in space due to primary and secondary Bjerknes forces. The bubble translation itself is a non-stationary process, and during collapse the bubbles can jump forward and reach velocities of tens of m/s an more. For sufficiently fast motion, the imploding bubble develops a jet in forward direction, which leads to a torus geometry and more involved phenomena induced by the non-spherical collapse. In particular, liquid can be sprayed into the gas phase, potentially leading to sonochemical pathways different to the spherical collapse case. Here, we numerically investigate non-spherical geometries arising for bubbles collapsing in a relative liquid flow. To this end we employ a finite volume / volume of fluid method, realized in OpenFOAM. Bubble and flow parameters are varied to

investigate sonochemical pathway thresholds in terms of bubble motion relative to the liquid.

Do. 14:20 Raum 7 Kavitation in Forschung und Anwendung 2

Kavitationsblasendynamik und Jetbildung bei perforierten Grenzflächen

Hendrik Reese[a], Fabian Reuter[b] und Claus-Dieter Ohl[b]
[a]*OvG-Universität Magdeburg;* [b]*OvG-Universität Magdeburg, Department Soft Matter*

Das Verhalten einer Kavitationsblase in der Nähe einer Wand wurde mithilfe der Software OpenFOAM simuliert. Es ist bekannt, dass Kavitationsblasen in der Nähe einer festen Grenzfläche beim Kollaps einen Mikrojet in Richtung der Oberfläche erzeugen. Es wurde numerisch gezeigt, dass der Jet durch einen kleinen Kanal, der als Durchgangsbohrung durch die feste Oberfläche realisiert sein kann, geleitet werden kann. Auf diese Art lässt sich am Kanalausgang ein kontrollierter Mikrojet erzeugen. Die erzeugte Geschwindigkeit des Jets sowie das transportierte Flüssigkeitsvolumen in Abhängigkeit von Parametern wie dem Abstand der Blase von der Grenzfläche oder Kanalgeometrie werden diskutiert und mit ersten Experimenten verglichen.

Vortrag entfällt Raum 7 Kavitation in Forschung und Anwendung 2

Diffusionsgetriebene Keimbildung infolge strukturierter Oberflächen

Grigorios Hatzissawidis, Peter Pelz und Gerhard Ludwig
TU Darmstadt, Fluidsystemtechnik

In den letzten Jahren wurde am Institut für Fluidsystemtechnik erstmals auf eine bis dahin unbekannte, diffusionsgetriebene Keimbildung bei hydrodynamischer Kavitation aufmerksam gemacht, sie untersucht, physikalisch modelliert und experimentell validiert [1]. Die diffusionsgetriebene Keimbildung ist ein zyklischer Vorgang und hat zwei Phasen, die (i) Wachstums- und (ii) Ablösephase. Beim Erreichen einer kritischen Größe löst der Keim ab. Eine Restgasmenge verbleibt in der Pore und der Vorgang beginnt wieder mit der Wachstumsphase. Auf den strukturierten Oberflächen befinden sich einzelne Pore, Porenreihen sowie Poren-Arrays. Die Interaktion benachbarter Poren werden untersucht. Variationsgrößen sind die räumliche Lage der Poren, die Porengeometrie sowie der Prozess (Wandscherrate, Übersättigung). Beobachtungsgrößen sind die Ablösefrequenzen und die Größe der ablösenden Blasen. Die physikalische Modelle zur Interaktion benachbarter Porenkeime werden mit den experimentellen Ergebnissen validiert.

[1] Groß T.F., Pelz P.F.: Diffusion-driven nucleation from surface nuclei in hydrodynamic cavitation. J. Fluid Mech., 830, 138-164 (2017).

Do. 14:40 Raum 7 Kavitation in Forschung und Anwendung 2

Modeling Sound Propagation in Cavitating Liquid with Bubble Redistribution

Dwayne Savio Stephens und Robert Mettin
Drittes Physikalisches Institut, Georg-August-Universität Göttingen

Intense sound fields in liquids cause cavitation: bubble nucleation and oscillation. The presence and dynamics of the gas phase leads to a change of the acoustic properties of the liquid. Essentially, the sound speed is reduced, and the dissipation increased. Both effects in turn influence the sound propagation, and complex interaction of bubbles and sound field can emerge. Further complication arises due to bubble motion due to acoustic forces (Bjerknes forces). We present a model including all effects and realized in the finite element package Comsol. Application of the model to standing and traveling wave setups are presented.

Do. 15:00 Raum 7 Kavitation in Forschung und Anwendung 2

Cavitation from Transverse Waves

Claus-Dieter Ohl[a], Pedro Quinto-Su[b] und Julien Rapet[c]
[a] *OvG-Universität Magdeburg, Department Soft Matter;* [b] *UNAM, Mexico;* [c] *NTU, Singapore*

It is well known that longitudinal acoustic waves in liquids of sufficient tension can nucleate cavitation bubbles. Here, we demonstrate that acoustic cavitation can also be generated from transverse waves at a solid-liquid boundary. Experimentally we launch the transverse waves with a laser generated plasma on the surface of two glass plates forming a 10-20um thin liquid gap. Three distinct waves in the solid and liquid are observed. The fastest is the bulk wave in the solid, followed by a leaky Rayleigh wave at the liquid-solid contact which is trailed by a Lamb-type wave. For the latter the two solid boundaries act as a wave guide and generate intense and short-lived cavitation activity within the gap. Streak and high-speed photography reveal the microsecond duration cavitation bubble dynamics and sub-picosecond strobe photography visualizes the mechanism of bubble nucleation from the accelerated surface. Simulations coupling the solids mechanics with the acoustics support the experimentally observed mechanisms of transverse wave induced cavitation inception.

Sitzung „Musikalische Akustik 2“

Do. 9:00 Raum 8 Musikalische Akustik 2

Mapping the relation between spectral envelope and fundamental frequency in a large set of acoustical instrument sounds

Kai Siedenburg
CvO Universität Oldenburg, Dep. Medizinische Physik und Akustik

Spectral envelope and fundamental frequency (F0) are key factors for the description of musical sounds and often considered as acoustical determinants of timbre and pitch perception, respectively. Although both factors are ubiquitous in acoustics, knowledge about their interrelation (i.e., covariance) is limited and often relies on theoretical assumptions rather than empirical measurement. In this study, a large set of acoustic instrument sounds was analyzed to address the question which instruments exhibit spectral envelopes that are invariant to changes in F0. Recordings of single tones from 43 Western instruments were used (incl. 7 different singing voices of different registers). Sounds were obtained from the Vienna Symphonic Library (www.vsl.co.at) and were played with durations of 250 ms. Instruments' full playing ranges were sampled with multiple articulations at 6 different dynamic levels. Overall, this resulted in a set of around 40,000 sounds. To assess the global position of the spectral envelope along the frequency axis, the spectral centroid was measured (based on a constant-Q spectrum) and mapped as a function of F0. Further, multidimensional measures of spectral envelope were used to quantify the stability of spectral envelope shape as a function of F0.

Do. 9:20 Raum 8 Musikalische Akustik 2

Einfluss von Hörverlust auf die Heraushörbarkeit von Instrumenten in polyphoner Musik

Kirsten Goldmann[a], Steven van de Par[b] und Kai Siedenburg[a]
[a]*CvO Universität Oldenburg, Dep. Medizinische Physik und Akustik;* [b]*CvO Universität Oldenburg, Acoustics Group and Cluster of Excellence Hearing4all*

Über die Wahrnehmung von Sprache mit und ohne Hörverlust ist viel bekannt, weniger hingegen über die Wahrnehmung von Musik mit Hörverlust. Diese Studie betrachtet die Fähigkeit von normal- und schwerhörenden Probanden einzelne Instrumente innerhalb einer polyphonen musikalischen Mixtur herauszuhören und im musikalischen Verlauf zu verfolgen.

Für die Untersuchung wurden Ausschnitte aus Johann Sebastian Bachs ”Kunst der Fuge” benutzt, dessen unabhängige Stimmführung das Verfolgen von Instrumenten erleichtern sollte. Jeder Durchlauf begann mit der Präsentation vom Anfang der Phrase des Zielinstruments alleine, gefolgt von ca. fünf-sekündigen polyphonen Ausschnitten. Die Aufgabe

war anzugeben, ob eine Amplitudenmodulation (mit Tiefe m = 6,5) dem Zielinstrument oder einem Begleitinstrument aufgeprägt war. Nur Probanden, die in der Lage waren der Zielstimme zu folgen, konnten diese Aufgabe erfolgreich abschließen.
Stimuli wurden per MIDI mit der Vienna Symphonic Library generiert und über Lautsprecher dargeboten. Es wurden Ausschnitte mit 2-4 Instrumenten präsentiert, die jeweils mit einer homogenen oder heterogenen Instrumentierung erstellt wurden. 14 schwerhörige Probanden wurden mit und ohne Hörgerät getestet und mit 19 Normalhörenden verglichen. Die Ergebnisse normalhörender Probanden zeigen, dass die Präzision des Heraushörens mit steigender Instrumentenanzahl sowie homogener Instrumentierung sinkt. Erste Ergebnisse von Probanden mit Hörverlust deuten auf eine generell deutlich geringere Präzision in der Musikwahrnehmung hin.

Do. 9:40 Raum 8 Musikalische Akustik 2

Instrumental Blending in Concert Halls

Dorothea Lincke[a] und Tapio Lokki[b]
[a] *TU Berlin;* [b] *Aalto Acoustics Lab, Aalto University*

In order to create an array of timbres, composers commonly choose diverse instrumentations in their music and let the sound of one instrument blend into that of another.
The blend varies between an analytical impression, in which both instruments remain clearly distinguishable, and a completely obscured sound. Blending has not yet been studied in relation to room acoustics. This project draws the focus on investigating the influence of concert hall acoustics to blending between multiple instruments and their respective timbres. A literary study was conducted to investigate various influencing factors, which were grouped into broader categories: Source, Room Acoustics and Listener. An anechoic recording of a string quartet was convolved with spatial impulse responses of five existing concert halls and combinations of these, allowing insight into the respective impact of early reflections and reverberation. A listening test procedure was designed, which minimizes the number of comparisons while still obtaining all crucial information. Throughout the course of this project, listening tests will be conducted with musicians and experienced listeners. This project is a work in progress. Results will provide a deeper understanding of how the blending of instruments is perceived with respect to room acoustic.

Do. 10:00 Raum 8 Musikalische Akustik 2

Harmonisches Produktdesign mit Metriken der Musiktheorie

Petia Krasteva[a], Tobias P. Ring[b], Thomas Vietor[a] und Sabine C. Langer[b]

[a] *TU Braunschweig, Institut für Konstruktionstechnik;* [b] *TU Braunschweig, Institut für Akustik*

Technische Produkte lassen sich heute nicht mehr nur anhand ihrer Funktion bewerten, das Produktdesign spielt in vielen Fällen eine mindestens ebenso wichtige Rolle. Die Erzeugung ”guter Designs” gelingt durch Zusammenarbeit erfahrener Designer und Ingenieure und lässt sich auch durch Produktlinien und -generationen verfolgen. Was ein gutes Design aber ist lässt sich schwer quantitativ messen, allgemeingültige Designregeln sind nur selten formulierbar. Dennoch herrscht üblicherweise ein breiter Konsens über die tatsächliche Güte des Designs eines Produkts.

Eine Eigenschaft des Produktdesigns ist das Konzept der Harmonie; ein gutes Design ist harmonisch. Während der Harmoniebegriff im Rahmen des Produktdesigns allerdings nicht strikt definiert ist, kennt die Musiktheorie einen mathematisch beschriebenen Harmoniebegriff. Dieser bietet eine Metrik zur Quantifizierung des Grades der Harmonie mehrerer Töne und der beteiligten Intervalle, also der zugehörigen Frequenzverhältnisse. Dabei verfügen harmonische Intervalle über einfache Verhältniszahlen (Oktave: 1:2, Quinte: 3:2, usw.), während dissonante Intervalle komplexe Zahlenverhältnisse aufweisen (bspw. Tritonus: 729:512). In diesem Beitrag wird ein Ansatz entwickelt, die musikalische Harmonielehre auf geometrische Verhältnisse zweidimensionaler Geometrien mithilfe der elliptischen Fourier-Transformation anzuwenden. Die entstehenden Analyseergebnisse werden auf harmonische Zusammenhänge hin untersucht und eine Interpretation des Produktdesigns unter dem Gesichtspunkt einer gegebenenfalls vorhandenen Harmonik wird vorgestellt.

Do. 10:20 Raum 8 Musikalische Akustik 2

Analyse und Synthese der Geräusche von Publikum bei Musikaufführungen

Matthias Görlach[a] und Stefan Weinzierl[b]

[a] *TU Berlin;* [b] *TU Berlin, Fachgebiet Audiokommunikation*

Die Geräusche des anwesenden Publikums sind einerseits ein wichtiges Element der Live-Atmosphäre bei der Aufführung von Musik; andererseits begrenzen sie die wahrnehmbare dynamische Bandbreite der musikalischen Aufführung nach unten. Gleichzeitig können sie technische Hintergrundgeräusche etwa durch Klima-, Licht- und Medientechnik maskieren, deren Vermeidung häufig mit hohen Kosten verbunden ist. Um für die Berücksichtigung dieser Geräusche eine bessere empirische Grundlage zu schaffen, wurde daher zum einen die Schallleistung von Publikumsgeräuschen unterschiedlicher Intensität, von reinen

Atemgeräuschen bis zu Geräuschen von Bewegungen auf typischem Konzertsaal-Gestühl nach ISO 3741 im Hallraum messtechnisch bestimmt. Zum anderen wurde bei Konzerten in der Berliner Philharmonie der Schalldruck im Diffusfeld an den Stellen ausgewertet, an denen, kurz vor dem Einsetzen der Musik oder in einer Generalpause während des Stücks, nur die Publikumsgeräusche hörbar sind. Anhand dieser Referenzdaten wurde schließlich ein Klangsynthesemodell entwickelt, mit dem etwa für virtuelle akustische Szenen die Live-Atmosphäre bei der Aufführung von Musik synthetisch hergestellt werden kann.

Do. 10:40 Raum 8 Musikalische Akustik 2

Präsentation der Poster, die dieser Sitzung zugeordnet sind (s.u.)

Sitzung „Musikalische Akustik (Poster)“
Kurzvorträge: Do. 10:40 (Raum 8); Poster-Forum: Do. 11:00

Di.-Do. Musikalische Akustik (Poster)

FORMAGRAM - eine MATLAB-App zur Untersuchung des ”Grammophon-Effekts” auf Gesangstimmen

Boris-Alexander Bolles, Tobias Andreas Weege, David Ackermann und Malte Kob
HfM Detmold, Erich-Thienhaus-Institut

Das interdisziplinäre Projekt ”Technologien des Singens” (DFG) an der HfM Detmold beschäftigt sich mit den Auswirkungen der historischen Massenmedien Phonograph und Grammophon auf die Entwicklung von Gesangsstimmen und -ästhetik. Als ”Grammophon-Effekt” (oder ”phonograph effect”) kann dabei die These bezeichnet werden, dass bestimmte Musizierstile durch diese Medien in ihrer Verbreitung gefördert bzw. zurückgedrängt wurden.

Aus der Perspektive der musikalischen Akustik untersuchen wir diese Fragen anhand der Signalanalyse von Gesangsstimmen und ihrer Interaktion mit den mechano-akustischen Aufnahme- und Wiedergabegeräten. Mit Hilfe unserer eigenen, zugeschnittenen Software ”FORMAGRAM” auf Basis des MATLAB-App-Designers kombinieren wir dazu Formantanalysen und die Visualisierung von Formantverläufen, LPC-Resynthese zur Gewinnung kontrollierter Vokal-Testsignale sowie eine Modellierung der Einflüsse (originaler und reproduzierter) historischer Geräte mittels gemessener Impulsantworten. Durch die damit mögliche ”Historisierung” moderner, unter Laborbedingungen hergestellter Gesangsaufnahmen lässt sich zurückschließen, wie sich die Geräteeigenschaften auf bestimmte Vokalfarben, Stimmcharakteristiken und die Übertragung von Artikulation (insbesondere Vibrato) auswirken.

Daneben präsentieren wir die Unterschiede zwischen Formantkonstellationen bei Gesang verschiedener klassischer und populärer Gesangstechniken sowie deren Veränderung durch die Interaktion mit den historischen Gerätemodellen. Neben der Posterpräsentation kann der Besucher direkt an der App experimentieren und Klangbeispiele hören.

Sitzung „WHO-Leitlinien zum Umgebungslärm“

Do. 14:00 Raum 8 WHO-Leitlinien zum Umgebungslärm

Die lärmfachliche Bewertung des Umweltbundesamtes der neuen Leitlinien für Umgebungslärm für die Europäische Region der Weltgesundheitsorganisation

Jördis Wothge
Umweltbundesamt

Die Weltgesundheitsorganisation hat im Oktober 2018 neue Leitlinien für Umgebungslärm für die Europäische Region veröffentlicht. Diese beinhalten quellenspezifische Empfehlungen für fünf unterschiedlichen Lärmquellen: Straßenverkehr, Schienenverkehr, Luftverkehr, Lärm von Windenergieanlagen und Lärm während der Ausübung von Freizeitaktivitäten. Für jede dieser Lärmquellen werden Leitlinienwerte für den ganztägigen Dauerschallpegel Lden und den Nachtzeitraum Lnight definiert sowie Empfehlungen für Lärmminderungsmaßnahmen benannt. Der vorliegende Beitrag bewertet die neuen WHO Leitlinien für Umgebungslärm lärmfachlich und ordnet die Leitlinien anschließend aus Sicht des Umweltbundesamts in einen Gesamtkontext ein.

Do. 14:20 Raum 8 WHO-Leitlinien zum Umgebungslärm

Aktualisierung der Schweizerischen Lärmgrenzwerte in Folge der WHO-Leitlinie für Umgebungslärm

Hans Boegli, Mark Brink und Urs Walker
Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern

Das heutige Konzept zum Schutz der Bevölkerung vor Lärm in der Schweiz wurde in den 80er Jahren im Umweltschutzgesetz und nachfolgend mit Grenzwerten in der Lärmschutz-Verordnung festgelegt. Da die wissenschaftlichen Grundlagen der Grenzwerte aus den 70er Jahren stammten und Gerichte zudem verschiedene Aspekte der Regelung kritisierten, starteten die Umweltschutzbehörden entsprechende Arbeiten zur Überprüfung der wissenschaftlichen Grundlagen. In Folge wurde ein Schweizerisches Forschungsprojekt SiRENE (Short and long term effects of transportation noise exposure) initiiert, mit dem Ziel, die notwendigen wissenschaftlichen Grundlagen zu aktualisieren. Gleichzeitig unterstützte die Schweiz die Arbeiten der WHO zur Aktualisierung der WHO-Leitlinien für Umgebungslärm in Europa.

Bei Ihren Empfehlungen zur Aktualisierung der Schweizer Lärmbelastungsgrenzwerte berücksichtigte die Umweltschutzbehörden alle relevanten Studienergebnisse bis ins Jahr 2019. Zur Grenzwertfindung wendetet sie im Wesentlichen die gleiche Methodik wie die WHO an, wobei sie bei den massgebenden Schutzkriterien die Schweizer Eigenheiten sowie die Vorgaben des USG berücksichtigten. Neben konkreten Grenzwerten für Strassen-, Eisenbahn- und Fluglärm empfahlen die Behörden auch weitere Anpassungen der Lärmschutzregelung. Sie wiesen aber auch darauf hin, dass eine Umsetzung dieser Vorschläge mit Bedacht zu erfolgen habe, sodass die laufenden Arbeiten zur Lärmsanierung nicht beeinträchtigt würden.

Do. 14:40 Raum 8 WHO-Leitlinien zum Umgebungslärm

Noise and health in the Dutch practice with the environmental noise guidelines for the European Region of the World Health Organization

Elise van Kempen[a], Dik Welkers[a], Ric van Poll[a], Rona Helder[a] und Emma Tabak[b]

[a] *Netherlands National Institute for Public Health and the Environment (RIVM);* [b] *Omgevingsdienst Regio Utrecht*

In October 2018, the Regional Office for Europe of the World Health Organization (WHO) published their environmental noise guidelines. In this document, WHO presents noise guideline values and recommendations for five different noise sources. The aim is to protect the health of the population against the negative impacts of environmental noise. The WHO guidelines are intended to support (local) professionals and policymakers in creating rules, policy and advice in the area of noise and health. In response to the publication of the WHO advice, a motion was filed in Dutch parliament. As a consequence, the Dutch Ministry of Infrastructure and Water Management commissioned RIVM to start a study with the aim (i) to provide interpretation of the WHO advice in in comparison to the current Dutch regulations for environmental noise, and (ii) to investigate how the WHO advice can be used to strengthen Dutch noise policy. During the conference we will present the outcomes of our study.

