



10.-13. März 2008

# Programmheft



**TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN**



## **Programmheft**

### **34. Deutsche Jahrestagung für Akustik - DAGA 2008**

Homepage: <http://2008.daga-tagung.de>

E-Mail: [daga08.info@ias.et.tu-dresden.de](mailto:daga08.info@ias.et.tu-dresden.de)

#### **Veranstalter:**

- Technische Universität Dresden,  
Institut für Akustik und Sprachkommunikation
- Deutsche Gesellschaft für Akustik (DEGA)

#### **Mitveranstalter:**

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

#### **Impressum:**

Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V.

- Geschäftsstelle -

Dr.-Ing. Martin Klemenz

Voltastraße 5

Gebäude 10-6

13355 Berlin

Tel. +49 (0)30 - 4606 94-63

Fax +49 (0)30 - 4606 94-70

Homepage: <http://www.dega-akustik.de>

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

#### **Kontakttelefon und -fax während der Tagung:**

Tel. +49 (0)351 - 4866 410

Fax +49 (0)351 - 4866 411

#### **Druck:**

Druckhaus Galrev, Berlin

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zeitpläne</b>	4
<b>Grußwort der Tagungsleitung</b>	14
<b>Hinweise zur Tagung</b>	15
<b>Eröffnung und Produkt-Forum</b>	28
<b>Plenarvorträge</b>	29
<b>Vorkolloquien Montag</b>	33
Gestaltung virtueller Realitäten zur akustischen Kommunikation	33
Elektroakustik und Signalverarbeitung	40
<b>Fachvorträge Dienstag</b>	45
KFZ-Akustik I	45
Raumakustik I	48
Luftschallmessung, Schallquellenortung und –visualisierung	54
Schwingungstechnik	59
Finite-Elemente-Verfahren für akustische Problemstellungen I	60
Lärmwirkungen	66
Fluglärm	71
Sprachverarbeitung	74
Psychoakustik I	81
Elektroakustik I	88
Körperschall	94
Arbeitslärm	98
Physik der Musikinstrumente	100
Räumliche Wiedergabeverfahren (WFS, Ambisonics, VBAP)	107
Audiotechnik	111
Strömungsakustik und Verbrennungslärm	112
Technische Akustik	119
<b>Fachvorträge Mittwoch</b>	121
KFZ-Akustik II	121
Sprache im KFZ I	128
Raumakustik II	131
Bauakustik: Messtechnik	133
Bauakustik: Leichtbau I	138
Aktive Schwingungs- und Lärmbekämpfung	140
Verkehrsrgeräusche I	147
Finite-Elemente-Verfahren für akustische Problemstellungen II	151

Numerische Akustik . . . . .	154
Neue Entwicklungen in der Boundary-Elemente-Methode I . . . . .	157
Lärmschutz . . . . .	160
Music Processing . . . . .	169
Auditive Wahrnehmung und multimodale Interaktion . . . . .	179
Elektroakustik II . . . . .	189
Akustische Messtechnik I . . . . .	192
Wideband Speech Revisited . . . . .	197
Metrologie in der Akustik . . . . .	203
Beurteilung von Musikinstrumenten . . . . .	208
Musikalische Akustik . . . . .	211
Hörmodelle . . . . .	213
Kavitation und Blasen . . . . .	218
Aeroakustik: Messtechnik und Simulation . . . . .	228
<b>Fachvorträge Donnerstag</b> . . . . .	240
Sprache im KFZ II . . . . .	240
Bauakustik: Leichtbau II . . . . .	248
Bauakustik allgemein . . . . .	251
Verkehrsgeräusche II . . . . .	257
Schienenfahrzeuge . . . . .	258
Neue Entwicklungen in der Boundary-Elemente-Methode II . . . . .	263
Statistische Energieanalyse SEA . . . . .	268
Lärmausbreitung . . . . .	271
EU-Lärmminderungsplanung . . . . .	276
Signalverarbeitung . . . . .	278
Virtuelle Akustik . . . . .	283
Klassenraumakustik . . . . .	285
Psychoakustik II . . . . .	289
Akustische Messtechnik II . . . . .	293
Maschinenakustik . . . . .	296
Beiträge zur Geschichte der Akustik . . . . .	299
Audiologische Akustik . . . . .	305
Mustererkennung im Soundscape . . . . .	313
Physikalische Akustik . . . . .	317
Strömungsakustik . . . . .	321
Lehre der Akustik . . . . .	326
<b>Poster (Dienstag-Donnerstag)</b> . . . . .	329
Akustische Messtechnik . . . . .	329
Bauakustik . . . . .	331
KFZ-Akustik . . . . .	331
Körperschall . . . . .	332
Lärmausbreitung . . . . .	333

---

Lärmwirkungen . . . . .	333
Maschinenakustik . . . . .	334
Musikalische Akustik . . . . .	335
Psychoakustik . . . . .	337
Raumakustik . . . . .	340
Signalverarbeitung . . . . .	341
Sprachverarbeitung . . . . .	344
Virtuelle Akustik . . . . .	345
<b>Der Tagungsort . . . . .</b>	<b>356</b>
Anfahrt . . . . .	356
Lagepläne . . . . .	357
<b>Verzeichnis der Autoren . . . . .</b>	<b>359</b>

**Montag, 10. März 2008**

	<b>Vorkolloquium: Gestaltung virtueller Realitäten zur akustischen Kommunikation</b>
	Raum: Salon Zwinger
12:30	Jekosch: Einführung (33)
12:35	Goebel: Virtuelle Wirklichkeit als Teil der wirklichen Wirklichkeit (33)
13:00	Blauert: 3-D-Lautsprecher-Wiedergabemethoden (33)
13:25	Strauß: Gestaltung der räumlichen Eigenschaften von Schallfeldern – Fokussierung von Schallereignissen (34)
13:50	Wittek: Vergleich von WFS und Stereo (35)
14:15	Theile: BRS reproduction via virtual headphone based on WFS rendered focused sources (35)
14:40	Pause
15:00	Vorländer/Schröder: Raumakustik in VR (36)
15:25	Raake: Qualitätsaspekte von (virtuellen) Telefonkonferenzen (36)
15:50	Altinsoy: Virtuelle Realitäten als Instrument für psychoakustische Forschung (37)
16:15	Pause
16:35	Reiter: On Saliency and Interactivity in Human Audiovisual Perception (38)
17:00	Braasch: The Telematic Circle - a university based collaboration for music performances over the internet (38)
17:25	Weinzierl: Virtuelle Akustik und Klangkunst (39)

	<b>Vorkolloquium: Elektroakustik und Signalverarbeitung</b>
	Raum: Studiotheater
13:00	Leschka: Digitale Mikrophontechnik (40)
13:30	Weißing/Kunadt: Kalibrierung akustischer Messmittel - Anforderungen, aktueller Stand und Probleme (41)
14:00	Starke/Pfeifer: Vorausberechnung elektroakustischer Geräte - Möglichkeiten für einen effizienten Entwurf durch die Verbindung von Netzwerk- und Finite-Elemente-Methoden (41)
14:30	Pause
15:00	Klippel: Aktive elektroakustische Systeme (42)
15:30	Wolff: Klassifikation akustischer Signale (42)
16:00	Berton: Voice control for in-car applications - present and future (43)

18:00 Uhr, Salon Zwinger: **DEGA-Mitgliederversammlung**

**Poster (Dienstag bis Donnerstag)**

<b>Akustische Messtechnik</b>	Domke et al.: Verzerrungsmessungen (329)	Cempa et al.: High-pressure speed method (329)	Barth et al.: Akust. Laufzeittomographie (330)		
<b>Bauakustik</b>	Öhler et al.: Prüfstand Wasserinstallationen (331)				
<b>KFZ-Akustik</b>	Liebing et al.: Objektivierung Türgeräusche (331)				
<b>Körperschall</b>	Luegmair: Körperschall Crashererkennung (332)				
<b>Lärm- ausbreitung</b>	Pazos et al.: Absorption profilierte Wände (333)				
<b>Lärm- wirkungen</b>	Siegmann et al.: Genexpressionsanalysen (333)				
<b>Maschinen- akustik</b>	Kruk et al.: Neuer Lagerprüfstand (334)				
<b>Musikalische Akustik</b>	Konkel et al.: Aktives Fagott (335)	Fric: Voice professionals (336)	Blask: Separate principal chorus (336)		
<b>Psycho- akustik</b>	Weißgerber et al.: Algorithmus zum ISE (337)	Zuta: Noises disturb listeners? (337)	Wendt et al.: fMRT von Tonotopie (338)	Uppenkamp et al.: fMRT von Maskierung (339)	Verhey et al.: Harmonizität und Komodulation (340)
<b>Raumakustik</b>	Schlesinger et al.: Intensity probe (340)	Nowicka et al.: Underground stations simul. (341)			
<b>Signal- verarbeitung</b>	Eichler et al.: Full-Duplex Audio Environment (341)	Kordon et al.: Akustische Merkmalsysteme (342)	Spiertz: Approximation of Transients (343)	Fehér et al.: Vergleich Quellenortung (343)	Richter: Entfernungsbabh. Selektivität (344)
<b>Sprach- verarbeitung</b>	Herbig et al.: Sprachsegmentierung (344)				
<b>Virtuelle Akustik</b>	Borß: Interpolation, fractional delay (345)				

Dienstag, 11. März 2008

9:00	Festsaal:	<b>Eröffnungsfeier</b> <b>Verleihung Helmholtz-Medaille, Lothar-Cremer-Preis, Studienpreis</b>
10:45		<b>Kaffeepause</b>
11:15	Festsaal:	<b>Plenarvortrag P. Költzsch: „Von Pythagoras über Helmholtz bis Békésy - Entdeckungsreise durch die Geschichte der Akustik“ (29)</b>
12:00	Festsaal:	<b>Produkt-Forum (28)</b>
anschl.		<b>Mittagspause</b>

Raum	Festsaal	Zwinger	Studiotheater	Neumarkt	Graf Brühl	Semper
	<b>KFZ-Akustik I</b>	<b>Raum-akustik I</b>	<b>Schallquell-ortung</b>	<b>FE-Ver-fahren I</b>	<b>Lärm-wirkungen</b>	<b>Sprachver-arbeitung</b>
14:00		Behrens: Gläserne Architektur (48)	Henze: Schallquellenlokalisierung (54)	Kaltenbacher: Mixed Finite Elements (60)	Notbohm: Hörertypen akustische Umwelt (66)	Schlesinger: CASA Hearing Aid (74)
14:25		Bork: Auditorium in Großraum (48)	Hundek: Beamforming u. Holografie (54)	Fuß: Schnelle-/druckbasierte FEM (61)	Schulz: Tragbare Wiedergabegeräte (67)	Pribil: Synthetic Speech Eval. (74)
14:50		Meyer: St. Michaelis Lüneburg (49)	Döbler: Beamforming mit Zero-padding (55)	Von Estorff: Dispersions-effekt gitterfrei (61)	Welti: Disco-personal (68)	Jäckel: Aussprachequalität (75)
15:15		Rau: Hör-spielkomplex (50)	Zechel: Bewegte Schallquellen (56)	Stiller: Anstiegsbe-grenzer in DG (62)	Strasser: Energie-äq. Belas-tungen (69)	Holub: Transcoded Voice Degrad. (76)
15:40		Lorenz-K.: Simulation Auditorien CATT (50)	Fehse: Array-Quantifi-zierung (56)	Cassereau: Surface waves in solids (62)	Bastian: Lärmwirkun-gen im Flugzeug (70)	Vich: Speech enhancement (76)
16:05	Pause	Pause	Pause	Pause	Pause	Pause
16:30	Rüth: Diesel-Impulshaltigk. Teil I (45)	Ballagh: Predicting Absorption Coeff. (51)	Kluiber: Schallquell-enortung (57)	Langer: FEM poröse Materialien (63)	Deutsch: Analyse Schienenlärm (70)	Drepper: Non-stationary ac. objects (77)
					<b>Fluglärm</b>	
16:55	Bodden: Diesel-Impulshaltigk. Teil II (45)	Dietrich: Un-sicherheiten nach GUM (51)	Behrendt: Schallfeldvi-sualisierung (57)	Aretz: Flächen-Vierpol FEM (64)	Dierke: Abschattung Triebwerks-lärm (71)	Wokurek: Subglottale Resonanzen (78)
17:20	Sellerbeck: Optimierung Dieselge-räusche (46)	Witew: Blinde RIR Schätzung (52)	Pörschmann: Ermittlung Spiegelschall-quellen (58)	Anderssohn: Admittanz-Identifikation (65)	Thomann: Unsicherheit Fluglärm (72)	Schnell: Nasalisierte Vokale (79)
			<b>Schwing.-technik</b>			
17:45	Nielsen: NVH Vehicle Simulator (47)	Lorenz-K.: Podienakustik Konzertsäle (53)	Bless: FEM Erschütterg.-simulation (59)	Ertl: Optimisation transformertank (65)	Groß: Mikro-perforierte Deckschich-ten (72)	Schwarz: Statistisches Prosodiemo-dell (79)
18:10	Genender: Innen-geräusch-simul. (47)	Vercammen: Gekrümmte Flächen (53)	Friebe: Quiet Helicopter Gearbox (59)	Ringwelski: Modeling of ASAC (66)	Menk: CBT Fluglärmmin-derung (73)	Becker: Autom. Sprecherveri-fikation (80)

19:00 Uhr: **Vorträge und Orgelmusik in der Frauenkirche**



Raum	Altmarkt	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5
	<b>Psychoakustik I</b>	<b>Elektroakustik I</b>	<b>Körperschall</b>	<b>Physik Mus.-instrumente</b>	<b>Räumliche Wiedergabe</b>	<b>Strömg.-ak. + Verbrenn.</b>
14:00	Sabrautzky: Gehörgerechte Darstellung (81)	Sielaff: Simulierte Freifeldmessungen (88)	Spannaus: Körperschall im Crash (94)	Pitsch: Lufttemperierung in Orgeln (100)	Geier: Audio Scene Description (107)	Moreau: Fan noise prediction (112)
14:25	Bradter: Lautheitsbestimmung (81)	Ahnert: Datenpräsent. Lautsprecher (89)	Tschakert: Kreuzversteifte Platten (94)	Angster: Pfeifenmensurationsparameter (101)	Spors: WFS Aliasing (107)	Spehr: Lärmarme Rohrkomponenten (113)
14:50	Ernst: Irregularität als Parameter (82)	Klippel: Measurement nonlinearities (89)	Hoever: Leichtbau-Profilplatte (95)	Trommer: Abstrahlung Orgelpfeifen (102)	Pellegrini: WFS aliasing frequency (108)	Pantle: Fluid-Struktur-Wechselwirk. (114)
15:15	Heise: Modulationswahrnehmung (83)	Beer: Flachlautsprecher Überblick (90)	Scheck: Structure-borne sound power (96)	Adachi: Organ flue pipe (102)	Kuntz: Extrapolating Impulse Resp. (108)	Zhang: Numerical simulation (115)
15:40	Wierstorf: Melodie-diskrimination (84)	Zotter: Spherical Loudspeaker XTC (91)	Kuhl: Strukturintensität Körperschall (97)	Corinth: Gotische Kleinorgel (103)	Ahrens: Focused Sources (109)	Pfeifer: Lokalisierung Schallquellen (116)
16:05	Pause	Pause	Pause	Pause	Pause	Pause
16:30	Fingerhuth: Tonhaltigkeit Komplexer Töne (85)	Behler: Dodekaeder Variable RC (91)	Bopp: Reduktion Körperschall (97)	Fleischer: Pauken ohne Paukenkessel (104)	Van Dorp Schuitman: WFS ceiling array (109)	Piscoya: Abstrahlung Flammen (116)
16:55	Buchholz: Auditory coloration detection (85)	Makarski: WFS-Lautsprecher mit CAD (92)	Lenz: Schienenverkehrslärm (98)	Hoge: Simulation einer Geige (104)	Melchior: Perception of reflections (110)	Weyermann: Eingeschlossene Flammen (117)
			<b>Arbeitslärm</b>		<b>Audiotechn.</b>	
17:20	Strelcyk: Impaired auditory functions (86)	Moldrzyk: Planung WFS-Systeme (92)	Paulsen: Baustellenlärm (98)	Grothe: Steuerbares Fagottmundstück (105)	Völk: Hörvermögen Tonmeister (111)	Kammer: Abgasanlage Turbolader (118)
						<b>Technische Akustik</b>
17:45	Goupell: CI Profile Analysis (87)	Goertz: Lautsprecher für WFS (93)	Dantscher: Gehörschützer im Betrieb (99)	Richter: Strömungsakustik Fagott (106)	Schlechter: Loudspeaker diagnostics (111)	Buchschmid: Modellierung Absorber (119)
18:10	Laback: Binauraler Jitter (87)	Steinbrecher: Computersimulation des STI (93)	Maue: Messunsicherheit ISO 9612 (100)	Otcenasek: Organ spectra (106)	Seidler: Audiotechnik Ausstellungen (112)	Dannemann: Abstrahlung Verbundplatten (120)

**Mittwoch, 12. März 2008**

Raum	Festsaal	Zwinger	Studiotheater	Neumarkt	Graf Brühl	Semper
	<b>KFZ-Akustik II</b>	<b>Raum-akustik II</b>	<b>Aktive Lärmbek.</b>	<b>FE-Verfahren II</b>	<b>Lärmschutz</b>	<b>Music Processing</b>
08:30	Krüger: Fz.-Innen-geräusch (121)	Nocke: Design Akustikelemente (131)	Masiero: Active Noise Control (140)	Lippert: Unsichere Parameter (151)	Probst: Sound propagation (160)	Skowronek: Musikanalyse- Algorithmen (169)
08:55	Foken: Aktiver Resonator (121)	Walter: Wahrnehmbarkeit Nachhall (132)	Bös: Active vibration absorber (141)	Sepahvand: Uncertainty Polynomial Chaos (152)	Probst: Noise Mapping (161)	Kohlrausch: Strukturgrenzen in Musik (170)
09:20	Zaleski: Türzuschlag-geräusch (122)	Korany: Coloration due to reverberation (132)	Noisternig: Richtungsbezug. Beurteilung (141)	Bansal: Gitter-erzeugung für FEM (152)	Probst: Workroom Sound Propagation (162)	Stober: Computer Gesangsunterricht (171)
		<b>Bauakustik: Messtechnik</b>				
09:45	Mauer: Identifikation ak. Muster (123)	Sommerfeld: Trittschall Fußböden (133)	Lemke: Lärmmind. Turbomaschinen (142)	Sonnerup: Flanking transmission FEM (153)	Lorenzen: Road-traffic noise reduction (162)	Baumann: Music Recommendation (171)
10:10	Letens: Außengeräusch Kundensicht (124)	Schmelzer: Längsdämmungsmessung (133)	Simanowski: Lärmminde-rung Schlafräume (143)	Bard: Damping loss-factor FEM (154)	Meloni: Straßenlärmsan. Schweiz (163)	Engelhard: Autom. Genre-Klassifikation (172)

11:00 Festsaal: **Plenarvortrag J. Goebel: „EMPAC - Das Zentrum am Übergang zwischen digitalen und wahrnehmbaren Welten“ (30)**

11:45 Festsaal: **Plenarvortrag U. Rabe: „Ultraschall-Kraftmikroskopie, Prinzip und Anwendungen“ (30)**

12:30 **Mittagspause**

Raum	Festsaal	Zwinger	Studiotheater	Neumarkt	Graf Brühl	Semper
				<b>Numerische Akustik</b>		
14:00	Buss: Betätigungs-geräusche PKW (125)	Bethke: Modell Luftschall-Dämmung (134)	Gündel: Aktiv. Optimierung Flugzeug (144)	Moeser: Schalldurchgang Doppelwand (154)	Ritterstaedt: Binnenschiffe (163)	Eckel: Harmonic Progression Analysis (173)
14:25	Jung: Geräusch-qualität Kfz-Innen-raum (125)	Scholl: Unsi-cherheiten Bauakustik (135)	Böhme: Intenistätsba-sierte Regelung (145)	Weber: Inverse Schallquel-lenortung (155)	Trautmann: Baulärm Schallleis-tungspegel (163)	Schuller: Beat-Synchronous Labeling (173)
14:50	Pfaffelhuber: Akustische PKW-Klimakanäle (126)	Stange-Kölling: Vergleichs-messungen 2007 (135)	Kochan: Regelung Schall-reduktion (145)	Yang: Simulation and Measurement (156)	Abbühl: Vollzugshilfe Alltagslärm (164)	Ewert: Chromaba-sierte Merkmale (174)
15:15	Sentpali: Prüfstand Klimaanlage (127)	Bütikofer: Hammerwerk ungeeignet (136)	Doll: Modell-reduktion akt. Systeme (146)	Junge: Interface Model Reduction (156)	Teuber: Einmessung Pegelbegren-zer (165)	Müller: Partielle Musiksyn-chronisation (174)

Raum	Altmarkt	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5
	<b>Auditive Wahrnehm.</b>	<b>Elektroakustik II</b>	<b>Wideband speech rev.</b>	<b>Beurt. Mus.-instrumente</b>	<b>Kavitation und Blasen</b>	<b>Aeroakustik: Mess.+Sim.</b>
08:30	Noesselt: Audiovisuelle Integration (179)	König: Raumklang-entzerrung (189)	Möller: Erweiterung E-Modell (197)	Ziegenhals: Psychoakustische Analyse (208)	Koch: Schallfelder in Kavitation (218)	Kameier: Low Noise Design (228)
08:55	Fischer: Audiovisuelle Integration (180)	Skvor: Elektrostatischer Wandler (190)	Ramirez: Quality in Noise (198)	Löschke: Berechnung Rauigkeit (209)	Strobel: Ultraschallreinigung (219)	Segaert: Hybride Curle-Analogie (229)
09:20	Getzmann: Repräsentationales Momentum (181)	Sessler: Piezoelektret-Mikrofone (190)	Côté: Loudness in Speech Quality (199)	Figula: Rauigkeit und Diffusität (209)	Reuter: Membranreinigung Ultraschall (220)	Bauer: DG-Verfahren (229)
09:45	Reiter: Audiovisual Assessments (181)	Strauß: Arrays zur Schallfeldanalyse (191)	Wältermann: Qualitätsfaktor Verzerrungen (199)	Bader: Instrument Geometry Changes (210)	Lauterborn: Optim. Membranreinigung (221)	Nam: Electro-Pneumatic Transducer (230)
				<b>Musikalische Akustik</b>		
10:10	Naumann: Grundlagen multimodaler MMI (182)	Merkel: Umgek. param. Abstrahlung (192)	Poschen: Testing Wideband Terminals (200)	Zotter: Auditory Resonance Model (211)	Otto: Cleaning with megasound (221)	Pott-Pollenske: Hochauftriebslärm (231)

Raum	Altmarkt	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5
		<b>Akust. Messtechnik I</b>				
14:00	Rath: Balancing task (183)	Finder: Live Sound Messungen (192)	Geiser: Super-Wideband Extension (201)	Müller: Vokale in Klängen (211)	Jung: Kavitationserosion Rauschpg. (222)	Grabinger: Flow Generated Sound (232)
14:25	Treiber: Bedienelemente im Kfz (183)	Irrgang: High-Speed Distortion Meas. (193)	Bauer: Artificial Bandwidth Extension (201)	Von Türkheim: Filterdesign virtuelle Violine (212)	Maas: Viskositätseinfluss Wandler (222)	Scheit: Forward Facing Step (232)
				<b>Hörmodelle</b>		
14:50	Altinsoy: Audio-taktile Integration (184)	Kettler: Developments Mobile Testing (193)	Raake: Technological and human factors (202)	Krahé: Hörmodell zur Richtlinie (213)	Weser: Online-Ultraschallmessung (223)	Herr: Skalierung Hinterkantenlärm (233)
15:15	Merchel: Taktile Surround-erweiterung (184)	Rohrer: VoIP meets DECT (194)	Pause	Hudde: Ursprung Frequenzgruppen (214)	Postema: Ultrasound and swimmer safety (224)	Geyer: Geräuschmind. poröser Profile (234)

## Mittwoch, 12. März 2008 (Fortsetzung)

Raum	Festsaal	Zwinger	Studiotheater	Neumarkt	Graf Brühl	Semper
	<b>KFZ-Akustik II</b>	<b>Bauakustik: Messtechnik</b>	<b>Aktive Lärmbek.</b>	<b>Numerische Akustik</b>	<b>Lärmschutz</b>	<b>Music Processing</b>
15:40	Pies: Klimaanlage Mündungs-korrektur (127)	Lievens: Force Lightweight Floor (137)	Glugla: Verzögerungs-kompensation (147)	Brunner: FE-BE Coupling (157)	Joiko: Gesundere Diskothek (165)	Damm: SyncPlayer (175)
16:05	Pause	Pause	Pause	Pause	Pause	Pause
	<b>Sprache im KFZ I</b>		<b>Verkehrs-geräusche I</b>	<b>Neue Entw. in der BEM I</b>		
16:30	Schulte-Fortkamp: Explorative Evaluation (128)	Rabold: Dämpfung Trittschall (137)	Volkenborn: Außenge-räusch PKW (147)	Seipelt: Neue Entwicklun-gen BEM (157)	Fuchs: Musiker-Arbeitsplätze (166)	Nowak: Music similarity visualization (176)
		<b>Bauakustik: Leichtbau I</b>				
16:55	Fischer: Anforderungen Sprache Kfz (129)	Mayr: Variation Timberfloor Mobility (138)	Finsterhölzl: Prüftechnik Außenge-räusch (148)	De Langhe: Multipole Boundary Element (158)	Schlachter: Ruhelabel für Wohnnutzung (167)	Bastuck: Music Similarity Retrieval (177)
17:20	Gädicke: Evaluierung Freisprech-syst. (129)	Hessinger: Holzdecken Altbausanie-rung (138)	Schorf: Teilquellen Außenge-räusch (149)	Brick: Halbraum-BEM (159)	Piorr: Sachstand Windenergie (167)	Dittmar: Automatic Music Transcription (177)
17:45	Steinert: Quality Assessment (130)	Weber: Schlanke Deckenauf-lagen (139)	Fingerhut: R/FB-Geräusche Lkw (150)	Marburg: Vergleich IBEM und IFEM (159)	Hammel-mann: Management-werkzeug (168)	Gruhne: Phoneme Detection (178)
18:10	Gierlich: Car Hands-free Develop-ments (131)	Humer: Tiefer Frequenzbe-reich (140)	Kerber: Vehicle perceptibility prediction (150)	Chen: Baffle problem (160)	Hirsch: Großkalibrige Waffen (169)	Nsabimana: TSR approach (179)
18:35			Gerhard: Geräuschbe-lastung (256)			

ab 19:00 Uhr: **Abendempfang in der „Alten Mensa“ der TU Dresden, Mommsenstr. 13**

Raum	Altmarkt	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5
	<b>Auditive Wahrnehm.</b>	<b>Akust. Mess-technik I</b>	<b>Metrologie</b>	<b>Hörmodelle</b>	<b>Kavitation und Blasen</b>	<b>Aeroakustik: Mess.+Sim.</b>
15:40	Töpken: Cross-Modality-Matching (185)	Nerche: Dynamik- u. Frequenzbereich (194)	Wittstock: Metrologie angew. Akustik (203)	Epp: Kombination Verarbeitg.-strategien (214)	Nowak: Frequenzskalierung Kavitation (224)	Reichl: Turbulence Noise Correlation (235)
16:05	Pause	Pause	Fedtko: Unsich. und Konformität (203)	Pause	Pause	Pause
16:30	Haverkamp: Laut- und Klangmalerei (186)	Alberts: Personenlärmsymmetrie (195)	Wilkens: Neue IEC Hydrophonnormen (204)	Piechowiak: Modelling CMR (215)	Pluta: Wechselwirkende Blasen (225)	Von Heesen: Messungen in Strömungen (235)
16:55	Menzel: Farbeeinflüsse Lautheit (187)	Goossens: Impulsquellen Nachhallmess. (195)	Jenderka: Qualität Ultraschall-diagnostik (205)	Ewert: Binaural modelling (216)	Vokurka: Shocks in cavitation (225)	Giesler: Aeroakust. Windkanal Cottbus (236)
17:20	Fastl: Crosscultural colour evaluation (187)	Milz: Sonderhallräume (196)	Bahr: Refraktometrie Tomographie (206)	Rennies: Dynam. Lautheitsmodellierung (216)	Schanz: Wassertemp. und Kavitation (226)	Busse: Dämpfung überströmter Liner (237)
17:45	Melchior: Interaction impulse responses (188)	Bachner: Transfer Matrix Measurement (196)	Hof: Tieffrequenz-Kalibrierung (207)	Chalupper: Dynam. Lautheitsmodell (217)	Wißmann: Laserblasen im Schallfeld (227)	Sarradj: Kompakte aeroak. Quellen (238)
18:10		Peter: Anregung Oszillatoren (197)	Täubner: Beschleunigungsaufnehmer (207)	Dau: Modeling hearing impairment (218)	Mettin: Sprunghafte Blasenbewegung (227)	Fischer: Akustisches PIV (238)