Do. 15:00 Raum 8 WHO-Leitlinien zum Umgebungslärm

Die WHO-Leitlinien aus Sicht der Ingenieurbüros

Christian Popp

Lärmkontor GmbH

Die Werte der WHO-Leitlinien für Straßen- und Schienenverkehrslärm liegen sehr deutlich unter den immer wieder von den Verwaltungsgerichten in Deutschland zitierten Schwellen für die Gesundheitsgefährdung von 70 dB(A) am Tage und 60 dB(A) in der Nacht liegen. Unmittelbare Auswirkungen der WHO-Leitlinien auf das Tagesgeschäft eines Ingenieurbüros sind zurzeit jedoch nicht wirklich zu erkennen. Es bleibt allerdings noch abzuwarten, ob und wie der Bundesgesetzgeber

auf die WHO-Leitlinien (etwa bei der Novellierung der Verkehrslärmschutzverordnung) reagiert. Dennoch haben die Richtlinien eine nicht zu unterschätzende Bedeutung, die insbesondere dadurch zum Ausdruck kommt, dass die von der WHO genannten Werte seit dem 10. Oktober 2018 belastbar zitiert werden können. Dabei sollte man sich nur einmal vor Augen halten, dass die Immissionsgrenzwerte der Verkehrslärmschutzverordnung für Wohngebiete gar nicht so weit entfernt von den WHO-Werten sind. Insofern sind die WHO-Leitlinien durchaus mit einem nachvollziehbaren Bezug zur juristischen Realität ausgestattet.

Do. 15:40 Raum 8 WHO-Leitlinien zum Umgebungslärm

Die Wirksamkeit von Maßnahmen zur Lärmbekämpfung aus psychoakustischer Sicht

Andre Fiebig

TU Berlin, Fachgebiet Technische Akustik

Die aktuell von der WHO veröffentlichten Leitlinien für Umgebungslärm für die Europäische Region fordern aufgrund der systematischen Bewertung neuester Lärmwirkungsbefunde ein höheres Niveau zum Schutz der menschlichen Gesundheit vor Belastungen durch Umgebungslärm, wie es durch geltende nationale Richt- und Grenzwerte bislang nicht eingefordert wird. Bei Einhaltung der definierten Leitlinienwerte der WHO sollen erhebliche Risikoanstiege negativer Gesundheitswirkungen vermieden werden. Neben der Veröffentlichung der neuen Erkenntnisse zu Dosis-Wirkungszusammenhängen für spezifische Geräuschquellen werden auch geeignete Maßnahmen zur Verringerung der Belastung diskutiert und Interventionsmöglichkeiten empfohlen. Zur Bewertung der tatsächlichen Eignung von Maßnahmen zur Bekämpfung von Umgebungslärm müssen auch wahrnehmungsorientierte Aspekte aus Sicht der Psychoakustik diskutiert werden. Um das von der WHO geforderte hohe Schutzniveau zu erreichen, gilt es, Maßnahmen zur Lärmminderung in deren perzeptiven Wirkung und Nachhaltigkeit zu evaluieren. Der Beitrag setzt sich mit aktuellen Erkenntnissen der wahrnehmungsbezogenen Wirkung von Maßnahmen zur Lärmbekämpfung auseinander und stellt die zukünftigen Aufgaben der Psychoakustik im Kontext der Leitlinien für Umgebungslärm heraus. Dies gilt im Besonderen für die Identifikation und Erhaltung von ruhigen Gebieten in urbanen Kontexten, die ein neues Verständnis von Dosis-Wirkungsrelationen erfordern.

Do. 16:00 Raum 8 WHO-Leitlinien zum Umgebungslärm

Bedeutung und Anwendung der WHO Noise Guidelines 2018 aus Sicht der Soundscape-Forschung

Brigitte Schulte-Fortkamp
HEAD-Genuit-Stiftung

Die neuen Leitlinien der WHO beruhen auf bekannten Bewertungsverfahren. Messverfahren und Erkenntnisse aus der Soundscapeforschung und adäquate Betrachtung von Moderatoren wie etwa Partizipation werden nicht ins Spiel gebracht. Untersuchungen, die die gesellschaftlichen Veränderungen, neuen Lebensstile und veränderte Lebensformen berücksichtigen sind aber notwendig, um die vermittelten Grenzwerte etc. überprüfen, um zu akzeptablen politischen Entscheidungen zu kommen, und zwar auf nationaler wie auch auf europäischer Ebene. Die Soundscape-Forschung stellt die Perzeption ins Zentrum, und damit auch reflektierte Reaktionen in der Interaktion mit Stakeholdern. Sie kann den Ansprüchen der Betroffenen gerecht werden, und eine Steigerung der Lebensqualität erzielen. Die neuen WHO-Leitlinien bieten neue Orientierungen, die für die Lärmaktionsplanung wesentlich sind und können koordiniert mit den Soundscapeverfahren gezielt Beiträge zur Lärmaktionsplanung leisten wie u.a. die Lärmaktionsplanung für Wales vorbildlich darstellt. Die Verfahren der Soundscapeforschung sind standardisiert: ISO 12913-1-2-3, DIN-ISO 12913 1-2. Die Kommunikation der neuen Leitlinien im Kontext der Soundscapeforschung in der Öffentlichkeit ist unabdingbar. Der jährliche Tag gegen Lärm bietet eine der Plattformen für eine solche Kampagne insbesondere im International Year of Sound 2020.

Do. 16:20 Raum 8 WHO-Leitlinien zum Umgebungslärm

Bewertung der WHO Environmental Noise Guidelines aus Sicht des Arbeitsrings Lärm der Deutschen Gesellschaft für Akustik (ALD)

Michael Jäcker-Cüppers
Arbeitsring Lärm der DEGA (ALD)

Die WHO Environmental Noise Guidelines der WHO Europa von 2018 sind ein wichtiger Schritt in der Entwicklung von methodisch streng abgesicherten Empfehlungen für Schutzziele beim Umgebungslärm. Die Empfehlungen bestätigen einerseits einige vom Immissionsschutz schon länger propagierte Schutzziele, andererseits formulieren sie strengere Zielwerte (z. B. für den Fluglärm und für den Schutz vor Herz-Kreislauf-Erkrankungen in Folge des Straßenverkehrs). Es wird dargestellt, wie die WHO Environmental Noise Guidelines für die aktuelle deutsche Lärmschutzpolitik zu nutzen und wie sie weiterzuentwickeln sind.

Umsetzung der Erkenntnisse der WHO Leitlinien für Umgebungslärm in der Lärmaktionsplanung: Methodologie zur Bewertung der Gesundheitsauswirkungen von Umgebungslärm

Dirk Schreckenberg[a], Irene van Kamp[b], Sarah Benz[a], Stephan Grossarth[a], Elise van Kempen[b], Mathias Basner[c], Alan Lex Brown[d], Charlotte Clark[e], Danny Houthuijs[b], Oscar Breugelmans[b], Annemarie van Beek[b] und Brigit Janssen-Stelder[b]

[a] *ZEUS GmbH;* [b] *Netherlands National Institute for Public Health and the Environment (RIVM);* [c] *University of Pennsylvania, Perelman School of Medicine;* [d] *Griffith School of Environment, Griffith University, Australia;* [e] *ARUP (UK)*

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) zählt in ihren Leitlinien für Umgebungslärm (2018) Herz-Kreislauferkrankungen, Lärmbelästigung, Schlafstörungen, kognitive Beeinträchtigung und Hörschäden/Tinnitus als entscheidende Gesundheitswirkungen von Umgebungslärm auf. Die EU- Umgebungslärmrichtlinie (ULR) wurde mit dem Ziel eingeführt, die Bevölkerung vor solcher Art von negativen Folgen des Umgebungslärms zu schützen. Sie ist Grundlage für die Lärmkartierung und der Entwicklung von Lärmaktionsplänen in EU Mitgliedsstaaten. Anhang III der URL geht auf Methoden der Bewertung gesundheitsschädlicher Auswirkungen des Umgebungslärms ein und nennt hierbei die Lärmbelästigung und Schlafstörungen als die zu betrachtenden Gesundheitswirkungen. Für die Aktualisierung des Anhangs III beauftragte die Europäische Kommission im Jahr 2018 eine Studie zur Entwicklung einer Methodologie der Bewertung der Gesundheitswirkungen von Umgebungslärm. In der Studie sollten die Erkenntnisse der WHO Umgebungslärmleitlinien aufgegriffen und ein Gesundheitsbewertungsverfahren entwickelt werden, das möglichst alle von der WHO genannten entscheidenden Gesundheitseffekte einschließt. Zwei Indices zur Bewertung der Gesundheitsauswirkungen werden vorgeschlagen: Die Anzahl der durch verschiedene lärmbezogene Gesundheitseffekte beeinträchtigten Personen und die Anzahl der durch Umgebungslärm verlorenen gesunden Lebensjahre (disability-adjusted life years; DALYs). In diesem Beitrag wird das Konzept des Bewertungsverfahrens zu den Gesundheitswirkungen vorgestellt und das Vorgehen anhand eines Anwendungsbeispiels beschrieben.

Sitzung „Sprachverarbeitung“

Do. 9:00 Raum 11 Sprachverarbeitung

Netzwerkplanung für die Sprachübertragung im Vollband

Sebastian Möller[a] und Gabriel Mittag[b]
[a] *TU Berlin, Quality and Usability Lab;* [b] *TU Berlin*

Durch die Einführung komplett IP-basierter Übertragung rückt die Sprachkommunikation über den gesamten hörbaren Bereich (20-20000 Hz, Vollband) in Reichweite. Frühere Untersuchungen haben gezeigt, dass sich dadurch eine um ca. 48% höhere Gesamtqualität erzielen lässt gegenüber dem klassischen Telefonieband (300-3400 Hz, Schmalband). Allerdings verursachen Kodierer, Paketverluste und Verzögerungszeiten Beeinträchtigungen der Gesamtqualität, die eine auf Qualität zielende Netzwerkplanung notwendig machen.

In der Studiengruppe 12 der International Telecommunication Union (ITU-T) wurde deshalb kürzlich die erste Vollbandversion eines Netzwerkplanungsmodelles, des sog. E-Modells, standardisiert. Aufbauend auf den Ergebnissen, die bei der DAGA 2018 vorgestellt wurden, berücksichtigt dieses Modell auch die Effekte von EVS-Sprachkodierern, Beeinträchtigungen durch Paketverluste, sowie die Störung des Konversationsverhaltens durch Verzögerungen. Für die letztgenannten Störungen werden experimentelle Ergebnisse vorgelegt, die zeigen, dass das nun standardisierte E-Modell recht konservative Vorhersagen liefert. Möglichkeiten der Erweiterung des Modells um akustische Schnittstellen sowie um weitere Konversations-Störungen werden diskutiert.

Do. 9:20 Raum 11 Sprachverarbeitung

Effects of Delay and Packet-Loss on the Conversational Quality

Thilo Michael
TU Berlin

In current packet-switched telephone transmissions packet-loss and delay are two of the most prominent degradations affecting not only the conversational quality, but also the structure of the conversation. The transmission delay may lead to interruptions and changes in the way the speaker take turns, while bursty packet-loss may cause important information to be requested again, which adds additional turns to the conversation. In this paper we investigate the effects of the combination of three levels of transmission delay (0 ms, 800 ms, 1600 ms) and three levels of bursty packet-loss (0%, 25%, 50%) on the conversational quality, the interactivity of the conversation and the contents of the conversations. For this, we perform a conversation experiment using the Short Conversation Tests and Random Number Verification Tests as described by ITU P.805. While the conversational quality is assessed with the Mean Opinion Score (MOS) of the conversational quality, four listening dimensions and one interaction dimension, the interactivity is assessed with a

conversational analysis based on the states of the conversation (double talk, mutual silence, speaker A, speaker B).

Do. 9:40 Raum 11 Sprachverarbeitung

Effect of Reverberation on the Predicted Outcome of the Matrix Sentence Test with an Automatic Speech Recognition-Based Simulation Model with Word, Monophone and Triphone Acoustic Models

Paul Kranzusch, Fenja Schwark und Marc René Schädler
CvO Universität Oldenburg, Dep. Medizinische Physik und Akustik

Recently, it was shown that automatic speech recognition (ASR) systems allow accurate predictions of speech recognition thresholds (SRT) of human listeners in stationary and fluctuating noises for the limited speech corpus of the matrix sentence test. Therefore, the framework for auditory discrimination experiments (FADE) is usually trained with whole-word models to perform the matrix sentence test and to predict an SRT. However, the approach was not evaluated in highly reverberant conditions, where human listeners' speech recognition performance is decreased. In this contribution, the predictions are found to be unaffected by such conditions, which may be attributed to the whole-word recognition model that allows to learn the specific reverberation characteristic. Using phoneme instead of whole-word models could improve the simulation. The proposed change is expected to prevent the system from learning the specific reverberation patterns due to a more universal description of speech with phonemes. Hence, monophone and triphone models with different numbers of Hidden Markov Model states were used to predict SRTs in stationary and fluctuating noises and compared to the predictions using the whole-word model. The results show that using monophones increases the effect of reverberation on the SRT, but also increases the anechoic SRT in fluctuating noise.

Do. 10:00 Raum 11 Sprachverarbeitung

Speaker Change Detection Based on Event-Related Potentials with a Consumer Brain-Computer Interface

Daniel Neudek[a], Anil Nagathil[a], Stephan Getzmann[b] und Rainer Martin[a]
[a] *Ruhr-Universität Bochum;* [b] *IfADo Dortmund*

A crucial problem for speech separation algorithms is to distinguish between different speakers, especially in a cocktail party situation. While normal-hearing listeners can easily identify speaker changes and effortlessly switch their focus between different target speakers, approaches for assisted hearing typically require prior information or trained models to achieve a similar performance. For this reason, future speech enhancement algorithms can benefit from the extrac- tion of brain signals in form of event-related potentials (ERP). In this work, we investigate if speaker turns can be detected based on the Mismatch Negativity (MMN) and the P3 component in ERP signals. We present an online noise reduction for single-trial ERPs and a detector based on the MMN and the P3.

Do. 10:20 Raum 11 Sprachverarbeitung

Speech Communication at the Presence of Unmanned Aerial Vehicles

Oliver Jokisch[a], Ingo Siegert[b] und Enrico Lösch[a]
[a] *Deutsche Telekom - HfT Leipzig;* [b] *OvG-Universität Magdeburg, Mobile Dialogsysteme*

Unmanned aerial vehicles (UAVs, aerial drones) find their way into different emerging application areas such as surveillance (disaster management or public safety), but also logistic tasks (urgent delivery of small goods) or collaborative robotic tasks (precision farming), mostly relying on image processing, although sound is an important source of information. In general, sound processing and, in particular, speech communication or speech signal processing at the presence of UAVs are challenging due to rotor and other maneuver-related noise components. Signal analysis has to consider various sound sources or moving room-acoustical settings, and the desired signals have to be separated from flight and wind noises. We compiled a speech database combined with typical drone sounds (recorded during real flight maneuvers) and conducted objective speech quality measurements (simulating human perception) but also some speech recognition experiments with a state-of-the-art recognizer. In a next research step, we analyzed speech and sound improvements utilizing post-processing and optimized microphone constellations, including a portable 8-micro array. Another problem approach, focusing on the construction of ëlow-noise' drones, is discussed afterwards. Our contribution describes different acoustic scenarios and drone characteristics, potential methods to overcome the mentioned obstacles and our recent measurement results, followed by some conclusions.

Do. 10:40 Raum 11 Sprachverarbeitung

Präsentation der Poster, die dieser Sitzung zugeordnet sind (s.u.)

Sitzung „Sprachverarbeitung (Poster)“
Kurzvorträge: Do. 10:40 (Raum 11); Poster-Forum: Do. 11:00

Di.-Do. Sprachverarbeitung (Poster)

Formant tracking in Sound Tools eXtended (STx) 5.0
Michael Pucher, Anton Noll und Carina Lozo
Institut für Schallforschung, ÖAW
In this paper, we introduce the new formant tracker of Sound Tools eXtended (STx) version 5.0, an acoustic speech and sound processing application. Formants occur at the resonant frequencies of the human vocal tract and can be correlated with articulatory features such as tongue height and backness. They are indispensable for acoustic phonetic analysis since they allow for an identification of vowel sounds. Our formant tracker uses dynamic programming to find the best path among formant candidates derived from Linear Predictive Coding (LPC) analysis. The transition and observation costs in the search algorithm are optimized with manually corrected formant tracks. The new version of STx 5.0 also has an interface to WebMAUS that allows automatic phonetic transcription and segmentation of speech for different languages. Furthermore STx 5.0 contains an integrated, simplified and compact GUI, designed for speech analysis for phoneticians, linguists, psychologists, and researchers in related fields.

Di.-Do. Sprachverarbeitung (Poster)

Untersuchung eines neuronenbasierten Vocoders hinsichtlich der Fähigkeit virtuelle Kanäle zu simulieren
Sean - Patrik Cretti und Lilia Lajmi
Ostfalia Hochschule
Untersuchungen zur Hörwahrnehmung von Cochlea-Implantat (CI)-Trägern werden meist durch subjektive Tests an Patienten durchgeführt. Forschungen in Institutionen, in denen keine Patienten zur Verfügung stehen, greifen meist auf Normalhörende zurück. Dafür müssen die elektrischen Impulse, die von einem CI ausgegeben werden, zu einem Audiosignal synthetisiert werden. Die sinusoidale Synthese ist die am Häufigsten verwendete Methode. Allerdings erzeugt diese Synthese ein zu gutes Audiosignal, weshalb das Hörerlebnis von CI-Trägern und Normalhörenden nur schwer vergleichbar ist. Ergebnisse aus Tests mit Normalhörenden sind somit nur bedingt auf CI-Träger übertragbar. Um diesem Problem entgegen zu wirken, wurde in der Universität Zürich ein neuronenbasierter Vocoder entwickelt. Durch diesen Vocoder werden einige Effekte die im menschlichen Gehör auftreten simuliert. Beispiele hierfür sind die Refraktärzeit der Nervenzellen und das Übersprechen der Impulse auf benachbarte Kanäle. Virtuelle Kanäle werden in Sprachcodierungsstrategien eingesetzt, um die wahrnehmbaren Töne für CI-Träger zu erhöhen. Dafür werden zwei Elektroden gleichzeitig aktiviert,

wodurch es zu einer Überlagerung der elektrischen Felder kommt. Dieser Effekt sollte durch den neuronenbasierten Vocoder simuliert werden können. In dieser Arbeit wurde daher der Vocoder hinsichtlich der Simulation virtueller Kanäle untersucht und angepasst.

Di.-Do. Sprachverarbeitung (Poster)

Simulating the effect of masker fluctuations and masker periodicity on speech recognition thresholds with FADE

David Hülsmeier[a], Birger Kollmeier[a] und Marc René Schädler[b]
[a] *CvO Universität Oldenburg, Mediz. Physik und Cluster of Excellence Hearing4all;* [b] *CvO Universität Oldenburg, Dep. Medizinische Physik und Akustik*

Human speech recognition performance in noisy listening conditions strongly depends on the spectral and temporal properties of maskers. Speech recognition thresholds (SRTs) are often lower in maskers with spectro-temporal modulations than in unmodulated stationary maskers. Further, the masker-periodicity benefit (MPB, i.e., due to spectral periodic modulations) was found to be greater than the fluctuating-masker benefit (FMB, i.e., due to temporal periodic modulations). Recently, measured MPB and FMB were predicted with index-based speech intelligibility models. While FMB could be predicted with low prediction errors, MPB could only be partially explained. In this contribution FMB and MPB were predicted with the simulation framework for auditory discrimination experiments, which simulates the speech recognition experiment using an automatic speech recognition system. Three front-ends based on logarithmically scaled Mel spectrograms and one based on a model of human auditory perception (PEMO) were used. The best FMB and MPB predictions were found with separable Gabor filterbank features (SGBFBs), while PEMO features showed a worse performance. Interestingly, these features did not rely on temporal fine structure cues. However they were sensitive to spectro-temporal modulations. Thus, the results suggest that modulations are required to explain speech recognition performance in the considered conditions, but not temporal fine structure.

Sitzung „Audiologische Akustik“

Do. 14:00 Raum 11 Audiologische Akustik

Clustering in an array of coupled limit-cycle oscillators as a tool to investigate spontaneous otoacoustic emissions

Bastian Epp[a], Peter Leer Bysted[a] und Liv Moretto Sørensen[b]
[a] *Technical University of Denmark, Hearing Systems;* [b] *University of Copenhagen, Niels Bohr Institute*

Spontaneous otoacoustic emissions (SOAEs) are the phenomenon of sound emitted by the inner ear in the absence of external stimulation. One potential explanation is that coupled, nonlinear oscillators tend to organize into discrete clusters, oscillating with the same period. While the presence of clusters has been verified in various models, the definition did not consider the phase within a cluster but solely the oscillation period. This study quantifies the phase relations of oscillators within a cluster relative to each other. The model was built of an array of van-der-Pol oscillators with a linear gradient in the oscillation period and scaling to result in an identical phase portrait. The simulations show different sizes of clusters, depending on the type of coupling (reactive/dissipative), the coupling strength and the absence and presence of stochastic variations in the parameters of the array. The oscillation periods of each element in the array were more stable in the presence of an external tone compared to the absence of an external tone. The phase showed a systematic gradient along the length of the array. Linking these results to corresponding information in SOAEs will provide information about the coupling, and ultimately about the mechanics in the inner ear.