## Donnerstag, 13. März 2008

Raum	Festsaal	Zwinger	Studiotheater	Neumarkt	Graf Brühl	Semper
	<b>Sprache im KFZ II</b>	<b>Bauakustik: Leichtbau II</b>	<b>Verkehrsgerausche II</b>	<b>Neue Entw. in der BEM II</b>	<b>Lärmausbreitung</b>	<b>Signalverarbeitung</b>
08:30	Schuller: Robust Automotive ASR (240)	Dolezal: Massivholzkonstruktionen (248)		Schäfer: Akustische Rückstreuung (263)	Droste: Ausbreitung Rollgeräusche (271)	Köhler: Überwach. Ultrapräz.-fertigung (278)
08:55	Klasmeyer: Spracherkennung Kfz (240)	Weber: Vortsatzschalen (249)	Myck: Qualität Fluglärmrechnungen (257)	Burgschweiger: BEM-BEM-Kopplg. (264)	Bartolomaeus: Kohärenz Schallausbreitung (271)	Oestreicher: Korrelation Körperschallsign. (278)
09:20	Matousek: Auto-Navigation (241)	Schoenwald: Gipskartonständerwände (250)	Kalivoda: Schallschutzwandaufsätze (257)	Stütz: Transiente Randlem.-methode (264)	Chudalla: Kohärente Abstrahlcharakt. (272)	Friedrich: Überoptimale Musiksequenzen (279)
		<b>Bauakustik allgemein</b>	<b>Schienenfahrzeuge</b>			
09:45	Schucht: Sprachverbesserung Kfz (242)	Ruff: Massive Gipswände (251)	Arndt: TPA Schienenfahrzeuge (258)	Ehrlich: Ak. Propagator Zeitbereich (272)	Bunk: Windenergieanl. Tag-Nacht (275)	Goetze: Impulse Response Shaping (280)
10:10	Hess: Audiosignal-Mischung (243)	Schneider: Verlustfaktor Mauerwerk (251)	Meunier: TSI Lärm Referenzgleis (259)	Brecht: Sonarortung Strömungseinfluss (266)	Schultz-von Glahn: Emission WEA (273)	Kob: Sprache im MRT (280)

11:00 Festsaal: **Plenarvortrag V. Hohmann: „Modellbasierte Signalverarbeitung in Hörgeräten“ (31)**

11:45 Festsaal: **Plenarvortrag B. Flückiger: „Zwischen Anforderung des Werks und persönlichem Ausdruck“ (32)**

12:30 **Mittagspause**

14:00	Janardhanan: Speech Enhancement (244)	Fichtel: Schallübertr. Massivtreppen (252)	Baures: Köperschall hybride Simul. (260)	Waubke: Green und Anisotropie (267)	Vogelsang: Windenergieanlage ISO 9613-2 (274)	Matousek: Music Signal Decomposition (281)
14:25	Hirschfeld: Volduplex-Kommunikation (244)	Bollmann: Abstrahlung Stahlbetondecken (253)	Krüger: Kurvenger. Messvorschrift (260)	Kreuzer: BEM-Tunnelmodell (267)	Wilsdorf: Hohe Schallquellen (274)	Bach: Multi-class sound classification (282)
				<b>SEA</b>		<b>Virtuelle Ak.</b>
14:50	Enzner: Echounterdrückung Freispr. (245)	Bietz: Installationsger. Leichtbau (253)	Tinter: Kurvengeräusche (261)	Callsen: SEA-gekrümmte Strukturen (268)	Zangers: Geschossschallberechnung (275)	Franke: Virtueller Kopfhörer (283)
15:15	Swerdlow: In-car Speaker Position (246)	Scholl: Nutzergeräusche (254)	Eichenlaub: Kurvengeräuschmessung (261)	Prager: Erste Reflexionen bei SEA (269)	Knauß: Schießlärmüberwachung (276)	Lindau: Simulation verteilter Quellen (283)
					<b>EU-Planung</b>	
15:40	Hüb-Umbach: Strahlformung im KFZ (247)	Schnelle: Komfort-Schallschutz (255)	Pankau: Prognose Kurvengeräusche (262)	Peiffer: Flugzeug SEA Modellierung (269)	Hintzsche: Ergebnisse Lärmkartierung (276)	Schröder: Multimodale Darstellung (284)
16:05	Vicinus: Spracherfassung im Kfz (248)	Hilz: DIN 4109 und die R.d.T. (255)	Volz: Doppler-Effekt Körperschall (262)	Eberle: SEA im Kraftfahrzeug (270)	Kohnen: Aktionsplanung Prozess (277)	Wefers: Optimierung Echtzeitfaltung (285)

16:30 Uhr: **Abschlussveranstaltung im Salon Zwinger**

Raum	Altmarkt	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5
	<b>Klassenr.-akustik</b>	<b>Akust. Mess-technik II</b>	<b>Geschichte der Akustik</b>	<b>Audiolog. Akustik</b>	<b>Mustererk. Soundscape</b>	<b>Strömg.-akustik</b>
08:30	Becker: Container-Klassenräume (285)	Lohrmann: Transferpfadanalyse (293)	Niehoff: Entwicklungsweg der Mikrofone (299)	Vorländer: Neue Kunstköpfe (305)	Hohmann: Begriff Soundscape (313)	Kurze: Geräusche an Gestricken (321)
08:55	Machner: Akustische Ergonomie (286)	Koers: Sphere calibration PU (293)	Dietzel: Barkhausen Lautstärke-mess (300)	Blau: Okklusion Otoplastikpro-fil (306)	Arndt: Geräuschbe-wertung Aufzüge (314)	Becker: Fluid-Struktur-Akustik (321)
09:20	Tiesler: Stress im Klassenraum (287)	Kern: Polyphasenfil-terung (294)	Mehnert: MAREYsche Kapseln (300)	Schmidt: Hörgerätesim-ulation (307)	Güttes: Verkehrsge-räusche (315)	Holewa: Mo-denanalyse Ström.-kanäle (322)
09:45	Uygun: Prakt. Klassenraumakustik (288)	De Bree: Calibration high noise (294)	Schiema: Tonabnahme-systeme (301)	Holube: Cha-rakterisierung Hörgeräte (308)	Fiebig: Ge-räuschmuster u. Bewertung (315)	Bay: Aktive Schalldämp-fer (323)
10:10	Nocke: Schulräume und DIN 18041 (289)	De Bree: Robust impedance meas. (295)	Scheuren: Etappen Lärmbekämp-fung (302)	Rader: Sprache im Diffusstör-schall (308)	Schulte-Fortkamp: Neue Ex-perten (316)	Hufenbach: Flugzeugab-wassersysteme (324)

	<b>Psycho-akustik II</b>				<b>Physikal. Akustik</b>	
14:00	Majdak: Lokalisation von Quellen (289)	De Bree: 3D beamforming far-field (295)	Hoffmann: Kessel und Mach (302)	Schmidt: Trommelfell Audiometrie (309)	Solodov: Nonlinear Acoustics (317)	Bauers: Azimutale Strukturen (324)
14:25	Hobohm: Lokalisation von Schallen (290)	Schulze: Verkürzte Lärmschutz-wände (296)	Kohlrausch: F. Trendelen-burg (303)	Hensel: Hörschwellen und AEP (310)	Wittek: Reflexion und Transmission (317)	Schirmer: Heizkesselge-räusche (325)
		<b>Maschinen-akustik</b>				
14:50	Seeber: Grouping and Precedence (291)	Herrmann: Hydroakustik im Kfz (296)	Hübner: Ernst Lübcke (304)	Fleischer: Stereozilien-mechanik (311)	Zipser: Refraktovibro-metrie (318)	Schmidtke: Sprengungen im Meer (326)
						<b>Lehre</b>
15:15	Roman: Wahrnehm-g. Reflexionen (291)	Kurtze: Optimierung Schrän-ke (297)	Költzsch: Aktives Gehör (Beltz) (305)	Rohdenburg: Hörgeräteal-gorithmen (312)	Hirse Korn: Rasterkraft-mikroskop (319)	Storm: Lehre der Maschi-nenakustik (326)
15:40	Scherr: Lateralisation virt. Kopf-hörer (292)	Groß: Geräusch Formatkreis-sagen (298)		Rasumow: UEF Basilar-membran (312)	Kopycinska-Müller: Subsurface struct. (320)	Leckschat: Studientechnik-Praktikum (327)
16:05		Back: Prognoseme-thodik (298)			Schirmacher: Hochdruck-Gasleitung (320)	Lips: VDI-Richtlinien (328)

## Grußwort der Tagungsleitung

Liebe Akustikerinnen und Akustiker,

herzlich willkommen zur DAGA 2008 in Dresden! Wir freuen uns, die DAGA (nach der 20. Tagung 1994) nun zum zweiten Mal in Dresden beherbergen zu dürfen.

Obwohl wir schon damit gerechnet hatten, dass Dresden durchaus eine attraktive Adresse für Akustikerinnen und Akustiker ist, sind wir über die hohe Anzahl von Anmeldungen zu unserer Jahrestagung sehr angenehm überrascht. Die erfreulich hohe Anmeldezahl hat uns aber auch an den Rand des Machbaren gebracht, und dies obwohl wir den Kulturpalast als Tagungsstätte gewählt haben. Er bietet einen großen Festsaal, 11 Sitzungssäle, eine großzügige Fläche für unsere Posterausstellung sowie zentral gelegene Flächen für die begleitende Ausstellung. Diese Räume und Flächen werden benötigt für 446 mündliche Vorträge (inkl. 6 Plenarvorträge und 18 Vorträge im Vorkolloquium), für bis heute 26 angemeldete Posterpräsentationen und 29 begleitend ausstellende Akustikfirmen.

Wie immer war es die größte Herausforderung für uns Organisatoren, die mündlichen Beiträge thematisch zu gruppieren und zeitlich so anzuordnen, dass möglichst keine themennahen Vorträge parallel stattfinden - letztlich ein schier aussichtsloses Unternehmen!

Unterstützt wurden wir in unserem Bemühen durch 39 Kolleginnen und Kollegen, die strukturierte Sitzungen organisiert haben, sowie durch die Mitglieder des wissenschaftlichen Beirats. Angesichts einiger nicht veränderbarer Randbedingungen ist zwar nicht alles realisierbar was wünschenswert wäre, dennoch hoffen wir zu einer für Sie akzeptablen Lösung gelangt zu sein.

Wir bedanken uns bei allen, die uns bei der Tagungsorganisation unterstützt haben und hoffen, dass wir Ihnen ein geeignetes Forum zur Präsentation Ihrer Arbeiten, zur Diskussion und zum Erfahrungsaustausch bieten - zudem aber auch, dass Sie etwas Zeit zur Entspannung finden, z.B. bei unserer Abendveranstaltung mit Vorträgen und Orgelkonzert in der Frauenkirche und bei der Erkundung von Dresden und seiner Umgebung.

Im Namen des gesamten Organisationskomitees,  
mit kollegialen Grüßen

Ihre  
Ute Jekosch

Ihr  
Rüdiger Hoffmann



## Hinweise zur Tagung

Die

### **34. Deutsche Jahrestagung für Akustik DAGA 2008**

findet vom

**10. bis 13. März 2008**

in

**Dresden**

statt.

Veranstaltungsort ist der Kulturpalast Dresden, Schlossstraße 2, 01067 Dresden. Am 10. März 2008 finden zwei Vorkolloquien statt. Tagungssprachen sind Deutsch und Englisch.

### **Veranstalter**

- Technische Universität Dresden,  
Institut für Akustik und Sprachkommunikation
- Deutsche Gesellschaft für Akustik (DEGA)

### **Mitveranstalter**

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

### **Tagungsleitung**

- Prof. Dr. Ute Jekosch, Technische Universität Dresden, Institut für Akustik und Sprachkommunikation
- Prof. Dr. Rüdiger Hoffmann, Technische Universität Dresden, Institut für Akustik und Sprachkommunikation

### **Wissenschaftlicher Beirat**

- Assoc. Prof. Ph.D. Ing. J. Holub, Prag, Czech Technical University, Faculty of Electrical Engineering, Department of Measurement
- Dr. Sc. Dr.-Ing. e.h. R. Vich, Prag, Akademie VED Ceske Republiky, Inst. of Radio Engineering and Electrical Engineering
- Prof. Dr.-Ing. R. Grundmann, TU Dresden, Fak. Maschinenwesen, Inst. f. Luft- und Raumfahrttechnik
- Prof. Dr.-Ing. habil. H.-J. Hardtke, TU Dresden, Fak. Maschinenwesen, Inst. f. Festkörpermechanik

- Prof. Dr.-Ing. habil. W. Klippel, TU Dresden, Fak. Elektrotechnik u. Informationstechnik, Inst. f. Akustik und Sprachkommunikation, sowie Klippel GmbH Dresden
- Prof. Dr.-Ing. habil. P. Költzsch, TU Dresden, Fak. Elektrotechnik u. Informationstechnik, Inst. f. Akustik und Sprachkommunikation
- Doz. Dr. rer. nat. Ing. habil. E. Kühnicke, TU Dresden, Fak. Elektrotechnik u. Informationstechnik, Inst. f. Festkörperelektronik
- Prof. Dr.-Ing. habil. G. Pfeifer, TU Dresden, Fak. Elektrotechnik und Informationstechnik, Inst. f. Akustik und Sprachkommunikation
- PD Dr.-Ing. U. Kordon, TU Dresden, Fak. Elektrotechnik und Informationstechnik, Inst. f. Akustik und Sprachkommunikation
- Dr.-Ing. E. Altinsoy, TU Dresden, Fak. Elektrotechnik und Informationstechnik, Inst. f. Akustik und Sprachkommunikation
- Dr.-Ing. H.-J. Ederer, Akustik Bureau Dresden, Raum- und Bauakustik, Schallschutz
- Dr.-Ing. G. Fuder, TU Dresden, Fak. Elektrotechnik und Informationstechnik, Inst. f. Akustik und Sprachkommunikation
- Dr.-Ing. S. Marburg, TU Dresden, Fak. Maschinenwesen, Inst. f. Festkörpermechanik
- Dr.-Ing. W. Schirmer, Schirmer Beratende Ingenieure, Dresden
- Dipl.-Phys. G. Ziegenhals, Institut für Musikinstrumentenbau Zwota an der TU Dresden

## Organisation

- Prof. Dr. Ute Jekosch,  
Tel.: +49 (0)351 463 3 44 63,  
Fax: +49 (0)351 463 3 70 91,  
E-Mail: Ute.Jekosch@tu-dresden.de
- Dipl.-Ing. Margitta Lachmann,  
Tel.: +49 (0)351 463 3 42 83,  
Fax: +49 (0)351 463 3 77 81,  
E-Mail: daga08.info@ias.et.tu-dresden.de

## Themen

Das Themenspektrum der DAGA umfasst alle Gebiete der Akustik. Es werden sowohl praxisorientierte als auch theoretisch ausgerichtete Beiträge aus den folgenden Teilgebieten präsentiert:

Aktive akustische Systeme, Akustische Messtechnik, Audiologische Akustik, Audiotechnik, Bauakustik, Elektroakustik, Fahrzeugakustik, Geräuschbeurteilung, Geschichte der Akustik, Körperschall, Lärmausbreitung, Lärmschutz, Lärmwirkungen, Lehre der Akustik, Musikalische Akustik, Numerische Akustik, Physikalische Akustik, Psychoakustik, Raumakustik, Schwingungstechnik, Signalverarbeitung, Sprachverarbeitung, Strömungsakustik, Technische Akustik, Ultraschall, Virtuelle Akustik und weitere Themen der Akustik.

### **Vorkolloquien**

Am Montag, den 10. März 2008 finden zwei Vorkolloquien zu folgenden Themen statt:

- **Gestaltung virtueller Realitäten zur akustischen Kommunikation**  
(organisiert von Prof. Dr. U. Jekosch), ab S. 33
- **Elektroakustik und Signalverarbeitung**  
(organisiert von Prof. Dr. R. Hoffmann und Prof. Dr. G. Pfeifer), ab S. 40

### **Plenarvorträge**

Im Rahmen der DAGA 2008 finden fünf Übersichtsvorträge zu aktuellen Themen der Akustik statt, die von den folgenden eingeladenen Vortragenden gehalten werden:

- Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Költzsch, Technische Universität Dresden: „Von Pythagoras über Helmholtz bis Békésy - eine Entdeckungsreise durch die Geschichte der Akustik“ (S. 29)
- Prof. Johannes Goebel, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY (USA): „EMPAC - Das Zentrum am Übergang zwischen digitalen und wahrnehmbaren Welten“ (S. 30)
- PD Dr.-Ing. Ute Rabe, Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren (IZFP), Saarbrücken: „Ultraschall-Kraftmikroskopie, Prinzip und Anwendungen“ (S. 30)
- Dr. rer. nat. Volker Hohmann, Medizinische Physik, Institut für Physik, Universität Oldenburg: „Modellbasierte Signalverarbeitung in Hörgeräten“ (S. 31)
- Prof. Dr. Barbara Flückiger, Universität Zürich, Seminar für Filmwissenschaft: „Zwischen Anforderung des Werks und persönlichem Ausdruck“ (S. 32)

Darüber hinaus finden die Plenarvorträge der Preisträger während der Eröffnungsfeier am 11. März statt.

### **Strukturierte Sitzungen**

Die Strukturierten Sitzungen werden von fachkundigen Organisatoren aus eingeladenen Beiträgen zusammengesetzt.

- **Aeroakustik: Messtechnik und Simulation**  
(Dr. S. Becker, PD Dr. M. Kaltenbacher, FAU Erlangen, Prof. Dr. E. Sarraj, BTU Cottbus), ab S. 228
- **Aktive Schwingungs- und Lärmbekämpfung**  
(Dr. Jakob, TU Berlin, Dr. R. Schirmacher, Müller-BBM GmbH), ab S. 140
- **Audiologische Akustik**  
(Dr. T. Fedtke, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig), ab S. 305
- **Auditive Wahrnehmung und multimodale Interaktion**  
(Dr. E. Altinsoy, Institut für Akustik und Sprachkommunikation, TU Dresden), ab S. 179
- **Beiträge zur Geschichte der Akustik**  
(Prof. Dr. P. Költzsch, TU Dresden), ab S. 299
- **Beurteilung von Musikinstrumenten**  
(Dipl.-Phys. G. Ziegenhals, Institut für Musikinstrumentenbau Zwota an der TU Dresden ), ab S. 208
- **Elektroakustik**  
(Dr. G. Behler, RWTH Aachen), ab S. 88 bzw. 189
- **EU-Lärminderungsplanung**  
(Prof. Dr. Krahé, Universität Wuppertal, C. Popp, Lärmkontor Hamburg), ab S. 276
- **Finite-Elemente-Verfahren für akustische Problemstellungen** (Prof. Dr. S. Langer, TU Braunschweig und PD Dr. M. Kaltenbacher, FAU Erlangen), ab S. 60 bzw. 151
- **Hörmodelle**  
(Prof. Dr. D. Krahé, Berg. Universität Wuppertal), ab S. 213
- **Kavitation und Blasen**  
(Prof. Dr. W. Lauterborn, Universität Göttingen), ab S. 218
- **Klassenraumakustik**  
(B. Becker, Deutsche Rockwool GmbH & Co. OHG, Dr. U. Donner, Acouplan GmbH), ab S. 285
- **Luftschallmessung, Schallquellenortung und -visualisierung**  
(Dr. A. Gerlach, Robert Bosch GmbH), ab S. 54

- **Metrologie in der Akustik**

(Dr. T. Fedtke, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig), ab S. 203

- **Music Processing**

(Prof. Dr. M. Clausen Universität Bonn, Prof. Dr. A. Kohlrausch, TU Eindhoven, Philips Research Laboratories, Priv. Doz. Dr. F. Kurth, FGAN Bonn, Dr. M. Müller, MPI Saarbrücken, Dr. B. Schuller, TU München), ab S. 169

- **Mustererkennung im Soundscape**

(Prof. Dr. B. Schulte-Fortkamp, TU Berlin, Dr. K. Genuit, HEAD acoustics GmbH), ab S. 313

- **Neue Entwicklungen in der Boundary-Elemente-Methode**

(Dr. B. Nolte, Kiel, Prof. Dr. M. Ochmann, TFH Berlin, Dr. H. Waubke, ÖAW Wien), ab S. 157 bzw. 263

- **Physik der Musikinstrumente**

(Dipl.-Phys. G. Ziegenhals, Institut für Musikinstrumentenbau Zwota an der TU Dresden), ab S. 100

- **Räumliche Wiedergabeverfahren (WFS, Ambisonics, VBAP etc.)**

(Dr. S. Spors, Deutsche Telekom AG Laboratories Berlin), ab S. 107

- **Sprache im KFZ**

(Dr. G. Klasmeier, IAV GmbH Berlin, Dr. H. W. Gierlich, Firma HEAD acoustics GmbH), ab S. 128 bzw. 240

- **Statistische Energieanalyse SEA**

(Prof. Dr. O. von Estorff, Dipl. Ing. S. Callsen, TU Hamburg-Harburg, Dr. A. Peiffer, EADS Deutschland GmbH, Prof. Dr. E. Sarradj, BTU Cottbus), ab S. 268

- **Strömungsakustik und Verbrennungslärm**

(Prof. Dr. M. Ochmann, Dipl. Ing. H. Brick, Dr. R. Piscoya, TFH Berlin, Prof. Dr. P. Költzsch, TU Dresden), ab S. 112

- **Verkehrsrgeräusche**

(Prof. Dr. H. Fastl, Technische Universität München, Dr. P. Ehlinger, Porsche AG), ab S. 147 bzw. 256

- **Wideband Speech Revisited**

(Prof. Dr. S. Möller, Dr. A. Raake, Deutsche Telekom Laboratories TU Berlin), ab S. 197

## **Mündliche Vorträge**

Der Stundenplan des Hauptteils der Tagung richtet sich **streng** nach folgendem 25-Minuten-Raster:

- **15 min** Vortrag
- **5 min** Diskussion
- **5 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. Die Vorträge sollten daher zeitlich genau auf dieses Raster ausgerichtet sein. Der zeitliche Ablauf wird durch signalgebende Uhren in den Vortragssälen überwacht. *Zeitüberschreitungen sind nicht möglich.* Die Sitzungsleiter werden Vorträge, die zu lange dauern, abbrechen. Bitte richten Sie Ihren Vortrag auf die Vortragsdauer von 15 min ein.

### Medien

Jeder Vortragssaal ist mit einem Laptop und einem Beamer mit einer Standardauflösung von 1024 x 768 Pixeln ausgestattet.

Für die mündliche Präsentation stehen in jedem Konferenzraum ein Rechner (Betriebssystem Windows XP, Office und Acrobat-Reader), ein Beamer und eine tontechnische Anlage zur Verfügung. Alles, was darüber hinaus an Technik benötigt wird, sollte bis spätestens vier Wochen vor Tagungsbeginn per E-Mail unter [daga08.info@ias.et.tu-dresden.de](mailto:daga08.info@ias.et.tu-dresden.de) angemeldet werden. Vortragende werden gebeten, ihre Präsentation auf CD-ROM oder USB-Stick bereit zu halten und diese vor Beginn der Vortrags-sitzung mit Hilfe des Saalpersonals auf den vorhandenen Rechner zu überspielen. Der Einsatz eigener Rechner ist auf Grund der räumlichen Gegebenheiten nicht möglich. Die Projektion von Diapositiven ist nicht vorgesehen. Audiodemonstrationen können in allen Räumen wiedergegeben werden.

Bei PowerPoint-Präsentationen empfehlen wir, neben der PowerPoint-Datei sicherheitshalber auch eine rechnerunabhängige Variante mit der Methode „Pack & Go“ (über das Menu „Datei“ zu erreichen) zu erstellen und auf der CD bzw. dem USB-Stick zu speichern. Sie können Ihre Präsentation in den vortragsfreien Zeiten und eine halbe Stunde vor Beginn der ersten Sitzung des Tages testen und gegebenenfalls Ihren „Pack & Go“-Ordner entpacken.

Da für die Kompatibilität Ihrer Präsentation mit der installierten PowerPoint-Version keine Gewähr übernommen werden kann, bieten wir einen Funktionstest Ihres Vortrages an. Aus organisatorischen Gründen müssen die zu testenden Vorträge bis zum 29. Februar 2008 per E-Mail an [daga08.info@ias.et.tu-dresden.de](mailto:daga08.info@ias.et.tu-dresden.de) eingereicht werden. Weiterhin steht im Bereich des

Tagungsbüros ein Mediencheck für den Test Ihrer Präsentation zur Verfügung.

Das Abspielen von Audio-Beispielen ist im Rahmen eines Vortrags in jedem Hörsaal mit guter Monoqualität möglich.

### **Poster**

Die Poster werden in einem zentralen Bereich des Tagungsortes präsentiert und wie die Vorträge nach thematischen Zusammenhängen gruppiert (siehe Seite 5). Sie bleiben durchgehend von Dienstag bis Donnerstag hängen. Im Tagungsband wird einer Poster-Präsentation der gleiche Umfang eingeräumt wie einem mündlichen Beitrag. Jeder Autor sollte vor Ort Zeiten angeben, zu denen er an seinem Poster anwesend sein wird. Das Format der Poster ist A0 hochkant (BxH = 84,1 cm x 118,9 cm).

In der weiteren Gestaltung sind die Autoren frei. Stellwände und Klebematerial zum Anbringen der Poster werden gestellt.

### **Hinweise zum Poster-Layout**

Das Poster sollte für sich selbst sprechen, d. h. auch dann klar und verständlich sein, wenn entweder gerade keine Ansprechperson da ist, um Fragen zu beantworten, oder wenn die Ansprechperson sich gerade in einer Diskussion mit anderen Tagungsteilnehmern befindet.

Um zu erreichen, dass ein Poster „selbsterklärend“ ist, bedenken Sie folgende „Elemente“ der Präsentation, die z. B. jeweils blockweise visuell dargestellt werden können:

- Thema, Ziel, Absicht des Beitrags
- Hintergrundinformation, frühere Arbeiten
- Annahmen, Ausgangspunkte der Arbeit
- experimenteller Aufbau, Block-Diagramme
- Theoretischer Zusammenhang
- Ergebnisse, Daten, Grafiken der Ergebnisse
- Schlussfolgerungen, Bewertungen, zukünftige Aufgaben

### **Late Poster**

Bitte beachten Sie, dass die Anmeldung eines mündlichen Vortrags leider nicht mehr möglich ist, da die Anmeldefrist am 1.11.2007 abgelaufen ist. Wie im letzten Jahr besteht aber wieder die Möglichkeit, ein „Late Poster“ anzumelden, und zwar bis zum 29. Februar 2008. Dies beinhaltet - wie für Vorträge und Poster auch - einen zweiseitigen Beitrag im Tagungsband. Die Anmeldung und Koordination läuft per E-Mail über [daga08.info@ias.et.tu-dresden.de](mailto:daga08.info@ias.et.tu-dresden.de).

### Informationen zur Abgabe der Manuskripte

Nachstehend finden Sie alle Informationen über die Abfassung und Abgabe des Tagungsbeitrages zur DAGA 2008. Die Beiträge sind grundsätzlich in elektronischer Form abzugeben.

*Länge und Formate des Beitrages:* Die Länge, das Seitenformat und die zu verwendenden Schriftformate sollen im Tagungsband einheitlich sein und sind somit vorgegeben. Die Länge des Tagungsbeitrages ist auf 2 DIN-A4-Seiten begrenzt, die jeweils zweispaltig beschrieben werden. Vorlagen für Word und  $\text{\LaTeX}$  stehen auf der Webseite

<http://2008.daga-tagung.de>

unter „Autoren → Hinweise zum Manuskript“ zur Verfügung. Für Benutzer von Microsoft-Word und  $\text{\LaTeX}$  können die entsprechenden Files direkt als Vorlage genutzt werden. Bei der Nutzung anderer Textverarbeitungsprogramme sind die Formate entsprechend zu übernehmen.

*Abgabe des Tagungsbeitrages:* Der Tagungsbeitrag kann als Word- oder direkt als PDF-File eingereicht werden. Benutzen Sie dafür bitte das unter

<http://2008.daga-tagung.de>

zur Verfügung gestellte Web-Interface. Die Abgabe der Beiträge soll bis **spätestens zum 13.03.2008** (Ende der DAGA-Tagung) erfolgen. Verspätet abgegebene Beiträge können nicht für den Tagungsband berücksichtigt werden. Falls eine Abgabe des Tagungsbeitrages über das Web-Interface nicht möglich ist, können Sie die Datei auch per Diskette oder CD-ROM während der DAGA 2008 im Tagungsbüro abgeben.

Der Tagungsband wird in Form einer CD-ROM im Sommer 2008 an die Tagungsteilnehmer versendet. Eine CD pro Tagungsteilnehmer ist in der Tagungsgebühr enthalten (siehe Seite 27).

### Tagungsbegleitende Ausstellung

Der wissenschaftliche Teil der Tagung wird von einer Ausstellung begleitet. Diese bietet ein Forum für Kontakte und den Informationsaustausch zwischen Theorie und Praxis. Wenn Sie daran teilnehmen möchten, wenden Sie sich bitte frühzeitig an die Tagungsorganisation.

Kontakt: Dr.-Ing. Ercan Altinsoy,  
[daga08.ausstellung@ias.et.tu-dresden.de](mailto:daga08.ausstellung@ias.et.tu-dresden.de)



Die Ausstellung findet vom 11. bis zum 13. März 2008 im Foyer des Dresdner Kulturpalastes statt. Nähere Informationen und Anmeldeformulare stehen unter <http://2008.daga-tagung.de> zur Verfügung.

Bis zum 31.12.2007 haben sich folgende Firmen zur tagungsbegleitenden Ausstellung angemeldet:

- 01dB GmbH
- Akustik Technologie Göttingen
- Braunstein + Berndt GmbH
- Brüel & Kjaer GmbH
- BSW GmbH Berleburger Schaumstoffwerk
- Cirrus Research plc
- DataKustik GmbH
- deBAKOM GmbH
- Deutsche Rockwool Mineralwoll GmbH & Co. OHG
- gfai tech GmbH
- G.R.A.S. Sound & Vibration A/S
- HEAD acoustics GmbH
- IAC Industrial Acoustics Company GmbH
- Klippel GmbH
- LMS Deutschland GmbH
- Microflown Technologies BV
- Müller-BBM VibroAkustik Systeme GmbH
- Norsonic-Tippkemper GmbH
- Pinta Acoustic GmbH
- Polytec GmbH
- Rahe-Kraft GbR
- Renz Solutions GmbH
- Schalltechnik Süd & Nord GmbH
- Sennheiser electronic GmbH & Co. KG
- Sinus Messtechnik GmbH
- Spektra Schwingungstechnik und Akustik GmbH
- Stapelfeldt Ing. GmbH
- Stratenschulte Messtechnik
- Wölfel Meßsysteme Software GmbH & Co. KG

### **Produkt-Forum**

Wie schon im letzten Jahr wird wieder ein Produkt-Forum angeboten. Um eine möglichst große Zuhörerschaft zu erreichen, findet es als Plenarveranstaltung ohne parallele Sitzungen im Anschluss an die Eröffnungsfeierlichkeiten am Dienstag, den 11. März 2008 um 12:00 Uhr im Festsaal des Kulturpalastes statt.

In einer jeweils zweiminütigen Präsentation haben die Aussteller der tagungsbegleitenden Ausstellung die Möglichkeit, auf ihre Produkte und Ideen hinzuweisen.

### **Stellenanzeigen**

Am Tagungsort bzw. im Kulturpalast dürfen Stellenanzeigen nur an einem zentralen schwarzen Brett im Bereich des Tagungsbüros ausgehängt werden, und zwar zu einer Nutzungsgebühr pro Anzeige von 50,- € (für Hochschulen und DEGA-Fördermitglieder) bzw. 150,- € (für sonstige Firmen und Institutionen) zuzügl. MwSt.

### **DEGA-Mitgliederversammlung**

Am Montag, den 10. März 2008, findet um 18:00 Uhr die DEGA-Mitgliederversammlung im Salon Zwinger des Kulturpalastes statt. Bitte merken Sie sich den Termin vor. Die offizielle Einladung und die Tagesordnung werden auf der DEGA-Webseite publiziert und gehen den Mitgliedern der DEGA mit der nächsten Ausgabe des DEGA-Sprachrohrs zu.

### **Fachausschuss- und Gremiensitzungen**

Während der DAGA werden verschiedene Gremiensitzungen stattfinden, und zwar vorwiegend in der Mittagspause. Räume und Zeiten der Fachausschuss-Sitzungen werden im nächsten DEGA-Sprachrohr bekannt gegeben. Zusätzlich werden diese Informationen über einen Flyer in der Tagungstasche (und beim Tagungsbüro) verfügbar sein.

### **Abendveranstaltungen**

Das wissenschaftliche Programm der DAGA 2008 wird durch zwei Abendveranstaltungen am Dienstag und Mittwoch ergänzt, zu denen wir herzlich einladen:

- Am Dienstag findet um 19:00 Uhr in der **Frauenkirche** eine festliche Abendveranstaltung mit Vorträgen von Dr. Burger (zum Wiederaufbau), Prof. Dr. Ahnert (zur Raumakustik) und Prof. Dr. Niehoff (zur Elektroakustik) sowie anschließend Konzert mit dem Frauenkirchenorganisten Samuel Kummer statt.
- Am Mittwoch wird um 19:00 Uhr in der **Alten Mensa** (Mommensenstraße 13) der TU Dresden zu einem ungezwungen Meinungs- und Erfahrungsaustausch bei einem herzhaften Essen, Getränken und Musik geladen (Wegbeschreibung: siehe S. 357).

## Exkursionen

Während Ihres Aufenthalts in der sächsischen Landeshauptstadt besteht die Möglichkeit, die zahlreichen historischen und kulturellen Sehenswürdigkeiten zu besuchen. Zwinger, Semperoper, Frauenkirche und Residenzschloss prägen das historische Zentrum Dresdens. Geführte Stadtrundgänge können am Tagungsort gebucht werden. Empfehlenswert ist auch ein Besuch der Gemäldegalerie Alte Meister oder der Schatzkammer der sächsischen Kurfürsten und Könige, dem Grünen Gewölbe.

Im Rahmen der DAGA werden zusätzlich zwei interessante Exkursionen angeboten. Die Teilnahme ist kostenfrei. Die Anmeldung zu den Exkursionen ist im Tagungsbüro möglich.

- Exkursion 1: Besichtigung der **Semperoper**.

Geführte Besichtigung der sächsischen Staatsoper mit Dr. Hans-Jörg Ederer. Diese besonders auf die Akustik des Hauses ausgerichtete Exkursion erlaubt einen Blick hinter die Kulissen eines der prächtigsten Opernhäuser Deutschlands.

Dienstag, 11. März 2008, 14:45 - 16:30 Uhr (Termin unverbindlich), 20 Teilnehmer, gemeinsamer Fußweg vom Tagungsort.

- Exkursion 2: Besichtigung der **Silbermann-Orgel** in der Kathedrale Dresden.

Der Domorganist Hansjürgen Scholze wird uns mit einem Orgelvorspiel auf der mehr als 250 Jahre alten Orgel begrüßen. Anschließend führt der für die Restauration verantwortliche Orgelbauer Horst Jehmlich durch das Instrument.

Mittwoch, 12. März 2008, 11:15 - 12:30 Uhr, 30 Teilnehmer, gemeinsamer Fußweg vom Tagungsort.

## Anmeldung zur Teilnahme an der Tagung

Die Anmeldung zur Teilnahme soll vorzugsweise im Internet unter

<http://2008.daga-tagung.de>

(und dort unter „Anmeldung“) erfolgen. Für die schriftliche Anmeldung als Teilnehmer können Sie das entsprechende Anmeldeformular ebenfalls von der Webseite herunterladen oder das Formular auf Seite 369 verwenden.

## Teilnahmegebühren

Gruppe	Mitglieder <sup>(a)</sup>	studierend	Rentner <sup>(b)</sup>	€ früh <sup>(c)</sup>	€ spät <sup>(d)</sup>
1 <sup>(e)</sup>	nein	nein	nein	210,-	240,-
2	nein	nein	nein	200,-	230,-
3	ja	nein	nein	150,-	180,-
4	ja	nein	ja	75,-	100,-
5 <sup>(f)</sup>	nein	ja	nein	70,-	80,-
6	nein	ja	nein	60,-	70,-
7	ja	ja	nein	30,-	40,-

(a): Mitglied in DEGA, VDI, DPG, ITG, VdT

(b): Die Teilnahmegebühren für Rentner bzw. Pensionäre gelten auch für Erwerbslose. Teilnehmer aus dieser Kategorie, die nicht Mitglied <sup>(a)</sup> sind, zählen zu Gruppe 2.

(c): Gebühr bis einschließlich 31. Januar 2008

(d): Gebühr ab dem 1. Februar 2008

(e): *Paketangebot*: Tagungsteilnahme *plus* Neu-Mitgliedschaft in der DEGA im Jahr 2008

(f): *Paketangebot*: Tagungsteilnahme *plus* Neu-Mitgliedschaft als Studierende(r) in der DEGA im Jahr 2008

Das *Paketangebot* für Nichtmitglieder umfasst neben der Tagungsteilnahme die volle persönliche Mitgliedschaft in der DEGA inklusive des Mitgliedsbeitrags für das Jahr 2008. Es ist aufgrund der geringen Differenz zur regulären Teilnahmegebühr sehr attraktiv. Nach Ablauf des Jahres 2008 verlängert sich die Mitgliedschaft automatisch; es gelten dann die regulären Mitgliedsbeiträge. Sollten Sie an einer weiterführenden Mitgliedschaft nicht interessiert sein, teilen Sie dies der DEGA-Geschäftsstelle bis spätestens vier Wochen vor Ablauf des Jahres schriftlich mit.

## Zahlungsweise

Zahlungen innerhalb Deutschlands sollten vorzugsweise per Lastschrifteinzug durchgeführt werden und aus dem Ausland per IBAN-Überweisung (aus Euro-Staaten) oder per Kreditkarte. Bei der online-Anmeldung auf <http://2008.daga-tagung.de> (oder im Formular für die schriftliche Anmeldung) können Sie die entsprechenden Angaben machen; eine Rechnung wird per E-Mail zugeschickt.

Falls Sie Ihre Tagungsgebühr überweisen möchten, zahlen Sie diese bitte auf folgendes Konto unter Angabe Ihrer Rechnungsnummer ein:

Konto-Inhaberin: DEGA e.V.

Oldenburgische Landesbank

BLZ: 280 200 50

Konto-Nr.: 108 372 01 08

(IBAN: DE98 2802 0050 1083 7201 08, BIC: OLBODEH2)

### **Tagungs-CD und Tagungsband**

Die Manuskripte der Beiträge zur Tagung (Vorträge und Poster) werden wie üblich als CD-ROM veröffentlicht. Jeder registrierte Tagungsteilnehmer erhält diese CD-ROM im Sommer 2008. Eine gedruckte Version des Tagungsbandes ist gegen eine Kostenbeteiligung von 50,- € erhältlich. Dieser Preis gilt als Subskriptionspreis für Tagungsteilnehmer bei Bestellung vor oder während der Tagung. Nachträgliche Bestellungen des Tagungsbandes sind möglich; der Preis beträgt dann 75,- € zuzügl. MwSt.

### **Hinweise zur Gastronomie**

Eine große Auswahl an Restaurants und Bars gibt es in unmittelbarer Nähe des Kulturpalastes im Zentrum Dresdens. Alles ist bequem zu Fuß zu erreichen. Ratgeber zum Thema Gastronomie in Dresden gibt es im Internet unter anderem unter:

<http://www.dresden-online.de/gastro>

<http://www.dresden.de> (→ Tourismus → Dresden erleben → Gastronomie und Shopping)

<http://www.restaurant-dresden.de>

<http://www.besuchen-sie-dresden.de> (→ Gastronomie)

### **Wichtige Termine zur DAGA 2008**

- *31. Januar 2008*: Letzter Termin für die Anmeldung mit den günstigeren („frühen“) Teilnahmegebühren.
- *10. März 2008*: Vorkolloquien, DEGA-Mitgliederversammlung.
- *10. März - 13. März 2008*: DAGA 2008-Tagung, Abgabe der druckfertigen Tagungsbeiträge möglichst in elektronischer Form als pdf-Datei (über das bereitgestellte Web-Interface).
- *Sommer 2008*: Versand der CD-ROM sowie der geordneten (kostenpflichtigen) gedruckten Tagungsbände.

## **Eröffnungsveranstaltung und Produkt-Forum**

Di. 9:00    Festsaal    Eröffnung der DAGA 2008

- Begrüßungen
- Verleihung der Helmholtz-Medaille
- Verleihung des Lothar-Cremer-Preises
- Verleihung des DEGA-Studienpreises

Di. ca. 11:15    Festsaal    Plenarvortrag Dienstag

P. Költzsch: „Von Pythagoras über Helmholtz bis Békésy - eine Entdeckungsreise durch die Geschichte der Akustik“ (Abstract siehe nächste Seite)

Di. ca. 12:00    Festsaal    Produkt-Forum

### **Produkt-Forum**

Das Produkt-Forum soll - wie schon bei der letzten DAGA - den ausstellenden Firmen die Möglichkeit geben, in einer Plenarveranstaltung auf ihre jeweiligen Produkte aufmerksam zu machen. Dazu stehen jedem Aussteller zwei Minuten zur Verfügung.

## Plenarvorträge

Di. ca. 11:15 Festsaal

Plenarvortrag Dienstag

### **Von Pythagoras über Helmholtz bis Békésy - eine Entdeckungsreise durch die Geschichte der Akustik**

P. Költzsch

*Technische Universität Dresden*

In einem DEGA-Projekt wird die Geschichte der Akustik anhand der biographischen, wissenschaftlichen und wissenschaftsorganisatorischen Leistungen großer Akustiker dargestellt, auch unter Einbeziehung von Wissenschaftlern anderer Fachgebiete, die zur Entwicklung des Fachgebietes Akustik beigetragen haben.

Bei diesem Streifzug durch die Geschichte der Akustik werden für die Antike Pythagoras, Polykleitos der Jüngere, Vitruvius und die Akustik der antiken Theater dargestellt. Das pythagoreische Weltprinzip "Alles ist Zahl", abgeleitet aus den akustischen Experimenten am Monochord, "diese sinnstiftende Kraft mathematischer Strukturen", gehört nach Werner Heisenberg "zu den stärksten Impulsen menschlicher Wissenschaft überhaupt".

Aus der Phalanx großer Akustiker des Mittelalters wird einerseits der französische Naturphilosoph und Theologe Marin Mersenne ausgewählt, der sich mit der Messung der Schallgeschwindigkeit, mit Skalierungsmethoden bei Saitenschwingungen und den "Mersenne"-Primzahlen befasste; andererseits ist Athanasius Kircher, Professor am Vatikan und der große "Illustrator" der mittelalterlichen Akustik, eine herausragende Persönlichkeit der Akustikgeschichte. Aus den letzten beiden Jahrhunderten werden in den historischen Streifzug Hermann von Helmholtz und der Physiker Georg von Békésy, der 1961 den Nobelpreis für Medizin erhielt, einbezogen.

Und so kann auf diese Weise Akustikgeschichte geschrieben werden: nicht darzustellen, wie "es" war, sondern wie A und B und M und N waren, die "es" gestaltet haben (nach H. v. Hentig).

Mi. 11:00 Festsaal

Plenarvorträge Mittwoch

**EMPAC - Das Zentrum am Übergang zwischen digitalen und wahrnehmbaren Welten**J. Goebel*EMPAC - Rensselaer Polytechnic Institute*

In aller Radikalität wurde in den vergangenen sieben Jahren in den USA ein Zentrum entwickelt und gebaut, das eine einzigartige Brücke zwischen den Qualitäten der menschlichen Wahrnehmung und dem digitalen Potential der Computertechnologie bietet. Die Radikalität liegt darin, dass die Maßstäbe für die baulichen und technischen Spezifikationen auf die Erfordernisse und die Möglichkeiten der menschlichen Sinne ausgerichtet sind. Das Experimental Media and Performing Arts Center des Rensselaer Polytechnic Institute umfasst einen Konzertsaal, ein Theater, zwei große Studios, mehrere Studios für Gastkünstler und Gastforscher und eine professionelle Infrastruktur für Audio, Video und Theatertechnik und kann gleichzeitig mit dem zurzeit weltweit größten Supercomputerzentrum an einer Universität verbunden sein. Die vier großen Aufführungs- und Produktionsräume sind in ebenbürtigem Maße für "Hören, Sehen und Bewegen" qualifiziert, so ist etwa selbst das Theater mit Bühnenturm auf NR15 ausgelegt, der Konzertsaal hat eine völlig neuartige akustische Decke und für die großen Studios wurden u.a. neue Akustikpaneelen entwickelt. In dem Vortrag wird dargelegt, in welche Beziehungen Technologie und Wahrnehmung, Kunst und Forschung gebracht werden, wenn wir die Komplexität unserer sinnstiftenden Wahrnehmungsmöglichkeiten zugrunde legen.

Mi. 11:45 Festsaal

Plenarvorträge Mittwoch

**Ultraschall-Kraftmikroskopie, Prinzip und Anwendungen**U. Rabe*Fraunhofer IZFP Saarbrücken*

Die Kraftmikroskopie ist ein Rastersondenverfahren, bei dem eine scharfe Spitze mit einem Krümmungsradius von wenigen Nanometern in die Nähe der zu untersuchenden Oberfläche gebracht wird und diese abtastet. Die Sensorspitze sitzt auf dem Ende einer mikromechanischen Blattfeder, deren Verbiegung ein Maß für die physikalischen Kräfte zwischen Spitze und Probe ist. Bei dynamischen Verfahren wird die Blattfeder des Kraftmikroskops während des Rastervorgangs in Schwingung versetzt. Aus Sicht der Akustik sind die Sensoren des Kraftmikroskops kleine mechanische Kontinua mit verschiedenen Eigenmoden wie



Biege- und Torsionsmoden. Wegen der geringen Abmessungen der Blattfedern liegen ihre niedrigsten Eigenresonanzfrequenzen im Ultraschall-Frequenzbereich. Die Eigenmoden der Blattfedern werden für die Ultraschall-Kraftmikroskopie, die Ultraschall-Reibungsmikroskopie und dem Ultraschall-Piezomode genutzt, mit denen die Elastizität, Reibung und piezoelektrischen Eigenschaften von Oberflächen mit hoher Ortsauflösung abgebildet oder quantitativ gemessen werden können. Bei den Ultraschall-Kraftmikroskopie-Verfahren wird mittels eines konventionellen Schallwandlers Ultraschall in der Sonde oder der Probe angeregt. Die Wechselwirkungskräfte zwischen Probe und Spitze übertragen Ultraschall von einer schwingenden Oberfläche auf die Spitze des Kraftmikroskops und umgekehrt. Da diese Kräfte nichtlineare Funktionen des Abstands sind, beobachtet man nichtlineare Effekte, wie die Anregung von höheren Harmonischen und einen Gleichrichtereffekt, die für die Messung verwendet werden können. Die verschiedenen Techniken der Ultraschall-Kraftmikroskopie werden mit Anwendungsbeispielen diskutiert.

Do 11:00 Festsaal

Plenarvorträge Donnerstag

## **Modellbasierte Signalverarbeitung in Hörgeräten**

V. Hohmann

*Universität Oldenburg, Medizinische Physik*

Seit der Einführung des ersten kommerziellen volldigitalen Hörgeräts im Jahr 1996 konnte die für die Signalverarbeitung verfügbare Rechenleistung kontinuierlich gesteigert werden. Dies ermöglicht neue, interessante Perspektiven für die Rehabilitation von Schwerhörigkeit, jedoch werden bisher nur Teilaspekte der Möglichkeiten einer digitalen Signalverarbeitung tatsächlich ausgenutzt. Beispielsweise stellen viele der derzeit verwendeten Algorithmen nur etwas verallgemeinerte Kopien der bisher bekannten analogen Signalverarbeitung dar, und die Leistung aktueller Hörgeräte in Bezug auf die Rehabilitation von Kommunikationsstörungen in störrauschbehafteter Umgebung ist trotz umfangreicher Forschungs- und Entwicklungsarbeiten noch begrenzt. Weitere Grundlagenforschung zur Verbesserung von Algorithmen und der Methoden zu ihrer Anpassung an den individuellen Hörverlust erscheint daher notwendig. Ein möglicher grundlegender Ansatz dazu ist die Nutzung von Modellen des Hörsystems und weiterer Ergebnisse der psychoakustischen Forschung zur Entwicklung und Bewertung von komplexen Signalverarbeitungsstrategien. Dieser Beitrag stellt die Möglichkeiten und Grenzen

dieses modellbasierten Ansatzes vor. Insbesondere wird auf die Nutzung von Modellen des peripheren Hörsystems für das Design von Algorithmen zur Dynamikkompression sowie von Modellen des binauralen Hörsystems und der auditorischen Szenenanalyse für das Design von Störgeräuschunterdrückungssystemen eingegangen.

Do. 11:45    Festsaal

Plenarvorträge Donnerstag

### **Zwischen Anforderung des Werks und persönlichem Ausdruck**

B. Flückiger

*Univ. Zürich, Seminar für Filmwissenschaft*

Seit den 1970er Jahren hat sich das Konzept des Sound Designers als eine kreative Instanz etabliert. In der Praxis stehen jedoch der künstlerischen Freiheit des Ausdrucks Rahmenbedingungen gegenüber, die außerhalb des Einflussbereichs des Sound Designers stehen. Als weitere Einflussgröße sind die Anforderungen des individuellen Werks zu sehen, in welches sich die Tongestaltung integrieren soll. Wie gelingt es, in diesem System einen eigenen Stil zu entwickeln, eine unverwechselbare Handschrift? Oder zeigt sich Meisterschaft vielmehr in größtmöglicher Flexibilität, dem immer neuen Entwerfen von Konzepten, die sich der Werksintention optimal unterordnen?

## **Vorkolloquium: Gestaltung virtueller Realitäten zur akustischen Kommunikation**

Mo. 12:30    Zwinger                      Vorkolloquium Virtuelle Realitäten

---

### **Einführung**

U. Jekosch

*TU Dresden, Inst. für Akustik und Sprachkommunikation*

Mo. 12:35    Zwinger                      Vorkolloquium Virtuelle Realitäten

---

### **Virtuelle Wirklichkeit als Teil der wirklichen Wirklichkeit**

J. Goebel

*EMPAC - Rensselaer Polytechnic Institute*

Projektionen von einer virtuellen Wirklichkeit in eine andere Wirklichkeit - schaffen sie eine dritte Wirklichkeit oder bilden beide zusammen eine oder womöglich "die" Wirklichkeit? Gibt es gar nur eine Wirklichkeit? Oder ist Wirklichkeit ein sich stets änderndes Konzept? Wie werden Konstanten in der Wahrnehmung von Wirklichkeit definiert? - Qualität kann offenbar nur daran gemessen werden, was unsere Ohren und unser Kopf "von Natur aus" wahrnehmen können. Allerdings ist die Qualität unserer Wahrnehmung auch Ergebnis unserer Lebenserfahrung. Wird Qualität und Plausibilität daran gemessen, woran wir gewöhnt sind? - Virtuelle Umgebungen sind Teil unserer Wirklichkeit. Sie sind synthetische Umgebungen, die wiederum nur in der "wirklichen Wirklichkeit" mit unseren Sinnen wahrgenommen werden. Da erscheint es sinnvoll, die uns umgebende "wirkliche Wirklichkeit" und die "virtuelle Wirklichkeit" in ihren Verflechtungen näher zu bedenken.

Mo. 13:00    Zwinger                      Vorkolloquium Virtuelle Realitäten

---

### **3-D-Lautsprecher-Wiedergabemethoden**

J. Blauert

*Ruhr-Universität Bochum*

Verfügbare Methoden raumbezogener Lautsprecherwiedergabe werden vorgestellt und kritisch evaluiert, wobei ihr Einsatz zur Erzeugung von Scheinhörwelten im Vordergrund der Betrachtungen steht. Die folgenden Methoden werden vergleichend abgehandelt:

- Intensitäts- und Laufzeitstereophonie
- Vektorbasierte Amplitudensteuerung (VAP)
- Schallfeldsynthese mittel Kugelfunktionen (Ambisonics)

- Schallfeldsynthese nach der Hüllflächenmethode (WWS)
- Binaurale Merkmalauswahl (DirAC)

Mo. 13:25 Zwinger

Vorkolloquium Virtuelle Realitäten

## **Gestaltung der räumlichen Eigenschaften von Schallfeldern - Fokussierung von Schallereignissen**

M. Strauß

*Fraunhofer IDMT*

Zur Erzeugung virtueller akustischer Realitäten sind verschiedenste Wiedergabetechniken in Gebrauch. Eine erste grundsätzliche Unterscheidung kann durch die Art der verwendeten Schallwandler, Lautsprecher oder Kopfhörer, getroffen werden. Als weitere Merkmale können z.B. die Größe des angestrebten Reproduktionsgebietes, oder die Fähigkeit zur Erzeugung eines holo-phonen Schallfeldes genannt werden. Jedes Verfahren bedingt eine bestimmte Anordnung und Ansteuerung der Schallwandler. Beispielsweise lassen sich durch Zusammenfassen von Lautsprechern zu einem Gruppenstrahler (Array) und entsprechender Wahl der Ansteuerung eines Arrays spezifische Abstrahlcharakteristika erzeugen. Neben der Beeinflussung von wahrnehmungsbasierten Attributen einer virtuellen akustischen Umgebung bieten verschiedene Verfahren dadurch auch Möglichkeiten zur physikalisch-akustischen Gestaltung des Schallfeldes. In diesem Vortrag werden Methoden zur Erzeugung fokussierter Schallereignisse beschrieben und diskutiert. Zum Vergleich sollen die Wellenfeldsynthese ("wfs"), das Zeitumkehrprinzip ("time reversal mirror"), und numerische Berechnungsansätze ("numerical control") näher betrachtet werden. Über die Darstellung der theoretischen Grundlagen werden die generellen Unterschiede der Verfahren herausgearbeitet. Dabei wird auch Wert auf die Ermittlung von Parametern für die Beurteilung dieser speziellen Problemstellung gelegt, welche als objektive und auch subjektive Kriterien zur Bewertung der Qualität der Fokussierung herangezogen werden können. Beispiele aus der Praxis werden die theoretischen Betrachtungen abrunden.

Mo. 13:50 Zwinger

Vorkolloquium Virtuelle Realitäten

**Vergleich von WFS und Stereo**H. Wittek*Schoeps Mikrofone GmbH*

Die Eigenschaften von Wellenfeldsynthese (WFS) und Stereophonie in Bezug auf Lokalisation, Klangfarbe und Distanzwahrnehmung werden untersucht. Es treten signifikante Unterschiede zutage. Durch die Vermeidung von "Spatial aliasing" können wesentliche Verbesserungen der WFS erreicht werden. Dies geschieht durch die Einbeziehung stereofoner Wiedergabe im Bereich oberhalb der Alias-Frequenz. Dieses sogenannte OPSI-System wird besser beurteilt als konventionelle WFS. Eine Prediktion der Verfärbung der wahrgenommenen Quellen auf Basis der Ohrsignale kann bei der Analyse helfen. Die stereofonen Systeme schneiden bei den Hörversuchen besser ab als vorhergesagt. Dies deutet auf die Existenz einer "binauralen Entfärbung" hin. Dies wurde z.B. von Theile mit seinem Assoziationsmodell erklärt.

Mo. 14:15 Zwinger

Vorkolloquium Virtuelle Realitäten

**BRS reproduction via virtual headphone based on WFS rendered focused sources**G. Theile*Institut für Rundfunktechnik GmbH*

The so called "Binaural Sky" concept combines wave field synthesis and binaural techniques. Focused sources are rendered close at listener's ears by means of a WFS-array above the listener. Due to headtracking control, the locations of the focused sources are kept constant relative to the ears regardless of head movement. The focused sources are used in combination with HRTF invers filtering, forming a virtual headphone which is used for BRS (Binaural Room Synthesis) reproduction. As a result, virtual loudspeaker playback can be enjoyed without wearing a headphone, without any loudspeakers in the listener's field of vision and without quality constraints in small rooms or other inappropriate environments. Stable and accurate room-related localization of loudspeakers in the virtual studio is achieved while the location of the real array loudspeakers above the listener is not perceivable. High-quality surround sound monitoring is possible for standard or advanced multi-channel loudspeaker setups, including additional height loudspeakers. A broad range of consumer applications is envisaged, for example computer game, automotive audio, or augmented reality.