Do. 14:20 Raum 11 Audiologische Akustik

Sprachverständlichkeit und Lautheitswahrnehmung in realistischen Szenen mit der trueLOUDNESS - Anpassformel

Florian Kramer[a], Marc René Schädler[a], Dirk Oetting[b], Volker Hohmann[a] und Anna Warzybok[a]
[a] *CvO Universität Oldenburg, Dep. Medizinische Physik und Akustik;* [b] *HörTech gGmbH*

Bei der Anpassung von Hörgeräten werden üblicherweise monaurale Reintonhörschwellen zur Bestimmung der Verstärkungswerte betrachtet. Diese schwellenbasierten Verfahren haben sich hinsichtlich der Verbesserung des Sprachverstehens bewährt, jedoch ist eine unzureichende Lautheitswahrnehmung im Alltag eine der häufigsten Gründe des Nichttragens von Hörgeräten. Diese Problematik wird bei dem trueLOUDNESS-Anpassverfahren (Oetting et al., 2018) berücksichtigt, indem die Verstärkung aufgrund der binaural breitbandigen Lautheitswahrnehmung bestimmt wird. Diese Studie untersucht das versorgte Sprachverstehen und die Lautheitswahrnehmung von erfahrenen

Hörgeräteträgern in realistischen Szenen mit trueLOUDNESS im Vergleich zur schwellenbasierten Anpassformel NAL-NL2. Sprachverständlichkeitsschwellen wurden mit dem Oldenburger Satztest in reflexionsfreien und realistischen Testbedingungen ermittelt. Die reflexionsfreien Testbedingungen umfassen ein stationäres und fluktuierendes Störgeräusch (ICRA5-250) bei 45 dB SPL und 70 dB SPL. Die realistischen Testbedingungen wurden mit der Toolbox for Acoustic Scene Creation and Rendering (TASCAR, Grimm et al., 2019) realisiert und umfassen eine "Natur"-Szene bei ca. 50 dB SPL und eine Cafeteria-Umgebung bei ca. 75 dB SPL. Zusätzlich wurden Lautheitsmessungen mit Alltagsgeräuschen und Teilen der realistischen Szenen durchgeführt. Für die 13 schwerhörende Probanden ergeben sich für trueLOUDNESS signifikant niedrigere (bessere) Sprachverständlichkeitsschwellen im stationären Störgeräusch bei 45 dB SPL ($p<0{,}05$). Die Ergebnisse der Lautheitsmessungen zeigen eine Wiederherstellung von normaler Lautheitswahrnehmung mit trueLOUDNESS, jedoch nicht mit NAL-NL2.

Do. 14:40 Raum 11 Audiologische Akustik

Einfluss angeglichener Prozessierungszeiten auf die Schalllokalisationsfähigkeit bei bimodalen CI/HG-Trägern

Julian Angermeier[a], Werner Hemmert[b] und Stefan Zirn[a]

[a] *Hochschule Offenburg;* [b] *TU München*

Durch Angleichung der Prozessierungszeiten von Cochlea-Implantat (CI) und Hörgerät (HG) bei bimodalen CI/HG-Trägern konnte eine signifikante Verbesserung der Schalllokalisationsfähigkeit erzielt werden [1]. In einer Folgestudie wurde untersucht, ob die Verbesserung der Schalllokalisation bei zeitlich angeglichenen Signalpfaden instantan stattfindet, oder ob eine einstündige Angewöhnung zu weiteren Verbesserungen führt. Um Lerneffekte zu minimieren wurde ein A-B-B-A Messparadigma zur Messung der Lokalisationsfähigkeit eingesetzt. Nach einem initialen Test ohne zeitliche Angleichung (A) wurde das CI der Probanden entsprechend der HG-Laufzeit verzögert und eine erneute Messung durchgeführt(B). Nachdem sich die Probanden eine Stunde lang an die Angleichung anpassen konnten, wurde erneut eine Messung durchgeführt (B). Anschließend wurde die Verzögerung des CIs wieder auf null gestellt und erneut gemessen (A). Bisherige Tests offenbarten eine instantane Reduktion des absoluten Winkelfehlers. Die systematische Verschiebung der empfundenen Lage der Schallsignale auf eine Seite wurde durch den Angleich der Prozessierungszeiten stark verringert. Der Trainingseffekt durch die 1h Anpassungsdauer war vergleichsweise gering. Nach Zurücknahme der Angleichung verschlechterten sich die gemessenen Werte wieder auf das Niveau des Initialtests.

[1] S. Zirn, J. Angermeier, S. Arndt, A. Aschendorff, and T. Wesarg, "Reducing the Device Delay Mismatch Can Improve Sound Localization in Bimodal Cochlear Implant/Hearing-Aid Users," Trends in Hearing, vol. 23, p. 233121651984387, 2019

Do. 15:00 Raum 11 Audiologische Akustik

Irrelevant Sound Effect bei Cochlea-Implantat-Nutzern

Tobias Weißgerber und Uwe Baumann
Audiologische Akustik, HNO, Universitätsklinikum Frankfurt

Das verbale Kurzzeitgedächtnis wird durch bestimmte Hintergrundgeräusche gestört (Irrelevant Sound Effect, ISE). Ziel dieser Studie war die Untersuchung des ISE bei Nutzern von Cochlea-Implantaten (CIs). An der Studie nahmen 12 Probanden mit bilateralen CIs und eine Kontrollgruppe von 19 Normalhörenden (NH) teil. Die Arbeitsgedächtnisleistung wurde in einer visuell präsentierten "Serial-Recall Aufgabe" bestimmt. Das Hintergrundgeräusch wurde bei 65 dB SPL im Freifeld präsentiert. Die Testkonditionen waren Ruhe, kontinuierliches Rauschen, das "international speech test signal" (ISTS) und ein japanischer Sprecher (JS). In der NH-Gruppe betrug der mittlere Fehler (MF) in Ruhe 24,6 %. Diese Gruppe zeigte keinen ISE im Rauschen, der ISE im ISTS betrug 13,1 % und bei dem JS 6,7 %. In der CI-Gruppe betrug der MF in Ruhe 34,8 %. CI-Nutzer zeigten ebenfalls keinen ISE im Rauschen, jedoch bei ISTS (15,6 %) und JS (8,7 %). Selbst in Ruhe war der MF der CI-Nutzer um 10,2 Prozentpunkte höher als in der NH-Gruppe. Es konnte ein ISE bei CI-Nutzern ausgelöst werden. Der ISE bei CI-Nutzern lag im Bereich der Normalhörenden. In der CI-Gruppe wurde jedoch bereits in Ruhe die Arbeitsgedächtnisleistung bei einer visuellen Aufgabe stark beeinträchtigt. Dieses Projekt wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) unter der Förderkennzahl 337436298 gefördert.

Do. 15:40 Raum 11 Audiologische Akustik

ITD coding in bilateral cochlear implants for complex listening situations

Bernhard Seeber und Aswin Wijetillake
TU München, Audio Information Processing

Interaural time differences (ITDs) help normal hearing listeners perceive, locate and understand sounds in noisy and reverberant conditions, but their benefit is limited with bilateral cochlear implants. Monaghan & Seeber (2016) presented a temporal enhancement algorithm that sharpens and deepens modulations at onsets of selected peaks in the signal envelope and showed improved ITD sensitivity with tone-vocoded speech. Based on the short-term direct-to-reverberant ratio the algorithm selects peaks that are dominated by the direct sound rather than reflections, and applies enhancements at times derived from the timings of envelope peaks. However, extensive analysis revealed that envelope peak timings do not robustly convey the ITD of a source in reverberant rooms. We present an updated version of the algorithm that estimates the short-term ITD from the signal's temporal fine structure and adjusts the enhancement timings to encode that ITD. Furthermore, the new algorithm enhances envelope peaks based on the short-term interaural coherence. Results from the ongoing evaluation using acute testing of

CI users show that the new algorithm improves ITD-based lateralization relative to the old algorithm and the unenhanced case. Unlike in previous vocoder testing with normal hearing listeners, in the acute test some CI users showed slightly degraded speech understanding.

Do. 16:00 Raum 11 Audiologische Akustik

Funktionelle Bildgebung in der Audiologie

Stefan Uppenkamp

CvO Universität Oldenburg, Dep. Medizinische Physik und Akustik

Bildgebende Verfahren der medizinischen Diagnostik sind im Klinikalltag weit verbreitet, z.B. zur Erkennung und genauen Lokalisation von Tumorerkrankungen, oder zur Abklärung anderer Läsionen im zentralen Nervensystem. Neben diesen klassischen Anwendungen ermöglichen sowohl die Positronen-Emissionstomographie (PET) als auch die Magnetresonanztomographie (MRT) jedoch unter speziellen Messbedingungen auch die Erfassung von funktionellen Prozessen im menschlichen Gehirn. In den vergangen 20 Jahren wurden insbesondere auf dem Gebiet der funktionellen MRT die Messtechnik und die Analyseverfahren soweit verfeinert, dass gezielt neurophysiologische Korrelate von verschiedenen psychoakustischen Effekten untersucht werden können. Dazu gehören psychoakustische Grundgrößen wie Tonhöhen- und Lautheitswahrnehmung, aber auch Experimente mit komplexeren Stimuli, wie Sprache oder virtuelle akustische Umgebungen. Eine wichtige Frage dabei ist, ab welcher Verarbeitungsstufe der Hörbahn die sensorische Kodierung von Stimulusmerkmalen in eine universelle und kontextabhängige Repräsentation übergeht. In einem Literaturüberblick und an Hand aktueller Ergebnisse aus der eigenen Forschungsarbeit werden die Möglichkeiten und Grenzen für die funktionelle Bildgebung in der Audiologie diskutiert. Der überwiegende Teil der bislang veröffentlichten Arbeiten bezieht sich auf normalhörende und meist junge Probanden. Die bisherigen Erkenntnisse legen jedoch nahe, dass die Methoden der funktionellen Bildgebung, ggf. ergänzt um Vielkanal-EEG- und MEG-Daten, ein großes Potential für ein besseres Verständnis der Grundlagen und der Auswirkungen von Hörstörungen bieten.

Do. 16:20 Raum 11 Audiologische Akustik

Psychoacoustically estimated cochlear compression based on a forward masking paradigm - quantification at the level of the auditory nerve using signal detection theory

Jens Thuren Lindahl, Gerard Encina-Llamas und Bastian Epp
Technical University of Denmark, Hearing Systems

The healthy human auditory system is sensitive to a large dynamic range of incoming sounds. An ”active mechanism”, presumably due to electromotility of outer hair cells (OHC) in the cochlea, leads to a level-dependent amplification of basilar membrane (BM) vibration and a compressive BM input/output (I/O) function. Different methods to estimate this compressive function based on a psychoacoustical forward-masking paradigm have been suggested. These methods assume that cochlear processing can be isolated from the response of the overall system and that sensitivity is dominated by the tonotopic place of the probe. In the present study, a computational model of the auditory nerve (AN) in combination with signal detection theory (SDT) was used to test these assumptions. The simulated AN response was quantified in terms of rate and synchrony for different types of nerve fibers. The analysis allowed to localize tonotopic contributions to the overall sensitivity to the stimuli. Results show that the model can account for the behavioral data and that local activity at the probe frequency is the dominant contributor when simulating a normal hearing cochlea. The results also show that the spontaneous activity of the different nerve fibers is an important factor to consider when evaluating sensitivity.

Sitzung „Meeresakustik und Wasserschall 2“

Do. 8:40 Raum 12 Meeresakustik und Wasserschall 2

Akustische MIMO-Unterwasserkommunikation mittels Bursts

Ivor Nissen
Wehrtechnische Dienststelle 71

Unterwasserkommunikation (UWK) muss sich aufgrund des sogenannten und höchst variablen SONAR-Wetters an unterschiedlichste akustische Kanalbedingungen anpassen. Dabei sind für die UWK in autonomen Kommunikationsnetzwerken die Herausforderung besonders hoch. Aufgrund der kleinen Ausmaße und Energievorräte in Floats, Gliedern, AUVs und Taucherunterstützungssystemen sowie bei Bodenknoten und Gatewaybojen müssen die Einheiten kompakt und energieminimierend konzipiert werden. Neben diesen Forderungen sind bei Zeit- und Doppler-Spreizungen auch Signal- zu Rauschverhältnisse zu maximieren. Single-In-Multiple-Out-Ansätze (SIMO) werden bei bemannten getauchten Plattformen sehr erfolgreich bereits seit den 1960ern eingesetzt. Da in Kleinstsystemen keine langen Hydrophonketten eingesetzt

werden können, wird nun ein 3er-MIMO-Ansatz (Multiple-In-Multiple-Out) als Erweiterung der Alamouti Transmission in Kombination mit der akustischen Burst-Kommunikation vorgestellt. Dazu wird in die Theorie und die Implementation in die eigenen Sonartransponder eingeführt. Es sind zwei Anwendungen in Zeit und Raum interessant. Neben der Nutzung von drei Sendern und drei Hydrophonen - als Standardfall - können auch drei nacheinander gesendete Burst-Nachrichten bei einem Sender und einem Hydrophon dem Netcoding zugerechnet werden. Geplante Experimente hierzu im Spät-Sommer 2020 werden präsentiert.

Do. 9:00 Raum 12 Meeresakustik und Wasserschall 2

Comparision of Direct-Sequence Spread Spectrum Modulation and Coding Schemes for Reliable Underwater Acoustic Communications

Iwona Kochanska
Gdansk University of Technology

Reliability of data transmission is critical in some underwater communication applications such as submarine-to-submarine or submarine-to-surface platform communication, or autonomous underwater vehicle remote control. Such reliable data transmission is a particularly difficult task in a shallow underwater channel, in which the signal suffers from strong time dispersion due to multipath propagation and refraction phenomena. The direct-sequence spread spectrum technique (DSSS) applied successfully in the latest standards of wireless communications gives the chance of data transmission with an acceptable error rate in such a tough communication channel. The implementation of the DSSS technique usually involves the phase shift keying (PSK) or differential phase shift keying (DPSK) modulation of carrier frequency according to a pseudo-random binary sequence (PRBS). However, a signal constructed in this way is sensitive to phase fluctuations. The article proposes the use of DSSS modulation and coding scheme, based on the transmission of different pseudo-random binary sequences representing the information. The quality of transmission obtained by such coding and PSK/DPSK modulation schemes are compared. Simulation tests were conducted in Matlab environment using both numerical models of wireless channels and replay UAC channels, based on impulse responses measured during the underwater experiments.

Do. 9:20 Raum 12 Meeresakustik und Wasserschall 2

Adaptive Unterwassernetzwerke

Dimitri Sotnik
Fraunhofer FKIE

Für die Unterwasserkommunikation wird hauptsächlich Akustik verwendet. Da Schallwellen als Träger verwendet werden, verändern sich Doppler- und Zeitspreizung und die verschiedenen Umgebungsgeräusche sehr schnell und unvorhersehbar. Aktuelle Forschungsthemen befassen sich mit der direkten Modemanpassung, dies ist nicht ganz

ausreichend. Im Vergleich zu Funkübertragungen ist die Bitfehlerrate immer noch sehr hoch. Um eine bessere Anpassung an die Umwelt zu gewährleisten, wird in diesem Beitrag vorgeschlagen, das zur Laufzeit verfügbare Netzwerkwissen zu betrachten. Durch die Kenntnis des Netzwerks und seiner Teilnehmer wäre es möglich, spezifische Anpassungen vorzunehmen, um die am besten geeignete Übertragung zu erreichen. Zum Beispiel das Umschalten zwischen Hochfrequent oder Tieffrequent oder die Verwendung unterschiedlicher Modulationsverfahren, je nachdem, was der Empfänger demodulieren kann. Außerdem kann die Übertragungsleistung je nach zu erreichenden Knoten variiert werden. Dafür ist es notwendig, eine Datenbank aufzubauen, die auf Metainformationen von ein- und ausgehenden Nachrichten basiert. Aussagekräftige Indikatoren müssen mit jeder Nachricht versendet werden. Vorhergehende Studien haben gezeigt, dass Pakete Unterwasser möglichst kurz sein sollten und jedes einzelne Bit teuer ist. Die wissenschaftliche Frage ist nun wie viele Bits und welche Informationen mindestens benötigt werden, um eine signifikante Verbesserung der Übertragung zu erzielen.

Do. 9:40 Raum 12 Meeresakustik und Wasserschall 2

Parametrische Kurzzeit-Leistungsspektren für die Charakterisierung von Wasserschallquellen

Andreas Galka

Wehrtechnische Dienststelle 71

Die Schallabstrahlung von Schiffen zeigt oft ausgeprägte Richtungsabhängigkeit. Bei Relativbewegung zwischen Schiff und Hydrophon ergibt sich dadurch Nichtstationarität, und die Charakterisierung von Wasserschallquellen muss auf der Grundlage kurzer Zeitreihensegmente erfolgen. In solchen Situationen können schwache Quellen oftmals nicht durch nicht-parametrische Spektralschätzer, wie etwa FFT, identifiziert werden. In diesem Beitrag wird daher die Identifizierung und Charakterisierung von Wasserschallquellen mittels parametrischer Spektralschätzer, basierend auf Zustandsraum-Modellierung, diskutiert. Eine Anwendung auf Wasserschallquellen, die durch Luftschall-Anregung in einem fahrenden Schiff erzeugt wurden, wird vorgestellt.

Do. 10:00 Raum 12 Meeresakustik und Wasserschall 2

Analyse von Trackingalgorithmen für mobile SONAR-Systeme

Timothy Schäl[a], Alexej Namenas[b] und Gerhard Schmidt[b]

[a] *Wehrtechnische Dienststelle 71;* [b] *Christian-Albrechts-Universität zu Kiel;* [c] *Universität Duisburg-Essen*

Die Zielverfolgung von Objekten unter Wasser stellt aufgrund der Ausbreitungsbedingungen des Wasserschalls eine besondere Herausforderung in der Signalverarbeitung dar - hierzu zählen u.a. Mehrwegeausbreitung, Schattenzonen und Mehrdeutigkeiten. Die Überwachung der Wassersäule im Bereich von kritischer Infrastruktur wird ideal durch den Einsatz von mobilen, leicht portierbaren SONAR-Systemen sichergestellt. Dieses erhöht den Anspruch an die Signalverarbeitung erneut.

Diese mobilen SONAR-Systeme verfügen über eine begrenzte Rechenkapazität für die Abdeckung der gesamten Signalverarbeitungskette, weshalb die Implementierung einer kognitiven Steuereinheit imperativ ist. In dieser Arbeit werden die unterschiedlichen Zielverfolgungsalgorithmen mit ihren Eigenschaften und ausgewählte, anspruchsvolle Szenarien mit synthetisch erzeugten Daten vorgestellt. Die Bewertung der Zielverfolgungsalgorithmen in den Szenarien unter der Berücksichtigung der benötigten Rechenkapazität geben Rückschlüsse für eine spätere Implementierung einer kognitiven Steuereinheit. In diesem Beitrag wird dabei besonderes Augenmerk auf Echtzeitanforderungen gelegt.

Do. 10:20 Raum 12 Meeresakustik und Wasserschall 2

Investigation of the point spread function of SAS and CSAS imaging using bandpass signals

Chencheng Ye[a,b], Ziliang Qiao[b], Hong Liang[a] und Dieter Kraus[b]

[a] *Northwestern Polytechnical University;* [b] *IWSS, Hochschule Bremen*

In the past decades, considerable attention has been paid to the application of ultrasonic reflection tomography. Particularly, synthetic aperture techniques have attracted extensive interest due to their superior resolution performance. Since the location of the backscattering points of a target will only accidently coincide with the pixel centers of the reflection tomographic image, the image quality might be affected by uncompensated residual phase terms during the back-projection process. Therefore, in this paper the sensitivity of the point spread function (PSF) is investigated with respect to scatterer displacements for a synthetic aperture sonar (SAS) and circular synthetic aperture sonar (CSAS). In both cases, echo signals are coherently superimposed over a given synthetic aperture length to reconstruct reflectivity at a particular pixel. For SAS, synthetic aperture length adjusts automatically according to pixel range position and carrier frequency, thus relative residual phase term remains within a small range, which is acceptable for coherent superposition. In comparison with that, both absolute and relative residual phase terms increase with carrier frequency and pixel size for CSAS without upper limit and it may lead to the consequence of destructive superposition of echo signals. Theoretical calculation and simulation results are depicted to verify the conclusion.

Sitzung „Humanschwingungen“

Do. 14:00 Raum 12 Humanschwingungen

Taktiles Design: Übersetzung von Nutzererwartungen in Vibrationen

Robert Rosenkranz und M. Ercan Altinsoy
TU Dresden, Professur für Akustik und Haptik

Dieser Beitrag demonstriert eine neuartige Designstrategie für Ganzkörperschwingungen auf der Grundlage von Benutzererwartungen, die das Produktdesign und die Erstellung plausibler virtueller Umgebungen erleichtert. In beiden Anwendungen müssen Schwingungsparameter aus den Erwartungen der Anwender abgeleitet werden. Der Benutzer kann seine taktilen Erwartungen quantifizieren, indem er einen kompakten Satz sensorischer Wahrnehmungsmerkmale (z.B. ”kribbelnd”) bewertet, die ihm aus seiner Alltagserfahrung vertraut sind. Diese Bewertungen könnten mit Hilfe der in einer vorherigen Studie aufgedeckten Beziehung in Vibrationsparameter übersetzt werden, die wiederum die erwarteten Wahrnehmungsmerkmale hervorrufen. Aber sind solche Wahrnehmungsmerkmale für die Synthese von Ganzkörpervibrationen nützlich? Um diese Frage zu beantworten, wurden audiovisuell-taktile Fahrzeugszenen aufgenommen und auf ihre Wahrnehmungsmerkmale bewertet. Anschließend wurden aus diesen Bewertungen Vibrationen synthetisiert. In einem zweiten Experiment wurden aufgenommene Vibrationen und synthetisierte Vibrationen auf ihre wahrgenommene Plausibilität im Kontext der audiovisuellen Szene bewertet. Die Ergebnisse zeigen, dass die Plausibilitätsbewertungen zwischen aufgezeichneten und synthetisierten Schwingungen trotz deutlicher temporaler und spektraler Unterschiede sehr ähnlich sind. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Plausibilitätsillusion durch die Darbietung von Schwingungen erzeugt werden kann, die die erwarteten Wahrnehmungseigenschaften hervorrufen. Die Ergebnisse implizieren weiterhin, dass die Wahrnehmungsmerkmale die durch Vibrationen übermittelten sensorischen Informationen hinreichend erklären und damit eine Basis für eine systematische, erwartungsgerechte Vibrationsgestaltung darstellen.

Do. 14:20 Raum 12 Humanschwingungen

Multimodal Virtual Texture Rendering

Ugur Alican Alma
TU Dresden

In this study, plausibility of two types of texture feedback was judged according to virtual textures on a screen. The tested vibrations are 1) captured tactile data and 2) single sinusoids which were used in the previous study. In that study, sinusoids was found as plausible as recorded vibration for coarse textures, but not for fine textures. As a further study, the suitability of these texture vibrations was examined with respect

to texture images when touch-produced sound was absent and present. In the test, touch-produced sound was driven in original and amplified loudness level while participants moved their finger on the surface on which virtual textures were displayed. Then, the similarity between texture vibrations and visually perceived virtual textures was rated using continuous equal interval scaling method. Based on the results, no significant difference was found between the vibrations in unimodal and bimodal conditions as opposed to the previous study. Only slight bias occurred towards an increased similarity perception in case of the fine texture when the auditory feedback was played in original loudness level.

Do. 14:40 Raum 12 Humanschwingungen

Perzeptuelle Interaktion zwischen akustischen Modulationen und Ganzkörpervibrationen

Louis Krause[a], Arne Oetjen[a], Stephan D. Ewert[b] und Steven van de Par[c]

[a] *CvO Universität Oldenburg, Abt. Akustik;* [b] *CvO Universität Oldenburg, Mediz. Physik und Cluster of Excellence Hearing4all;* [c] *CvO Universität Oldenburg, Acoustics Group and Cluster of Excellence Hearing4all*

Zeitliche Modulationen eines Geräuschs liefern wichtige Informationen in Bezug auf den Geräuschcharakter. Unter anderem wird die wahrgenommene Rauigkeit durch die Ausgeprägtheit und die Frequenz von Modulationen bestimmt. In realen Situationen, wie z.B. in Fahrzeuginnenräumen, treten Geräusche oft im Zusammenspiel mit Vibrationen auf. Die Wahrnehmung von akustischen Reizen durch das auditorische System kann durch sogenannte auditorische Filter beschrieben werden. Auch bei der Wahrnehmung von Amplitudenmodulation kann gezeigt werden, dass sich die Modulationsfrequenzselektivität durch bandpassförmige Modulationsfilter beschreiben lässt. Es stellt sich die Frage welchen Einfluss die Interaktion zwischen Modulation und Ganzkörpervibration auf die frequenzselektive Wahrnehmung beider Größen hat. In Wahrnehmungsexperimenten wird untersucht ob die zusätzliche Darbietung von Vibrationen einen Einfluss auf die Maskierung von Modulationen hat. Es wird geprüft ob Ganzkörpervibrationen im Bereich von 20 Hz bis 50 Hz die Detektionsschwelle von Amplitudenmodulationen im gleichen Frequenzbereich beeinflusst oder ob Ganzkörpervibrationen durch ein amplitudenmoduliertes Audiosignal maskiert werden. Darüber hinaus wird der Einfluss der Vibrationsstärke und Vibrationsfrequenz auf die Ausgeprägtheit der wahrgenommenen Rauigkeit eines amplitudenmodulierten Audiosignals untersucht. Anhand dieser Daten kann gezeigt werden, dass eine rein akustische Analyse eines Umgebungsgeräuschs nicht zwingend die Wahrnehmung in der realen Situation nachbilden kann. Durch eine integrierte Betrachtung zusammen mit auftretenden Vibrationen könnte eine solche Analyse verbessert werden.

Do. 15:20 Raum 12 Humanschwingungen

Lästigkeit bei gleichzeitiger Exposition von Schall und Ganzkörper-Schwingungen am Beispiel von Nutzfahrzeugen

Maria Mareen Maravich und M. Ercan Altinsoy
TU Dresden, Professur für Akustik und Haptik

Lärm und Ganzkörper-Schwingungen wirken in einer Vielzahl von Situationen nicht separat, sondern gleichzeitig auf den Menschen ein. Auch der Arbeitsalltag von Nutzfahrzeugführern ist häufig geprägt durch das gleichzeitige Auftreten beider Reize. Abhängig von den Signaleigenschaften dieser beiden Modalitäten, aber auch beispielsweise vom Kontext, können solche Situationen als unangenehm bzw. lästig empfunden werden. Zur Beurteilung der Belastung von solchen multimodalen Situationen ist es daher wichtig, neben dem Einfluss der physikalischen Signaleigenschaften der einzelnen Modalitäten, auch die Wechselwirkung beider Immissionsarten zu verstehen. Um repräsentative Nutzfahrzeug-Szenen zur Untersuchung der wahrgenommenen Lästigkeit bei gleichzeitiger Exposition von Schall und Ganzkörper-Schwingungen zu erhalten, wurden im Rahmen dieser Studie zunächst Schalldruck-, Beschleunigungs- und Kameraaufnahmen gleichzeitig aus Sicht von Nutzfahrzeugführern durchgeführt. Durch gezielte Modifikation akustischer und vibratorischer Signalparameter wurde anschließend mit Hilfe von Wahrnehmungsversuchen die Gesamt-Lästigkeit im multimodalen Messlabor der TU Dresden, welches eine realitätsnahe und simultane Wiedergabe aller drei Modalitäten ermöglicht, bestimmt. Anhand der Beurteilungen der Probanden lassen sich Erkenntnisse über die Wechselwirkung von Schall und Ganzkörper-Schwingungen sowie über die Rolle ausgewählter Signalparameter der einzelnen Reize ableiten.

Do. 15:40 Raum 12 Humanschwingungen

Begreifen - Wie unabhängig arbeiten unsere Finger wirklich?

Anna Schwendicke, Hans Winger, Florian Wieczorek und M. Ercan Altinsoy
TU Dresden, Professur für Akustik und Haptik

Viele male am Tag nehmen Menschen die unterschiedlichsten Gegenstände in die Hand. Dabei arbeiten die Finger im Allgemeinen eng zusammen und auch wenn sie je nach Situation unabhängig voneinander agieren, korrelieren ihre Bewegungen bei vielen Greifbewegungen stark. Für die Datenübertragung im taktilen Internet sind solche Korrelationseffekte von großen Interesse, da sie zur Datenkompression ausgenutzt werden können. Im Rahmen dieser Studie sollen Korrelationseffekte zwischen den einzelnen Fingern untersucht werden. Dafür wurden Versuchspersonen gebeten mit verschiedenen Datenhandschuhen unterschiedliche Gegenstände wiederholt zu greifen.

Die Auswahl der Datenhandschuhe umfasst dabei sowohl kommerzielle als auch selbstentwickelte Exemplare mit unterschiedlichen Sensoren. Die Greifbewegungen wurden aufgenommen und bezüglich der Korrelation unterschiedlicher Parameter untersucht.

Do. 16:00 Raum 12 Humanschwingungen

Design and development of an actuation module with a tendon-based transmission for bidirectional force feedback on one finger joint

Pablo Alvarez Romeo und M. Ercan Altinsoy
TU Dresden, Professur für Akustik und Haptik

Force feedback gloves present diverse challenges concerning volume, weight, power consumption, actuated degrees of freedom, cost and universal wearability. In this paper, the design and development of a low-cost, lightweight and adaptive sensorized actuator module is presented, alongside its tendon-based force transmission system. This device is able to apply bidirectional force feedback to an index finger joint. When no stimulus is applied, it allows free movement of the finger joint without motor actuation and therefore, without motor power consumption, using a geared-based clutch system. Furthermore, its tendon based transmission system allows an adaptive configuration for different hand and finger sizes. The response of such module is tested and analysed, and some ideas are discussed for further improvement on hand feedback mobility.

Do. 16:20 Raum 12 Humanschwingungen

Impulshafte und schockartige Hand-Arm-Vibrationen

Magdalena Scholz und Steffen Marburg
TU München, Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme

Die Betrachtung von impulshaften oder schockartigen Hand-Arm-Vibrationen ist aus mehreren Gründen von Interesse. So haben vergangene Studien gezeigt, dass die Messung dieser Vibrationen bereits Grundkenntnisse oder wohl begründete Annahmen über die auftretenden Schwingungen voraussetzt, weil die große Spannweite an Frequenzen und Amplituden der Vibrationen eine Herausforderung für die Messausrüstung darstellt. Dies muss im Voraus bedacht werden, um eine Verfälschung der Messergebnisse zu vermeiden. Neben diesen Aspekten, welche es bei der Messung zu bedenken gilt, ist die Auswirkung der Vibrationen auf das Hand-Arm-System des Menschen einer der Kernfaktoren bei der Analyse. Hierzu wurde in verschiedenen Forschungsarbeiten festgestellt, dass die aktuell verfügbaren Kenntnisse nicht genügen, um eine umfassende Beurteilung der Schwingungen und der resultierenden Belastung des menschlichen Systems zu tätigen. In diesem Beitrag werden die gewonnenen Erkenntnisse bisheriger Forschungsarbeiten und die noch offenen Forschungsfragen betrachtet. Basierend darauf wird gefragt, welche Lösungsansätze es bereits gibt und für die Zukunft vorstellbar wären.

Sitzung „Psychoakustik 3“

Do. 8:40 Raum 27 Psychoakustik 3

Influence of pitch and timbre differences on the segregation of vowels

Verena Kies[a], Marion David[a] und Steven van de Par[b]
[a] *CvO Universität Oldenburg, Abt. Akustik;* [b] *CvO Universität Oldenburg, Acoustics Group and Cluster of Excellence Hearing4all*

Pitch has been shown to be a key parameter for stream segregation of speech sounds. In a task promoting integration, it has been shown that F0 differences contribute to obligatory stream segregation of vowels. Besides, spectral differences are known to influence stream segregation of frozen noise bursts. The present study assessed stream segregation of naturally uttered vowels when both pitch and spectral differences associated with timbre vary. Sequences of vowels were combined in interleaved sequences that alternated in F0 and timbre. In three tasks, the listeners were asked to report the order of the vowels. At first, no special instruction was given. Then, the listeners' perception was biased towards segregation based on F0 or based on timbre. Two speakers were used to assess the timbre differences and 7 DF0s were tested. In all the tasks, F0-based segregation increased as the DF0 increased. More interestingly, the timbre-based segregation decreased as DF0 increased. This result indicated that at low DF0, the segregation based on timbre prevailed over the segregation based on F0. At high DF0, F0-segregation prevailed and timbre cues were progressively suppressed. The crossing point, where F0 and timbre differences equally influence the segregation, varied based on the task.

Do. 9:00 Raum 27 Psychoakustik 3

Hintergrundsprache stört das verbale Kurzzeitgedächtnis: Zur Rolle von Sprachartigkeit (Sinewave Speech) und changing-state Charakter

Markus Georgi[a], Larissa Leist[b], Maria Klatte[b] und Sabine Schlittmeier[a]
[a] *RWTH Aachen, Institut für Psychologie, Auditive Kognition;* [b] *TU Kaiserslautern, Entwicklungs- und Kognitive Psychologie*

Irrelevante Hintergrundsprache reduziert die Kurzzeitgedächtniskapazität für verbales Behaltensmaterial, auch wenn dieses visuell präsentiert wird. Dieser sog. Irrelevant Sound Effect (ISE) ist ein empirisch robustes Phänomen und wird auf den changing-state Charakter eines Hintergrundschalls zurückgeführt: Hintergrundschalle, bei denen sich aufeinanderfolgende auditiv- perzeptive Wahrnehmungseinheiten unterscheiden (changing-state Schall, z.B. Sequenzen verschiedener Silben), stören mehr als sog. steady-state Schalle (z.B. eine sich wiederholende Silbe). Fraglich ist aber nach wie vor, ob auch die Sprachartigkeit dieser Wahrnehmungseinheiten eine Rolle für deren Störwirkung spielt.

In einem Experiment mit 30 Versuchspersonen prüften wir daher die Störwirkung von changing-state und steady-state Sequenzen sprachlicher Silben (z.B. ”beh, tie, peh, buh, ...” vs. ”bah, bah, bah, ...”), die entweder unverändert oder als Sinuswellensprache dargeboten wurden. Die Sinuswellensprache wurde erzeugt, indem mittels Sinustönen die Formanten des Ausgangssprachsignals bzgl. Frequenz- und Amplitudenverlauf nachgebildet wurden. So wurde die Sprachverständlichkeit des Ausgangssignals stark reduziert, während die temporal-spektrale Komplexität weitgehend beibehalten wurde.
Erwartungsgemäß störten changing-state Schalle mehr als steady-state Schalle, was sowohl bei unveränderter Sprache wie bei Sinuswellensprache der Fall war. Allerdings störte unveränderte changing-state Sprache mehr als changing-state Sinuswellensprache, was analog auch auf die steady-state Schalle zutraf.
Die kognitionspsychologischen Implikationen der Befunde werden diskutiert.

Do. 9:20 Raum 27 Psychoakustik 3

Memory and text comprehension for text spoken by two talkers alternatingly - examining the potential roles of talkers' spatial location

Edina Fintor[a], Janina Fels[b] und Sabine Schlittmeier[a]
[a] *RWTH Aachen, Institut für Psychologie, Auditive Kognition;* [b] *RWTH Aachen, ITA, Medical Acoustics*

When listening to a conversation of several talkers in real-world, the heard audio signal has inherent spatial information of the different talkers' positions, whereas this holds not true in, e.g. telephone conferences. The aim of the study was to investigate, whether the auditory-perceptive availability of spatial information helps or hinders cognitive performance in terms of remembering of heard information. To this end, we investigated short-term memory for text spoken by two talkers alternatingly. These talkers were either auralized binaurally at two different positions in space (60° relative to the listener) or were colocated (0°). Additionally to performance in the listening task (primary task), participants worked also on a visually presented secondary task (cross-modal dual-tasking). Performance in this secondary task served as an indicator of cognitive spare capacity: The higher the cognitive burden in the listening task (primary task), the more performance decline on the secondary task . With this, memory and text comprehension measures in the listening task as well as secondary task performance allowed us to gain insight into the cognitive affordances of listening to two alternating talkers auralized at different spatial locations or colocated.

Do. 9:40 Raum 27 Psychoakustik 3

Voice-processing Advantage in Timbre Recognition: Analysis of Response Times

Svea Steuer, Stefan Uppenkamp und Kai Siedenburg
CvO Universität Oldenburg, Dep. Medizinische Physik und Akustik

Various neurophysiological and psychophysical studies on sound source recognition suggest a specificity for the processing of human voices. This supposed voice specificity can be linked to voice-selective brain responses, but also to a more efficient categorization of vocal sounds in comparison to sounds from musical instruments, as reflected by shorter response times. The aim of this study is a replication and expansion of the voice processing-advantage in timbre recognition, as reported by Agus et al. (2012, JASA). Participants performed a go/no-go task in which they reacted as quickly as possible to either instrumental target tones of 250 ms duration (brass, wood wind and string instruments) or vowels sung by four different singers. Noise bursts or sounds from the respective other category (instruments for voices and vice versa) served as distractors. Listeners repeated the experiment three times with identical procedure but different tone articulations (staccato, sustained, mixed). Response times for voices were consistently shorter in comparison to musical instruments, independent of articulation. Also, reactions were generally faster when noise bursts were presented as a distractor. The acoustic analysis of the employed sounds using Mel-frequency cepstral coefficients revealed that spectral features are a likely cue underlying the superiority of human voices.

Do. 10:00 Raum 27 Psychoakustik 3

Maskierungsreduzierende Wirkung von AM eines Simultanmaskierers ist bestimmt durch AM des Signalkontexts

Bernhard Laback[a], Hisaaki Tabuchi[b] und Armin Kohlrausch[c]
[a] *Institut für Schallforschung, ÖAW;* [b] *Universität Innsbruck;* [c] *Technische Universiteit Eindhoven*

Amplitudenmodulation (AM) eines Maskierers reduziert den simultanen Maskierungseffekt, also die Mithörschwelle für einen Zielreiz bei simultan dargebotenem Maskierer. Dieser Effekt zeigt sich z.B. bei Verwendung von harmonischen Komplexen mit variabler Phasenkrümmung (kurz: Phase), sogenannter Schroeder-Phasen-Komplexe (SPK), als Maskierer. Phasenbedingungen, die starke Modulation im periphären Gehör hervorrufen, bewirken deutlich schwächere Maskierung als jene, die wenig Modulation hervorrufen (Kohlrausch und Sanders, 1995), trotz konstantem RMS Pegel und Spektrum des Maskierers. Die vorliegende Studie testete die Hypothese, dass die maskierungsreduzierende Wirkung von AM von der AM des Gesamtsignals und damit vom spektro-temporalen Kontext abhängt. Dazu wurde der Effekt der Phase von SPKs (1600 bis 6400 Hz) auf die Maskierung eines simultanen Zielreizes (Sinuston mit 4 kHz) unter verschiedenen Kontextbedingungen

mit acht normalhörenden Probanden untersucht. Konsistent mit der Hypothese hatten zusätzlich dargebotene SPKs, entweder vor (Pre) oder nach (Post) dem SPK-Maskierer, starken Einfluss auf die Maskierung. Für modulierte Simultanmaskierer war die Mithörschwelle des Zielreizes bei modulierten Pre- und Post-SPKs ca. 15 dB niedriger als bei unmodulierten Pre- und Post-SPKs. Für unmodulierte Simultanmaskierer war der Effekt der Modulation der Pre- und Post-SPKs hingegen deutlich geringer. Die Ergebnisse zeigen, dass der Simultanmaskierungseffekt von der spektro-temporalen Konsistenz der AM des Maskierers mit der AM des Signalkontexts abhängt.

Do. 10:20 Raum 27 Psychoakustik 3

Beat Sensitivity in Musical Context of Children between 8 and 10 years old: an Auditory-Tactile Teaching Intervention

Martha Papadogianni - Kouranti[a], M. Ercan Altinsoy[b], Christina Anagnostopoulou[c] und Areti Andreopoulou[c]

[a] *TU Dresden / Department of Music Studies National and Kapodis, Athen;* [b] *TU Dresden, Professur für Akustik und Haptik;* [c] *Department of Music Studies, National and Kapodistrian University of Athens*

The central nervous system automatically tends to integrate various musical stimuli into one multimodal percept, organizing the inputs as being produced by a common extraneous source. Music making is considered to be a plurisensory experience where auditory, visual, tactile signals and body movements, contribute to the perception of several musical attributes, such as beat, meter, rhythm, pitch and timbre. The proposed ”in- classroom” study examined beat sensitivity on 29 third- grade and 31 fourth- grade greek students during the school year 2018-2019. This work is part of an on-going project aiming at enhance beat perception of children between 8 and 10 years old with an audio-tactile teaching approach. The sensitivity to beat alignment in musical context was tested with the cBAT (complex Beat Alignment Test). As far as the transmission of audible sound and tactile feedback is concerned, an experimental system was built which consisted of twelve MDF plates shaping a music-vibrating floor. Children could listen to the musical sounds from two loudspeakers, while ”feeling” the sound waves coming from the floor. Main research goal is to investigate whether there is a greater improvement of beat perception for children who experienced the audio-tactile teaching approach. Results are currently under evaluation.