Mo. 15:00 Zwinger

Vorkolloquium Virtuelle Realitäten

**Raumakustik in VR**M. Vorländer und D. Schröder*Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen*

Die Technik der "Virtuellen Realität" (VR) hat sich im letzten Jahrzehnt als Werkzeug für Anwendungen in Forschung und Entwicklung gut etabliert. Im Allgemeinen beschränkt man sich bei VR lediglich auf eine 3D-Visualisierung in Echtzeit, obwohl sie im multimodalen Konzept von Sehen, Hören, Tasten und Kraftrückwirkung zu verstehen ist. Applikationen wie die Exploration von virtuellen Umgebungen benötigen daher auch eine klare, physikalisch und psychoakustisch plausible Schnittstelle für die Erzeugung des auditiven Stimulus (Rendering) um dem Benutzer einen plausiblen Eindruck der virtuellen Szene zu vermitteln. Akustisches Rendering ist mit handelsüblichen PCs heute in Echtzeit möglich. Dies beinhaltet die binaurale Synthese ebenso wie die Raumakustik im Speziellen. In diesem Beitrag werden die Anforderungen an Raumakustik-Simulationen vorgestellt, ferner die Leistungsfähigkeit der Algorithmen, mögliche Anwendungen in der VR-Forschung und der Architektur.

Mo. 15:25 Zwinger

Vorkolloquium Virtuelle Realitäten

**Qualitätsaspekte von (virtuellen) Telefonkonferenzen**A. Raake*Deutsche Telekom Laboratories, TU Berlin*

Virtuelle auditive Umgebungen erlauben es, das Paradigma der klassischen Telekonferenz zunehmend hinsichtlich einer effizienteren Gesprächsführung mit mehreren Teilnehmern zu verschieben, die sich letztlich in einem virtuellen Raum zu ihrem Gespräch treffen können. Dabei spielen die technologischen Möglichkeiten der quellen-bezogenen Sprachaufzeichnung, der paketbasierten Übertragung, der räumlichen Schallwiedergabe und der Aufzeichnung, Repräsentation und Übertragung von auditiven Szenen eine wesentliche Rolle.

Im Vortrag werden die zugrunde liegenden Technologien hinsichtlich ihres Nutzens für Telekonferenzanwendungen vor dem Hintergrund unterschiedlicher Wahrnehmungs-Merkmale aus Benutzersicht erörtert. Wesentliche, (zusammengesetzte) Merkmale sind die Sprachverständlichkeit, die Sprachqualität, die Plausibilität und der Grad der Immersion, und aus Sicht der

Gebrauchstauglichkeit die Effizienz der ermöglichten Kommunikation. Zunächst wird im Vortrag eine anwendungsspezifische Arbeitsdefinition dieser Begriffe entwickelt. Um schließlich einen Zusammenhang zwischen diesen Wahrnehmungsmerkmalen und technischen Systemeigenschaften herzustellen, werden zunächst das Szenario der klassischen, einkanaligen und schmalbandigen Telefonkonferenz und die damit verbundenen Einschränkungen umrissen. Der Paradigmenwechsel hin zu einem virtuellen Sprach-Chat-Raum und die damit verbundenen Vorteile werden schrittweise aufgezeigt, ebenso wie die wahrnehmungsseitigen Konsequenzen der technologischen Grenzen. Auf diesem Weg werden Methoden zur auditiven Evaluierung von Telekonferenzsystemen sowie Ansätze zur instrumentellen Vorhersage bestimmter Wahrnehmungsgrößen wie der Sprachverständlichkeit zusammengestellt.

Mo. 15:50 Zwinger

Vorkolloquium Virtuelle Realitäten

## **Virtuelle Realitäten als Instrument für psychoakustische Forschung**

E. Altinsoy

*TU Dresden, Inst. für Akustik und Sprachkommunikation*

In der Psychoakustik beschäftigt man sich mit der Beziehung zwischen physikalischen Schallereignissen und mit den mit ihnen einhergehenden Hörwahrnehmungen. Virtuelle Realitäten ermöglichen die gezielte Manipulation des Sinnesinputs (physikalisches Schallereignis) unter reproduzierbaren Laborbedingungen. Gleichzeitig bieten virtuelle Umgebungen verschiedene Vorteile der Felduntersuchungen. Es ist möglich, die Versuchsperson in einen Kontext zu versetzen. In diesem Kontext kann die VP interaktiv agieren und reagieren. In den meisten praktischen Fällen, in denen sich Hören ereignet, nimmt der Mensch nicht ausschließlich akustische Signale wahr. Visuelle und taktile Stimuli begleiten den auditiven Stimulus. Durch die Möglichkeit der multimodalen Darbietung in Virtuellen Umgebungen verstärkt sich das Präsenzgefühl der Versuchsperson. Die Anwendung von virtuellen Realitäten für psychophysikalische Untersuchungen ist allerdings durch einige technische Gegebenheiten beschränkt. So kann etwa die Prozessdauer von Rechnern eine Latenz zwischen auditiver und taktiler Feedbackreproduktion verursachen. Kenntnisse über die menschlichen Wahrnehmung (z.B. Multimodale Interaktion) können helfen solche Einschränkungen zu umgehen. In diesem Vortrag werden die Möglichkeiten und Grenzen

von Virtuellen Realitäten für die Durchführung psychoakustischer Untersuchungen diskutiert.

Mo. 16:35 Zwinger

Vorkolloquium Virtuelle Realitäten

### **On Saliency and Interactivity in Human Audiovisual Perception**

U. Reiter

*NTNU Trondheim*

This contribution describes the results and conclusions from a number of experiments that have been performed in the context of human audiovisual quality perception in application systems of moderate complexity. From these as well as from preceding experiments a number of crucial influence factors have been identified and organized in a systematic way. These could serve as a basis for a salience model of human audiovisual perception. Furthermore, a focus is drawn to the effects of interactivity on attention and the resulting overall perceived quality.

Mo. 17:00 Zwinger

Vorkolloquium Virtuelle Realitäten

### **The Telematic Circle - a university based collaboration for music performances over the internet**

J. Braasch

*School of Architecture, Rensselaer Polytechnic Institute*

Distributed music performances over the Internet have recently gained in popularity. To promote live music collaborations over the internet and address current technological insufficiencies, the project team formed a university-based interest group, the Telematic Circle, that is focusing on educational aspects of telematic music. Currently, RPI, Stanford University, McGill University University of California San Diego are among the partners. In this talk, the main concepts and latest developments of the Telematic Circle will be presented including a system that is used to project musicians in two or more co-located venues into a shared virtual acoustic space. In this space the sound of the musicians is captured using spot microphones. Afterward, it is projected at the remote end using spatialization software based on virtual microphone control (ViMiC) and an array of loudspeakers. In order to simulate the same virtual room at all co-located sites, the ViMiC systems communicate using the OpenSound Control protocol to exchange room parameters and the room coordinates of the musicians.



Mo. 17:25 Zwinger

Vorkolloquium Virtuelle Realitäten

**Virtuelle Akustik und Klangkunst**S. Weinzierl*TU Berlin, Fachgebiet Audiokommunikation*

Die virtuelle Akustik strebt eine Erzeugung von auditiven Simulationen an, deren Qualität mit Kriterien wie Plausibilität, Authentizität oder Präsenz physikalisch oder psychologisch bewertet werden kann. In der akustischen Medienkunst, von der elektroakustischen Musik über die Computermusik bis zur Klanginstallation als akustischer Raumkunst, ist die Plausibilität von simulierten Klangereignissen dagegen nur ein mögliches ästhetisches Gestaltungskonzept. Hier steht häufig die künstlerische Autonomie von Klangobjekten im Vordergrund, ebenso das künstlerische Potential von widersprüchlichen Perzepten, etwa zwischen auditiver und visueller Erfahrungsebene. Der Vortrag gibt einen Überblick über den Einsatz akustischer Technologien wie Binauraltechnik, Wellenfeldsynthese oder Higher Order Ambisonis in verschiedenen Genres der akustischen Medienkunst. Vor dem Hintergrund einiger historischer Vorbilder werden Varianten des künstlerischen Umgangs mit diesen Technologien beleuchtet.

## Vorkolloquium: Elektroakustik und Signalverarbeitung

Mo. 13:00    Studiotheater Vorkolloq. Elektroakustik und Signalv.

### **Digitale Mikrophontechnik**

S. Leschka

*Georg Neumann GmbH*

Nachdem die Digitaltechnik in nahezu alle Bereiche des Lebens vorgedrungen ist, wurde folgerichtig die Digitalisierung der Mikrophontechnik von der Georg Neumann GmbH vorangetrieben. Der internationale Standard AES42 sichert die Kompatibilität der digitalen Mikrophone. Er definiert neben den physikalischen Randbedingungen der Mikrofon-Schnittstelle und dem Format der digitalen Audiodaten auch die Fernsteuerung sowie die spezielle Art der Synchronisation der digitalen Mikrophone. Die Synchronisierbarkeit der Mikrophone ermöglicht ihren Anschluss ohne Sampleratekonverter im Signalweg, die eine unerwünschte Latenz erzeugen. Die Analog-Digital-Wandlung des Kapselsignals in Neumann-Mikrophenen wird durch ein patentiertes Zweiwegeverfahren durchgeführt, dessen Dynamikbereich den der Mikrofonkapsel übertrifft. Bei geringem Schalldruckpegel wird das Kapselsignal ausschließlich durch einen der beiden A/D-Wandlerkanäle in die digitale Ebene überführt. Bei Überschreitung eines festen Grenzwertes überträgt ein nichtlineares Netzwerk Signalenergie in zunehmendem Maße auf den zweiten A/D-Wandlerkanal. Eine Rückführung in der Analogschaltung sichert, dass die Summe beider analoger Teilsignale dem Kapselsignal entspricht. Damit wird das Kapselsignal oberhalb des genannten Grenzwertes durch die Summe beider A/D-Wandlerausgänge repräsentiert. Gegenüber analogen Mikrophenen, die teilweise eine Fernsteuerung ihrer Richtcharakteristik zulassen, ist bei digitalen Neumann-Mikrophenen eine Vielzahl von Parametern fernsteuerbar. Die gesamte Bearbeitung des Audiosignals wird auf der digitalen Ebene realisiert. Die Mikrophone enthalten u.a. einen parametrisierbaren Kompressor/Deesser sowie einen Peaklimiter zum Schutz vor Übersteuerung.

Mo. 13:30    Studiotheater Vorkolloq. Elektroakustik und Signalv.

### **Kalibrierung akustischer Messmittel - Anforderungen, aktueller Stand und Probleme**

H. Weißing und A. Kunadt

*Spektra Schwingungstechnik und Akustik GmbH*

Die Kalibrierung akustischer Messmittel, d. h. Messmikrofone, Schallpegelmesser, Kalibratoren, Schallintensitätssonden etc., ist eine grundlegende Voraussetzung für gültige und vergleichbare Messungen. Zusätzlich zu der Vor-Ort-Kalibrierung der Messmittel ist eine turnusmäßige Rekalibrierung in professionellen Kalibrierlaboratorien notwendig, insbesondere im Rahmen der Qualitätssicherung und Messmittelüberwachung.

Als staatlich zertifiziertes Kalibrierlabor stellt die SPEKTRA Schwingungstechnik und Akustik GmbH Dresden die in der Praxis eingesetzten Kalibrierverfahren vor. Der Umfang erstreckt sich dabei von einfachen Kalibrierungen mit Schallkalibratoren bei einer Frequenz bis zur Kalibrierung von Frequenzgängen in weiten Frequenzbereichen im akustischen Freifeld und im Druckkammerkuppel. Neben den grundlegenden Problemen bei der praktischen Umsetzung der in der Theorie oft einfach erscheinenden Kalibrierverfahren werden insbesondere die bei der Kalibrierung auftretenden Störgrößen sowie deren Überwachung, Regelung und Minimierung aufgezeigt. Desweiteren werden ökonomisch sinnvolle Grenzen der Messgenauigkeit eines Kalibrierlabors genannt.

Mo. 14:00    Studiotheater Vorkolloq. Elektroakustik und Signalv.

### **Vorausberechnung elektroakustischer Geräte: Möglichkeiten für einen effizienten Entwurf durch die Verbindung von Netzwerk- und Finite-Elemente-Methoden**

E. Starke<sup>a</sup> und G. Pfeifer<sup>b</sup>

<sup>a</sup> *TU Dresden, Institut für Halbleiter- und Mikrosystemtechnik;*

<sup>b</sup> *TU Dresden, Inst. für Akustik und Sprachkommunikation*

Die Ansprüche an die Simulation für den Entwurf und die entwerfungsbegleitende Optimierung elektroakustischer Geräte sind in den letzten Jahren deutlich gestiegen. Herkömmliche Vorgehensweisen auf der Basis einer einzelnen Simulationsmethode, begleitet durch aufwändige messtechnische Untersuchungen und die experimentelle Optimierung, stoßen hierbei oft an ihre Grenzen. Dies gilt besonders für elektroakustische Geräte, welche funktionsbedingt verschiedene physikalische Ebenen (akustisch, mechanisch, elektrisch) miteinander verbinden. Eine vorteilhafte Möglichkeit für einen effizienten Entwurf einer Vielzahl

elektroakustischer Geräte ist die Kombination von Netzwerkmethoden und Finite-Elemente-Methoden auf der Anwenderebene. Ein Beispiel für die Zweckmäßigkeit dieser sogenannten "Kombinierten Simulation" ist die Vorausberechnung von elektroakustischen Geräten mit mehreren akustisch wirksamen Flächen. Dies sind z. B. Mikrofone mit Richtwirkung (Gradientenempfänger, Richtrohrmikrofone) oder Lautsprecheranordnungen nach dem Dipol-Prinzip. Am Beispiel eines Dipol-Basslautsprechers wird hier die methodische Vorgehensweise bei der Modellerstellung mit Hilfe der kombinierten Simulation vorgestellt. Die Validierung dieser Vorgehensweise erfolgt durch den Vergleich mit den Ergebnissen messtechnischer Untersuchungen.

Mo. 15:00    Studiotheater Vorkolloq. Elektroakustik und Signalv.

### **Aktive elektroakustische Systeme**

W. Klippel

*Klippel GmbH*

Die digitale Signalverarbeitung eröffnet neue Möglichkeiten für die Realisierung von aktiven elektroakustischen Systemen, die in der Audio- und Kommunikationstechnik, im Lärmschutz und bei industriellen Anwendungen benötigt werden. In einem Übersichtsvortrag werden moderne Verfahren vorgestellt, die für die Modellierung komplexer Strukturen, Identifikation der freien Parameter, der messtechnischen Erfassung von Zuständen und für die elektrische Ansteuerung entwickelt wurden. Mit Hilfe leistungsfähiger digitaler Signalprozessoren (DSP) können nicht-lineare und zeitvariante Prozesse in mechanischen und akustischen Kontinua (Schallfeld) berücksichtigt und selbstlernende, adaptive Systeme realisiert werden.

Mo. 15:30    Studiotheater Vorkolloq. Elektroakustik und Signalv.

### **Klassifikation akustischer Signale**

M. Wolff

*TU Dresden, Inst. für Akustik und Sprachkommunikation*

Verfahren der Vektor- und Vektorfolgenklassifikation sind vor allem in der Spracherkennung sehr gebräuchlich. Sie können jedoch ebenso erfolgreich zur Lösung von Mustererkennungsaufgaben für eine Vielzahl anderer akustischer Signale eingesetzt werden. Dieser Beitrag gibt einen Überblick über einige wichtige Techniken wie Support Vector Machines, Gaussian Mixture Models, Hidden Markov Models sowie Finite State Machines.

Mit Hilfe aller dieser Techniken können selbst lernende Klassifikatoren erstellt werden, welche von der Darstellung des akustischen Signals als Folge von (spektralen oder anderweitigen) Merkmalvektoren ausgehen, Modelle typischer Vektorfolgen bilden können und fähig sind, unbekannte Vektorfolgen zu einmal gebildeten Modellen zuzuordnen. Die Leistungsfähigkeit dieser Verfahren wird anhand von praktischen Anwendungen aus folgenden Bereichen gezeigt:

- zerstörungsfreie akustische Prüfung: Ultraschallüberwachung und -prüfung von Bauteilen (am Beispiel von Flugzeugrumpfschalen und Getrieberädern), passive Überwachung beweglicher Teile (am Beispiel von Walzen und Magnetventilen),
- Biosignalverarbeitung am Beispiel der akustischen Blutdruckmessung durch Auswertung von Korotkoff-Geräuschen und
- Musiksinalverarbeitung am Beispiel der automatischen Beurteilung der Güteklasse von Musikinstrumenten anhand von auf ihnen gespielten Solostücken.

Mo. 16:00    Studiotheater Vorkolloq. Elektroakustik und Signalv.

### **Voice control for in-car applications: present and future**

A. Berton

*Daimler AG, Group Research and Advanced Engineering*

State-of-the art in-car speech dialog systems provide assistance in operating audio, phone and navigation systems. This contribution discusses past and present in-car speech dialog systems and then looks into future trends in this field.

The first automotive speech dialog system, introduced in 1996, was able to handle dialling by number and name. Our current benchmark system includes radio station name and frequency selection and an efficient way to input destinations by voice. What functions do drivers and passengers want to be able to control by voice in the future?

Users definitely expect to be able to use voice entry as efficiently for points of interest as for destination input. Another application that is very close to market is music selection. More and more users are bringing their music to their cars and want to control this function by voice. Both media and navigation applications present a number of new challenges: multi-lingual and cross-lingual voice input, partial-name input, control of applications on CE devices.

The next generation of in-car speech dialog systems will have to be able to handle internet information provided in the car. This

paper presents three architectures for handling such information. These architectures can be considered to be three stages to incorporating voice-enabled access to internet information, starting with server-based dialog generation and radio transmission of dialog applications to complete off-board server-based speech processing.

**Fachvorträge am Dienstag, den 11.03.2008**

Di. 16:30 Festsaal

KFZ-Akustik I

**Diesel-Impulshaltigkeit Teil I: Blickwinkel des Kunden**M. Rüth<sup>a</sup>, R. Heinrichs<sup>a</sup> und M. Bodden<sup>b</sup><sup>a</sup>*Ford Werke GmbH*; <sup>b</sup>*Product Sound - Ingenieurbüro Dr. Bodden*

Das Dieselnageln ist ein sehr kritisches NVH Problem dieselgetriebener Fahrzeuge. Es führt zu einer unangenehmen NVH Wahrnehmung und sollte idealerweise komplett vermieden werden. Das Umfrageinstitut JD Power spiegelt mit Hilfe eines standardisierten Fragebogens die Meinung der Kunden über bestimmte Fahrzeugeigenschaften wieder. In einem Punkt wird dabei nach dem "Motorgeräusch im Leerlauf" gefragt. Die dabei erzielten JD Power APEAL Punkte werden im Rahmen dieses Vortrages ins Verhältnis zu einem Einzahlwert dem DKI (Diesel Knocking Index) gesetzt. Dieser Einzahlwert wurde basierend auf der NBMA (Narrow Band Modulation Analysis) entwickelt, um die Wahrnehmung des Diesel Nagelns objektiv zu quantifizieren. Mit der Einführung von Kurven gleichen DKI's läßt sich dieser Einzahlwert in einen Pegel- und in einen Impulshaltigkeitsanteil aufteilen, wodurch interessante Entwicklungsmöglichkeiten entstehen.

Bezüglich der Wahrnehmung des Dieselnagelns aus Kundensicht sind neben der Leerlaufdrehzahl noch weitere Fahrmanöver von Bedeutung. Aufgrund einer detaillierten Analyse des kundenspezifischen Fahrverhaltens konnten die kritischsten Motordrehzahl- und Lastbereiche identifiziert werden. In dieser Veröffentlichung wird gezeigt, wie der DKI zu Abdeckung aller kritischen Fahrmanöver verwendet werden kann. Letztlich können alle entwickelten Metriken auf Systemebene herunter kaskadiert werden, z.B. auf das Geräusch in einem Meter Abstand am Antriebsstrang Prüfstand.

Di. 16:55 Festsaal

KFZ-Akustik I

**Diesel-Impulshaltigkeit Teil II: Technischer Prozess**M. Bodden<sup>a</sup>, R. Heinrichs<sup>b</sup> und M. Rüth<sup>b</sup><sup>a</sup>*Product Sound - Ingenieurbüro Dr. Bodden*; <sup>b</sup>*Ford Werke GmbH*

Die Narrow Band Modulation Analysis (NBMA) erlaubt eine umfassende Identifikation, Analyse und Quantifizierung wahrnehmungsrelevanter Signaleigenschaften von Diesel-Impulshaltigkeit.

Ausgehend von der kundenrelevanten Bewertung von Fahrzeuginnengeräuschen kann die Methode dazu genutzt werden die Diesel-Impulshaltigkeit über Luft- und Körperschallpfade bis hin zum Motor herunterzubrechen. Die Anwendung auf Signale vom Motorprüfstand bis hin zu gemessenen Zylinderdruckverläufen schließt den Kreis von der Anregung des Verbrennungsprozesses bis hin zum Fahrerohr.

Die Anwendung der Methode und der entsprechenden Metriken erlaubt eine sinnvolles Zielwertsetzung auf allen Ebenen (Fahrzeug und System) sowie eine umfassende Erfassung und Bewertung des gesamten Fahrzeugs.

Beispiele des Diesel-Impulshaltigkeits-Prozesses werden im Vortrag diskutiert:

- Von Einzahlmetriken zur Quantifizierung der Diesel-Impulshaltigkeit bis hin zu detaillierten Analysemethoden zur Visualisierung von physikalischen und wahrnehmungsrelevanten Eigenschaften der Diesel-Impulshaltigkeit
- Übertragung von Diesel-Impulshaltigkeit über die unterschiedlichen Transferpfade
- Richtcharakteristik der Diesel-Impulshaltigkeit eines Motors
- Einsatz von DI-maps zur umfassenden Quantifizierung aller Fahrzustände und als hilfreiches Tool zur Optimierung der Motorkalibrierung.

Di. 17:20 Festsaal

KFZ-Akustik I

### **Auralisation zur gehörmäßigen Bewertung und Optimierung von typischen Dieselgeräuschen im Fahrzeuginnenraum mittels binauraler Transferpfadanalyse**

P. Sellerbeck und C. Nettelbeck

*HEAD acoustics GmbH*

Impulshaltige Verbrennungsgeräusche (genannt Dieselnageln) werden aufgrund ihrer ausgeprägten zeitlichen Struktur von Fahrzeuginsassen als unangenehm empfunden. Kundenbefragungen z.B. von J.D. Power bestätigen, dass Fahrzeuge mit vergleichsweise geringem Dieselnageln bevorzugt werden. Dies ist auch im Zusammenhang mit zukünftigen Anforderungen zu sehen, welche an neu zu entwickelnde Otto- und Dieselmotoren bezüglich des vom Gesetzgeber vorgeschriebenen Emissionsverhaltens gestellt werden und der damit einhergehenden Veränderungen des NVH-Anregungsverhaltens, insbesondere der erhöhten Impulshaltigkeit.

Das Auftreten von Diesel-Verbrennungsgeräuschen hängt sowohl von der Anregung durch die Verbrennung selbst als auch



vom Übertragungsverhalten der Motorstruktur, des Antriebsstranges und der Fahrzeugkarosserie ab. Diese Einflussfaktoren sollten in ihrem Zusammenwirken betrachtet werden, um eine optimale Reduktion des Dieselnagelns zu erreichen. Zeitbasierte Analyseverfahren sind hierzu unerlässlich. Die Methode der Binauralen Transferpfad-Analyse und -Synthese ermöglicht die Bewertung von Verbrennungsgeräuschanteilen einzelner Übertragungswege - sowohl subjektiv als auch mittels Geräuschmetriken - und zeigt Verbesserungspotentiale hinsichtlich der Gesamtfahrzeug- und Komponentenebene auf.

Di. 17:45 Festsaal

KFZ-Akustik I

### **Evaluating Diesel Noise in the early development stage using an NVH Simulator**

T.G. Nielsen<sup>a</sup>, R. Williams<sup>b</sup> und K.B. Ginn<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Brüel & Kjaer A/S; <sup>b</sup>Sound Evaluations Limited, Hitchin (UK)

It has already been shown that an Interactive NVH Simulator offers significant benefits to the vehicle NVH process. In particular, it enables a broader range of assessors (including non-experts) to evaluate more of the driving envelope in significantly less time than traditional, non-interactive methods. The NVH Simulator is also proving to be a powerful research tool for understanding customer preference and the subjective decision making process as well as helping engineers. This paper will focus on the challenges of simulating Diesel noise in the realistic, interactive NVH Simulator environment.

Di. 18:10 Festsaal

KFZ-Akustik I

### **Fahrzeuginnengeräuschsimulation VINS als serienentwicklungsbegleitendes Werkzeug**

P. Genender, K. Wolff, F. Pichot und G. Eisele

*FEV Motorentechnik GmbH*

Kurze Entwicklungszeiten bei steigenden Zielwertanforderungen und wachsender Anzahl von Fahrzeugvarianten erfordern im heutigen Automobilentwicklungsprozess die Nutzung effektiver Technologien und Prozesse. Ein innovatives Werkzeug, welches von der FEV Motorentechnik erstmalig strategisch in der NVH-Entwicklung eines neuen Fahrzeuges angewendet wurde, ist die Vehicle Interior Noise Simulation "VINS". VINS basiert auf einer analytischen Methode, das gesamte Fahrzeuginnengeräuschmatrixartig einerseits in abhörbare Geräuschanteile verschiedener Pfade und andererseits nach dem akustischen Prinzip in Geräuschquelle und mehrgliedrige Transferfunktion aufzuteilen.

In dem hier beschriebenen Fahrzeugentwicklungsprozess wurde der NVH-Entwicklung seitens des Fahrzeugherstellers ein hoher Stellenwert beigemessen. Mit einem neuartigen, serienentwicklungsbegleitenden Einsatz der Fahrzeuginnengeräuschsimulation VINS ist es gelungen, das Gesamtbild des neuen Fahrzeugs positiv mit zu prägen. Die VINS bildet im gesamten Entwicklungsprozess über Konzeptphase, Modulentwicklung und Problembehebung eine leistungsfähige Plattform für eine innengeräuschorientierte und dezidierte Bewertung von Berechnungs- und Messergebnissen, Maßnahmen, Ziel- und Vergleichswerten. Die Systematik der VINS ist auf eine Vielzahl von auftretenden NVH-Optimierungsaufgaben in Entwicklungsprozessen anwendbar und steht derzeit zum Beispiel auch als Fahrzeugaußengeräuschsimulation VENS und zur Untersuchung von fahrbahninduzierten Innengeräuschen als CHASSIS-VINS zur Verfügung.

Di. 14:00 Zwinger

Raumakustik I

### **Zu akustischen Problemlösungen in 'gläserner Architektur'**

T. Behrens und W. Ahnert

*AFMG Ahnert Feistel Media Group*

Bauen mit hohem Anteil an Glasflächen, speziell auch im denkmalgeschützten Bestand, stellt besondere Anforderungen an die Lösung raumakustischer und beschallungstechnischer Aufgabenstellungen. Die zu erhaltende optische Transparenz, große Volumina mit hohen Nachhallzeiten und Probleme der geometrischen Raumakustik stehen hierbei im Vordergrund. Verschiedene in den letzten Jahren bearbeitete Bauprojekte (Schlüterhof DHM Berlin, Glashof Jüdisches Museum Berlin, West-Ost-Halle Hauptbahnhof Berlin und weitere) mit unterschiedlichsten Problemstellungen und Lösungsansätzen werden vorgestellt und diskutiert.

Di. 14:25 Zwinger

Raumakustik I

### **Akustische Eigenschaften eines Auditoriums in einem Großraum**

I. Bork

*Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig*

Das Städtische Museum Braunschweig wird wegen seiner guten raumakustischen Eigenschaften sowohl für Vortragsveranstaltungen als auch für Musikdarbietungen genutzt. Wegen anstehender Umbaumaßnahmen wurden Messungen durchgeführt,

die den derzeitigen Zustand dokumentieren sollten. Hierzu wurden Impulsantworten aufgenommen, die nicht nur zur Bestimmung der Raumakustischen Parameter dienten, sondern auch binaurale Auralisationen ermöglichen. Als raumakustische Besonderheit gilt die Einbettung eines relativ kleinen Auditoriums in einen Raum von  $10000\text{m}^3$ . Die räumliche Trennung wird durch eingefügte Zwischenebenen realisiert, die dank ihrer absorbierenden Oberflächen trotz einer Nachhallzeit von bis zu 3,5s gute Deutlichkeitswerte im Auditorium bewirken.