Do. 10:40 Raum 27 Psychoakustik 3

On the Acoustic Conditions in Dental Clinics: A Grounded Theory Approach

Ayse Glass[a] und Roman Glass[b]

[a] *Mimar Sinan Fine Arts University;* [b] *Université Grenoble Alpes*

Sound is an important part in the design of dental clinics. While we know about the noise levels of the used machines, the experience of the dentists has to be taken into account methodically, as they cannot be reduced to noise protection. The research question is therefore, how can we improve the design of the dental clinics in response to the acoustic conditions and architectural needs? The aim is to understand those conditions from the perspective of the room user. Through semi-structured interviews with dentists a theory of the room usage is built up. To do this Grounded Theory, a method from the social sciences, was chosen. This theory in turn then establishes a socio-psychological frame to understand the experience with the acoustical conditions of dental clinics. The interview guide was based on the general acoustic conditions and the categorization of sounds. The Interviews were recorded, transcribed and coded. From the codes categories were built up that enable the designer to understand the relationships between the separate spaces, the design of the materials and furniture to improve the dental clinic's conditions for the dentist.

Sitzung „Description and implementation of audiovisual scenes for hearing research and beyond“

Do. 14:00 Raum 27 Audiovisual scenes for hearing research

Description and implementation of audiovisual scenes for hearing research and beyond

Stephan D. Ewert[a], Lubos Hladek[b], Felix Enghofer[b], Michael Schutte[c], Stefan Fichna[a] und Bernhard Seeber[b]

[a] *CvO Universität Oldenburg, Mediz. Physik und Cluster of Excellence Hearing4all;* [b] *TU München, Audio Information Processing;* [c] *Ludwig-Maximilians-Universität München, Biologie II*

Recent advances in virtual reality (VR) offer opportunities to combine realistic visual scenes with high-fidelity interactive spatial audio for audiovisual research. The industry standards for scene description formats target consumers, and technology is driven by the entertainment and video game industry. Acoustics and audio received less attention in this context. On the other hand, acoustic simulators built for hearing research, such as rtSOFE and RAZR, have precise control of the acoustics together with a high level of interactivity, but lack in the visual component. Here we demonstrate the use of a popular game engine in combination with our acoustic simulators for complete production of interactive audiovisual scenes.

The idea is to utilize the built-in scripting tools, the graphical user interfaces and the native support for VR equipment offered by the game engine. The acoustic simulators are stand-alone applications controlled by the game engine and our goal is to define and develop open and versatile protocols and interfaces to allow synchronized real-time control of the acoustic simulations, multi-modal synchronization as well as using offline generated acoustic simulations. We show use cases from our labs where we integrate the game engine with rtSOFE and RAZR into a complex audiovisual workflow.

Do. 14:20 Raum 27 Audiovisual scenes for hearing research

Description and rendering of audio-visual environments with the open source toolbox TASCAR

Giso Grimm und Volker Hohmann
CvO Universität Oldenburg, Dep. Medizinische Physik und Akustik

The Toolbox for Acoustic Scene Creation and Rendering (TASCAR) [1] is an open source framework developed for applications in audiology and hearing research. In this presentation we show how virtual environments are defined and rendered using this toolbox. The environment is defined in XML text files. Visual components can be added by means of the Open Sound Control (OSC) network protocol and game engines supporting this standard. Experimental paradigms can be realized using Matlab scripts. Examples of real-time interaction with the virtual environments, e.g., rendering stimuli from adaptive measurement software, are given. The effect of low delay interaction on computational efficiency is discussed.

[1] Grimm, G., Luberadzka, J., & Hohmann, V. (2019). A Toolbox for Rendering Virtual Acoustic Environments in the Context of Audiology. Acta Acustica United with Acustica, 105(3), 566-578. https://doi.org/10.3813/AAA.919337

Do. 14:40 Raum 27 Audiovisual scenes for hearing research

Opportunities for interactivity and personalisation in object-based audio broadcast environments

Michael Weitnauer und Benjamin Weiss
Institut für Rundfunktechnik GmbH

The object-based audio technology started recently becoming adopted by the broadcast community as part of the so called ”Next Generation Audio” evolution. Several solutions, formats and standards have already been published for the production or distribution of object-based audio broadcast content, some of them tied to a commercial format and others being codec-agnostic. The Audio Definition Model (ADM) has been defined for a rich audio object representation and definition independently from any commercial solutions and is intended to be used during the production process. For the delivery, multiple codecs such as MPEG-H, AC-4 or DTS-UHD are available with a varying range of personalization and interactivity possibilities. This presentation will provide an overview

of relevant standards and formats for the broadcast production and delivery of object-based audio and describe possibilities to personalize or interact with the audio scene from both a production and consumer perspective. Moreover, existing tools and libraries will be presented.

Do. 15:00 Raum 27 Audiovisual scenes for hearing research

Ein Memorandum zur Durchführung und Dokumentation von Audio-Produktionen für wissenschaftliche Anwendungen

Stefan Weinzierl[a], Franz Zotter[b], Dieter Leckschat[c], Malte Kob[d], Sascha Spors[e] und Bernhard Seeber[f]

[a] *TU Berlin, Fachgebiet Audiokommunikation;* [b] *Institut für Elektronische Musik und Akustik, Graz;* [c] *Hochschule Düsseldorf, FB Medien - Tonstudiotechnik;* [d] *HfM Detmold, Erich-Thienhaus-Institut;* [e] *Universität Rostock;* [f] *TU München, Audio Information Processing*

Bei der Veröffentlichung von Audioaufnahmen in einem künstlerischen Kontext besteht in der Regel keine Notwendigkeit, die akustischen Bedingungen wie den absoluten Schallpegel, die Positionen von Quelle und Empfänger oder den raumakustischen Anteil der Aufnahme umfassend und präzise zu dokumentieren. Für wissenschaftliche Anwendungen, etwa bei der Verwendung als Quellsignal für virtuelle akustische Szenen, als Stimulus für Hörversuche oder als Trainings- und Testsignal für das Music Information Retrieval, ist eine Kenntnis dieser Faktoren jedoch häufig unverzichtbar. Als gemeinsame Initiative der Fachausschüsse Virtuelle Akustik, Hörakustik und Musikalische Akustik wurde daher ein DEGA-Memorandum erarbeitet, das eine Art Pflichtenheft für die Durchfuöhrung und Dokumentation von Audio-Produktionen fuör wissenschaftliche Anwendungen enthält. Der Beitrag stellt die Empfehlungen des Memorandums vor, ebenso eine Datenbank nachhallarmer oder -freier Audioproduktionen, die im Rahmen eines DEGA-Projekts nach diesen Vorgaben produziert wurde und unter einer freien Lizenz für wissenschaftliche Zwecke verfügbar ist.

Do. 15:20 Raum 27 Audiovisual scenes for hearing research

Towards encoding perceptually salient early reflections for parametric spatial audio rendering

Fabian Brinkmann[a], Hannes Gamper[b], Nikunj Raghuvanshi[b] und Ivan Tashev[b]

[a] *TU Berlin, Fachgebiet Audiokommunikation;* [b] *Microsoft Research Redmond, Audio and Acoustics Group, USA*

Parametric spatial audio rendering provides a cost efficient means for perceptually convincing 3-D audio playback that is playback system agnostic and enables aesthetic modifications of the simulated rooms. We propose an end-to-end pipeline for parametric spatial audio rendering that is tested with nine simulated rooms spanning a large range of sizes and reverberation times. A key component of

the pipeline is a perceptually inspired model for determining a minimal set of salient early reflections to reduce computational complexity. The results suggest that rendering six early reflections is indiscernible from a fully-rendered reference for the tested speech content and frequency-independent room simulations. However, the proposed model requires further improvements with respect to detecting and selecting the right early reflections. The code is available from https://github.com/microsoft/Perceptual_saliency_of_early_reflections.

Sitzung „Augmented Acoustic Reality 1“

Do. 8:40 Future Space B Augmented Acoustic Reality 1

Vorhersagemodell für Schallquellenexternalisierung in VR/AR- Systemen

Robert Baumgartner und Piotr Majdak
Institut für Schallforschung, ÖAW

Virtuelle Realität (VR), erweiterte Realität (augmented reality, AR), Kopfhörerwiedergabe mit oder ohne Hear-Through-Option: all diese Systeme verfolgen das Ziel Schallquellen möglichst realistisch wieder zu geben. Während in natürlichen Hörsituationen Schallquellen üblicherweise externalisiert werden, d.h. einer räumlichen Position außerhalb des Kopfes zugeordnet werden können, resultiert Kopfhörerwiedergabe oft in einer Im-Kopf-Lokalisation. Eine umfangreiche Evaluierung obiger Wiedergabesysteme gestaltet sich besonders aufwändig, wenn Hörversuche erforderlich werden. Vorhersagemodelle können hier den Entwicklungsprozess sehr effizient unterstützen. In diesem Vortrag präsentieren wir ein phänomenologisches Modell zur Externalisierung von statischen Schallquellen. Es wird der Beitrag verschiedener akustischer Merkmale zur Externalisierung diskutiert und die Übereinstimmung der Modellvorhersagen mit Daten aus früheren Verhaltensexperimenten verglichen. Die Anwendung des Modells auf beliebige binaurale Signale wird diskutiert.

Do. 9:00 Future Space B Augmented Acoustic Reality 1

Perception of Speaker Directivity in Virtual Rooms

Henning Steffens[a], Steven van de Par[b] und Stephan D. Ewert[c]
[a] *CvO Universität Oldenburg, Dep. Medizinische Physik und Akustik;* [b] *CvO Universität Oldenburg, Acoustics Group and Cluster of Excellence Hearing4all;* [c] *CvO Universität Oldenburg, Mediz. Physik und Cluster of Excellence Hearing4all*

Sound sources, like a human speaker or musical instruments, radiate with a certain spatial directivity. This directivity contributes to the perception of the sound source and the sound field in rooms, affecting the spatial energy distribution of early reflections and late diffuse reverberation. For convincing acoustics simulation applicable in interactive virtual

environments and (mobile) acoustically augmented reality, sound directivity has to be considered. While source directivity appears relevant for early reflections, it is unclear to what extent perceptual effects average out and how spectral and spatial cues interact for source directivity perception for later reflections. Based on the perception of directivity, the acoustics simulation could be simplified. Here we assess to what extent directivity of a human speaker should be simulated regarding early reflections and diffuse reverberation. The computationally efficient hybrid approach to simulate and auralize binaural room impulse responses [Wendt et al., JAES, 62, 11 (2014)], combining an image source model with a feedback delay network, was extended to simulate source directivity. Two psychoacoustic experiments assessed the listeners' ability to distinguish between different virtual source orientations when the effect of source directivity was approximated by an average source directivity filtering for different higher reflection orders.

Do. 9:20 Future Space B Augmented Acoustic Reality 1

Listener behaviour in an audio-visual scene analysis task

Axel Ahrens, Kasper Duemose Lund und Torsten Dau
Technical University of Denmark, Hearing Systems

Normal-hearing listeners are able to localize and identify sound sources in complex multi-talker environments. Such an auditory environment can be simulated in the laboratory using a loudspeaker-based virtual sound environment and visual information can be reproduced using a virtual reality headset. However, it remains unclear how listeners behave in such virtual audio-visual multi-talker scenarios when performing a realistic task. In the current study, we investigated the ability of normal-hearing listeners to localize a single speech sources out of a mixture of simultaneously presented talkers. At the same time, the reaction time as well as the head- and eye-movement behaviour of the listeners were measured using the virtual reality headset. Preliminary results showed that the reaction time to identify and localize a target talker increased with increasing numbers of simultaneous talkers. Furthermore, the analysis of the head- and eye-movements was also found to increase.

Do. 9:40 Future Space B Augmented Acoustic Reality 1

Mixed Reality based mobile 3D HRTF measurement system

Song Li, Aly Tobbala und Jürgen Peissig
Leibniz Universität Hannover, Institut für Kommunikationstechnik

Head-related transfer functions (HRTFs) are essential for headphone-based 3D audio reproduction, which are highly dependent on individual anatomies and therefore have to be determined individually. There are already a variety of measurement methods available for accurately determining individual HRTFs, but most of them are exhausting for subjects and require extensive hardware setups, such as multi-loudspeaker systems, turntables, etc. To simplify the measurement process, Virtual Reality (VR) based HRTF measurement systems with a single loudspeaker

have recently been proposed to rapidly estimate HRTFs with arbitrary head movements. However, these systems are usually limited to estimate 2D HRTFs with a fixed distance between loudspeaker and listener. In this paper, a Mixed Reality (MR) based mobile measurement system is proposed for the fast estimation of distance-dependent 3D HRTFs. The passive and active normalized-least-mean-square algorithm (PA-NLMS) is used to estimate the HRTFs in real-time by evaluating the recorded ear signals. With this system, subjects are not only able to perform arbitrary head movements, but also to walk away or approach the real loudspeaker. In addition, the quality of the estimated HRTFs at each measurement point is calculated in real-time and displayed to subjects.

Do. 10:00 Future Space B Augmented Acoustic Reality 1

Acoustic transparency of commercial hearables and research hearing devices

Florian Denk[a], Henning Schepker[b], Simon Doclo[b] und Birger Kollmeier[a]
[a] *CvO Universität Oldenburg, Mediz. Physik und Cluster of Excellence Hearing4all;* [b] *CvO Universität Oldenburg, Dep. Medizinische Physik und Akustik*

Acoustic transparency, i.e., an unaltered perception of external sounds when wearing a hearing device, is a prerequisite for a good sound quality in many applications. It is especially crucial for the acceptance of hear-through headsets for augmented reality applications, or assistive devices targeted at (near-to) normal-hearing listeners. In this study, the acoustic transparency of seven commercial hearables as well as two research hearing devices developed at the University of Oldenburg was evaluated by assessing the deviation between the open-ear and the hear-through case with a neutral setting. To this end, directionally resolved insertion gain measurements were made in a KEMAR, which allowed a technical evaluation of introduced artefacts. Furthermore, the sound quality was subjectively evaluated on the basis of binaural recordings with a KEMAR wearing the devices. The results reveal large differences between the devices, ranging from minor, almost imperceptible differences between hear-through and open-ear listening, to severe impairments of the listening quality resulting from a biased listening level, spectral distortions and destruction of binaural cues. Both research devices show a good performance that is comparable to the best commercial devices.
Funded by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) - Projektnummer 352015383 - SFB 1330 A4 and C1.

Do. 10:20 Future Space B Augmented Acoustic Reality 1

Room Size and Geometry Classification based on Binaural Recordings using Artificial Neural Networks

Florian Klein[a], Stephan Werner[a], Jonathan Häußler[a] und Sascha Grollmisch[b]

[a] *TU Ilmenau, Fachgebiet Elektron. Medientechnik;* [b] *Fraunhofer IDMT*

The analysis of geometrical properties of a room by using binaural recordings is interesting for a wide variety of applications such as augmented auditory realities. Information from the real acoustic environment have to be included in the creation of such realities, but in most use cases measurements of Binaural Room Impulse Responses (BRIRs) is not possible. In this publication the usability of artificial neural networks for classifying room size and geometry was investigated. This information could be used to select BRIRs out of a database or to run an acoustical simulation. This publication gives an overview of concepts and developments in this research field. The design and creation of the data-set is explained in detail. Furthermore, the applied input representations of the audio signal as well as the investigated neural networks are explained. For the data-set, binaural recordings were conducted in 30 different rooms. Finally, the experiments and the suitability of different network architectures are discussed and the results are evaluated.

Do. 10:40 Future Space B Augmented Acoustic Reality 1

Präsentation der Poster, die dieser Sitzung zugeordnet sind (s.u.)

Sitzung „Augmented Acoustic Reality (Poster)“
Kurzvorträge: Do. 10:40 (Future Space B); Poster-Forum: Do. 11:00

Di.-Do. Augmented Acoustic Reality (Poster)

Directivity pattern measurement of a grand piano for augmented acoustic reality

Manuel Brandner[a], Nils Meyer-Kahlen[b] und Matthias Frank[a]

[a] *Institut für Elektronische Musik und Akustik, Graz;* [b] *Department of Signal Processing and Acoustics, Aalto, Finland*

In augmented reality the plausible and authentic reproduction of sound sources is key to achieve a high level of acceptance by the user. The research interest in sound source and receiver directivity characteristics has increased over the last decades as the availability of equipment and software applications for virtual and augmented audio reproduction in contrast to its price rises. A representation of the directivity characteristics on a full sphere represented as impulse responses in the spherical harmonics domain is beneficial for real-time rendering in augmented reality. To this moment no such directivity data for a grand piano is freely available. Therefore, we present a practical directivity measurement setup for measuring a grand piano under non-anechoic conditions. We

use a measurement array consisting of 22 microphones plus a reference microphone. The microphone positions are optimized to be set up easily in practice while providing numerical stability for the conversion into the spherical harmonics domain. The lower measurement points are arranged on the floor and compensated in level in accordance to acoustic theory. As the directivity data is used for augmented acoustic reality the impulse response calculation is investigated on its applicability in regard to low latency and high accuracy.

Di.-Do. Augmented Acoustic Reality (Poster)

Use of auditory augmented reality in the museum context - Technical realization

Stephan Werner, Florian Klein, Stefan Dietrich, Matthias Fritz Melzer und Georg Stolz
TU Ilmenau, Fachgebiet Elektronische Medientechnik

With the help of existing audio systems it is possible to create the illusion of a real and/or virtual spatial listening environment. By using position-dynamic binaural synthesis systems, the listener is able to perceive sound signals as it would be in a real scene and environment. This allows personalized acoustic simulations of real, virtual or combinations of real and virtual listening environments named as ”virtual” and ”augmented reality”. For example, it is possible to provide real exhibition objects of a museum with a virtual audio object fused with the real visual object and the real listening room. This contribution presents the technical aspects of an examplary installation which was conducted recently. The conceptual implementation, the generation of the required BRIRs and the interaction possibilities of the listener will be discussed. Finally, an insight into the intended use as a research demonstrator in the field of perception research and learning research is given.

Di.-Do. Augmented Acoustic Reality (Poster)

FPGA basierte Plattform zur akustischen Zeitumkehrfokussierung

Falco Edner, Michael Tornow und Ulrike Steinmann
OvG-Universität Magdeburg, IFAT, Lehrstuhl Messtechnik

Die hochaufgelöste örtliche und zeitliche Fokussierung elastischer Wellen, bspw. zur Erzeugung eines haptischen Feedbacks auf dünnen Plattenstrukturen, kann mittels Zeitumkehrakustik realisiert werden. Dafür ist die synchrone Anregung mittels der im Randbereich der Platte angebrachten Wandler mit zeitinvertierten, auf den jeweiligen Fokuspunkt kalibrierten Signalen erforderlich. Im Beitrag wird die technologische Umsetzung zur Anregung und Fokussierung transienter elastischer Körperschallwellen auf einer ebenen Platte (720x920x3 mm^3, PMMA) mit Hilfe einer eigenentwickelten FPGA-basierten Plattform vorgestellt. Diese ist hinsichtlich der Kanalanzahl (bis zu 32), der maximalen Verstärkung und Samplingrate (bis 2 MS/s) konfigurierbar. Die Güte der Fokussierung des fühlbaren Feedbacks wird im Hinblick auf eine hohe Auflösung und Dynamik sowie ein hohes Kontrastverhältnis der Refokussierung

vergleichend zu einem kommerziellen Gerät (National Instruments, 8-kanalig) bewertet. Anhand beider Systeme soll weiterhin die Generierung simultaner Feedbacks ($\geq$ 2) und die Entstehung unerwünschter Störimpulse außerhalb der Fokuspunkte analysiert werden. Zur weiteren Charakterisierung der transienten Schwingungen am/ im Bereich des Fokus wird ein Scanning Laser Doppler Vibrometer (Polytec PSV 500) verwendet.