Di. 14:50 Zwinger

Raumakustik I

### **Die St. Michaelis-Kirche in Lüneburg - ein Beispiel für akustische Veränderungen**

J. Meyer

*Braunschweig*

Die St. Michaelis-Kirche in Lüneburg stammt aus der Epoche der norddeutschen Backsteingotik. Nach der Reformation wurde sie mit umfangreichen Holzeinbauten ausgestattet, wie durch ein detailliertes Gemälde um 1700 dokumentiert worden ist. Diese Einbauten wurden später wieder entfernt und ein porenschließender Wandanstrich aufgebracht. Im Rahmen einer notwendigen Gewölbesanierung kam jetzt - insbesondere auch im Hinblick auf große musikalische Veranstaltungen - der Wunsch nach einer Verbesserung der akustischen Verhältnisse in dem sehr halligen Raum auf. Dabei sollte die Nachhallzeit jenes Bauzustandes, den J. S. Bach als Michaelis-Schüler erlebt hatte, als Zielvorgabe gelten. Ausgehend von einer Nachhallmessung im Jahre 2000, bei der sich rund  $500\text{ m}^2$  Schutznetze mit Staubablagerungen unterhalb der brüchigen Gewölbe befanden, wurde die Nachhallzeit auf den Zustand um 1700 zurückgerechnet. Dabei ergab sich für den unbesetzten Raum bei mittleren Frequenzen ein Wert von knapp 5 s und ein deutlicher Abfall zu tiefen Frequenzen. Die auch unter denkmalpflegerischen Gesichtspunkten vertretbaren Maßnahmen zur Reduzierung der aktuellen Nachhallzeit von über 7 s, insbesondere der Einsatz textiler Doppelsegel mit einem Abstand von etwa 20 cm zwischen den Stoffbahnen, werden vorgestellt und die erreichten Ergebnisse sowohl unter dem Gesichtspunkt der baustiltypischen Nachhallzeit für Backsteingotik als auch im Hinblick auf die Nutzung des Raumes diskutiert.

Di. 15:15 Zwinger

Raumakustik I

**Realisierung eines Hörspielkomplexes**C. Rau und H. Lamparter*Institut für Rundfunktechnik GmbH*

Beim DeutschlandRadio in Berlin wurde im Frühjahr 2007 nach mehrjähriger Planungs- und Bauzeit ein neues Hörspielstudio fertiggestellt und in Betrieb genommen. Vorgaben an die Planer waren sowohl verbesserte Spiel- und Aufnahmemöglichkeiten für die Hörspielproduktion, als auch die Integration der neuen Ü-Wagen-Garage in den Neubau. Durch diese Vorgaben mussten Möglichkeiten gefunden werden, wie die notwendigen akustischen Anforderungen trotz der ungünstigen räumlichen Gegebenheiten realisiert werden konnten.

In diesem Beitrag wird ein Überblick über das akustische Planungskonzept gegeben, sowie raum- und bauakustisch interessante Details näher erläutert.

Di. 15:40 Zwinger

Raumakustik I

**Simulation von Auditorien mit CATT: Fallstudien und Erfahrungen**K.-H. Lorenz-Kierakiewicz<sup>a</sup>, M. Vercammen<sup>b</sup> und P. Mees<sup>c</sup><sup>a</sup>*Peutz Consult GmbH*; <sup>b</sup>*Peutz bv, Mook (NL)*; <sup>c</sup>*daidalos peutz bouw fysisch ing.-bureau, Leuven*

Die Simulation akustischer Schallfelder von Auditorien durch Computerprogramme wird als Planungs- und Vorhersagewerkzeug der raumakustischen Beratung mittlerweile häufig eingesetzt. In diesem Vortrag werden eine Reihe aktueller Fallstudien aus der Praxis vorgestellt, welche u.a. mithilfe von CATT-Simulationsmodellen beraten wurden, darunter z. B. großer und kleiner Saal der Tonhalle Düsseldorf und das flämische Parlament. In den betreffenden Auditorien wurden akustische Messungen, darunter auch Impulsantwortmessungen durchgeführt und für diese Messpfade in den Simulationsmodellen Impulsantworten berechnet. Die Ergebnisse der Computersimulationen sollen hier mit den Resultaten der Messungen in den realen Sälen verglichen werden. Anhand des Beispiels CATT sollen aus der Praxis der Modellierung und Simulation sowie aus der Qualität der Übereinstimmung der Simulationsmodelle mit den messtechnischen Realitäten Schlussfolgerungen gezogen werden, welche Einsatzgebiete und Grenzen das Prognosewerkzeug Computersimulation bei der Simulation von Auditorien besitzen kann.

Di. 16:30 Zwinger

Raumakustik I

**The Accuracy of Methods for Predicting Sound Absorption Coefficients**K. Ballagh*Marshall Day Acoustics Ltd, Auckland*

The accurate prediction of sound absorption coefficients for new materials and systems is of continuing practical interest for room acoustic design. A number of acoustic models have been developed by other researchers for predicting the acoustical properties of porous materials using the static flow resistivity to characterise the material. The effect of perforated coverings can be included simply. The normal incidence acoustic properties of practical absorbers can be predicted with these models with good accuracy for a wide range of common designs. Results will be presented of predictions using these models. However when predicting the random incidence absorption coefficients for use in room acoustic design allowance must be made for both the effect of different angles of incidence and more importantly the effects of diffraction by finite sized samples of the absorber material. Results will be presented to show that a method developed by Thomasson enables predictions of random incidence absorption coefficients to be made with reasonable accuracy for a wide range of sound absorbers

Di. 16:55 Zwinger

Raumakustik I

**Bewertung von Unsicherheitsbeiträgen bei raumakustischen Messungen nach GUM**P. Dietrich und I. Witew*Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen*

Bereits im vergangenen Jahr wurde ein lineares Ursache-Wirkungs-Modell inklusive entsprechender Messexperimente zur einheitlichen Bestimmung und Analyse von Messunsicherheiten nach GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) speziell für raumakustische Parameter nach ISO 3382 vorgestellt. Umfangreiche Messungen haben Aufschluss über die Beeinflussung der Parameter durch bestimmte Störfaktoren und somit über das vorgestellte Unsicherheitsbudget von Nachhallzeit und Klarheitsmaß gegeben. Die Genauigkeit der Positionierung von Messlautsprecher und Mikrophon sowie die Richtcharakteristik der Quelle ergaben einen berechneten, frequenzabhängigen Unsicherheitsbereich, der teilweise die menschliche Wahrnehmungsschwelle für den betrachteten raumakustischen

Parameter wertemäßig überschritt. Um nun auch Unsicherheitsbereiche weiterer raumakustischer Messgrößen, welche zusätzliche objektive Aussagen über die Akustik eines Raumes versprechen, detaillierter untersuchen zu können, wurden weitere Messergebnisse analysiert und ausgewertet. Ausgegangen wird dabei von den bereits gefundenen Hauptunsicherheitsfaktoren, jedoch wird das Unsicherheitsbudget hinsichtlich der für diese Messgrößen charakteristischen Faktoren adaptiert. Dieser Beitrag stellt nun einen fortgeführten Ansatz zur Unsicherheitsanalyse dar. Da es weiterhin angestrebt ist raumakustische Messungen durchführen zu können, deren Messunsicherheit kleiner als die Wahrnehmungsschwelle ist, müssen dazu allerdings zuerst genauere Kenntnisse über die Unsicherheitsbereiche und deren Ursachen gewonnen und diskutiert werden.

Di. 17:20 Zwinger

Raumakustik I

## **Blinde Bestimmung von Raumimpulsantworten**

I. Witew

*Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen*

Die Messung raumakustischer Kenngrößen in besetzten Auditorien kann sich in der Praxis als besondere Herausforderung darstellen. Die Ursachen dafür sind vielseitig und reichen von der Handhabung umfangreicher technischer Gerätschaften bis zu den häufig nur knapp bemessenen Zeitfenstern, in denen Messungen durchgeführt werden können. Für manche Anwendungen wäre es ideal, wenn die Raumimpulsantwort oder die Einzahlkennwerte nach ISO 3382 aus einer Musik oder Sprachaufnahme bestimmt werden könnten. In der digitalen Signalverarbeitung, besonders im Mobilfunk, finden in der Vergangenheit sogenannte "blinde" Verfahren Anwendung, mit denen gefaltete Signale voneinander getrennt werden können. In diesem Beitrag wird die Anwendung einer Kreuzkorrelations-Methode beschrieben, die die Raumimpulsantwort aus einer Aufnahme in einem Auditorium bestimmt. Dies geschieht ohne vorherige Kenntnis des Quellsignals oder der Raumgeometrie. In Versuchsreihen wurde untersucht, wie robust der Algorithmus gegen Störgeräusche ist. Weiterhin wird dargestellt, wie die Länge des Eingangssignals sowie eine ungenaue Schätzung der Länge der Impulsantwort das Ergebnis beeinträchtigen.

Di. 17:45 Zwinger

Raumakustik I

**Podienakustik und Sprachverständlichkeit in Konzertsälen**K.-H. Lorenz-Kierakiewicz<sup>a</sup> und M. Vercammen<sup>b</sup><sup>a</sup>*Peutz Consult GmbH*; <sup>b</sup>*Peutz bv, Mook (NL)*

Die akustischen Bedingungen auf den Podien von Konzertsälen sind entscheidend dafür, ob Musiker (Solisten wie auch Ensemblemitglieder) dort geeignete Arbeitsbedingungen vorfinden. Auf der DAGA 2005 wurden neuere Forschungen vorgestellt, bei welchen im Rahmen einer laufenden Dissertation zum Thema "Sprachverständlichkeit und Hörsamkeit in europäischen Konzertsälen" Impulsantwortmessungen an äquivalenten Positionen auf den Podien von über 30 europäischen Konzertsälen vorgenommen werden konnten. Die aus zwei jeweils analog gewählten Messpfaden resultierenden akustischen Parameter wurden mit globalen Urteilen der dort regelmäßig spielenden Orchester korreliert, wobei sich als mit einer als gut beurteilten Qualität sehr gut korrelierter Parameter der Articulation Loss of Consonants (ALcons) herausstellte. Diese Tendenz legte nahe, dass die Aspekte einer guten Podienakustik, welche beschreiben, wie gut die Musiker sich selbst und die anderen Ensemblemitglieder bzw. -gruppen hören können, in einem engem Zusammenhang stehen könnte mit einer guten Sprachverständlichkeit dort, repräsentiert durch geringe ALcons-Werte. Diese These wurde nun anhand der Auswertung der übrigen Messpfade in allen gemessenen Sälen und die Korrelation von Einzelbefragungen mit Platz-für-Platz Messungen auf den Podien zweier der Konzertsäle ergänzend geprüft. Die Ergebnisse der Auswertung sollen hier präsentiert werden und zeigen, inwieweit von Musikern als gut beurteilte Podienakustiken mit guten Werten für Sprachverständlichkeitsindikatoren korrelieren.

Di. 18:10 Zwinger

Raumakustik I

**Durch gekrümmte Flächen modifizierte Schallfelder**

M. Vercammen

*Peutz bv, Mook (NL)*

Viele Räume weisen gekrümmte Geometrien wie Wände oder Decke auf. Mit Modebewegungen in der Architektur ("Blobs") und fortschreitender Bautechnologie entstehen hierdurch mehr und mehr akustische Probleme aus der Verwendung konkaver Geometrien. Wenn Schall an konkav gekrümmten Flächen reflektiert wird, wird die Schallenergie durch diese Geometrie

in bestimmten Raumbereichen konzentriert. In der Raumakustik wird das Schallfeld in solchen Fällen üblicherweise angenähert, indem die reflektierte Energie über Simulationsprogramme mit Raytracing- oder Spiegelquellen-Algorithmen näherungsweise berechnet wird, wobei die gekrümmten Flächen polygonal segmentiert modelliert werden. Eine alternative Berechnungsmethode ist ein geometrisches Verfahren. Die Resultate beider Methoden stimmen nicht mit der Wirklichkeit überein. Die einzige Methode, welche korrekte Ergebnisse liefert, ist die Berechnung der lokalen Schallpegel aus einer Extrapolation des Schallfeldes. Für den Fokus wird eine analytische Lösung des Kirchhoffintegrals präsentiert. Für andere Punkte im Schallfeld sollte der Schallpegel numerisch berechnet werden. Aus numerischen Ergebnissen wurde eine empirische Näherung abgeleitet, womit das Schallfeld in praktischen Fällen berechnet werden kann.

Di. 14:00    Studiotheater    Schallq.-ortung und -visualisierung

### **Untersuchungen zum Einfluss von Schallquellencharakteristik und Messverfahren auf das Lokalisierungsergebnis**

W. Henze

*O.-v.-Guericke-Universität Magdeburg, Institut für Mobile system*

Die Schallquellenlokalisierung und -analyse stellen für den auf dem Gebiet der Schallminderung tätigen Akustiker in der Regel eine anspruchsvolle Aufgabe dar. Dies trifft besonders zu, wenn es sich um komplexe Schallquellen handelt. Neben der bewährten Schallintensitätsmesstechnik stehen mit der akustischen Nahfeldholografie und dem Beamforming zunehmend Arraytechniken zur Verfügung. Die Messergebnisse hängen sowohl von der Charakteristik der zu lokalisierenden Schallquelle(n) als auch vom eingesetzten Messverfahren ab. Ausgewertet werden Untersuchungen an einfachen Schallquellen (Lautsprecher) und komplexen Schallquellen (Verbrennungsmotor).

Di. 14:25    Studiotheater    Schallq.-ortung und -visualisierung

### **Effiziente KFZ-Innenraum-Schallfeldkartierung mittels der Kombination von Spherical Beamforming und Conformal Mapping**

C. Hundeck

*Brüel & Kjaer GmbH*

Effiziente KFZ-Innenraum-Schallfeldkartierung mittels der Kombination von Spherical Beamforming und Conformal Mapping

Es wird die Kombination zweier Methoden zur Schallfeldkartierung in Innenräumen mit problematischem Schallfeld vorgestellt.



Mittels Spherical Beamforming kann der gesamte Fahrzeuginnenraum innerhalb kürzester Zeit erfasst werden und lokale Problemstellen lokalisiert werden. Eine detaillierte Untersuchung der einzelnen Schallquellen erfolgt anschließend mit einem handgehaltenen Single- oder Double Layer Array und der Anwendung der SONAH Holografie. Der Vortrag gibt einen Überblick über die unterschiedlichen Methoden und beschreibt die Ergebnisse einer Fallstudie.

Di. 14:50    Studiotheater    Schallq.-ortung und -visualisierung

### **Beamforming im Zeitbereich mit Zeropadding**

D. Döbler

*GFal e.V.*

Die Methode des Zeropadding wird in vielen Bereichen der digitalen Signalverarbeitung angewendet, um zusätzliche Abtastpunkte zu gewinnen oder unerwünschte Signalanteile auszublenden, ohne das Gesamtergebnis zu verfälschen. Im Bereich der Schallquellenortung kommt Zeropadding vor allem beim Beamforming im Frequenzbereich zum Einsatz. Beamforming im Zeitbereich kann zusätzlich zur Ortsauflösung eine gute Zeitauflösung der einzelnen Schallquellen liefern (Akustisches Movie). Bei hoher Zeitauflösung und nichtstationären, impulshaltigen Signalen kann es bedingt durch den verwendeten Delay and Sum - Algorithmus zu unerwünschten Überlagerungen von zeitlich getrennten Schallereignissen kommen, die eine Orts-Zeit-Analyse erschweren oder verhindern. Diese Überlagerungen zeigen sich im akustischen Movie durch scheinbar einwärtslaufende wellenartige Muster, welche die zu analysierenden Schallquellen vollständig überdecken können. Im Beitrag wird die Entstehung dieser Muster als Artefakt des verwendeten Algorithmus' erklärt. An einigen Beispielen werden die dadurch bedingten Grenzen der Orts-Zeitaufklärung erörtert. Es wird ein verbesserter Algorithmus vorgestellt, der durch Einsatz von Zeropadding diese Artefakte unterdrückt und eine wesentliche Verbesserung der Orts-Zeitaufklärung erreicht. Eine Gegenüberstellung der Analyseergebnisse mit und ohne Zeropadding zeigt die Vorteile des Verfahrens und die Eröffnung neuer Anwendungsfelder, z.B. in der Bauakustik.

Di. 15:15    Studiotheater    Schallq.-ortung und -visualisierung

### **Beamforming an bewegten Objekten im Zeitbereich**

G. Zechel, A. Zeibig und M. Beiteltschmidt

*TU Dresden, Inst. für Bahnfahrzeuge und Bahntechnik*

In diesem Vortrag wird ein einfacher Algorithmus zum Beamforming im Zeitbereich vorgestellt, welcher die Ortung von Schallquellen an bewegten Objekten ermöglicht. Dabei wird die Korrektur des durch die bewegte Quelle verursachten Dopplereffekts und der Schalldruckamplituden unter Annahme der Ausbreitung von Kugelwellen berücksichtigt. Möglichkeiten zur Reduzierung der Rechenzeit und des Speicherbedarfs werden aufgezeigt. Die Funktionsweise wird anhand von Messergebnissen aus Laborversuchen und an realen Fahrzeugen demonstriert.

Di. 15:40    Studiotheater    Schallq.-ortung und -visualisierung

### **Schallquellen-Sichtbarmachung und Quantifizierung an stationären und bewegten Quellen für Luft- und Schienenfahrzeuge**

K.-R. Fehse<sup>a</sup> und U. Orrenius<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Bombardier Transportation*; <sup>b</sup>*Bombardier, Västerås*

Bombardier setzt zur Ortung von Flugzeug- und Zug-Schallquellen Mikrophon-Arrays ein. Quellenverständnis für ein effektives, geräuschreduziertes Fahrzeug-Design setzt neben der Ortung eine quantifizierte Beschreibung der Einzelquellen und deren Interaktion voraus: d.h. die Schallkartierungen müssen durch geeignete Berechnungs-Methoden, Mikrophon- und/oder Array-Anordnungen zu einer quantitativen Abschätzung (skaliert/kalibriert) führen, deren methodische Schwächen und mögliche Fehler bekannt sind. Dabei wird die Objektivierung der Array-Performance durch geeignete Kenngrößen als wesentlicher Bestandteil auf dem Weg zu einer quantitativ eindeutigen Interpretation betrachtet. Neben der prinzipiellen Vorgehensweise werden erste Ergebnisse gezeigt.

Di. 16:30    Studiotheater    Schallq.-ortung und -visualisierung

**Schallortung mit synchroner Erfassung weiterer Daten:  
Parallele Online-Analysen vielfältiger Signaltypen**

F. Kluiber und P. Schönacher

*Müller-BBM VibroAkustik Systeme GmbH*

Systeme zur Schallortung dienen der Ermittlung dominierender Abstrahlpunkte bei komplexen Geräuschquellen. Als Datenbasis werden üblicherweise Messdaten von Mikrofon-Arrays genutzt, deren räumliche Anordnung die minimale auflösbare Frequenz bestimmt. Die Visualisierung der Ergebnisse erfolgt über eine Farbskala von Pegelwerten, die dem Bild einer optischen Kamera überlagert werden. Für praktische Anwendungen wird häufig eine Online-Analyse der Schallortung gefordert. Das vorgestellte Messsystem verbindet die geforderte Funktionalität mit parallelen Analysen typischer Signale im Bereich der Schallverursachung. Beispielhaft gezeigt wird eine Anordnung an einem Pkw, die neben den Signalen des Mikrofon-Arrays zusätzlich diverse Luft- und Körperschalle aus dem Fahrzeug in Echtzeit analysiert.

Di. 16:55    Studiotheater    Schallq.-ortung und -visualisierung

**Vergleichende Untersuchungen von laserinterferometrischen und Beamforming-Verfahren zur Schallfeldvisualisierung**

R. Behrendt

*Polytec GmbH*

Wie die akustischen Beamforming-Verfahren hat die Methode mittels scannender Laser-Doppler-Vibrometer Schallfelder zu visualisieren Eingang nicht nur in den Laborbetrieb, sondern auch im Bereich industrieller Prüfplätze gefunden. Dabei wird bei dem Laserverfahren die (Schall-) Druckabhängigkeit der optischen Brechzahl ausgenutzt, wodurch ein virtuelles Weg- oder Geschwindigkeitssignal im Vibrometer erzeugt wird. Verfahrensbedingt eignet sich das Scanning-Vibrometer nicht für die flächenhafte Visualisierung von einmalig transienten Vorgängen. Bei periodisch oder zumindest wiederholt auftretenden Druckschwankungen können dagegen sogar Turbulenzen visualisiert werden. Im Gegensatz zu den rein akustischen Verfahren der Schallfeldvisualisierung ist man bei dem laseroptischen Verfahren bezüglich Frequenzbereich und Ortsauflösung kaum Einschränkungen unterworfen. Der experimentelle Vergleich mit rein akustischen Beamforming -Verfahren zeigt, dass das laseroptische Verfahren eine deutlich höhere Ortsauflösung, Dynamik aufweist und

auch größere Frequenzbereiche abdeckt. Unterschiedliche Ansätze sowohl zur numerischen als auch experimentellen Bestimmung absoluter Schalldruckverläufe werden gegenübergestellt. Eine besondere Beachtung findet dabei die Auswahl einer geeigneten Referenz- Punktmessung sowie die Erfassung der 3D-Schallausbreitung.

Di. 17:20    Studiotheater    Schallq.-ortung und -visualisierung

### **Ermittlung der Spiegelschallquellenpositionen aus den messtechnisch bestimmten Eigenschaften eines Raumes**

C. Pörschmann

*Fachhochschule Köln*

Mit Hilfe eines drehbaren linienförmigen Mikrophonarrays ist es möglich, das Schallfeld eines Raumes mit einer geringen Anzahl von Mikrofonen durch eine sequentielle Abtastung einzelner Drehwinkel zu erfassen. Aus der für jedes Mikrofon und jede Winkelposition des Arrays ermittelten Raumimpulsantwort werden mit Hilfe der Verfahren des Beamforming die einzelnen Impulsantworten geeignet überlagert und daraus der richtungsabhängige Schalleinfall auf das Mikrophonarray berechnet. Im Rahmen eines Forschungsprojektes wird dieses auf eine messtechnische Erfassung der akustischen Eigenschaften eines Raumes ausgelegte System dazu eingesetzt, die Rückwürfe des Schalls von den Wänden zu identifizieren und zu klassifizieren. Aus den sich ergebenden Maxima der richtungsabhängigen Raumimpulsantwort können sowohl die Positionen der Direktschallquellen als auch die Amplitude der Rückwürfe in dem berechneten Schallfeld ermittelt werden. Es werden die Ergebnisse von realen Messungen vorgestellt und diese mit Ergebnissen einer zugehörigen Raumsimulation verglichen. Es wird gezeigt, in welchen Bereichen gute Übereinstimmungen zwischen dem messtechnisch erfassten Schallfeld und den Ergebnissen der Simulation bestehen. Ziel dieses messtechnischen Ansatzes ist es, Rückwürfe des Schalls bezogen auf ihren Eintreffzeitpunkt und ihre Eintreffrichtung zu bestimmen und einige der Ungenauigkeiten simulativer Ansätze der Raumsimulation zu überwinden. Eine quantitative Auswertung und eine Optimierung des Verfahrens sind Teil von Folgeuntersuchungen im Rahmen des Projektes.

Di. 17:45 Studiotheater

Schwingungstechnik

**FEM-Schwingungssimulationen zur Bestimmung der Erschütterungs- und Sekundärluftschallimmissionen in Gebäuden**M. Bless und F. Koopmans*Peutz Consult GmbH*

Der ansteigende Platzbedarf für Verkehrsinfrastruktur und gewerbliche Nutzungen einerseits und Wohn- und kulturelle Nutzungen andererseits führt zunehmend zu erhöhten Erschütterungsbelastungen und den damit verbundenen störenden Sekundärluftschall. Die hohen Qualitätsansprüche von Bauherren an den akustischen Komfort, welche oft strenger sind als die normativen Grenzwerte, erfordern zunehmend die Berechnung der Schwingungseinleitung. In Simulationsmodellen basierend auf der Finite Elemente Methode (FEM) werden zum einen die Gebäude schwingungstechnisch optimiert gelagert und zum anderen Konzepte für quellnahe Maßnahmen, wie z. B. die federnde Lagerung zur Schwingungsentkopplung an Schienen, Straßen oder Maschinen, dimensioniert. Anhand von Fallbeispielen aus der Praxis wird gezeigt, welche Möglichkeiten die zwei- und dreidimensionalen FEM-Modelle bieten und welche Anpassungen zwischen wissenschaftlicher Theorie und praxisnahen Gegebenheiten dennoch erforderlich sind.

Di. 18:10 Studiotheater

Schwingungstechnik

**Lightweight Acoustic Potential of helicopter main gearbox components made of composite materials**W. Hufenbach<sup>a</sup>, O. Täger<sup>a</sup>, M. Dannemann<sup>a</sup>, S. Friebe<sup>a</sup>, T. Auspitzer<sup>b</sup> und B. Iffland<sup>b</sup><sup>a</sup>*Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik, TU Dresden;* <sup>b</sup>*ZF Luftfahrttechnik GmbH*

The increased use of helicopters for public transport has led to a demand for reduced noise levels inside helicopter cabins. Therefore, a major research interest is to reach noise levels comparable to the one of turboprop airplanes by reducing the sound emission from the major noise sources. The helicopters gearbox is commonly known to be the dominant contributor to the cabin noise. Here, composite materials have multifunctional properties allowing the realization of light and acoustically improved components. The material characteristics can be adjusted to meet not only the dynamic but also the acoustic requirements. In the presented work the related vibro-acoustic properties of selected composites

were characterized and then compared to commonly used materials (e.g. steel, aluminium). One of the covers of a main gearbox housing was chosen as technology demonstrator, which shows a reduced sound emission by having full functionalities at the same time. The design process included several structural-dynamic and acoustic analyses. Different composite prototypes were manufactured and tested on a vibro-acoustic test bench especially designed and manufactured for these purposes. The results of the measurements proofed the high lightweight acoustic potential of sandwich composites for future "quieter" helicopter components.

Di. 14:00 Neumarkt

Finite-Elemente-Verfahren I

### **Mixed Spectral Finite Elements for Computational Acoustics**

M. Kaltenbacher<sup>a</sup> und A. Hüppe<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Lehrstuhl für Sensorik, Universität Erlangen-Nürnberg;*

<sup>b</sup>*Universität Erlangen-Nürnberg*

Applying the standard Finite Element (FE) method to the acoustic wave equation results in a non-diagonal mass. Therefore, different types of mass lumping is mostly applied, so that the whole formulations fits to an explicit schemes in time generally used for hyperbolic equations. However, the mass lumping introduces an error and in order to keep it small, the time step size has to be reduced. To overcome this problem, we use Gauss-Lobatto quadrature rules which lead to an exact diagonal mass matrix. In addition, we introduce a mixed formulation of this method, which increased the gain in storage and computational time for higher-order approximations. The so obtained method is called mixed spectral finite elements as first introduced in [1]. We will compare this method to standard pFEM (higher order finite elements) as well as h-FEM (mesh refinement). We will also demonstrate the robustness of this formulation towards strongly deformed elements.

[1] G. Cohen, Higher-Order Numerical Methods for Transient Wave Equations, Springer 2002

Di. 14:25 Neumarkt

Finite-Elemente-Verfahren I

**Vergleich der akustischen Finite-Elemente-Lösungen zu Eigenwertproblem und Quellproblem mit Raviart-Thomas- sowie Lagrange-Elementen**S. Fuß<sup>a</sup>, L.M. Hervella-Nieto<sup>b</sup> und S. Marburg<sup>a</sup><sup>a</sup>*TU Dresden, Institut für Festkörpermechanik;* <sup>b</sup>*Universidade da Coruna*

Die Helmholtz-Gleichung kann sowohl druck- als auch schnelllebasiiert geschrieben werden. Die Diskretisierung beider Formen ist mit Lagrange-Elementen für den Druck und mit Raviart-Thomas-Elementen (RT) oder Lagrange-Elementen für die Schallschnelle als Potentialgröße möglich. In diesem Beitrag vergleichen die Autoren Lagrange-Elemente 1. Ordnung mit RT-Elementen 0. und 1. Ordnung an zwei-dimensionalen Beispielen bezüglich der Qualität der Eigenwertlösung und der Lösung mit Schallquellen. Es wird unter anderem gezeigt, dass sich Lagrange-Elemente wegen auftretender Scheinmoden nicht für die schnellebasierte Rechnung eignen. Dagegen liefern RT-Elemente (schnellebasierte FEM) wesentlich genauere Eigenwerte als Lagrange-Elemente (schalldruckbasierte FEM) bei gleicher Netzfeinheit.

Di. 14:50 Neumarkt

Finite-Elemente-Verfahren I

**Zum Dispersionseffekt bei der Lösung der Helmholtzgleichung mit gitterfreien Methoden**O. von Estorff und C. Wenterodt*TU Hamburg-Harburg, Modellierung und Berechnung*

Zur numerischen Lösung akustischer Probleme wird heutzutage häufig die Finite-Elemente-Methode (FEM) eingesetzt. Diese liefert jedoch für hohe Wellenzahlen oft fehlerbehaftete Ergebnisse, die hauptsächlich auf den so genannten Dispersionseffekt zurückzuführen sind.

Eine relativ neue Gruppe numerischer Methoden sind die gitterfreien Verfahren, die im Gegensatz zu der FEM keine Elemente zur Konstruktion der Ansatzfunktionen benötigen. Insbesondere die so genannte "Element Free Galerkin Method (EFGM)" wurde bereits auf diverse Problemstellungen angewendet, wobei unter anderem nachgewiesen werden konnte, dass hierbei der Dispersionseffekt im Vergleich zur FEM deutlich verringert ist.

Eine weitere gitterfreie Methode, die "Radial Point Interpolation Method (RPIM)", hat gegenüber der EFGM einige Vorteile, unter anderem erfüllen die Ansatzfunktionen der RPIM, im Gegensatz

zur EFGM, die Kronecker-Delta-Eigenschaft. Eine Untersuchung zur Anwendbarkeit auf akustische Probleme und insbesondere eine Analyse des Dispersionseffekts wurde jedoch bislang noch nicht durchgeführt.

In dem vorliegenden Beitrag wird die RPIM hinsichtlich ihrer Dispersionseigenschaften untersucht und mit der FEM verglichen. Betrachtet wird dabei der zweidimensionale Fall, wobei eine Variation des Ausbreitungswinkels durchgeführt wird. Es wird gezeigt, dass sich für die RPIM bei gleicher Diskretisierung ein deutlich geringerer Dispersionsfehler als bei der FEM ergibt.

Di. 15:15    Neumarkt

Finite-Elemente-Verfahren I

### **Anstiegsbegrenzer in diskontinuierlichen Galerkin-Methoden für aeroakustische Probleme**

J. Stiller und A. Richter

*TU Dresden, Institut für Luft- und Raumfahrttechnik*

Diskontinuierliche Galerkin-Methoden (DGM) vereinen die Vorteile von Finite-Volumen-Verfahren und Spektral-Methoden. Aufgrund ihrer Robustheit und Flexibilität bei gleichzeitig hoher Genauigkeit bilden sie einen attraktiven Ansatz für die numerische Behandlung aeroakustischer Probleme. Die bei DGM übliche Stabilisierung mit Anstiegsbegrenzern niedriger Ordnung zerstört allerdings lokal die Genauigkeit des Verfahrens. Wir präsentieren einen Anstiegsbegrenzer für strukturierte Elemente, der eine Erweiterung der Arbeiten von Devine und Flaherty sowie von Burbeau, Sagaut und Bruneau darstellt. Dieser Begrenzer bewahrt weitestgehend die Ordnung des Verfahrens und ermöglicht somit eine genauere Modellierung von akustischen Phänomenen in Strömungen mit starken Gradienten oder Diskontinuitäten.

Di. 15:40    Neumarkt

Finite-Elemente-Verfahren I

### **Computation of surface waves reflected by an immersed solid interface**

L. Bossy<sup>a</sup>, M.-F. Cugnet<sup>a</sup>, E. Bossy<sup>b</sup> und D. Cassereau<sup>c</sup>

<sup>a</sup>AREVA - CEZUS Research Center; <sup>b</sup>ESPCI, Laboratoire d'Optique, Paris; <sup>c</sup>ESPCI, Laboratoire Ondes et Acoustique, Paris

In this paper, we propose a numerical evaluation of the different contributions that appear when a spherical wave is reflected by an immersed solid material. In such case, it is well known that we can first observe the specular reflection. In addition to this standard contribution, we can also observe head waves corresponding to the longitudinal and transverse waves generated in



the solid, and also the so-called leaky Rayleigh wave that generalizes the Rayleigh wave in a semi-infinite free solid medium to the case of an immersed interface. At the Rayleigh angle, a distortion of the reflected wavefront appears, that corresponds to a fast variation of the reflection coefficient with respect to the plane wave incidence angle. We compare different numerical approaches, including semi-analytic methods (high-frequency approximation coupled to ray modeling approach) and implicit methods (finite elements and/or finite differences scheme). These different approaches have their own advantages and inconvenients, and domains of applicability. It is shown how they can also be complementary to understand the physical phenomenon that occurs during the reflection of a pulse by an immersed interface. The plane and curved geometries will be analyzed from these different points of view.

Di. 16:30    Neumarkt

Finite-Elemente-Verfahren I

### **Akustische Finite Elemente Berechnungen - Modellierungen poröser Materialien im Vergleich**

S. Langer<sup>a</sup> und D. Clasen<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*TU Clausthal, Institut für Technische Mechanik;* <sup>b</sup>*TU Braunschweig, Institut für Angewandte Mechanik*

Die Finite Elemente Methode ist als Verfahren zur Simulation strukturdynamischer Problemstellungen etabliert. Ihre Vorteile zeigen sich im Hinblick auf akustische Anwendungen insbesondere dann, wenn die Ausbreitung von Körperschall bzw. die akustische Fluid-Struktur-Interaktion von Interesse ist.

Bei der numerischen Simulation wird bekanntermaßen die Güte des Berechnungsergebnisses sowohl von der Qualität der Eingangsdaten als auch von der Modellbildung beeinflusst. Beide Punkte sind bei Materialien und Werkstoffen mit dämpfenden Eigenschaften, die im Hinblick auf akustische Anwendungen von zentraler Bedeutung sind, besonders sensibel. Im vorliegenden Beitrag wird dies am Beispiel poröser Materialien aufgezeigt, die häufig näherungsweise mittels eines äquivalenten, homogenisierten komplexen Elastizitätsmodul modelliert werden. Hierbei wird allerdings vernachlässigt, dass die Mehrzahl dieser Materialien tatsächlich aus zwei Phasen, einem elastischen Korngerüst und mit Fluid gefüllten Poren, bestehen. Diese können adäquat nur mit einer Finiten Element Formulierung basierend auf poro-elastischen konstitutiven Gleichungen modelliert werden.

Vergleichende Studien des äquivalenten Ansatzes nach Champoux und Allard sowohl mit einer dreidimensionalen Finite Element Formulierung für poroelastische Materialien als auch mit einer zweidimensionalen Formulierung für mäßig dicke poroelastische Platten verdeutlichen den Einfluss der Modellbildung auf die Ergebnisse der akustischen Finite Elemente Berechnungen.

Di. 16:55 Neumarkt

Finite-Elemente-Verfahren I

### **Modellierung der Schalltransmission durch lokal reagierende, geschichtete Strukturen mit Hilfe von Vierpol-Flächenelementen für die FEM**

M. Aretz

*Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen*

Die FEM stellt heutzutage im Bereich der Akustik ein Standardwerkzeug dar, mit dem gekoppelte Luftschall-Körperschallfelder mit hoher Genauigkeit simuliert werden können. Im Bereich der Strukturmodellierung stellt es sich allerdings oftmals als problematisch dar, komplexe, geschichtete Wandaufbauten durch geeignete Strukturmodelle zu beschreiben. Darüberhinaus erhöht sich der Rechenaufwand durch den Einsatz komplexer 3D-Modelle für solide oder poröse Materialien erheblich.

Da in der Raum- und Bauakustik allerdings oftmals primär das aus der Kopplung resultierende Luftschallfeld und nicht eine Auswertung der Strukturschwingung von Interesse ist und darüberhinaus viele akustisch relevanten Materialien unter gewissen Voraussetzungen als lokal reagierend angenommen werden, kann ein 1D-Vierpol-Ansatz zur Modellierung solcher geschichteter Strukturen verwendet werden.

Im Rahmen dieser Arbeit sind deshalb lokal reagierende Vierpolflächenelemente für eine akustische FEM implementiert worden, mit denen effizient der Schalldurchgang durch komplexe geschichtete Strukturen simuliert werden kann. Die Schalldruckfreiheitsgrade auf beiden Seiten der Struktur sind hierbei über die Kettenmatrixparameter eines Vierpols gekoppelt. Zur Bestimmung dieser Parameter wurde ein Berechnungsmodell für geschichtete Wandaufbauten nach Mechel implementiert. Durch den Vergleich des vorgestellten Modells mit einer vollständigen 3D-Modellierung einer Beispielstruktur für die FEM sowie durch Messungen an einem realen Objekt, sollen die vorgestellten Vierpolelemente verifiziert und die Grenzen des Ansatzes aufgezeigt werden.

Di. 17:20 Neumarkt

Finite-Elemente-Verfahren I

**Effizienter Frequenzansatz zur globalen Approximation der Wandadmittanz mit dem Pade-via-Lanczos-Algorithmus**

R. Anderssohn, H.-J. Hardtke, D. Kreuter und S. Marburg

*TU Dresden, Institut für Festkörpermechanik*

In diesem Vortrag stellen die Autoren eine effiziente Methode vor, die Verteilung der akustischen Wandadmittanz in Innenräumen aus einer geringen Anzahl Schalldruckmessungen zu ermitteln. Da beliebige Geometrien möglich sein sollen, wird die Methode der finiten Elemente (FEM) benutzt. Die Wandadmittanz ist frequenzabhängig. Um die inverse Aufgabe zur Bestimmung der Admittanzwerte unter Beachtung der benötigten Rechenzeit nicht bei jeder einzelnen Frequenz durchführen zu müssen, werden einfache Ansätze für die Admittanzen aufgestellt, so dass das FE-Gleichungssystem in Frequenzbereichen gelöst werden kann. Dafür wird der Pade-via-Lanczos-Algorithmus verwendet, bei dem die Lösung auf Moden des Krylov-Unterraumes basiert. Da sich die Admittanzwerte aus dieser Formulierung nicht explizit berechnen lassen, wird das Fehlerquadratmittel als Zielfunktion für einen Optimierungsverfahren genommen. Das entstehende nichtlineare Gleichungssystem wird mit dem BFGS-Algorithmus gelöst. Die Gradienten werden mit Hilfe des adjungierten Operators schnell berechnet, so dass eine große Anzahl Unbekannter möglich ist.

Di. 17:45 Neumarkt

Finite-Elemente-Verfahren I

**Numerical analysis and vibro-acoustic optimisation of a thin-walled transformer tank**M. Ertl<sup>a</sup> und H. Landes<sup>b</sup><sup>a</sup>Siemens PTD; <sup>b</sup>WisSoft GmbH

Thin-walled tanks of oil-filled power transformers are reinforced by stiffening ribs. Their design is mainly defined to meet the requirements for static stresses and strains and an easy and low cost production. So far no optimisation of the plate and stiffening structures with respect to low noise emission is done.

This work presents an integrated modeling and calculation scheme based on the Finite Element Method for a fast and automatised determination of the structural acoustic properties and sound levels of the coupled fluid-structure problem. Analysing the frequency response based on numerical harmonic analysis within the frequency band of the transformer vibration sources, the local levels of structure-borne sound and corresponding directional

sound power levels are determined. Within an iterative optimisation procedure, the number and position of stiffening ribs are used as the design parameters for this constrained optimisation problem. As a result, natural frequencies can be shifted away from the neighbouring excitation frequencies, significantly reducing the noise emission of the structure.

Di. 18:10 Neumarkt

Finite-Elemente-Verfahren I

### **A Coupled FEM/BEM Approach for the Modeling of Active Structural Acoustic Control**

S. Ringwelski und U. Gabbert

*O.-v.-Guericke-Universität Magdeburg, Institute of Mechanics*

In recent years an increasing attention has been paid to active noise reduction, since it provides an effective way to reduce unwanted noise radiation. An often used concept for actively reducing the sound emission is called active structural acoustic control (ASAC). In this method, a reduction of the radiated sound is achieved by minimizing or changing the vibrational behavior of a structure using additional actuator forces. Piezoelectric ceramics are widely used as actuators, because they can easily be bonded on or imbedded into conventional structures.

The objective of this paper is to present a coupled finite element/boundary element formulation which enables the modeling of piezoelectric smart lightweight structures for predicting the structural vibration and the sound radiation of ASAC systems. At first, the theoretical background of the coupled approach is described in which the finite element method (FEM) is applied for the modeling of the passive vibrating structure as well as the piezoelectric actuators and sensors. The boundary element method (BEM) is used to characterize the corresponding sound field.

In order to verify the developed numerical approach, simulations of a test example are carried out in frequency domain and the results are compared with analytical reference solutions.

Di. 14:00 Graf Brühl

Lärmwirkungen

### **Hörertypen - individuelle Unterschiede im Erleben der akustischen Umwelt**

G. Notbohm

*Univ.-klinikum Düsseldorf, Inst. für Arbeits- und Sozialmedizin*

Die subjektive Lärmempfindlichkeit hat sich in zahlreichen Untersuchungen als wichtiger Moderator von Lärmwirkungen erwiesen. Vom Standpunkt einer akustischen Ökologie erscheint es aber sinnvoll, die individuelle Wahrnehmung und Verarbeitung

von akustischen Ereignissen in einem weiter gefassten Rahmen zu untersuchen. Hierzu eignet sich der "Fragebogen zum Erleben der akustischen Umwelt". Dieser erfasst vier Faktoren, die statistisch unabhängige Aspekte der persönlichen akustischen Wahrnehmung darstellen: "kritische Einstellung zu (Umwelt)-Lärm", "Aktivierung durch Musik", "Lärmempfindlichkeit und Gestörtheit durch Lärm" sowie "Wertschätzung von Ruhe und natürlichen Lauten". Anhand der individuellen Ausprägungen dieser Skalen ließen sich clusteranalytisch in einer überwiegend studentischen Stichprobe von 904 Personen neun verschiedene Typen akustischen Erlebens charakterisieren. Diese zeigen sehr unterschiedliche Akzentuierungen der vier Faktoren und lassen sich z. B. als "lärmbewusst", "musikbesessen" oder "desinteressiert an der akustischen Umwelt" klassifizieren. In zusätzlichen deskriptiven Fragen zeigen diese Hörertypen statistisch signifikante Unterschiede in ihren Musikhörgewohnheiten und in ihren Angaben zu erlebter Belästigung durch Geräuschquellen der Umwelt, selbst verursachter Lärmstörung der Nachbarn und dem Bedürfnis nach Stille. Die inhaltliche Übereinstimmung zwischen den Clusterprofilen und den Antworttendenzen in den deskriptiven Fragen verleiht diesen Hörertypen inhaltliche Plausibilität. In Labor- oder Feldstudien wäre nun zu untersuchen, ob diese Typologie zur Aufklärung der interindividuellen Varianz bei Lärmwirkungen beitragen kann.

Di. 14:25 Graf Brühl

Lärmwirkungen

### **Musikhörgewohnheiten und Gehörbeeinträchtigungen bei Jugendlichen: Tragbare Wiedergabegeräte mit Kopfhörern**

D. Schulz

*Hochschule Mittweida*

In einer Reihe von Studien wird über eine Verschlechterung der Hörfähigkeit bei jungen Menschen berichtet. Dabei wird besonders der Einfluss verschiedener Formen des überlauten Musikhörens diskutiert, wie zum Beispiel der häufige Besuch von Diskotheken mit Pegeln von zum Teil deutlich über 100 dB(A). Im Rahmen einer Längsschnittstudie mit Schülern der 7. - 10. Klasse einer Mittelschule stellte sich heraus, dass sich bei den Probandengruppen, die in den Befragungen häufiges und lautes Musikhören über Kopfhörer angegeben hatten, ebenfalls verstärkt Anzeichen von Verschlechterungen des Gehörs im Untersuchungszeitraum zeigten. Besonders bei der Gruppe der "Extremnutzer" sind diese Zusammenhänge deutlicher ausgeprägt. Dieses Ergebnis war Anlass für ein studentisches Projekt, das

die Häufigkeit und die typischen Schalldruckpegel bei der Nutzung tragbarer Wiedergabegeräte bei Schülern verschiedener Schultypen und bei Studenten erfassen sollte. Die Ergebnisse werden u.a. in Bezug auf die Musikrichtung und das Alter der Probanden vorgestellt. Zieht man lediglich die durchschnittlichen Pegel, Nutzungsdauern und Schallenergies Dosen heran, so birgt die Nutzung dieser Geräte scheinbar kaum ein Gefährdungspotenzial für das Gehör. Es zeigt sich aber auch hier, dass das Gehör von ca. 5 - 15 % der untersuchten Probanden besonders gefährdet ist.

Di. 14:50 Graf Brühl

Lärmwirkungen

## **Schallbelastung von Personal in Clubs und Musiklokalen**

A. Welti

*Schweiz. Unfallversicherungsanstalt SUVA*

Im Gegensatz zur Industrie ist in Musiklokalen und Clubs der hohe Schallpegel ein wichtiger Publikumsmagnet und nicht ein unerwünschtes Nebenprodukt. Da Personen in dieser lauten Umgebung arbeiten, geht die vorgestellte Studie der Frage nach, wie gross die Lärmbelastung in dieser Branche tatsächlich ist. Dazu wurde der Schallpegel, welchem die Angestellten während ihrer Arbeit ausgesetzt sind, quantifiziert. Mit Personendosimetern und Fixpunktmessungen wurde in 12 Lokalen an jeweils einem Abend eine umfassende Erhebung der durchschnittlichen Schallpegel an den einzelnen Arbeitsplätzen durchgeführt. Um die Datenbasis zu vervielfachen, wurden die hauseigenen Messungen der Lokale, welche seit der neuen Schall- und Laserverordnung in der Schweiz Pflicht sind, zugezogen. Am Messabend wurde beim im Club installierten Messmikrophon ein eigenes Schallpegelmessgerät aufgebaut, um einen Referenzpunkt für die Hausmessungen zu haben. Zudem wurde aus den Fixpunktmessresultaten der für die Lokalität typische Schallpegelverteilung bestimmt. Nun konnten mit Hilfe der Hausmessungen die individuellen Schallbelastungen der Angestellten bei unterschiedlichen Veranstaltungen ermittelt werden. Ein kurzer Fragebogen für die Angestellten, ein Interview mit dem Lokalbesitzer und raumakustische Messungen wurden ausgewertet um die Expositionszeit der Mitarbeiter, sowie mögliche Einflussfaktoren auf die Schallbelastung zu finden. Daraus ergibt sich ein informatives Bild der Schallbelastung von Angestellten in schweizer Musiklokalen.

Di. 15:15 Graf Brühl

Lärmwirkungen

**Vertäubung und Erholung des Gehörs nach energie-äquivalenten und hinsichtlich des NRC-Wertes gleich beurteilten Schallbelastungen unterschiedlicher Frequenzzusammensetzung**H. Strasser<sup>a</sup>, M.-C. Chiu<sup>b</sup> und O. Müller<sup>a</sup><sup>a</sup> *Universität Siegen, Fachg. Arbeitswissenschaft/Ergonomie;*<sup>b</sup> *College of Medical Science and Techn., Taiwan*

Zur Untersuchung der Auswirkungen energetisch gleicher, aber frequenzmäßig unterschiedlich ausgeprägter Schallbelastungen von jeweils 94 dB(A) über 1 h wurden aus einem Original-Industriegeräusch dadurch vergleichbare Testschallbelastungen konfiguriert, dass lediglich Pegelanhebungen im höheren bzw. im tieferen Frequenzbereich vorgenommen wurden. Die kompensatorisch nötigen Pegelabschwächungen erfolgten so, dass nicht nur der dB(A)-Wert des Geräusches, sondern auch der Noise-Rating-Wert von 92 unverändert blieb. 10 otologisch unauffällige Probanden nahmen an den drei, im Change-over angeordneten Versuchen teil. Die maximale, unmittelbar nach der jeweiligen Belastung gemessene Vertäubung TTS2 und die Restitutionszeit waren beim hochfrequent-akzentuierten Geräusch deutlich und hochsignifikant höher bzw. länger als beim Originalgeräusch. Auch das tieffrequent-akzentuierte Geräusch führte zu statistisch abgesicherten höheren und länger anhaltenden Vertäubungen als das unveränderte Original-Geräusch. Bei der Gesamtheit der Vertäubungen ergaben sich mit 521 dBmin für das hochfrequent-akzentuierte und mit 197 dBmin für das tieffrequent-akzentuierte Geräusch deutlich höhere Werte als für das Originalgeräusch mit 99 dBmin. Demnach hatte das Gehör für die frequenzmäßig veränderten Geräusche ca. 5 mal bzw. 2 mal so viel an "Physiologischen Kosten" zu bezahlen. Da die Auswirkungen der energetisch gleichen, frequenzmäßig aber verschiedenen Belastungen höchst unterschiedlich waren, muss von einem unterschiedlichen Gehörrisiko ausgegangen werden, das durch konventionelle Bewertungs- und Beurteilungsverfahren überhaupt nicht indiziert wird.

Di. 15:40 Graf Brühl

Lärmwirkungen

**Die Wirkung von Kabinenlärm auf die Kommunikation und Leistung von Passagieren bei Kurzstreckenflügen**J. Bastian*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Köln-Porz*

Die Wirkung von Kabinenlärm auf die Kommunikation und Leistung von Passagieren bei Kurzstreckenflügen

Lärm als unerwünschter und störender Schall kann mit menschlichen Aktivitäten wie verbaler Kommunikation und mentaler Leistung interferieren. Dies kann ablenkend und störend wirken, besonders beim Verstehen von Gesprächen mit dem Nachbarn oder vom Telefon. Ein zu niedriger Geräuschpegel in der Flugzeugkabine kann dazu führen, dass Gespräche von Mitreisenden, z.B. am Handy, mithörbar sein können. Auf der anderen Seite soll der Kabinenlärm so beschaffen sein, dass Gespräche mit dem unmittelbaren Nachbarn möglich sind. Deshalb soll für den Kabinenlärm ein Geräuschpegel gefunden werden, der für den Komfort bzw. das Wohlbefinden von Passagieren so optimal wie möglich ist. Es sind Laborstudien im DLR Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin in Köln-Porz sowie in einem Kabinensimulator des DLR in Göttingen geplant. Die für die Versuche einzusetzenen Messinstrumente werden vorgestellt.

Di. 16:30 Graf Brühl

Lärmwirkungen

**Detektion von Flachstellengeräuschen im Schienenlärm mittels Modulationsfrequenzanalyse**W. Deutsch*Inst. für Schallforschung, Österr. Akademie der Wissenschaften*

Das auditive System ist allgemein sensitiv auf Amplitudenmodulationen. Dabei spielt die Kohärenz über verschiedene Frequenzbereiche eine besondere Rolle. Im Falle von impulshaltigen Flachstellengeräuschen im Schienenlärm sind die breitbandigen, periodisch wiederkehrenden Ereignisse selbst an entfernt liegenden Immissionsorten deutlich wahrnehmbar. Abhängig von Radumfang und Geschwindigkeit der Züge liegen die Repetitionsraten häufig zwischen ca. 10 und 20/s. Die Flachstellengeräusche heben sich damit von den übrigen Schallquellen der Zugsvorbeifahrten deutlich ab, erwecken Aufmerksamkeit und erhöhen



die Belästigung. Üblicherweise werden Flachstellen mittels Vibrationssensoren an der Schiene festgestellt, um schadhafte Räder zu identifizieren. Der aktuelle Beitrag entstammt einer Arbeit zur Beschreibung von Schienenlärm, der u.a. die Klangfarbenanalyse einer großen Anzahl von Zugsvorbeifahrten, gemessen an einem ca. 80 m entfernten Immissionsort zugrunde lag. Zur automatischen Erkennung von Flachstellengeräuschen hat sich das Modulationsspektrum als brauchbar erwiesen. Aus dem RMS-Verlauf in zu definierenden Frequenzbändern wird mittels FFT (Fensterweite ca. 2s) das Frequenzspektrum und ein gleitender Mittelwert über lokale Modulationsspektren ermittelt. Die anschließende statistische Auswertung zeigt die robuste Trennmöglichkeit von Flachstellengeräuschen von den sonstig vorherrschenden Modulationen in Zugsvorbeifahrten. Darüber hinaus erscheint Modulationsfrequenzanalyse geeignet, den durch Flachstellengeräusche bedingten Zuwachs an Lästigkeit von Zugsvorbeifahrten an Immissionsorten besser zu beschreiben.

Di. 16:55 Graf Brühl

Fluglärm

### **Schallabschattung von Triebwerkslärm durch ein Hochauftriebssystem bei komplexer dreidimensionalen Strömung**

J. Dierke und R. Ewert

*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Braunschweig*

Der Entwurf leiserer Flugzeuge ist wichtig, um das Wachstum von Flughäfen in der Zukunft zu ermöglichen. Triebwerkslärm ist immer noch eine Hauptlärmquelle. Um die Schallemission zum Boden bei landenden und startenden Flugzeugen zu verringern, werden unter anderem schallabschattende Flugzeugkonfigurationen mit Hilfe numerischer Schallausbreitungsberechnungen untersucht.

Das Ziel ist es, den Einfluss inhomogener Strömungen bei Abschattungsrechnungen abschätzen zu können. Dies geschieht über einen Vergleich der Abschattungsfaktoren mit und ohne Strömung.

In dieser Studie wird der von einem Triebwerk abgestrahlte Schall als Quelle in die inhomogene Strömung des Rechengebietes eingekoppelt und die Schallausbreitung mit dem vom DLR entwickelten CAA-Code PIANO berechnet. PIANO löst die linerisierten Eulergleichungen (LEE) mit Hilfe eines Dispersionsrelation erhaltenden (DRP)-Verfahrens auf strukturierten Gittern. Örtliche Ableitungen werden mit einem 7-Punkte-Stencil angenähert

und die Zeitintegration wird mit einem 4-stufigen Runge-Kutta-Verfahren (LDDRK) realisiert.

Ergebnisse zu 2D- und 3D-Rechnungen werden vorgestellt.

Di. 17:20 Graf Brühl

Fluglärm

### **Mess- und Berechnungsunsicherheit von Fluglärmbelastungen**

G. Thomann

*Empa, Dübendorf (Schweiz)*

Fluglärm wird mit Computerprogrammen flächendeckend berechnet. In den seltensten Fällen werden die Unsicherheiten von solchen Berechnungen angegeben. Eine wichtige Voraussetzung zu deren Bestimmung ist die Kenntnis der Unsicherheit von Messdaten, die einerseits die Quelldatenbasis der Berechnung bilden und andererseits zur Validierung von Berechnungen verwendet werden. Eine im Herbst 2007 abgeschlossene Dissertation an der ETH Zürich beschäftigt sich mit der Mess- und Berechnungsunsicherheit. Darin wird ein Konzept vorgestellt, wie die Unsicherheiten von Fluglärmrechnungen und Fluglärmmessungen systematisch behandelt und quantifiziert werden können. Am Beispiel des Schweizer Fluglärmsimulationsprogramms FLULA2 sowie für je fünf Monitoringstationen in Genf und Zürich werden die Berechnungs- resp. Messunsicherheiten quantifiziert. Dabei zeigt sich, dass Mess- und Berechnungsunsicherheiten in derselben Größenordnung sind. Bei Jahresmittelwerten von realen Verkehrsszenarien unter Verwendung von Radardaten können dabei keine systematischen Abweichungen zwischen Berechnungen und Messungen festgestellt werden. Mit FLULA2 ist es unter bestimmten Voraussetzungen technisch möglich, eine Unsicherheit von 1.5 dB auf einem Konfidenzniveau von 90% einzuhalten. Es obliegt nun den richterlichen und behördlichen Instanzen die Regeln zu definieren, wie Mess- und Berechnungsunsicherheiten bei der Beurteilung von gesetzlich relevanten Lärmbelastungen zu berücksichtigen sind.

Di. 17:45 Graf Brühl

Fluglärm

### **Sandwichbauteile mit mikroperforierten Deckschichten**

E. Groß

*Technische Universität Hamburg-Harburg*

Die Technische Universität Hamburg-Harburg (Institut für Zuverlässigkeitstechnik und Institut für Laser- und Anlagensystemtechnik) und Airbus (Abteilung Cabin Acoustics) haben verschiedene

Möglichkeiten untersucht, die akustischen Eigenschaften von Kabinenverkleidungselementen zu verbessern. Ein Ansatz, der hier vorgestellt wird, besteht darin den aus sogenannten Sandwichpaneelen mit Wabenkern aufgebauten Kabinenverkleidungen als zusätzliche Funktion schallabsorbierende Eigenschaften zuzuweisen. Dabei wurde die Möglichkeit untersucht, die Deckschichten dieser Sandwichbauteile als mikroperforierte Paneele auszuführen. Vorgestellt werden neben einem möglichen Verfahren zur Prototypenherstellung auch der Vergleich zwischen der rechnerischen Perforationsauslegung und Absorptionsmessungen in der Alpha-Kabine sowie sich ergebende Vorteile im Transmissionsverhalten.