Di.-Do. Augmented Acoustic Reality (Poster)

VR-Systeme für Soundwalks in virtuellen Umgebungen

Margareta Urbaniak, Sabrina Skoda und Jörg Becker-Schweitzer
Hochschule Düsseldorf, ISAVE

Will man innerstädtische Umgebungen bzgl. ihrer Akustik optimieren oder gar eine Voraussage über die akustische Umgebungsqualität bei noch nicht erstellten Straßenzügen oder Stadtteilen erreichen, scheint es unerlässlich alltägliche Geräuschkulissen für Versuchszwecke realitätsnah im Labor abzubilden. Um die Lebenssituationen in Hinblick auf Ihre komplexe Geräuschqualität unter labortechnischen Bedingungen optimal bewerten zu können, werden diese mit Hilfe von interaktiven Soundwalks in einer virtuellen Umgebung nahezu realitätsgetreu in eine 3D basierte (akustische) Welt projiziert. Ein für diese Zwecke eigens entwickelter Segway-Simulator sowie Equipment in Form einer VR-Brille ermöglichen es unter Zuhilfenahme von 360°- Aufnahmetechnik authentische Situationen zur Umgebungswahrnehmung von Schall- und Bildereignissen zu erstellen. Der Proband wird dabei in ein Real-Life Szenario versetzt, in dem er sich scheinbar frei bewegen kann. Durch den Aspekt einer simulierten Form von motorischer Bewegung auf einem Segway-Simulator und durch die Software basierte Einbindung von Ton und Bild kann letztendlich eine innovative Art von Interaktion zwischen Hörer/Proband und seiner akustischen (und visuellen) Umgebung hergestellt werden. Laborversuche zur Untersuchung von Wahrnehmungsorientierten Reizen können durch die Überführung von realen akustischen in virtuell akustische Szenarien optimiert und ein Fokus vornehmlich auf die eigentlichen Wahrnehmungsprozesse und ihre Auswertung gelegt werden.

Sitzung „Augmented Acoustic Reality 2“

Do. 14:00 Future Space B Augmented Acoustic Reality 2

Matching rooms perceptually - A review

Annika Neidhardt, Florian Klein, Stephan Werner und Karlheinz Brandenburg
TU Ilmenau, Fachgebiet Elektronische Medientechnik

For the realization of augmented auditory reality, the virtual acoustic objects have to be integrated into the real environment. One essential component is the creation of perceptually matching room acoustics.

A noticeable mismatch can affect localization, externalization as well as plausibility.
In this contribution we present a review of experiments investigating possible key elements of a successful adaptation of the room acoustics between binaural reproduction and the real environment. Not all elements have been understood in detail yet. One of the challenges in this process is the development of suitable psychoacoustic methods in order to consider the multimodal nature of room perception.
An analysis of the observations reveals fundamental cognitive elements and defines the path for further research. In this paper we summarize, what is known so far and which open question remain to be studied in further research.

Do. 14:20 Future Space B Augmented Acoustic Reality 2

Augmented Practice-Room - augmented acoustics in music education

Matthias Frank, Daniel Rudrich und Manuel Brandner
Institut für Elektronische Musik und Akustik, Graz

The acoustic properties of rooms not only affect the way an instrument is played but also how it is perceived by the audience. In music education, playing in concert halls with suitable acoustics often comes too short and happens rather in a late stage of training. Students then have to quickly adapt to the unfamiliar acoustic properties of the concert hall. The project Augmented Practice-Room brings concert hall acoustics to the practice room. The augmented acoustic reality tool uses open headphones or loudspeakers to play back the virtual acoustics while maintaining the direct sound path of the instrument. It is interactive in terms of location and orientation of the musician within the virtual room and also incorporates the directivity of the instrument. The software implementation is optimized for efficient and true zero-latency processing on standard computers with usual audio equipment. The application is currently installed in six practice rooms of a musical school and has been used in teaching since autumn 2019. An educational study accompanies the musical training for one full year investigating the effects of augmented acoustics in music education.

Do. 14:40 Future Space B Augmented Acoustic Reality 2

Eigenschaften der Fernfeldnäherung als Modell für Schallquellendirektivität

Jens Ahrens
Chalmers University of Technology

Repräsentationen von Schallquellendirektivitäten auf der Basis von Kugelflächenfunktionen (a.k.a. spherical harmonics) wurden in verschiedenen Anwendungsgebieten eingesetzt. Theoretisch deckt eine solche Repräsentation die gesamte abstandsabhängige Direktivität von der abstrahlenden Fläche bis hin zu beliebig weit entfernten Punkten im Freifeld ab. Die Messung der Direktivitäten von Schallquellen wie z.B. der

menschliche Stimme, Musikinstrumenten oder Industrieanlagen weist grundlegende Einschränkungen bzgl. der erreichbaren Genauigkeit und räumlichen Auflösung auf. Die kugelflächenfunktionsbasierten Darstellungen sind daher in ihrer Flexibilität beschränkt. Sofern die betrachtete Schallquelle eine endliche Ausdehnung aufweist, kann ihre Direktivität im Fernfeld als Kugelwelle mit richtungsabhängiger komplexer Amplitude angenähert werden. Im vorliegenden Beitrag analysieren wir den Geltungsbereich dieser Darstellung und illustrieren deren Eigenschaften bzgl. Interpolation, Extrapolation sowie der Aufarbeitung von Messdaten. Wir stellen Anwendungsbeispiele im Bereich der wellenbasierten raumakustischen Simulation sowie der räumlichen Audiowiedergabe vor.

Do. 15:00 Future Space B Augmented Acoustic Reality 2

Realisierung eines Schallprojektors mit verbessertem Abstrahlverhalten im hohen Frequenzbereich

Tom Wühle, Friedrich Beyer, Lukas Bulla, Sebastian Merchel und M. Ercan Altinsoy

TU Dresden, Professur für Akustik und Haptik

Durch die steigende Verfügbarkeit immersiver akustischer Szenen in Multimedia-, VR- oder AR-Anwendungen für Endverbraucher werden räumliche Audiowiedergabesysteme erforderlich, die effizient und einfach realisierbar sind. Insbesondere im VR- und AR-Bereich, sollten diese Wiedergabesysteme zudem die Umgebung des Hörers möglichst minimal beeinflussen. Eine Methode zur räumlichen Audiowiedergabe, die ohne die Platzierung verteilter Lautsprecher auskommt, ist die Projektion von Schall. Dabei wird Schall gebündelt in gezielte Raumreflexionspfade abgestrahlt um den Hörer aus Richtung dieser Reflexionen zu erreichen. Um auf diese Weise Hörereignisse in den zugehörigen Richtungen zu erzeugen, müssen Schallprojektoren jedoch möglichst wenig Direktschall abstrahlen. Konventionelle Schallprojektoren bestehen daher meist aus linienartig oder flächenmäßig angeordneten, stark richtenden, Lautsprecherarrays. In der Praxis ist die Bündelungsleistung von Lautsprecherarrays jedoch prinzipiell sowohl zu tiefen Frequenzen, als auch zu hohen Frequenzen beschränkt. Einen Lösungsansatz um das gewünschte Abstrahlverhalten möglichst weit zu hohen Frequenzen hin aufrechtzuerhalten, stellt die Verwendung einer großen Anzahl kleiner Lautsprecher dar. Die vorliegende Studie behandelt einen alternativen Lösungsansatz zur Verbesserung des Abstrahlverhaltens bei hohen Frequenzen. Dieser basiert vorranging auf der Nutzung von Schallbarrieren und der teilweise indirekten Platzierung von Lautsprechern am Schallprojektor. Es wird die Realisierung eines entsprechenden Schallprojektors vorgestellt. Seine Effektivität wird schließlich im Hinblick auf physikalische und psychoakustische Aspekte evaluiert.

Verzeichnis der Autorinnen und Autoren

Abawi, Yama 212
Abi Raad, Elie 83
Abreu, Luis Daniel 174
Abshagen, Jan 246, 247
Achs, Günther 188
Ackermann, David 112, 117, 224, 337
Adachi, Seiji 220
Adams, Christian .. 57, 153, 181, 183, 190, 190, 201, 303
Ahnert, Wolfgang 322
Ahrens, Axel 368
Ahrens, Jens 115, 126, 373
Aichinger, Philipp 235
Alexander, Brad 328
Algermissen, Stephan 244
Alma, Ugur Alican 356
Alon, David Lou 115
Alphei, Henning 282
Altenmüller, Eckart 53
Altinsoy, M. Ercan 150, 170, 171, 172, 173, 222, 262, 263, 264, 298, 299, 301, 327, 356, 358, 358, 359, 363, 374
Alvarez Romeo, Pablo 359
Alyasin, Mahdi 280
Amengual Garí, Sebastià 115
Anagnostopoulou, Christina . 363
Andreopoulou, Areti 363
Androsch, Peter 269
Anemüller, Jörn 180
Angermeier, Julian 349
Anisovich, Serafima 146
Aoki, Yohko 213, 323, 324
Appel, Christina 160
Araujo, Jose Carlos De 228
Arend, Johannes M. 110, 126
Arendt, Ilka 133
Ascone, Leonie 242
Ashraf Vaghefi, Shirin 259
Atamer, Serkan 264
Atzrodt, Heiko 190
Badel, Gloria T. 151, 154
Bader, Nicki 122
Bahrke, Kai 201
Bakardjiev, Petko 171
Bake, Friedrich 164, 170
Balazs, Peter 174, 174
Balz, Isabel 83
Barcikowski, Stephan 331
Bardt, Claudia 97, 224, 227
Bartolomaeus, Wolfram .. 70, 71, 292
Basner, Mathias 342
Batke, Johann-Markus 127
Bau, David 114
Baumann, Jan 252
Baumann, Uwe 350
Baumgart, Johannes ... 105, 293
Baumgartner, Robert 367
Baumhögger, Elmar 216
Baydoun, Suhaib Koji 87
Bechtel, Philipp ... 239, 240, 241, 326
Becker, Julian 258, 259
Becker, Stefan . 76, 167, 247, 304
Becker, Volker 287
Becker-Schweitzer, Jörg 100, 274, 372
Beer, Daniel 76, 79
Begau, Alexandra 231
Behn, Maximilian 165
Behrens, Tobias 196, 322
Beinstingel, Andreas 315
Beiroth, Kim Marcel 88, 89
Belke, Christin 103
Belschner, Torsten 303
Beltran, Raul 85
Benjamin, Aravindan 313
Bente, Klaas 204
Benz, Sarah 103, 103, 342
Berger, Anke 133
Berger, Frank 101
Bergmann, Regina 107
Bergner, Jakob 61
Berk, Lukas 153, 201
Bernschütz, Benjamin .. 291, 291
Berzborn, Marco 196
Best, Virginia 253
Beyer, Friedrich 172, 374

Biberger, Thomas 254, 265
Biedermann, Till 75
Biedermann, Wieland 91
Bielich, Olaf 294
Bietz, Heinrich 68
Birkholz, Peter 107
Bitzer, Jörg 175
Blaschke, Peter 189
Blau, Matthias 239, 256
Blech, Christopher 200
Bleiholder, Stefan 251, 252
Blickensdorff, Johannes 147
Blinstrub, Jason 137, 139
Blochberger, Matthias 275
Blumendeller, Esther 104
Bock, Eckhard 289
Bodden, Markus 303
Bodi, Andreas 205
Boegli, Hans 338
Böhm, Vera 144
Böldt, Sebastian 320
Bös, Joachim .. 57, 58, 204, 238, 303
Böswald, Marc 318
Bohne, Tobias 90, 140, 141
Bolles, Boris-Alexander . 117, 337
Bollhöfer, Matthias 200
Bolz, Paul 319
Boonen, Rene 95
Bootsveld, Felix 226
Bräunig, Jan 211
Brand, Thomas 253
Brandenburg, Karlheinz 230, 372
Brandner, Manuel 370, 373
Braren, Hark 113, 279
Bratz, Benedikt 325
Brell-Cockan, Sigrid 92
Breugelmans, Oscar 342
Brezas, Spyros 226
Brink, Mark 338
Brinkmann, Fabian 366
Brix, Sandra 58
Brosig, Deborah 302
Brown, Alan Lex 342
Brücher, Haiko 145
Bruns, Ferdinand 302
Bschorr, Oskar 214, 215
Buck, Markus 250
Buck, Ralf 169
Bürgel, Michel 215
Büttner, Clemens 320
Bulla, Lukas 374
Bulling, Jannis 186, 212
Burgmayer, Ralf 170
Burgschweiger, Ralf 89
Burkhardt, Martin 144, 148
Burkhart, Christian 285
Busch, Glib 220
Busse, Thomas 213
Bysted, Peter Leer 348
Caillet, Arnaud 302
Calarco, Francesca 104
Calloni, Massimiliano 302
Castro Pinto, Fernando 128
Chandra, Sourav 318
Châteauvieux-Hellwig, Camille ... 125
Chen, Kean 179
Cheng, Po Wen 104
Chocholaty, Bettina 87
Chudalla, Michael .. 70, 294, 295
Cieslak, Michal 135
Claaßen, Eike 260
Claes, Leander 94, 216
Clark, Charlotte 342
Conrad, Holger 77
Conter, Marco 296
Cordes, Patrick 226, 312
Cretti, Sean-Patrik 346
Crljenkovic, Martin 70
Czuka, Martin 296
Czwielong, Felix 76, 167
Daeglau, Mareike 231
Daniel, Christian 146
Dantscher, Sandra 133, 135
Dau, Torsten 368
David, Marion 360
De Gioannis, Riccardo 104
De Leeuw, Dick 178
Debener, Stefan 231
Delfs, Jan W. 72, 74, 168
Denk, Florian 255, 256, 258, 369
Dernbach, Gabriel 101
Diekmeyer, Lukas 83

Diemert, Jan 210
Dierke, Jürgen 74
Dietrich, Philipp 73
Dietrich, Stefan 371
Dietz, Christoph 184
Ding, Yuchen 166
Djukic, Mirko 156
Doclo, Simon 239, 256, 369
Döbler, Dirk 122, 287
Dörr, Marius 73
Doleschal, Florian . 151, 154, 157
Doma, Shaima'A 279
Domke, Matthias 155
Dorsch, Philipp 93
Drechsler, Andreas 119, 119, 267, 283
Dreier, Christian 110
Dreitler, Verena 188
Drossel, Welf-Guntram 144
Du, Bokai 172
Duemose Lund, Kasper 368
Dürre, Jan 311
Düvel, Nina 64
Dullinger, Sandra 197
Duvigneau, Fabian 146, 187
Ebert, Johannes 153
Ebner, Andrea 267
Eckert, Lucas 99
Eden, Wolfgang 123
Eder, Daniel 81
Edner, Falco 371
Eggers, Sebastian 294, 295
Ehrig, Lutz 77
Eichenlaub, Christoph 302
Eisener, Julian 328
Elmenhorst, Eva-Maria 104
Elsen, Katharina 70, 142, 142
Encina-Llamas, Gerard 352
Enge, Kajetan 276
Engeln, Lars 107
Enghardt, Lars 164, 165, 170
Enghofer, Felix 257, 364
Epe, Christian 281, 312
Epp, Bastian 348, 352
Erbes, Vera 91
Eser, Martin 192, 200
Eulitz, Christian ... 103, 103, 104
Eurich, Bernhard 261
Ewert, Roland . 72, 74, 168, 202, 203, 305, 307
Ewert, Stephan D. 235, 237, 254, 265, 357, 364, 367
Fabian, Clemens 189
Fallahi, Mina 239
Fassmann, Benjamin 160
Fatmi, Oussama 302
Faubel, Friedrich 250
Faulhaber, Meike ... 97, 224, 227
Fedtke, Thomas 102
Feldmann, Nadine 81
Felker, Alexander 123
Fels, Janina . 112, 113, 232, 234, 279, 279, 361
Felten, Judith 107
Fennel, Florian 143
Fernandez Grande, Efren ... 192
Fichna, Stefan 254, 265, 364
Fiebig, Andre 340
Fiedler, Bernhard 58
Fiedler, Lorenz 233
Fingscheidt, Tim 252
Fintor, Edina 241, 361
Fischenich, Alexander 265
Fischer, André 164
Fischer, Felix 164
Fischer, Heinz-Martin 267
Fleischer, Mario 210
Floss, Sebastian .. 167, 168, 183
Förster, Joachim 123
Forssén, Jens 59
Frank, Matthias ... 276, 278, 370, 373
Franke, Markus 171
Franzen, Jan 252
Freidhager, Clemens ... 308, 309
Fremerey, Stephan 230
Frenz, Marlitt 133
Friedrich, Björn 102
Fritzsche, Christoph 99
Fuchs, Andreas 296
Fuchs, Arno 58
Fuchs, Helmut V. 328
Fuchs, Karsten 101
Gaal, Mate 86, 204

Gabriel, Falk 107
Gajecki, Tom 62, 62
Galka, Andreas 354
Gamper, Hannes 366
Garí, Sebastià V. Amengual . 115
Gatt, Monika 108, 266, 267
Gautzsch, Tobias 205
Gebhardt, Jan 297
Gebhardt, Roman 182
Geladze, Ekaterine 125
Georgi, Markus 360
Georgi, Tom 210
Gerken, Merle 111
Getzmann, Stephan 231, 344
Geweth, Christian A. 316
Geyer, Thomas 69, 166, 166, 221
Gierse, Jan 216
Glass, Ayse 364
Glass, Roman 364
Gleine, Wolfgang 212, 219
Gnadeberg, Thure 97
Gnauck, Marco 144
Gökce, Bilal 331
Görlach, Matthias 336
Görne, Thomas 127
Goldmann, Kirsten 334
Gombots, Stefan 287
Gorenflo, Norbert 85, 161
Gottschalk, Martin 195
Goudarzi, Armin 225
Greif, Jakob 112
Grimm, Giso .. 63, 111, 231, 238, 365
Grizewski, Larisa 170
Gröhlich, Martin 318
Groh, Rainer 107
Grollmisch, Sascha 204, 370
Gropengießer, Martin 164
Grossarth, Stephan 103, 103, 342
Grothe, Timo 115, 224
Günther, Andreas 214
Günther, Hans-Michael 93
Gürbüz, Caglar 184, 192, 200
Guérin, Sébastien 158
Haase, Elke 327
Haase, Thomas 217
Habets, Emanuël A. P. 236
Hähnlein, Frederik 146
Häußler, Jonathan 370
Hage, Wolfram 170
Hahmann, Manuel 192
Hahn, Nara 271
Hahn, Pascal 210
Hammelmann, Frank 289
Hansen, Martin 239
Hasener, Jörg 84
Hatzissawidis, Grigorios 332
Hauth, Christopher 253, 255
Haverkamp, Michael 269
Hawi, Nael 131
Hecht, Kristin 330
Heidebrunn, Frank 294, 295
Heidemann, Lucas 120
Heider, Michael 315
Heimes, Anne 236
Heinemann, Bernhard 245
Heinrichs, Christian 187
Heinrichs, Eckhart 298
Heisterkamp, Fabian 226
Heitmann, Dirk 202
Helder, Rona 339
Helmholz, Hannes 115, 126
Heloui De Araujo, Frederico . 128
Hemmert, Werner 349
Hengst, Klaudius 323, 324
Henke, Anna-Sophia 221
Henneberger, Robert 157
Henning, Bernd 81, 82, 216
Hensel, Eric 144, 148, 211
Herff, Sohel 310
Herold, Gert ... 69, 286, 288, 230
Herr, Michaela 160, 168
Herrnberger, Maximilian 190
Herweg, Andreas 156, 258
Herzog, Stephan 175, 176
Hesse, Christian 137, 244
Hettler, Steffen 283
Hinrichs, Reemt 62
Hirsch, Karl-Wilhelm ... 240, 289
Hladek, Lubos 233, 257, 364
Höbel-Müller, Juliane 195
Höber, Sven 243
Höldrich, Robert .. 276, 277, 278

Höller, Christoph 282
Hölscher, Bernd-Christian .. 218, 244
Hölter, Arne 114, 271
Hörmeyer, Jasmin 90, 140
Hoffmann, Norbert 185
Hoffmann, Rüdiger 107
Hoffmeier, Jörn 320
Hohmann, Beat W. 273
Hohmann, Volker .. 63, 111, 231, 256, 348, 365
Holighaus, Nicki 315
Holstein, Peter 155
Holstein, Peter 101, 122, 214, 228
Holub, Jan 251
Holzhäuser, Tim 150, 263
Hoppe, Karl-Alexander 293
Hoppen, Hannah 212, 219
Hots, Jan 157, 259, 265
Houthuijs, Danny 342
Hrycak, Tomasz 199
Hu, Nan 163
Huber, Anton 125
Hubert, Florian 93
Hudasch, Carsten 239ff, 326
Hübelt, Jörn 99, 109, 319
Hübler, Arved C. 313
Hübner, Josephin 140
Hübschen, Tobias 251
Hülsebrock, Moritz 190
Hülsmeier, David 347
Hufschläger, Daniel 86, 204
Hupke, Robert 60, 116, 270
Huschbeck, Svenja 286
Husstedt, Hendrik 133
Huth, Christine 71
Huth, Tobias 56
Inkermann, David 56
Isermann, Ullrich 139
Jacqmot, Jonathan 152
Jäckel, Rainer 107
Jäcker-Cüppers, Michael 341
Jahnke, Alexander 122
Janevska, Marijana 64
Janssen-Stelder, Brigit 342
Jaron, Robert 158
Jekosch, Simon 285, 230
Jelich, Christopher 202
Jenderka, Klaus-V. 206
Johannesmann, Sarah 82
John, Sebastian 317
Jokisch, Oliver 345
Jonkeren, Mirco 90
Joost, Holger 102
Joshi, Pankaj 226, 312
Judd, Thomas 191, 207
Juhre, Daniel 146
Jukkert, Sergej 245
Jurgelucks, Benjamin 81
Kaiser, Bert 77
Kaiser, Thomas 354
Kaltbeitzel, Bernd 121
Kaltenbacher, Barbara 287
Kaltenbacher, Manfred .. 78, 167, 168, 183, 287, 305, 308, 309
Kameier, Frank 75
Kamenzky, Robert 189
Karimi, Mahmoud 202
Kasess, Christian H. 99
Kaulen, Bastian 247
Kausel, Wilfried 54
Kayser, Hendrik 256
Kayvantash, Kambiz 152
Keller, Michael 315
Kendoff, Daniel 131
Kersten, Simon 97
Kettler, Frank 251, 252
Keuchel, Sören 89
Kidd Jr., Gerald 253
Kiefer, Daniel A. 95, 219
Kiel, Mario 205, 206
Kies, Verena 360
Kimmig, Ivo 104
Kipping, Daniel 63
Kirchner, Karl-Richard 187
Kirner, Jakob 204
Kirsch, Christoph 237
Kitanovic, Jelena 281
Klähn, Lukas 165
Klärner, Matthias 212
Klages, Elin 249
Klatte, Maria 360
Klaus, Christian 300