Di. 18:10 Graf Brühl

Fluglärm

### **CBT-Lehrgang "Fluglärminderung" - computer based training for pilots**

J. Menk<sup>a</sup>, D. Hiltbrunner<sup>b</sup>, F. Abbühl<sup>a</sup> und M. Liechti<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Bundesamt für Umwelt, Bern; <sup>b</sup>Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL), Bern; <sup>c</sup>Limamedia GmbH

Fluglärm ist nicht nur bei internationalen Flughäfen, sondern auch bei kleineren Flugplätzen der Schweiz immer wieder ein Thema. Obwohl Piloten während ihrer Ausbildung lernen, möglichst lärmarm zu fliegen, besteht in diesem Bereich Verbesserungspotenzial. Um dieses Potenzial ausschöpfen zu können, wurde ein computerbasierter Pilotenlehrgang entwickelt.

Der CBT-Lehrgang "Fluglärminderung" bietet den interessierten Piloten und Flugschülern die Möglichkeit, am PC zu lernen wie sie ein Flugzeug möglichst lärmarm betreiben können, ohne dabei die Sicherheit zu vernachlässigen. Von den akustischen Grundlagen über die technischen Massnahmen bis hin zu den operativen Möglichkeiten werden alle Belange der Entstehung, Ausbreitung, Verminderung und Wahrnehmung von Fluglärm ausgeleuchtet. Je nach Bedürfnis des einzelnen Piloten können die verschiedenen Kapitel des Lehrganges in unterschiedlicher Tiefe bearbeitet und das Wissen am Schluss durch einen kleinen Test überprüft werden.

Der CBT-Lehrgang steigert nicht nur bei den Piloten die Sensibilisierung für lärmarmes Fliegen, sondern auch bei den Flugplatzhaltern. Diese können für ihren Flugplatz die optimale An- und Abflugroute ermitteln lassen und diese dem CBT-Lehrgang zur Verfügung stellen. Dadurch sind für die interessierten Piloten auf Modulbasis alle optimalen Flugrouten der erhobenen Flugplätze

erhältlich. Schliesslich profitieren von diesem verbesserten Flugregime vor allem die Flugplatzanwohner, die durch eine grössere Akzeptanz eine bessere Lebensqualität erreichen können.

Di. 14:00 Semper

Sprachverarbeitung

### **Speech intelligibility enhancement in hearing aids, based on optimized spatial beam-forming and computational auditory scene analysis**

A. Schlesinger und M.M. Boone

*TU Delft, Faculty of Applied Physics*

For hearing aid design, the key parameter for an enhancement of speech intelligibility is the signal-to-noise ratio (SNR). During the last decade different signal-processing approaches successfully followed this guideline. This work combines two important branches, optimized beam-forming and computational auditory scene analysis. The former has been implemented in the Hearing-Glasses, a long-standing research project at the TU Delft, improving the SNR by up to 9 dB. Computational auditory scene analysis comprises the attempt to mimic the physiology of a healthy human hearing. In consideration of a computationally efficient algorithm that works in real-time and real-world scenarios, we opted for a binaural bottom-up approach. The combined processing scheme has been implemented as a prototype in a virtual real-time and real-world room simulator. Initial listening tests show an improvement in SNR comparable to either of the underlying processing schemes alone.

Di. 14:25 Semper

Sprachverarbeitung

### **Distributed Listening Test Program for Synthetic Speech Evaluation**

J. Pribil und A. Pribilová

*Institute of Photonics and Electronics AS CR, Prague*

Several objective and subjective methods can be used for evaluation of the synthetic speech quality. Considering the fact that we are focused on voice conversion and modification of speech prosody parameters in the text-to-speech system, the users' opinion is very important for us. Therefore, listening tests must be often performed. However, there is a problem with their collective realization (more students together - for keeping same test conditions). For that reason, the automated program for individual listening tests was developed. Our paper is aimed at description of this program, which can perform conventional listening tests

(Mean Opinion Score for naturalness and intelligibility, Comparison Category Rating or ABX for comparison of two transformation methods, etc.) and also special tests (more important for us) - type of voice, emotional state, speaking style, etc. Listening tests are always executed on the user PC, but testing speech corpora can also be stored on the server (in distributed version) or at the local computer. The developed testing program automatically generates the text protocol about the currently running test, the test output values are stored (or sent to the center) for final statistical post-processing and evaluation of results in graphic form.

Di. 14:50 Semper

Sprachverarbeitung

### **Beurteilung der Aussprachequalität nicht-muttersprachlicher Probanden anhand akustischer Korrelate des Lenis-Fortis-Kontrasts**

R. Jäckel

*TU Dresden, Inst. für Akustik und Sprachkommunikation*

Die Entwicklung instrumenteller Feedbackfunktionen für ein interaktives Lernsystem (ILTS) zur Aneignung der deutschen Aussprache erfordert die Ermittlung extrahierbarer Merkmale des akustischen Sprachsignals, die eine Bewertung des Lernstandes ermöglichen. Die besondere Relevanz des Stärkekontrastes für das Konsonantensystem des Standarddeutschen lässt die Distribution der kategorialen Merkmale "Lenis - Fortis" und "stimmhaft - stimmlos" - neben der Dauer- und Gespanntheitskorrelation im Bereich der Vokale - als universelles Kriterium zur Messung von Dialektalität erscheinen. Dies gilt mit Hinblick auf regionale Varietäten des Deutschen wie auch in Bezug auf die Aneignung des Deutschen als Zweit- oder Fremdsprache. Die Validität des Kriteriums "Stimmbeteiligung" wurde zunächst anhand der Lenis-Plosive /b/, /d/, /g/ und des Sibilanten /z/ gezeigt. Anhand akustischer Sprachdaten von Lernern mit unterschiedlich ausgeprägtem Akzent (L1 Russisch) konnte gezeigt werden, dass der Grad der Stimmbeteiligung in diesen Segmenten einen regulären Zusammenhang mit den Stufen des Aneignungsprozesses der deutschen Standardaussprache aufweist. Die Lautrealisationen der Lenis-Obstruenten bei Nichtmuttersprachlern sind in hohem Maße durch phonotaktische Regeln der Ausgangssprache determiniert. Die aktuelle Untersuchung erfasst alle Obstruenten des Standarddeutschen in den wichtigsten kombinatorischen und positionellen Varianten. Neben dem akustischen Sprachsignal wurde das Laryngographsignal ausgewertet. Zu differenzierteren Ergebnissen führte die Untersuchung der auditiven Wahrnehmung

des Lenis-Fortis-Kontrasts durch Nichtmuttersprachler sowie die Abgrenzung invarianter Phonemeigenschaften von Koartikulationseffekten.

Di. 15:15 Semper

Sprachverarbeitung

### **Objective and Subjective Degradations of Transcoded Voice - Heterogeneous Radio Networks Interoperability**

J. Holub und O. Tomiska

*Czech Technical University Prague*

The paper describes a speech transcoding experiment, equivalent to heterogeneous radio network voice interoperability for the following scenarios: ACELP-MELPe, ACELP-G.722, ACELP-G.729 (always both directions). Such coder tandemings correspond to important practical cases frequently occurring in public safety and other special areas. Three major issues are addressed:

- Subjective speech transmission quality degradation, based on ITU-T P.800 tests: Risks for use of those tandems are discussed from end-user perspective.

- Objective speech transmission quality degradations, based on ITU-T P.862.1 (PESQ-LQ) and ITU-T P.563 (3SQM) algorithms: Possibility of quality on-line monitoring is discussed from network operator point of view.

- Differences between subjective and objective quality estimates are analyzed, showing these are significantly higher than in single-coder environments, with only limited possibility to decrease these differences by means of additional regression. Thus, a risk arises from replacing the subjective testing by means of automatic quality monitoring.

Finally, recommendations on reducing or complete removing the risks identified above are given.

Di. 15:40 Semper

Sprachverarbeitung

### **Comparison of speech signal reconstruction enhanced in the spectral domain by overlap-add and using the cepstral vocoder**

R. Vich und M. Vondra

*Institute of Photonics and Electronics AW, Prague*

In classical speech enhancement in the spectral domain the OverLapAdd (OLA) is as a rule employed. In this approach after the modification of the short-time magnitude spectrum the inverse Fourier Transform is performed, whereby the original phase spectrum is used. The reconstructed speech frame is added to

the given part of the preceding speech frame in correspondence with the segmentation used in the analysis. For the reconstruction of the speech signal also the vocoder approach can be applied. In this case the phase spectrum is not needed, but the enhanced speech model parameters must be estimated. Nevertheless the estimation of the speech parameters may be optimized to be robust to artifacts originating in spectral speech enhancement, e.g. to residual noise, musical noise, etc. In the contribution the cepstral reconstruction of the speech spectrum enhanced by the MMSE LSA proposed by Ephraim and Malah will be presented. The cepstral reconstruction has been originally proposed for parametric speech synthesis in Text-to-Speech Systems. The proposed approach will be compared with signal reconstruction using OLA and evaluated by listening tests using automatic speech recognition.

Di. 16:30    Semper

Sprachverarbeitung

### **Non-stationary acoustic objects as atoms of voiced speech**

F.R. Drepper<sup>a</sup> und R. Schlüter<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Zentralinstitut für Elektronik, Forschungszentrum Jülich GmbH;*

<sup>b</sup>*Lehrstuhl für Informatik 6, RWTH Aachen University*

To account for the strong non-stationarity of voiced speech and its nonlinear aero-acoustic origin, the classical source-filter model is extended to a cascaded drive-response model with a conventional linear secondary response, a synchronized and/or synchronously modulated primary response, and a non-stationary fundamental drive. The latter plays the role of the long time-scale part of the basic time-scale separation of acoustic perception. The transmission protocol of voiced speech is assumed to be based on non-stationary acoustic objects which can be synthesized as the described secondary response. On the receiver side, voiced acoustic objects can be analysed via a centre-filter-frequency stable part-tone decomposition, being suited to reconstruct topologically equivalent images of formant specific acoustic modes in the vocal tract of the transmitter. The receiver side images are used to reconstruct a fundamental drive (image of a glottal master oscillator) which is consistent with the cascaded drive-response model. Based on the reconstructed glottal oscillator, the filter-stable part-tones open the option of a phase modulation transmission protocol of voiced speech. Aiming at topologically invariant (noisy communication channel robust) acoustic features, the phase modulation cues are expected to be well suited to

extend and/or replace the classical feature vectors of phoneme and/or speaker recognition.

Di. 16:55 Semper

Sprachverarbeitung

### **Messung subglottaler Resonanzen mit Beschleunigungssensoren**

W. Wokurek und A. Madsack

*Inst. f. Maschinelle Sprachverarbeitung, Universität Stuttgart*

Die Resonanzen des Hohlraums unterhalb des Kehlkopfs sind Gegenstand aktueller phonetischer Untersuchungen. Die beiden tiefsten dieser Resonanzen liegen in den Bereichen [500Hz,700Hz] und [1400Hz,1700Hz]. Das hier vorgestellte Messverfahren verwendet zwei starr verbundene zweiachsige Beschleunigungssensoren, die mit einem geeigneten Klebeband vorne an der Haut des Halses befestigt werden. Um den Störabstand zu verringern, werden die y-Signale beider Sensoren addiert. Dieses Summsignal der Vorwärtsrichtung wird tiefpassgefiltert und gemeinsam mit dem Mikrofonsignal mit einer Abtastrate von 48kHz und einer linearen Auflösung von 16 bit aufgenommen. Aufgenommen werden 20 Frauen und Männer, die jeweils etwa 2 Minuten Text vorlesen. Das Beschleunigungssignal wird zwischen 300Hz und 2000Hz bandpassgefiltert. In diesem Bandpass-Beschleunigungssignal wird mit linearer Prädiktion nach Schwingungen gesucht, die den subglottalen Resonanzen zugeordnet werden können. Diese Resonanzen sind im Messsignal nicht unmittelbar auffindbar. Damit nicht anstelle der subglottalen Resonanzen die Harmonischen der Sprachgrundfrequenz gefunden werden, muss die Fensterdauer der Analyse kürzer als die Sprachgrundperiode sein. Diese kurzen Fenster von etwa 5ms Dauer führen zwar zu stark streuenden, aber gut sichtbaren Häufungen im Streudiagramm der Frequenzwerte. Diese Häufungsbereiche sind zeitlich und über einen gewissen Bereich der Prädiktionsparameter konstant. Sie werden automatisch durch systematische Auswahl des Frequenzbereichs und Schätzung des Erwartungswerts im Histogramm der Frequenzwerte ermittelt.



Di. 17:20 Semper

Sprachverarbeitung

**Beziehung zwischen Mund- und Nasensignalen bei nasalierten Vokalen**K. Schnell und A. Lacroix*J.W.Goethe-Univ. Frankfurt/M., Inst. für Angewandte Physik*

Bei nasalierten Vokalen werden Schallsignale von der Mundöffnung und den Nasenlöchern gleichzeitig abgestrahlt. Durch eine Superposition der beiden Schallsignale entsteht das Sprachsignal der nasalierten Laute. Anhand des gemischten Sprachsignals lässt sich nicht direkt feststellen, welche Einflüsse die beiden einzelnen Signale auf die Nasalierung haben. Daher werden in diesem Beitrag die spektralen Eigenschaften von getrennten Mund- und Nasensignalen in Bezug auf die Vokalnasalierung untersucht. Dazu wurden Mund- und Nasensignale durch spezielle Vorrichtungen akustisch getrennt aufgezeichnet. Anhand von zeitverschobenen Linearkombinationen der getrennten Signale kann auditiv der Einfluss der Signale untersucht werden. Neben den Zeitsignalen sind insbesondere die Spektren der getrennten Signale interessant, anhand derer das Verhältnis von Mund- und Nasensignal bestimmt werden kann. Dazu wird das spektrale Verhältnis durch ein Pol-Nullstellen-System modelliert. Diese Modellierung wird für verschiedene Vokale vorgenommen. Die ermittelten Pol-Nullstellen-Systeme können dazu verwendet werden, Mundsignale in Nasensignale zu transformieren, was sich perzeptiv bestätigen lässt. Weiterhin können die Transformationen dazu verwendet werden, eine Nasalierung ohne eine explizite Verwendung des Nasensignals zu erzeugen.

Di. 17:45 Semper

Sprachverarbeitung

**Machbarkeitsstudie zur Verwendung von statistischen Prosodiemodellen**J. Schwarz, H. Weiss und U. Heute*Lehrstuhl für Netzwerk- und Systemtheorie, Universität Kiel*

Heutige Text-to-Speech (TTS) Systeme versuchen, ihre Sprachausgabe an den Benutzer und die dazugehörige Anwendung anzupassen. Ziel ist es, das System zu "personalisieren", um den Anwender in eine ihm vertraute Umgebung zu versetzen und dadurch die Akzeptanz des TTS-Systems zu erhöhen. Ein denkbares Szenario beschreibt die Verwendung von vertrauten Stimmen, die beispielsweise innerhalb eines E-Mail-Programmes zum Vorlesen der Nachricht mit der Stimme des Absenders verwendet werden.

Zur Ressourcen sparenden Realisierung eines personalisierten TTS-Systems wird die Sprechertransformation (Voice Conversion, VC) angewendet. Die Stimme einer beliebigen Person (Quellsprecher) wird mittels einer Umwandlungsfunktion auf die einer anderen Person (Zielsprecher) dergestalt transformiert, dass die Äußerung des Quellsprechers so klingt, als wäre sie vom Zielsprecher gesprochen worden. Die transformierte Stimme kann jedoch nur natürlich klingen, wenn sie sämtliche Eigenschaften des wahren Zielsprechers enthält. Ein wesentliches Problem innerhalb von VC-Systemen stellt dabei die Abbildung der Prosodie dar, die zu den wesentlichen Eigenschaften gehört. In diesem Beitrag wird ein statistisches Prosodiemodell vorgestellt. Seine Eignung wird untersucht, und es werden seine Vor- und Nachteile beschrieben. Zudem werden Beschränkungen, Probleme und Lösungsvorschläge aufgezeigt.

Di. 18:10 Semper

Sprachverarbeitung

### **Automatische Sprecherverifikation basierend auf Stimmgrundfrequenz-Merkmalen mittels Hauptkomponentenanalyse**

T. Becker<sup>a</sup> und W. Kreuzer<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Inst. für Schallforschung, Österr. Akademie der Wissenschaften;*

<sup>b</sup>*Österr. Akademie der Wissenschaften*

Alternativ und ergänzend zu den üblichen automatischen Sprecherverifikationssystemen, die auf spektralen/cepstralen Merkmalen basieren, existieren Verfahren, die auf Merkmalen der Stimmgrundfrequenz (F0) basieren. Ein Problem neben der hohen Intra-Sprecher-Variabilität ist, dass die üblicherweise verwendeten Merkmale zur Beschreibung der F0-Verteilung miteinander korrelieren. In diesem Artikel wird ein Verfahren präsentiert, das mit Hilfe der Hauptkomponentenanalyse eine orthogonale Basis liefert. Die Darstellung eines neuen Datensatzes mit Hilfe dieser Basis führt zur Verringerung der Gleichfehlerrate während die Anzahl der Dimensionen reduziert wird. Zusätzlich ist das Verfahren auch bei extrem kurzen Signaldauern anwendbar.

Di. 14:00 Altmarkt

Psychoakustik I

**Das spezifische Lautheits-Zeitmuster als gehörgerechte Klangdarstellung**

C. Sabrautzky und R. Mores

*Hochschule für Angew. Wissenschaften Hamburg*

Die gehörrichtige Analyse von Klängen ist in der Vergangenheit gut beforscht worden. Dennoch existieren kaum brauchbare Werkzeuge für eine generelle Untersuchung etwa der Lautheit dynamischer Klänge.

Der Beitrag fasst den Stand der Wissenschaft zur spezifischen Lautheit zusammen, untersucht und implementiert dabei optional die bisher vorgestellten Modelle an den jeweiligen Schritten der Verarbeitung. Zu diesen Schritten gehört zum einen die Extraktion der Teiltöne sowie die Ermittlung des Erregungsmusters anhand von Filterbänken und der spezifischen Lautheit nach Modellen von Moore und Glasberg. Zur spektralen Analyse kommt alternativ zur FFT die FTT in Betracht. In weiteren Schritten werden unterschiedliche Modelle der zeitlichen Integration und der Nachverdeckung implementiert.

Im Ergebnis erlaubt ein MATLAB-basiertes interaktives Werkzeug den Vergleich der verschiedenen Modelle sowie die spezifische Untersuchung der in einem Klang enthaltenen Beiträge zur Gesamtlautheit, aufgelöst nach 1/4 ERB Schritten und der Zeitachse. Dieses Werkzeug unterstützt die Optimierung von Arbeiten im Instrumentenbau und im Klangdesign. Die Darstellung der spezifischen Lautheit über Frequenzgruppen und Zeit ermöglicht nun eine empfindungsnahe Betrachtung des Klanges. Auf dieser Basis werden sich weitere charakteristische Klangattribute extrahieren lassen.

Di. 14:25 Altmarkt

Psychoakustik I

**Die Berücksichtigung unterschiedlicher akustischer Objekte bei der Lautheitsbestimmung für komplexe zeitlich variable Schalle**

C. Bradter und K. Hobohm

*Hochschule für Film und Fernsehen Potsdam*

Komplexere Lautheitsbestimmungsverfahren führen eine Erregungssynthese durch, leiten spezifische Lautheiten ab und kombinieren diese zur Gesamtlautheit. Dabei wird das Signal als ein akustisches Ganzes betrachtet. Der Gehörapparat hingegen

analysiert das Signal, identifiziert akustische Objekte und bewertet diese unterschiedlich. Die Umsetzung dieses Zusammenhangs bei der Lautheitsbestimmung verspricht einen der Wahrnehmung besser angenäherten Lautheitswert für die Gesamtlautheit und die Möglichkeit, relative Lautheiten gleichzeitig erklingender akustischer Objekte zu bestimmen. Das hier vorgestellte Verfahren konstruiert aus Prinzipien von auf Erregungssynthese basierenden Lautheitsbestimmungsverfahren ein neues Verfahren, das unterschiedliche akustische Objekte berücksichtigt. Die Objekte müssen dazu allerdings getrennt vorliegen. Es wird für jedes Objekt einzeln und für das Gesamtsignal eine Erregungssynthese durchgeführt. Die momentane Gesamterregung beeinflusst dabei die Ausprägung der Einzelerregungen. Für die Erregungsbestimmung eines Objekts, wenn ein anderes gleichzeitig erklingt, werden die Einzelerregungen in Abhängigkeit ihrer Verhältnisse zueinander nach unterschiedlichen Prinzipien kombiniert. Diese Erregung bildet die Basis für die Bestimmung spezifischer Lautheiten und die Kombination derselben zu der Gesamtlautheit. Das Verfahren erfordert die Berechnung von vier Erregungsmustern für die Bestimmung der Lautheit eines beteiligten Objektes. Für jedes beteiligte Objekt muss das Verfahren neu durchlaufen werden. Dasselbe gilt, wenn der Pegel eines der beteiligten Objekte verändert wird.

Di. 14:50 Altmarkt

Psychoakustik I

### **Einfluss der Irregularität der Pegelschwankungen auf die Mithörschwelle von Sinustönen in Rauschen**

S.M.A. Ernst<sup>a</sup>, S. Uppenkamp<sup>b</sup> und J.L. Verhey<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universität Oldenburg, AG Neurosensorik; <sup>b</sup>Universität Oldenburg, Medizinische Physik

Psychoakustische Messungen zeigen, dass Maskierer, denen eine Pegelschwankung aufgeprägt wurde, eine niedrigere Verdeckungsleistung aufweisen als unmodulierte Maskierer. Diese Reduktion der Verdeckungsleistung, d.h. die Differenz der Mithörschwellen aus Experimenten mit modulierten und unmodulierten Maskierern wird üblicherweise als "Comodulation Masking Release" (CMR) bezeichnet. Der Vergleich von Versuchsergebnissen aus der Literatur mit verschiedenen Modulatoren legt nahe, dass die Größe des CMR eine starke Abhängigkeit vom Grad der Regularität des Maskierers aufweist: Je irregulärer ein modulierter Maskierer ist, desto kleiner ist der CMR-Effekt. Dieser Schluss ist in der Hinsicht problematisch, da sehr verschiedene Modulatoren - z.B. rechteckförmig und Tiefpassrauschen - miteinander

verglichen wurden, die sich neben der Regularität auch bezüglich anderer Stimulusparameter, wie z.B. des Anteils der Momentanamplituden nahe Null, unterscheiden. In diesem Beitrag wird der Einfluss von Modulationsstatistik und Bandbreite rechteckförmig amplitudenmodulierter Maskierer auf die Mithörschwellen und somit auf den CMR experimentell untersucht. Hierzu wird sowohl bei schmalbandigen als auch bei breitbandigen Maskierern die Mithörschwelle bei modulierten Maskierern mit einer mittleren Modulationsfrequenz von 40 Hz für verschiedene Grade der Irregularität gemessen. Die Ergebnisse werden mit Vorhersagen eines Modells verglichen, das die Pegelschwankungen mit einer Modulationsfilterbank analysiert, um zu klären, inwieweit die Ergebnisse bereits durch Änderungen im Modulationsspektrum erklärt werden können.

Di. 15:15 Altmarkt

Psychoakustik I

### **Mechanismen der schwelennahen Modulationswahrnehmung**

S. Heise<sup>a</sup>, M. Mauermann<sup>b</sup> und J.L. Verhey<sup>c</sup>

<sup>a</sup> *Universität Oldenburg, Graduiertenkolleg Neurosensorik*; <sup>b</sup> *Universität Oldenburg, Medizinische Physik*; <sup>c</sup> *Universität Oldenburg, AG Neurosensorik*

Die Wahrnehmung von zeitlichen Pegelschwankungen (Amplitudenmodulationen) im deutlich überschwelligen Bereich war aufgrund ihrer besonderen Bedeutung bei der Sprachverarbeitung bereits Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. Weniger Aufmerksamkeit hat dagegen bisher die Modulationswahrnehmung bei Pegeln nahe der Ruhehörschwelle erhalten. Die Untersuchung dieser schwelennahen Modulationswahrnehmung kann jedoch wichtige Hinweise auf die grundsätzlichen Mechanismen der Modulationsverarbeitung liefern. In diesem Beitrag wird untersucht, inwieweit die bei vielen normalhörenden Personen vorhandene periodische Schwankung der Hörschwelle (Feinstruktur) einen Einfluss auf die Modulationswahrnehmung hat. Hierzu wurde die Wahrnehmungsschwelle einer auf einen Sinusträger aufgeprägten sinusförmigen Amplitudenmodulation bestimmt. Es zeigt sich, dass die Modulationswahrnehmung deutlich besser ist, wenn die Trägerfrequenz auf ein Maximum der Hörschwelle fällt, als wenn sie auf ein Minimum fällt. Für die schlechteren

Modulationsdetektionsschwellen in Hörschwellenminima sind folgende Erklärungsansätze denkbar: (1) eine Erhöhung des internen Trägerpegels durch Addition spontaner otoakustischer Emissionen (SOAE) in Feinstrukturminima und somit eine effektive Modulationstiefenreduktion, (2) eine Modulationstiefenreduktion durch erhöhte Kompression, (3) eine Modulationsmaskierung durch Schwebung zwischen Träger und SOAE, (4) eine Reduktion der Modulationstiefe aufgrund einer spektralen Verfärbung des modulierten Signals durch die Hörschwellenfeinstruktur. Die verschiedenen Erklärungsansätze werden im Rahmen eines Modells zur Modulationswahrnehmung (Viemeister, 1979) getestet. Demnach lässt sich der Effekt besser durch (1) oder (4) als durch die anderen Ansätze erklären.

Di. 15:40 Altmarkt

Psychoakustik I

### **Melodiediskrimination für Kammfilterrauschen: zeitliche oder spektrale Kodierung?**

H. Wierstorf und S. Uppenkamp

*Universität Oldenburg, Medizinische Physik*

Die Wahrnehmbarkeit der Tonhöhe eines harmonischen Tonkomplexes  $HTC = \sum_{i=n_1}^{n_2} i f_0$  bei der Grundfrequenz  $f_0$  hängt von der unteren Grenzfrequenz  $f_1 = n_1 f_0$  und der Grundfrequenz selbst ab. Bei einem breitbandigen Tonkomplex, der den Grundton enthält, beträgt die untere Grenze für die Wahrnehmbarkeit von  $f_0$  ungefähr 33Hz. Liegt die Frequenz des Grundtons darunter, kann er nicht mehr als Tonhöhe wahrgenommen werden. Wird der Tonkomplex hochpassgefiltert, so dass der Grundton und immer mehr Harmonische nicht mehr enthalten sind, verschiebt sich diese Grenze zu höheren Frequenzen. Im vorliegenden Experiment wurde mit einem Melodietest diese untere Grenze für Kammfilterrauschen (*iterated rippled noise*, IRN) bestimmt. Hierzu wurde bandpassgefiltertes Kammfilterrauschen mit unterschiedlicher Tonhöhe in dazu passend bandstopgefiltertes Rauschen eingefügt und daraus kurze Melodien mit jeweils vier Tönen erzeugt. In einem Zwei-Intervall 4AFC-Paradigma haben die Versuchspersonen bestimmt, welcher von vier Tönen sich während der zweiten Darbietung der Melodie geändert hatte (vgl. Pressnitzer et al., JASA 109, pp. 2074-2084, 2001). Es zeigt sich, dass die untere Frequenzgrenze des Kammfilterrauschens im Übergangsbereich für aufgelöste und unaufgelöste Harmonische eines entsprechenden harmonischen Tonkomplexes liegt. Dieses Ergebnis war unerwartet, da in der Literatur häufig davon

ausgegangen wird, dass Kammfiltertauschen rein zeitlich verarbeitet wird und die einzelnen Harmonischen spektral durch das auditorische System nicht aufgelöst werden können.

Di. 16:30 Altmarkt

Psychoakustik I

### **Tonhaltigkeit von harmonisch komplexen Tönen mittels Größenschätzung (Magnitude Estimation)**

S. Fingerhuth<sup>a</sup> und E. Parizet<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen;* <sup>b</sup>*Laboratoire Vibrations Acoustique, INSA-Lyon*

Viele alltägliche Geräusche haben einen mehr oder weniger ausgeprägten tonalen Charakter. Ursache ist in vielen Fällen ein sich ein periodisch wiederholendes Ereignis (wie z.B. bei drehenden Maschinen oder bei Musikinstrumenten), wodurch Spitzen im Spektrum erzeugt werden. Die Tonhaltigkeitswahrnehmung ist seit langem ein Forschungsthema, ist aber weiterhin noch ein aktuelles Thema wie z.B. bei der Entwicklung von Berechnungsalgorithmen (DIN45681 für Geräuschimmission). In dieser Arbeit präsentieren wir das Ergebnisse eines Hörversuches zur Tonhaltigkeitsempfindung von harmonisch komplexen Tönen. Im Gegensatz zu einem einzelnen Ton hat ein harmonisch komplexer Ton mehrere Töne in einer harmonischen Reihe. Ausgehend von einem Referenzsignal wurden die Stimuli erzeugt, in dem einige Parameter geändert wurden, um die Tonhaltigkeit zu modifizieren. Geändert wurden: der Ton- zu Rauschanteil, der Rauschpegel, die Anzahl der Harmonischen und die spektrale Gewichtung der Harmonischen. Die Versuchsmethode für die Bewertung der Tonhaltigkeit der Stimuli war die Größenschätzung (Magnitude Estimation) mit einer Referenz. Die empfundene Tonhaltigkeit wurde mit Berechnungen aus Aures' Modell und mit der Berechnung aus DIN45681 verglichen.