Klein, Florian 370, 371, 372
Kleinfeller, Nikolai 190
Kleinhenrich, Christian . 239, 240, 241, 289, 326
Klemm, Markus 150
Kliesch, David 198
Kling, Christoph 86, 131, 135, 206
Klochkova-Schiefer, Mila 327
Kluth, Solitair 120
Knieper, Johannes 147
Knipfer, Christoph 133
Knobloch, Karsten 170
Knöfel, Björn 106, 196
Kob, Malte ... 117, 224, 337, 366
Koch, Christian 206
Koch, Iring 232
Koch, Max 330, 331
Kochan, Kay 226, 312
Kochanska, Iwona 353
Köbberling, Folke 325
Köhler, Karsten 282
Koehler, Mark 284
Köllner, Johannes 214
Költzsch, Peter 107
Köpfli Wicki, Magnus 132
Körper, Steffen 66
Kohlenberg, Fleming 164
Kohlrausch, Armin 362
Kohlsche, Thomas 199
Kohnen, Michael .. 112, 172, 255, 262, 270
Kohrs, Torsten 187
Kokabi, Omid 112, 319
Kolacz, Jakub 314
Kollmeier, Birger .. 255, 256, 258, 261, 347, 369
Kopiez, Reinhard 64
Korte, Silje 153
Krahé, Detlef 103, 103, 104
Kramer, Florian 348
Kranz, Burkhard 210
Kranzusch, Paul 255, 344
Krasteva, Petia 336
Kraus, Dieter 355
Krause, Louis 155, 357
Kreuter, Daniel 184
Kreuzer, Wolfgang 199
Kreuzinger, Johannes .. 163, 305
Kroh, Patrick K. 93
Kroll, Lothar 212
Kronowetter, Felix 184, 208
Kropp, Wolfgang 59
Kruck, Sebastian 170
Krueger, Melanie 253
Krumme, Matthias 94
Krzywinski, Jens 107
Krzywinski, Sybille 327
Kühner, Dietrich 298
Kujawski, Adam 286, 230
Kuntz, Matthieu 275
Kunz, Frieder 274
Laback, Bernhard 362
Lahiri, Claus 164
Laib, Felix 299
Lajmi, Lilia 346
Langa, Sergiu 77
Langenbucher, Tobias . 239, 240, 241, 326
Langer, Sabine C. . 56, 200, 325, 336
Langfeldt, Felix 212, 219
Laß, Andre 161, 162
Latz, Jörn 291
Laufs, Christian 258
Lauschkin, Maik 186
Lauster, Sebastian 270
Lautenbach, Margriet ... 194, 197
Lauterborn, Werner 330
Le Corre, Sandrine 152
Lechner, Christiane 330, 331
Leckschat, Dieter . 281, 312, 366
Lee, Alexander 72
Lehmann, Marius 128
Lehming, Bernd 298
Leinen, Stefan 238
Leist, Larissa 360
Lemke, Mathias 271
Lenz, Johann 193
Lerch, Reinhard 52
Letzel, Alexander 331
Lewitz, Hanna 247
Li, Han 179
Li, Song 60, 61, 368

Li, Zhe 84
Liang, Hong 355
Liberson, Lev 72
Lichtinger, Roland 190
Liebetrau, Judith 204
Liepert, Manfred 70, 71
Lin, Shy-Yea 160
Lincke, Dorothea 335
Lindner, Paul 319
Lippert, Stephan .. 199, 248, 249
Lippold, Moritz 272
Liu, Yuanyuan 317
Liu, Zhe 304
Llorca-Bofí, Josep . 92, 255, 262, 270
Lösch, Enrico 345
Löwen, Jonathan 226
Loh, Karin 234
Lohmann, Henning 147
Lohrenz, Timo 252
Lokki, Tapio 335
Lorenz-Kierakiewitz, Klaus-H. 178, 194
Lozo, Carina 346
Luberadzka, Joanna 63, 256
Ludwig, Gerhard 332
Lübeck, Tim 114, 115, 126
Luegmair, Marinus 178
Lüneburg, Lisa 107
Lugovtsova, Yevgeniya .. 82, 212
Lukashevich, Hanna 179
Lummer, Markus 72, 128
Lux, Christian 118
Lykartsis, Athanasios ... 101, 182
Maeder, Marcus ... 108, 266, 306
Männchen, Andreas 76
Mai, Christopher 221
Mair, Georg 317
Majdak, Piotr 99, 315, 367
Mann, Dennis 302
Marafioti, Andres 315
Maravich, Maria Mareen 358
Marburg, Steffen .. 58, 79, 87, 87, 108, 178, 184, 185, 192, 200, 202, 208, 209, 266, 293, 304, 306, 315, 316, 316, 317, 318, 359
Marhenke, Torben 84
Marschner, Uwe 171
Martens, Susanne 141
Martin, Rainer 344
Martin, Simon 302
Martinez, Sergio 143
Marx, Steffen 85
Maslak, Aleksandra 83
Maslaton, Martin 293
Masovic, Drasko 307
Mauermann, Manfred 261
Mauriz, Laura Estévez 59
Mayr, Andreas 122, 125
Mayrhofer, Dominik 78
Mecking, Simon 125
Mehra, Ravish 115
Meier, Andreas 66
Meier, Jens 83
Meierott, Mechthild 155
Meinke, Matthias 311
Mellert, Sebastian 92, 288
Melnikov, Anton 77
Melz, Tobias .. 57, 153, 181, 183, 190, 201, 303
Melzer, Matthias Fritz 371
Merchel, Sebastian 170, 172, 173, 222, 327, 374
Merkel, Tobias 85, 161
Mettin, Robert 328, 329, 330, 331, 333
Meyer, Nils 272
Meyer-Kahlen, Nils 370
Michael, Thilo 343
Mick, Kurt Jürgen ... 97, 224, 227
Milow, Barbara 212
Minker, Wolfgang 250
Mirkovic, Bojana 231
Misol, Malte 218
Mittag, Gabriel 343
Moeck, Steffen 101, 122
Möhler, Ulrich 103, 103, 104
Möller, Sebastian 343
Mößner, Michael 72, 74
Mohamady, Samira 245
Monner, Hans Peter 217
Monsalve Guaracao, Jorge M. 77
Montazeri, Allahyar 245
Moosrainer, Marold 200

Moreau, Antoine 159
Moreau, Danielle 166, 166
Mrosk, Andreas 77
Mühlbauer, Christian 260
Müllensiefen, Daniel 323
Müller, Benjamin 129
Müller, Gerhard 87
Müller, Kaspar 277
Müller, Stefan 71
Müller, Uwe 103, 103, 104
Müller-Giebeler, Mark 324
Münch, Hans-Joachim . 122, 214
Muhammad, Imran 236, 237
Myck, Thomas 138
Nagathil, Anil 344
Namenas, Alexej 354
Natzschka, Tim 327
Nau, Clemens 185
Naujoks, Patrick 226, 312
Naumann, Kai 124
Neidhardt, Annika 372
Neifeld, Andrej 203
Nejedl, Volkmar 246
Neubauer, Philipp 303
Neudek, Daniel 344
Neugärtner, Jörg 155
Neumann, Jörg 107
Niehaus, Janosch 133
Niekiel, Florian 76
Nieland, Natanael 177
Nissen, Ivor 352
Niu, Yanrong 245
Nogueira, Waldo 62, 62, 63
Noll, Anton 346
Nolte, Annika 129
Nophut, Marcel 60, 116, 270
Nowak, Jonathan 287
Nowak, Patrick 280
Nusser, Bernd 118
Nustede, Eike Jannik 180
Oberem, Josefa 232
Oberfeld-Twistel, Daniel 238, 265
Obleser, Jonas 233
Ochmann, Martin 89, 217
Öhler, Sven 121
Oetjen, Arne 155, 157, 260, 264, 357
Oetting, Dirk 348
Ohl, Claus-Dieter 329f, 332f
Ohl, Siew-Wan 329
Ohlenbusch, Mattes 175
Ohlmann, Kristin 258
Orf, Martin 233
Ostermann, Jörn 62
Panicker, Pramul 313
Papadogianni-Kouranti, Martha .. 363
Pape, Christian 243, 243
Paschereit, C. O. 75
Pasteur, Samuel 123
Paszkiewicz, Artur 288
Paul, Leon 302
Pausch, Florian 112
Pausch, Konrad 310
Peissig, Jürgen ... 60, 60, 61, 61, 97, 116, 127, 270, 280, 368
Pelz, Peter 332
Perraudin, Nathanaël 315
Peter, Martin 131
Petry, Nico 274
Pfaffelhuber, Klaus 152
Phan, Le Son 314
Picinali, Lorenzo 215
Picker, Kevin 225
Piepiorka, Joscha 161, 162
Pies, Kai 143
Piper, Henning 116
Piscoya, Rafael 217
Plaßmeyer, Peter 107
Plath, Gernot 104
Plech, Anton 331
Plitzner, Michael 222
Podszuweit, Daniel 267
Pörschmann, Christoph 110, 114, 126
Poets, Alexander 127
Ponschab, Michael 95, 219
Popp, Christian 339
Poppitz, Josef 237
Poschadel, Nils 280
Potchinkov, Alexander 175
Pott-Pollenske, Stephan-M. ... 74
Poulos, Thanos 152
Prager, Jens 82, 186, 212

Preihs, Stephan . 60, 61, 97, 116, 270, 280
Preißner, Patrick 250
Preuss, Simone 79
Probst, Wolfgang 290
Proskurov, Stanislav 307
Pucher, Michael 346
Püschel, Dirk 239
Puhle, Christof 287
Qiao, Ziliang 355
Qiu, Xunlin 313
Quaium, Farid 312
Quandt, Eckhard 247
Quinto-Su, Pedro 333
Raabe, Armin 228
Raake, Alexander 230
Rabl, Hans-Peter 260
Rabold, Andreas 125, 284
Radestock, Martin 96, 217
Raghuvanshi, Nikunj 366
Raida, Hans-Joachim .. 214, 215
Raitor, Till 139
Rajbamshi, Shristi 174
Ram, Matthias 88
Ramos Ruiz, Andrés E. 327
Rapet, Julien 333
Rechenberger, Sven 193
Reese, Hendrik 332
Reich, Marius 75
Reich, Stefan 331
Reichart, Urs 294
Reiche, Nils 72
Reichl, Christoph 99
Reichmann, Felix 262
Reimes, Jan 251
Reinhold, Steffi 119
Reisgen, Uwe 83
Reisinger, Michael 81
Reithmeier, Eduard 243, 243
Rembold Petraglia, Felipe ... 149
Ren, Yaxiong 181
Rennies-Hochmuth, Jan 253, 253
Retka, Stefanie 210
Reuper, Björn 238
Reuter, Fabian 330, 332
Riahi, Farbod 331
Richter, Andreas 171
Richter, Ina 158
Rieger, Anna 260
Rieger, Iris 104
Ring, Tobias P. 325, 336
Roden, Reinhild 256
Röhrich, Michael 157
Römer, Ulrich 200
Röttges, Saskia 253
Rohlfing, Jens 213
Rohrer, Nils 252
Rokita, Dagmar 92, 288
Rolfes, Raimund 90, 140, 141
Rollwage, Christian 175
Roloff, Thomas 218
Rosenkranz, Robert 263, 356
Roskosch, Lukas 291
Rosselló, Juan Manuel 328ff
Rossian, Lennart 168
Rossignol, Karl-Stéphane ... 168
Rothe, Sebastian 56
Rottengruber, Hermann 157, 187
Roverud, Elin 253
Rucz, Péter 223, 309
Rudolph, Mathias 214
Rudrich, Daniel 373
Rüther, Torben 216
Ruff, Andreas 119
Rummukainen, Olli S. 236
Rupitsch, Stefan J. ... 93, 95, 219
Rupp, Andreas 222
Rusconi Clerici, Andrea 78
Saati Khosroshahi, Ferina .. 293, 316
Sachau, Delf 228, 245
Samani, Omid 298
Sammet, Jennifer 292
Sandmann, Kai 184
Sarac, Busra Ekim 328
Sarradj, Ennes ... 158, 166, 188, 285, 286, 288, 230, 300, 301, 307, 310
Saß, Bernd 118
Satcunanathan, Sutharsan .. 311
Sautter, Jonas 250
Schaal, Jochen ... 191, 207, 321
Schade, Lars 297
Schade, Stephen 158

Schady, Arthur 70, 142, 142
Schädler, Marc René .. 255, 344, 348, 347
Schäfer, Ingo 89, 246
Schäfer, Magnus 180
Schäfer, Philipp 113
Schäfers, Martin 68, 123
Schäl, Timothy 354
Schaffert, Michael 264
Schanda, Ulrich .. 122, 125, 197, 282, 283
Scharloth, Joachim 107
Scheck, Jochen ... 120, 120, 283
Scheffe, Matthias 177
Scheinhardt, Michael 152
Schelle, Florian 129
Schenk, Harald 77
Schenk, Hermann A.G. 77
Schepker, Henning 256, 369
Scheunemann, Stefan .. 205, 206
Schievelbusch, Uwe 153
Schiller, Julian 243
Schilp, Andreas 144
Schirmer, Hartmut 196
Schlieper, Roman 60, 61, 97, 127
Schlittmeier, Sabine ... 241, 361, 360
Schmelt, Andreas Sebastian .. 84
Schmelzer, Martin 227
Schmerler, Rico 211
Schmid, Johannes 178
Schmid, Jonas 192
Schmidt, Georg C. 313
Schmidt, Gerhard . 247, 249, 251, 354
Schmidt, J. Alexander 299
Schmitt, Stefan 104
Schmitz, Alfred 131
Schmutzhard, Sebastian 199
Schneehagen, Erik . 69, 166, 166
Schneider, Marc 73, 128
Schneider, Martin 173
Schneider, Martin .. 68, 123, 282
Schneider, Sarah 189
Schneider, Sebastian 157
Schoder, Stefan ... 305, 308, 309
Schöneweiß, Robert ... 131, 206
Schöpfer, Fabian 122, 125
Schörkhuber, Christian . 277, 278
Scholz, Dieter 193
Scholz, Magdalena 359
Schrader, Peter 146, 187
Schreckenberg, Dirk ... 103, 103, 104, 342
Schreiner, Nico 284
Schröder, Max 91
Schröder, Wolfgang 310, 311
Schuffenhauer, David 77
Schulte-Fortkamp, Brigitte ... 341
Schultz, Frank . 91, 114, 116, 182
Schultz, Julius 200
Schulz, Anita 170
Schulz, Detlef 109
Schulz, Florian 249
Schulze, Christian 99, 319
Schulze, Veronika 81
Schutte, Michael 235, 364
Schwark, Fenja 344
Schwarz, Michael 81
Schwendicke, Anna 262, 358
Schwertfirm, Florian 163
Seeber, Bernhard 179, 233, 257, 275, 350, 364, 366
Seitz, Steffen 101
Selzer, Jan 129
Sentpali, Stefan 157
Sepahvand, Kian K. ... 178, 208, 304, 316, 316, 317, 318
Seume, Jörg 164
Sgrieß, Daniel 225
Sharma, Sparsh 310
Sickert, Peter 133, 134
Siedenburg, Kai 52, 215, 334, 334, 362
Siegert, Ingo 195, 345
Simanowski, Kai 228
Sinapius, Michael .. 96, 218, 244
Sittl, Christopher 209
Skoda, Sabrina 274, 372
Skowronek, Viktor 70
Sladeczek, Christoph 58
Slomski-Vetter, Elena Maja .. 183
Soler, Ricardo 313
Sonntag, Sven 80

Sørensen, Liv Moretto 348
Sotnik, Dimitri 353
Sottek, Roland 145, 146, 259
Späh, Moritz 323, 324
Spanka, Florian 150
Spehr, Carsten 128
Spielvogel, Tim 293
Spors, Sascha 91, 116, 182, 271, 366
Stampka, Katja ... 158, 188, 300f
Stange-Kölling, Sylvia 67
Steffens, Henning 367
Steffens, Jochen .. 100, 320f, 323
Stein, Jonas 85, 161
Stein, Lewin 271
Steinbach, Lisa 299, 301
Steinhausen, Ralf 206
Steinmann, Ulrike 371
Stender, Merten 185
Stephens, Dwayne Savio ... 328, 329, 333
Stephenson, Uwe 192, 208, 321, 326
Steuck, Christian 208, 326
Steuer, Svea 362
Stich, Lukas 180
Stienen, Jonas 111, 149
Stoltenberg, Arne 246
Stolz, Georg 371
Stolz, Michael 77
Stoppel, Fabian 76
Straube, Florian 114, 271
Strigari, Fabio 70, 292
Strümpfel, Christoph ... 286, 140
Sukalo, Drazenko 313
Sukowski, Helga 130
Sultani, Hoshang 160
Sun, Xiaodong 316
Suryadi, Alexandre 168
Tabak, Emma 339
Tabuchi, Hisaaki 362
Taddei, Francesca 87
Tashev, Ivan 366
Tauböck, Georg 174
Tervo, Matti 331
Thielen, Sven 312
Thönnessen, Dominik 274
Thuren Lindahl, Jens 352
Tietz, Jana 96
Tietze, Thomas 188
Tobbala, Aly 368
Tölke, Ralf 291
Töpken, Stephan 106
Tornow, Michael 371
Torres, Julio 149
Traub, Stefanie 68
Trimpop, Mattias 98
Tröster, Thomas 216
Troge, Jan 144, 210
Tschakert, Roman 69
Tsokaktsidis, Dimitrios Ernst . 185
Twiefel, Jens 84
Ueberle, Friedrich 92, 288
Uhl, Frank 151
Uijt De Haag, Maarten 286
Ullisch-Nelken, Christian 131
Ulveczki, Mihaly Adam 223
Uppenkamp, Stefan 351, 362
Urbaniak, Margareta 372
Utzig, Lukas 58
Van Beek, Annemarie 342
Van de Par, Steven 106, 155, 237, 239, 260, 264, 334, 357, 360, 367
Van Dijk, Chris 220
Van Kamp, Irene 342
Van Kempen, Elise 339, 342
Van Poll, Ric 339
Vater, Analena 170
Venor, Joseph 302
Vercammen, Martijn 194, 197
Verhey, Jesko 102, 151, 154, 157, 259, 265
Versümer, Siegbert 100
Vietor, Thomas 56, 336
Vogelsang, Berthold 138
Vollmer, Lukas 112
Von Berg, Markus 323
Von Estorff, Otto 88, 89, 108, 147, 160, 161, 162, 199, 219, 248, 249
Von Pein, Jonas 248

Vorländer, Michael .. 83, 92, 110, 111, 113, 128, 149, 172, 196, 198, 236, 237, 255, 262, 270, 324
Wachter, Florian 247
Wadle, Lisa-Marie 129
Wagner, Bernhard 76
Wagner, Marcus 209
Wagner, Sebastian 220
Wagner, Udo 155
Walker, Urs 338
Wall, Franziska 77
Walther, Sonja 86
Warzybok, Anna 255, 348
Wasmer, Paul 186
Waubke, Holger 99, 199
Weber, Lutz 121
Weber, Martin 80
Weber, Rainer 260
Webersen, Manuel 94
Webersen, Yvonne 94
Weege, Tobias Andreas 117, 337
Weese, Barbara 326
Wegerhoff, Matthias 145
Wehr, Reinhard 296
Wei, Yintao 304
Weigand, Stefan 229, 321
Weinzierl, Johanna 122
Weinzierl, Stefan . 101, 112, 114, 198, 271, 319ff, 323, 328, 336, 366
Weisheit, Konrad 58
Weiss, Benjamin 365
Weißgerber, Tobias 350
Weitnauer, Michael 365
Welkers, Dik 339
Wellner, Frohmut 319
Wendemuth, Andreas 195
Wenzel, Sören 183, 238
Werner, Stephan . 230, 370, 371f
Wieczorek, Florian 358
Wiegand, Till 249
Wiegrebe, Lutz 235
Wieland, Wilfried 67
Wijetillake, Aswin 350
Wilczek, Tobias 321
Wilkens, Volker 80
Winger, Hans 358
Winter, Fiete 116, 182
Winter, René 318
Wisch, Tim Owe 249
Witew, Ingo 198
Witte, Matthias 161, 162
Wittstock, Volker 67f, 225ff
Wöckel, Sebastian 207
Wöstmann, Malte 233
Wolf, Maik 214
Wolf, Michael 285
Wolff, Andrea 131, 135, 135, 206
Wolff, Oliver 123, 268
Wolters, Maren 283
Woschke, Elmar 146
Wothge, Jördis 338
Wühle, Tom 172, 374
Wurm, Frank-Hendrik .. 161, 162
Xu, Duo 149
Ye, Chencheng 355
Zagar, Bernhard G. 81
Zaleski, Olgierd 147
Zapf, Dominik 230
Zehmer, Pascal 274
Zeitler, Berndt ... 68, 69, 72, 119, 119, 120, 120, 123, 282
Zeng, Xiangyang 172
Zenker, Benjamin 170, 173
Zhang, Tingyi 166
Zhou, Xiaoru 323, 324
Zillmann, Benjamin 184
Zimmermann, Liesa 188
Zimmermann, Markus 149
Zimpfer, Véronique 280
Zirn, Stefan 349
Zölzer, Udo 280
Zollitsch, Dieter 191
Zotter, Franz 275, 277, 277f , 366
Zschocke, Dominik 214

Anreise zum Tagungsgelände

Vom Hauptbahnhof Hannover (jeweils 10 Min.)

- Buslinie 128 oder 134 Richtung Peiner Straße direkt bis zum Hannover Congress Centrum
- Alternativ: Ab Kröpcke (Stadtbahn-Station am Hauptbahnhof) mit der Stadtbahn Linie 11 (Richtung Zoo) bis Hannover Congress Centrum

Die Stadtbahnlinie 11 hält am HCC aufgrund von Bauarbeiten auf der Westseite des Theodor-Heuss-Platzes (s. Innenumschlag). Am Wochenende vor der DAGA fahren ersatzweise Busse.

Vom Flughafen Hannover (Langenhagen)

- S-Bahn 5 bis Hauptbahnhof (17 Minuten), dann s. oben

Anreise mit dem Pkw

- Ihr Navigationsgerät findet den Tagungsort unter der Adresse: HCC Hannover, Theodor-Heuss-Platz 1-3, 30175 Hannover

Parkmöglichkeiten

Das Parkhaus des HCC befindet sich neben dem Tagungsgebäude (rechts, wenn man auf das HCC zufährt) und ist über die Schackstraße / Ecke Mars-la-Tour-Straße erreichbar (s. Innenumschlag hinten). Das Parkhaus ist durchgängig geöffnet, der maximale Tagespreis beträgt 3,50 Euro.

Stadtinformation
Informationen zu Hannovers reichhaltigem kulturellen und touristischen Programm finden Sie zusammengefasst auf:
→ *https://www.hannover.de/Tourismus*

Geldautomat
Im Erdgeschoss-Foyer des HCC befindet sich ein Geldautomat. Zahlreiche weitere befinden sich rund um den Hauptbahnhof.

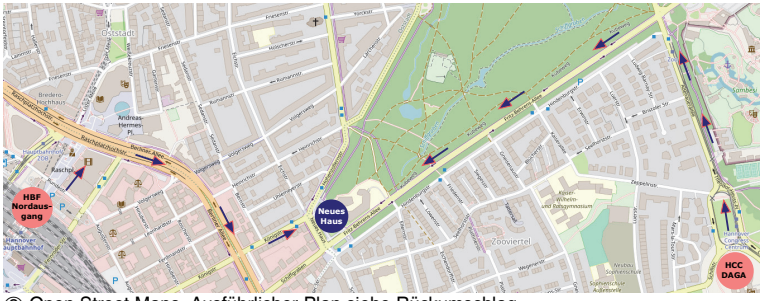
Wegbeschreibung zum Neuen Haus der HMTMH
Vorkolloquium am Montag, 16. März; Neues Haus, Hörsaal 202

Vom Hauptbahnhof

- Bus ab Hbf. bis „Neues Haus“ (6 min):
  Linie 121 (Ri. Haltenhoffstraße) oder 134 (Ri. Peiner Straße)
- 10-minütiger Fußweg: Bahnhof Richtung Nordausgang verlassen. Vorplatz überqueren bis zur Berliner Alle. Rechts in Berliner Allee einbiegen und Straßenverlauf folgen. Bei Königsstraße links einbiegen und geradeaus auf das Gebäude zulaufen.
- Das Vorkolloquium kann ohne Tagungsausweis besucht werden. Sie können direkt dorthin anreisen.

Vom HCC

- Bus bis „Neues Haus“ (5 min): Linie 134 (Ri. Nordring / Hbf.)
- 20-minütiger Fußweg: Adenauerallee folgen (am Zoo entlang). Links in die Fritz-Behrens-Allee einbiegen und Straßenverlauf folgen. Rechts nach „Neues Haus“ abbiegen.



© Open Street Maps. Ausführlicher Plan siehe Rückumschlag

Wegbeschreibung vom HCC zum Geselligen Abend
Dienstag, 17. März, im Lichthof des Welfenschlosses der Leibniz-Universität Hannover, Welfengarten 1

Mit der Stadtbahn:

- Stadtbahnlinie 11 (Richtung Haltenhoffstr.) bis Haltestelle Marienstr.
- Ab Marienstr. Stadtbahnlinie 4 (Richtung Garbsen) oder Stadtbahnlinie 5 (Richtung Stöcken) bis zur Haltestelle Leibniz Universität
- Das Welfenschloss der Leibniz Universität befindet sich auf der gegenüberliegenden Straßenseite (2 Gehminuten). Direkt vor dem Haupteingang befindet sich das Niedersachsenross (weithin sichtbar).
- Ein barrierefreier Zugang ist links neben dem Haupteingang zu finden. Hier im Untergeschoss befindet sich ein Aufzug, bitte die Ausschilderung beachten.

Mit dem Auto:

- Adresse:
  Leibniz Universität Hannover, Welfengarten 1, 30167 Hannover
- Eine begrenzte Anzahl an Parkplätzen befindet sich vor dem Gebäude. Wir empfehlen die Anreise mit den öffentlichen Verkehrsmitteln.

Wegbeschreibung vom HCC zur Christuskirche
Konzert mit dem Mädchenchor Hannover am Mittwoch, 18. März

Mit der Stadtbahn:

- Stadtbahnlinie 11 (Richtung Haltenhoffstr.) bis zur Haltestelle Christuskirche
- Die Christuskirche befindet sich direkt neben der Haltestelle.

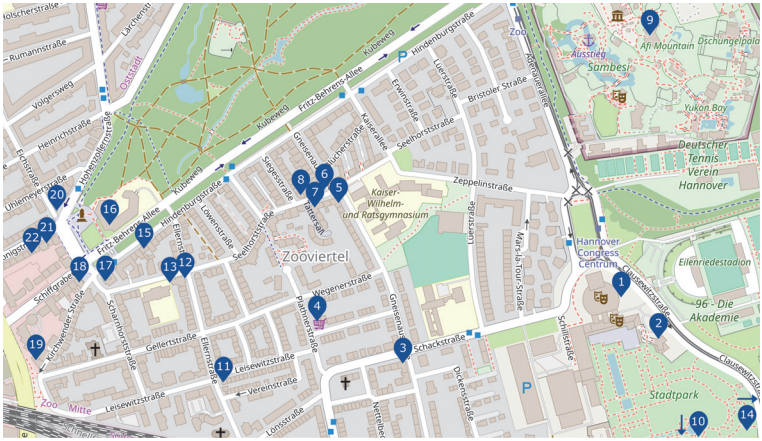
Mit dem Auto:

- Adresse:
  Christuskirche, Conrad-Wilhelm-Hase-Platz 1, 30167 Hannover
- Begrenzt sind Parkplätze in den Seitenstraßen vorhanden. Wir empfehlen die Anreise mit den öffentlichen Verkehrsmitteln.

Hinweise zur Verpflegung

Während der Tagung stehen Ihnen Kaffee, Tee und Wasser an den Getränkestationen zur Verfügung.

Mittagsverpflegung in fußläufiger Umgebung



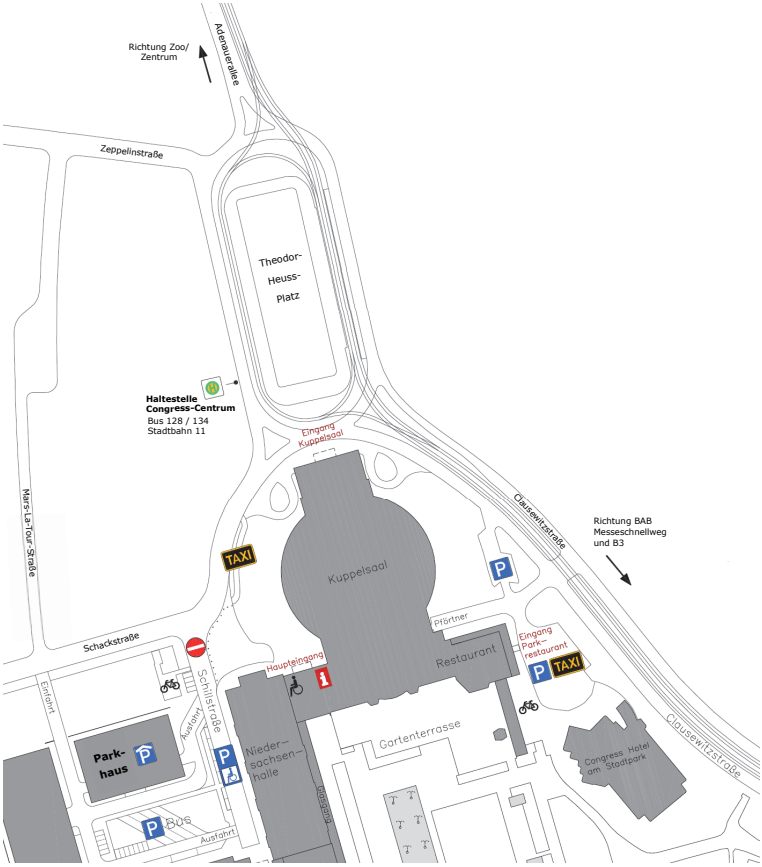
© Open Street Map

- *Vor dem Tagungsgebäude werden voraussichtlich eine kleine Anzahl an mobilen Imbissmöglichkeiten verfügbar sein.*
- *1 - Parkrestaurant im HCC / Tagungsgebäude*
  - frisch, regional, bio - Theodor-Heuss-Platz 1, 11.30 - 18.30 Uhr
- *2 - Deins - Restaurant im Kongresshotel*
  - Steaks und weiteres - Clausewitzstraße 6, 12.00 - 24.00 Uhr
- *3 - Hindenburg Klassik*
  - italienisch - Gneisenaustraße 55, 12.00 - 14.00 Uhr
- *4 - Frischmarkt Kasper*
  - Edeka Supermarkt - Plathnerstraße 42, 08:00 - 19:00 Uhr
- *5 - Bäckerei Göing*
  - Bäckerei - Seelhorststraße 50, 06.30 - 18.00 Uhr
- *6 - Bistro Stromboli*
  - italienische Küche - Gneisenaustraße 17, 08.00 - 22.30 Uhr
- *7 - Vienna*
  - österreichische Küche - Seelhorststraße 44, 12.00 - 14.00 Uhr

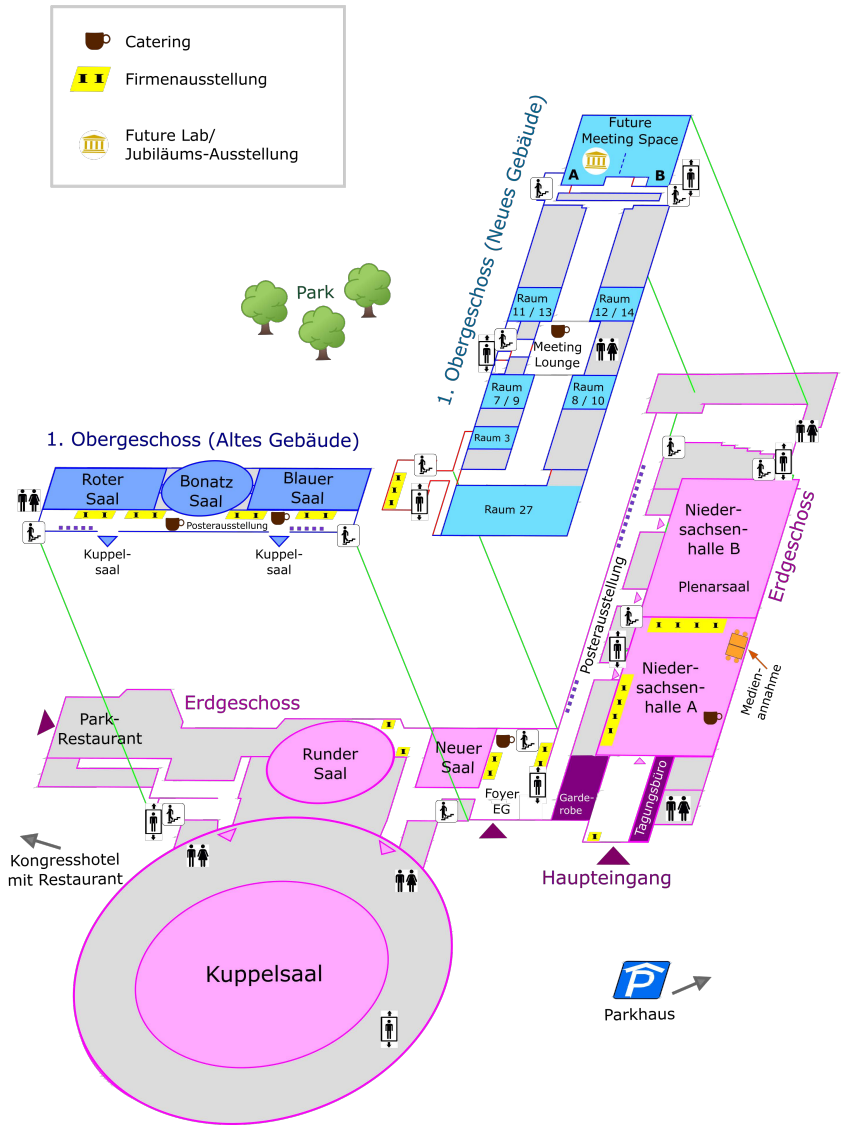
- *8 - Pizza - Diyar Döner*
  - Döner und Pizza - Siegesstraße 8, 11.00 - 21.30 Uhr
- *9 - Hoflokal (Eingang am Zoo-Parkplatz)*
  - saisonal und regional - Adenauerallee 1, 12.00 - 22.30 Uhr
- *10 - Aral Tankstelle*
  - Bäckerei - Hans-Böckler-Allee 33, 00.00 - 24.00 Uhr
- *11 - Wirtschaft Leisewitzstübchen*
  - deutsche Küche - Leisewitzstraße 33, 12.00 - 14.30 Uhr
- *12 - Bäckerei Göing*
  - Bäckerei - Ellernstraße 10, 06.30 - 18.00 Uhr
- *13 - Hoftalente*
  - Hofladen mit Frischetheke - Seelhorststraße 12, 10.00 - 18.00 Uhr
- *14 - Milazzo*
  - italienische Küche - Kleestraße 6, 12.00 - 15.00 Uhr (Mi Ruhetag)
- *15 - Zurück zum Glück*
  - deutsche Bioküche - Hindenburgstraße 7, 09.00 - 21.00 Uhr
- *16 - Mensa der HMTMH*
  Neues Haus 1, 11.30 - 14.00 Uhr
- *17 - Da Andrea*
  - italienische Küche - Hindenburgstraße 1B, 06.30 - 22.00 Uhr
- *18 - Tiffany's Bar*
  - Café und italienische Küche - Schiffgraben 48, 10.30 - 24.00 Uhr
- *19 - Speiserei Hannover*
  - deutsche Küche - Berliner Allee 33, 12.00 - 22.30 Uhr
- *20 - Suppenstation*
  - Suppen - Eichstraße 2, 11.00 - 17.00 Uhr
- *21 - Belle Kokoye*
  - karibisch und international - Königstraße 25, 11.30 - 14.30 Uhr
- *22 - Wok'n'Joy*
  - vietnamesisch - Königstraße 24, 11.30 - 22.00 Uhr

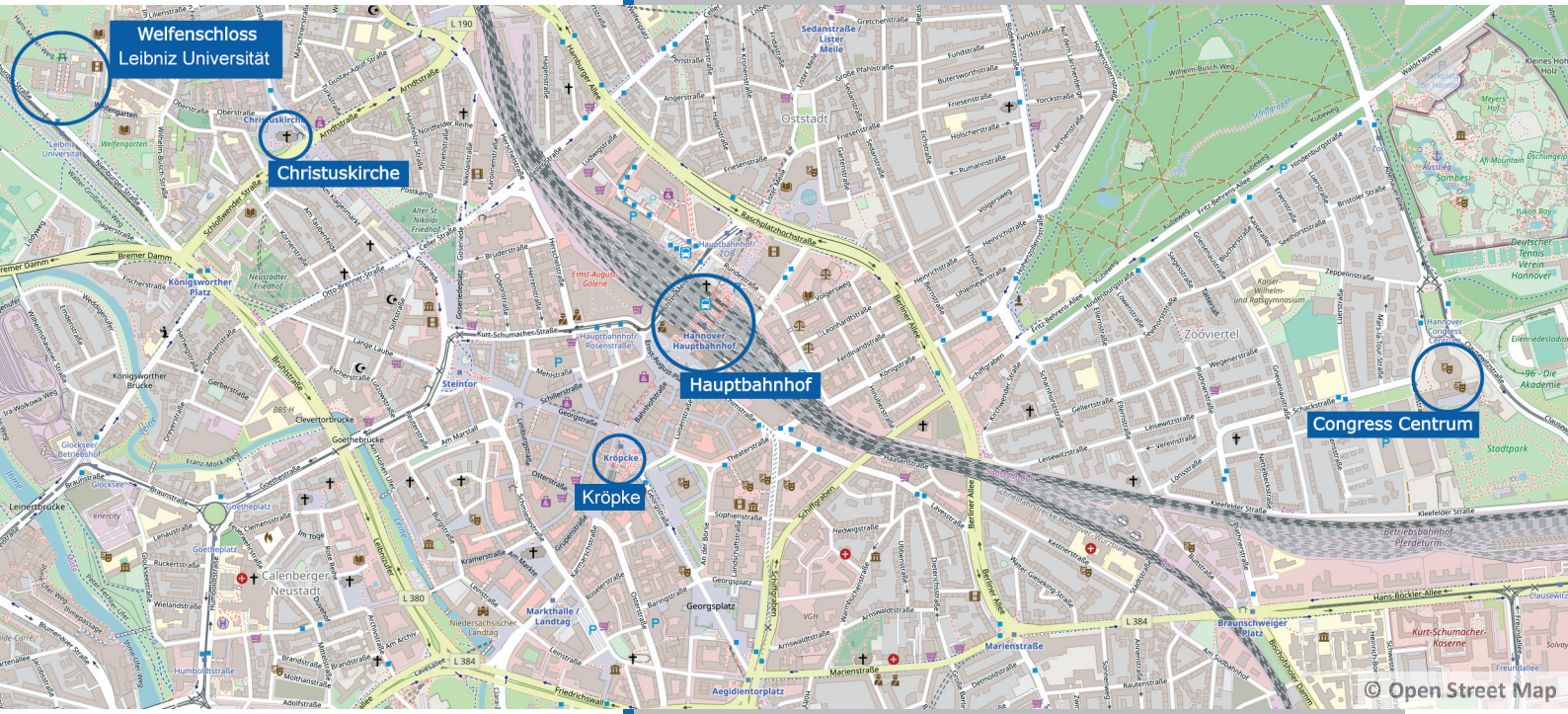
Darüber hinaus befinden sich zahlreiche Verpflegungsmöglichkeiten im näheren Innenstadtbereich, insbesondere am Kröpcke (Linie 11, 10 min Fahrtweg Richtung Haltenhoffstr. bis Station Kröpcke).

Geländeplan



Übersicht Tagungsgebäude





Innenstadt Hannover

Stadtbahn-Linie 11: Christuskirche ←→ Kröpke/HBF ←→ HCC
Stadtbahn-Linie 4: Leibniz Univ. (Welfenschloss) ←→ Kröpke/HBF