Di. 16:55 Altmarkt

Psychoakustik I

### **Spectral integration effects in auditory detection of coloration**

J.M. Buchholz und P. Kerketsos

*Centre for Applied Hearing Research, TU of Denmark*

When an early wall reflection is added to a direct sound, a spectral modulation is introduced to the signal's power spectrum. This spectral modulation typically produces an auditory sensation of coloration or pitch. Throughout this study, auditory frequency-integration effects involved in coloration detection are investigated. Coloration detection thresholds were therefore measured as

a function of reflection delay and stimulus bandwidth. The direct sound was realised by 320-ms long bandpass filtered white noise and the reflection was realized by a delayed and attenuated copy of this direct sound. The upper and lower cut-off frequencies of the direct sound were varied while the reflection delay was kept constant at 2, 4, and 8 ms. All stimuli were presented diotically via headphones. In order to interpret the experimental data, an auditory model was employed which was conceptually similar to the peripheral weighting model. Using a modified band-pass weighting within this model, the principle behaviour of the experimental data could be successfully described. However, the required spectral weighting characteristic indicated a surprisingly strong influence of high frequency components, suggesting that temporal mechanisms might be involved in addition to spectral mechanisms. The findings are in qualitative agreement with the current understanding of pitch perception.

Di. 17:20    Altmarkt

Psychoakustik I

### **Impaired auditory functions and degraded speech perception in noise**

O. Strelcyk und T. Dau

*Centre for Applied Hearing Research, TU of Denmark*

Hearing-impaired people often experience great difficulty with speech communication when background noise is present. In most cases, the problem persists even if reduced audibility has been compensated for by hearing aids. Clearly, other impairment factors besides reduced audibility must be involved. In order to minimize confounding effects, the subjects participating in this study consisted of groups with homogeneous, symmetric audiograms. The perceptual listening experiments assessed the intelligibility of full-spectrum as well as low-pass filtered speech in the presence of stationary and fluctuating interferers, the individual's frequency selectivity and the integrity of temporal fine-structure processing. The latter was addressed in a binaural and a monaural experiment. In the binaural experiment, the lateralization threshold was measured for low-frequency tones with ongoing interaural phase delays. In the monaural experiment, detection thresholds for low-rate frequency modulation were obtained. In addition, these binaural and monaural thresholds were measured in a stationary background noise in order to assess the persistence of the fine-structure processing to interfering noise. This



may play a crucial role in situations where a target and a background interferer are spatially separated or when listening into the dips of a fluctuating interferer.

Di. 17:45    Altmarkt

Psychoakustik I

### **Spectral Profile Analysis in Cochlear Implant Listeners**

M. Goupell<sup>a</sup>, B. Laback<sup>a</sup>, P. Majdak<sup>a</sup> und W.-D. Baumgartner<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Inst. für Schallforschung, Österr. Akademie der Wissenschaften;*

<sup>b</sup>*Vienna University Hospital*

This study determines the feasibility of cochlear implant (CI) listeners to compare relative levels of bands in a wideband spectrum. Three types of profile analysis experiments were performed: detection of a peak or notch in a flat background, discrimination of different peak heights and notch depths, and frequency discrimination of peaks and notches. Several places, bandwidths, and roving ranges were tested. It was found that the listeners were always sensitive to spectral peaks at any bandwidth and place. Notches were more difficult to detect than peaks and level roving significantly decreased performance. Increasing the bandwidth beyond two electrodes showed no significant decrease in the threshold. The effect of place was highly variable between listeners and was highly correlated with intensity discrimination thresholds without a background. These results have comparable trends to those found for normal hearing (NH) listeners (Moore et al., JASA, 1989); however, peak and notch detection is at least two times worse in CI listeners compared to NH listeners. Subsequent modeling showed that one listener was likely performing a profile analysis, while the others could have been using intensity cues only. These results have implications on the ability of CI listeners to localize sounds in vertical planes.

Di. 18:10    Altmarkt

Psychoakustik I

### **Binauraler Jitter verbessert die Wahrnehmung interauraler Laufzeitdifferenzen bei Cochleaimplantat Trägern und im akustischen Gehör**

B. Laback, P. Majdak und M. Goupell

*Inst. für Schallforschung, Österr. Akademie der Wissenschaften*

Interaurale Laufzeitdifferenzen (ITD) in der Feinstruktur eines Signals sind wichtig für die Schallquellenlokalisierung und für die Sprachwahrnehmung im Störgeräusch. Mehrere Studien zeigten, dass Cochleaimplantat (CI) Träger bei niedrigen Pulsraten sensitiv für Feinstruktur ITD sind, wohingegen die Sensitivität bei

höheren, für die Sprachwahrnehmung wichtigen, Pulsraten abnimmt. Dieser Studie lag die Hypothese zugrunde, dass die Limitierung bei höheren Pulsraten durch binaurale Adaptationseffekte verursacht wird, die infolge der periodischen Stimulation auftreten. Unter der Annahme, dass binaural synchronisierter Jitter (binauraler Jitter) die Periodizität der neuronalen Antwort reduziert und daher binaurale Adaptation vermeidet, wurde der Effekt von Jitter bei fünf CI Trägern untersucht. Ein ähnliches Experiment wurde mit Normalhörenden unter Verwendung von bandpassgefilterten akustischen Klicks durchgeführt.

Konsistent mit der Hypothese zeigten die CI Träger starke Verbesserung der ITD Sensitivität bei höheren Pulsraten (800-1515 pps). Auch die normalhörenden Testpersonen zeigten starke Verbesserung der ITD Sensitivität bei höheren Pulsraten (600 - 1200 pps). Die erzielten Verbesserungen durch binaural synchronisierten Jitter werden darauf zurückgeführt, dass die eingeführte zufällige zeitliche Variation das binaurale Gehör fortlaufend reaktiviert. Binauraler Jitter kann daher zur Verbesserung der ITD Sensitivität von CI Trägern bei höheren Pulsraten eingesetzt werden. Projekt gefördert von der Österreichischen Akademie der Wissenschaften und dem Wissenschaftsförderungsfond FWF (Projektnummer: P18401-B15)

Di. 14:00    Raum 1

Elektroakustik I

## **Verfahren zur simulierten Freifeldmessung an elektroakustischen Übertragern**

T. Sielaff

*Brüel & Kjaer GmbH*

Bei der hier vorgestellten TSR-Analyse (Time Selective Response) handelt es sich um ein Messverfahren mit dem die Reflektionen des Messraums durch Fensterung einer gemessenen Impulsantwort ausgeblendet werden. Freifeldübertragungsfunktionen und Harmonische Verzerrungen von elektroakustischen Übertragern können mit hoher Genauigkeit durch Anregung mit einem logarithmischen oder linearen Gleitsinus in reflektierenden Umgebungen gemessen werden. Es werden die Anwendungsgebiete und Grenzen des Verfahrens aufgezeigt.

Di. 14:25 Raum 1

Elektroakustik I

**Klassische oder komplexe Datenpräsentation von Lautsprechern?**W. Ahnert und S. Feistel*AFMG Ahnert Feistel Media Group*

Lautsprecher werden in Spezifikationen und Simulationsprogrammen zumeist noch als Punktquellen geführt und ihre Richtdaten in Tabellen aufgelistet. Ähnlich wird sogar für einfache Schallzeilen vorgegangen. Aber wie ist das mit modernen Line Arrays, die heutzutage von vielen Herstellern angeboten werden? Der Beitrag beschreibt zunächst, wie sie Schall abstrahlen und wie man dieses Verhalten mit einfachen zweidimensionalen Tools grob simulieren kann. Der Schwerpunkt des Beitrags zeigt einen Weg, dreidimensionale Parameter von Lautsprecheranordnungen zu beschreiben, aus einer neuartigen Perspektive. Komplexe Daten nach Betrag und Phase werden verwendet, um eine sogenannte GLL (Generic Loudspeaker Library) zu erzeugen, die das wahre Abstrahlverhalten solcher Anordnungen viel realistischer beschreibt als eine einfache Punktquelle (letztere leider oft noch bei Verwendung von ausschließlich Amplitudendaten). Bei der Erzeugung einer solchen GLL wird berücksichtigt, daß ein Lautsprecher zumeist aus einzelnen Quellen (Hochtöner, Tieftöner etc.) aufgebaut ist, die elektrisch über Crossover und Filter verbunden sind. Auch mechanische Rigging-Bedingungen werden einbezogen. Die notwendige Meßtechnologie zum Erhalt der richtigen Daten für die in der Lautsprecheranordnung enthaltenen Quellen wird erläutert. Schließlich erfolgt ein Ausblick zur erweiterten Interaktion zwischen Software Design und Hardware Ansteuerung von Lautsprecherinstallationen.

Di. 14:50 Raum 1

Elektroakustik I

**Fast measurement of motor and suspension nonlinearities**W. Klippel*Klippel GmbH*

In order to assess the performance of loudspeakers excited by high level signals the nonlinearity of motor and suspension has to be considered. The paper presents a novel measurement technique for this nonlinearities that is suitable for end-of-line quality control. Because of the very short cycle times in modern loudspeaker production the test has to be performed in less than 2 seconds. The driver is excited by a multiton signal and current and voltage at the speaker terminals are monitored. This signals

can be robustly acquired in a production environment. Due to the lack of time the algorithm identifies some few scalar parameters like voice coil offset in mm and stiffness assymetry in percent. The parameters are suitable for quality control, easy to interpret and there is a straight forward relationship to the geometry and material properties of the driver.

Di. 15:15 Raum 1

Elektroakustik I

## **Flachlautsprecher - ein Überblick**

D. Beer

*Fraunhofer IDMT*

Aktuelle Schallwiedergabesysteme für den Unterhaltungssektor sind unter anderem durch die Wiedergabequalität des einzelnen Lautsprecherkanals und durch die Qualität des erzeugten räumlichen Höreindrucks gekennzeichnet. Bezüglich des räumlichen Höreindrucks bieten mehrkanalige Verfahren wie Surround und Wellenfeldsynthese ein größeres Potential als zum Beispiel das klassische Zweikanal-Stereo. Der damit verbundene Zuwachs an erforderlichen Lautsprecherkanälen verursacht auf der anderen Seite Akzeptanzprobleme. Beispielsweise ist es im Heimbereich nicht immer leicht, alle Lautsprecher in die vorhandene Umgebung zu integrieren und gleichzeitig normgerecht aufzustellen. Der Einsatz von Flachlautsprechern bietet ein großes Potential, diesen Anforderungen gerecht zu werden. Die Bezeichnung Flachlautsprecher stellt dabei ein Oberbegriff für Lautsprecher dar, die sich in erster Linie durch eine geringe Bautiefe auszeichnen. Die Funktionsprinzipien können anhand der Membranbewegung in Kolbenschwinger, Biegeschwinger, Transformationschwinger, Dickenschwinger und membranloser Schwinger unterteilt werden. Die Prinzipien werden in ihrem Aufbau und ihrer Funktionsweise vorgestellt und anhand von Veröffentlichung bzw. Patenten zeitlich eingeordnet. Den prinzipübergreifenden Herausforderungen der Flachlautsprechertechnologien beim Einsatz in mehrkanaligen Wiedergabesystemen sollen der Ausblick und die Diskussion gewidmet sein.

Di. 15:40 Raum 1

Elektroakustik I

**Crosstalk Cancellation for Spherical Loudspeaker Arrays**F. Zotter<sup>a</sup>, A. Schmeder<sup>b</sup> und M. Noisternig<sup>c</sup><sup>a</sup>*Institut für Elektronische Musik und Akustik, Graz;* <sup>b</sup>*Center for New Music and Audio Technology, Berkeley (USA);* <sup>c</sup>*LIMSI-CNRS, Orsay (F)*

Spherical loudspeaker arrays for directivity pattern synthesis of natural sound sources have been recently reconsidered in electro-acoustic research, again. Quite some time after the pioneering works in that field, multichannel hardware and computational resources are now easy to obtain, and the design and control issues receive increasing interest. Basically, the devices of concern consist of a set of loudspeakers mounted into one rigid spherical or polyhedral shell. For radiation pattern synthesis it is necessary though, to gain control over the acoustically coupled transducers. On one hand, isolation of the enclosure volume behind each loudspeaker can be considered to reduce acoustic coupling. On the other hand, a shared enclosure volume supports playback at low frequencies and is easier to construct. In order to gain control over the acoustically coupled loudspeaker velocities in that case, an expensive multiple-input-multiple-output cross-talk cancellation (MIMO-XTC) system has to be employed. This work discusses a spherical harmonics subspace approach for MIMO-XTC in rigid spherical/platonic loudspeaker arrays with common enclosure volume. It can be shown that within the spherical harmonics subspace, the MIMO-XTC task becomes sparse, and therefore easier to compute. This work provides a theoretical case study on the hereby newly introduced approximation errors.

Di. 16:30 Raum 1

Elektroakustik I

**Variable Richtcharakteristik mit Dodekaeder-Lautsprechern**

G. Behler und M. Pollow

*Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen*

Für die Messung von Raumimpulsantworten sind Dodekaeder-Lautsprecher zur Erzeugung einer möglichst omnidirektionalen Abstrahlung verbreitet. Dabei werden alle Wandler mit dem identischen Signal angesteuert. Verwendet man hingegen für jeden der zwölf Wandler einen unabhängig einstellbaren Kanal, lässt sich durch Variation der Amplituden und Phasen eine bestimmte Abstrahlung erzeugen. Für eine beliebig vorgegebene Richtcharakteristik soll eine optimale Ansteuerung ermittelt werden, die zu einem möglichst geringen Fehler führt.

Ein reiner Superpositionsansatz führt allerdings nicht zu einem korrekten Ergebnis, da sich die einzelnen Wandler gegenseitig beeinflussen. Mit der Zerlegung von sphärischen Funktionen in Spherical-Harmonic Koeffizienten bietet sich aber eine analytische Lösung zur Berechnung der Abstrahlung an. Die akustischen Größen von Druck und Schnelle können dadurch in gewichtete, orthogonale Basisfunktionen aufgespaltet und miteinander verknüpft werden und führen so auf die gegenseitige Beeinflussung der Membranschwingungen. Unter Einbeziehung dieser Wechselwirkungen lässt sich dann ein zwölfkanaliges Quellsignal zur bestmöglichen Annäherung an die gewünschte Ziel-Richtcharakteristik angeben.

Di. 16:55    Raum 1

Elektroakustik I

### **Computer Aided Loudspeaker Design - Entwicklung der Wellenfeldsynthese-Lautsprecher für den H104 Berlin**

M. Makarski<sup>a</sup>, A. Goertz<sup>a</sup> und C. Moldrzyk<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Audio & Acoustics Consulting Aachen; <sup>b</sup>Visaural, Berlin

Die professionelle Entwicklung von Lautsprecheranlagen kann mit numerischen Methoden mit sehr hoher Vorhersagegenauigkeit des Ergebnisses komplett am PC durchgeführt werden. Dabei greifen numerische Abstrahlungsberechnungen, CAD-Daten der Gehäuse und Schallführungen (Hörner), Vierpoldaten der Komponenten, TS-Parameter sowie Tools zur Berechnung der Abstrahlung von Mehrwegesystemen inklusive der Frequenzweichenfunktionen nahtlos ineinander über.

Am Beispiel der kostenoptimierten Wellenfeldboxen für den H104 wird das Verfahren anhand von Berechnungs- und Messergebnissen erläutert.

Di. 17:20    Raum 1

Elektroakustik I

### **Planung von WFS-Systemen am Beispiel der Wellenfeldsyntheseanlage der TU Berlin**

C. Moldrzyk<sup>a</sup>, A. Goertz<sup>b</sup> und M. Makarski<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Visaural, Berlin; <sup>b</sup>Audio & Acoustics Consulting Aachen

Die bisher verfügbaren Werkzeuge, Kriterien und Verfahren als Grundlage für die Planung neuer Wellenfeldsynthesysteme erlauben nur bedingt qualitativ verwertbare Vorhersagen des erzielbaren Ergebnisses. Daher wird am Beispiel der Planung eines großen Wellenfeldsynthesystems im Hörsaal H 104 der TU Berlin unter Verwertung der mit dem System bisher gemachten Erfahrungen ein optimierter Planungsprozess beschrieben.

Di. 17:45 Raum 1

Elektroakustik I

**Messungen an Lautsprecheranlagen für die Wellenfeldsynthese**A. Goertz<sup>a</sup>, M. Makarski<sup>a</sup> und C. Moldrzyk<sup>b</sup><sup>a</sup> *Audio & Acoustics Consulting Aachen;* <sup>b</sup> *Visaural, Berlin*

Zur DAGA 2007 wurde die Entwicklung eines speziellen achtkanaligen Lautsprechermoduls für die Wellenfeldsynthese vorgestellt. Ein integriertes DSP-System erlaubt äußerst vielfältige Möglichkeiten der Systementzerrung mit IIR- und FIR-Filtern. Für eine optimale Einstellung der Filter hat sich eine dreistufige Vorgehensweise als günstig herausgestellt: 1) Einstellung der einzelnen Wege auf einen weitgehend linearen Frequenz- und Phasengang im Freifeld. 2) Nach dem Einbau im Hörraum erfolgt die individuelle Ortsanpassung an das in Abhängigkeit von der Position im Raum wechselnde akustische Umfeld. 3) Kompensation der durch die frequenzabhängige akustische Kopplung der Wege im Tieftonbereich entstehenden Pegelüberhöhung in Abhängigkeit von der Position der Primärquelle. In diesem Beitrag werden die Messverfahren sowie die Ergebnisse der einzelnen Schritte anhand der Wellenfeldsynthese Installation im H104 der TU-Berlin gezeigt.

Di. 18:10 Raum 1

Elektroakustik I

**Computersimulation des Sprachübertragungsindex STI nach DIN EN IEC 60268-16:2003**T. Steinbrecher*Bose Professional Systems*

Im September 2007 ist eine neue Deutsche Norm für elektroakustische Sprachalarmsysteme innerhalb von Brand- oder Gefahrenmeldeanlagen veröffentlicht worden (DIN VDE 0833-4). Auch die diesbezügliche internationale Normung ist im Umbruch, so erschien gerade die ISO 7240-19, die ebenfalls neue Anforderungen an Sprachalarmsysteme definiert. Dieser Umstand ist insofern von besonderer Bedeutung als für den messtechnischen Nachweis einer ausreichenden Sprachverständlichkeit im Sinne dieser Normenwerke häufig das Verfahren des Sprachübertragungsindex (STI) angewandt wird. Der STI und aktuelle Unterformen wie das STIPA-Verfahren sind in der DIN EN IEC 60268-16 spezifiziert, welche im Jahr 2003 letztmalig überarbeitet worden ist. Insbesondere die Ergänzung des Verfahrens um eine Komponente zur Berücksichtigung der pegelabhängigen Aufwärtsmaskierung hat zu einer deutlichen Erhöhung der

Anforderungen an elektroakustische Anlagen geführt, die bei hohen Schalldrücken und/oder bei hohem Hintergrundgeräusch betrieben werden müssen. Der Vortrag fasst die aktuellen Änderungen am STI-Verfahren zusammen und beschreibt unter Verwendung ausgewählter Beispiele die Implementierung der aktuellen STI-Norm in der Simulationssoftware Bose Modeler. Den Simulationsergebnissen werden Messungen mit aktueller Messtechnik gegenübergestellt und es werden einige Besonderheiten herausgestellt, die bei Simulation und Messung des STI zu beachten sind. Der Vortrag richtet sich nicht nur an interessierte Elektroakustiker, sondern an alle Fachleute, die bei objektiven Verständlichkeitsmessungen das STI-Verfahren oder aktuelle STIPA-Messgeräte anwenden.

Di. 14:00 Raum 2

Körperschall

### **Entstehung von Körperschall im Fahrzeugcrash**

P. Spannaus

*Institut für Angewandte Forschung, FH Ingolstadt*

Um die Crasherkenennung von Fahrzeugen weiter zu verbessern, wird ein auf Körperschall basierendes Verfahren vorgestellt, das statt der Fahrzeugverzögerung die Strukturschwingungen, die durch die Deformation der Karosserie (Chassis) angeregt werden, auswertet. Hierbei ist eine Qualifizierung und Quantifizierung der möglichen Körperschallquellen erforderlich, um für die Auswertung der Körperschallcrashsignale geeignete Verfahren entwickeln zu können. Grundlage der Untersuchung ist die Kontinuumsmechanik, mit dessen Hilfe wichtige Teildisziplinen wie Bruch- und Schädigungsmechanik, Werkstoffmechanik sowie Plastizitätstheorie beschrieben werden können. Es werden mikroskopische und makroskopische sowie übergeordnete äußere Mechanismen wie Reibung, die durch die starke Fahrzeugdeformation im Crash auftreten, beschrieben. Weiter werden Methoden und Versuchsanordnungen zur gezielten Körperschallanregung für Grundlagenuntersuchungen am Fahrzeug diskutiert.

Di. 14:25 Raum 2

Körperschall

### **Durchlass- und Sperrbereiche in kreuzversteiften Platten**

R. Tschakert und B.A.T. Petersson

*TU Berlin, Inst. f. Strömungsmechanik und Technische Akustik*

Es wurde ein Modell entwickelt, mit dem die Körperschallausbreitung in versteiften Platten berechnet werden kann. Die balkenförmigen Versteifungen sind entweder parallel oder kreuzweise in beliebigen Abständen angeordnet. Als Körperschallquelle wirkt



eine Punktkraft senkrecht auf die Platte. Es kann die Transfermobilität zu jedem beliebigen Punkt auf der Platte bestimmt werden. Ausgehend von einer unendlichen Platte werden die Versteifungen durch Ersatzkräfte und -momente modelliert. Hat man diese bestimmt, kann die Transfermobilität für jeden beliebigen Punkt auf der Platte durch einfache Superposition der Einflüsse der anregenden Kraft und aller Ersatzkräfte und -momente bestimmt werden. Berücksichtigt man neben der Biegewellenausbreitung auf den Versteifungen auch die Torsionswellen, führt dies bei parallel versteiften Platten zu einer Verstärkung der Durchlass- und Sperrbereiche.

Bei kreuzversteiften Platten ergibt sich eine Körperschallausbreitung über mehrere Wellentypen mit verschiedenen Wellenzahlen. Ohne Berücksichtigung der Torsionsmomente treten auch bei kreuzversteiften Platten Durchlass- und Sperrbereiche auf. Sie verhalten sich analog zu parallel versteiften Platten und eindimensionalen Systemen. Mit Berücksichtigung der Torsionsmomente werden die Durchlass- und Sperrbereiche sehr undeutlich. Minima ergeben sich lediglich bei einzelnen Frequenzen, die durch lokale Auslöschung entstehen.

Durch eine geschickte Anordnung paralleler Versteifungen lassen sich breitbandige, auf den jeweiligen Einsatzbereich abgestimmte Sperrbereiche erzielen. Dies ist bei kreuzweise versteiften Platten nicht möglich.

Di. 14:50    Raum 2

Körperschall

### **Experimentelle Bestimmung von Dispersionseigenschaften einer Leichtbau- Profilplatte**

C. Hoefer, T. Kohrs und B.A.T. Petersson

*TU Berlin, Inst. f. Strömungsmechanik und Technische Akustik*

Leichtbau-Profilkonstruktionen mit hoher statischer Steifigkeit und niedriger Masse werden in vielen Anwendungsbereichen, z.B. dem Fahrzeug- oder Maschinenbau, eingesetzt. Die reduzierte Masse kann in Zusammenhang mit der oftmals periodischen Struktur solcher Profile zu erhöhter Schallausbreitung und -abstrahlung in bestimmten Frequenzbereichen (Durchlassbereichen) führen. Um effektive Schallschutzmaßnahmen durchführen zu können ist es wichtig, die Wellenausbreitung in solchen Strukturen besser zu verstehen. Aufgrund der hohen geometrischen Komplexität der Strukturen ist nicht nur die analytische sondern auch die messtechnische Bestimmung der Ausbreitungsmechanismen problematisch. Ziel dieser Untersuchung ist die Bestimmung der Dispersionseigenschaften einer

typischen Leichtbau-Profilplatte. Für eine punktförmige Anregung der Platte werden winkelabhängig mittels verschiedener Transformations- und Analysetechniken die Gruppengeschwindigkeiten der sich ausbreitenden Wellenzüge untersucht. Weiterhin erfolgt mit der sogenannten Inhomogeneous Wave Correlation (IWC) eine Bestimmung der vorherrschenden Wellenzahlen. Die angewandten Verfahren werden hinsichtlich ihrer messtechnischen Durchführbarkeit sowie der Qualität und Vergleichbarkeit der erzielten Ergebnisse verglichen.

Di. 15:15    Raum 2

Körperschall

### **Structure-borne sound power from vibrating sources into building elements**

J. Scheck<sup>a</sup>, H.-M. Fischer<sup>a</sup> und B. Gibbs<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Hochschule für Technik Stuttgart*; <sup>b</sup>*University of Liverpool, School of Architecture*

The reception plate method is used to characterise structure-borne sound sources in laboratories. The source power is obtained in terms of the spatial average plate velocity, plate mass and loss factor. The source data then can be used to predict the sound transmission in buildings using parts of EN 12354. The advantage, of the reception plate method, when compared to other methods such as the free velocity and mobility method, is the easy application and handling of the data. So far, reception plates with free edges have been used in laboratories. In the case considered here, the vibrating sources are lightweight stairs. The receiving system was a masonry wall in a special staircase test facility. The wall edges are bonded into surrounding walls and floors to simulate the real building situation. The power into the wall was obtained directly and the wall power was estimated from spatial average velocity. The relationship between the source power and the wall power is investigated in terms of a simplified Statistical Energy Analysis (SEA) model and conditions identified where source and receiver powers can be assumed equal. The presentation will be given in German.

Di. 15:40 Raum 2

Körperschall

**Identifikation von Körperschallpfaden mittels Strukturintensitätsrechnung**S. Kuhl*TU Darmstadt, FG Systemzuverlässigk. und Maschinenakustik*

Analog zur Schallintensität in Luft gibt es für feste Körper die Strukturintensität oder Körperschallintensität. Da bei festen Körpern der Spannungstensor meist vollständig besetzt ist, ist die Berechnung aufwändiger als bei der Luftschallintensität. Man benötigt hierzu den vollständigen Spannungstensor und den Schnellevektor. Die Werte zur Berechnung kann man für einfache Strukturen, wie Platten analytisch berechnen oder für komplexe Strukturen mittels FEM berechnen. Es ergibt sich für jeden Berechnungsknoten ein komplexer Intensitätsvektor. Während der Imaginärteil der Strukturintensität die Betriebsschwingform darstellt, ergibt sich aus dem Realteil der Leistungsfluss. Bisherige Berechnungen für Plattenstrukturen zeigen, dass der Leistungsfluss für einzelne Moden stark unterschiedlich verläuft. Ziel der Untersuchungen ist es durch konstruktive Maßnahmen (Bohrungen, Sicken, Dämpfer oder Tilger) den Leistungsfluss gezielt zu beeinflussen.

Di. 16:30 Raum 2

Körperschall

**Ungestörter Musikgenuss im Stadtcasino Basel dank über 20 dB Reduktion von Strassenbahnimmissionen**U. Bopp*Fachhochschule Nordwestschweiz*

Über Jahre hinweg wurde der Musiksaal in Basel durch den Strassenbahnverkehr stark beeinträchtigt. Der abgestrahlte Körperschall erreichte im tief- und mittelfrequenten Bereich Pegel von 46 dB(A).

Mit einer aufwendigen Isolation, bestehend aus einer Kombination von leichtem Masse-Feder-System auf PUR-Schaum und schwerem Masse-Feder-System auf Stahlfedern, wurden die Gleisanlagen saniert und damit eine Reduktion des Luftschallpegels um 22 dB und mehr im Musiksaal erreicht.

In diesem Beitrag werden das eingesetzte System, die Probleme bei der Umsetzung und die Ergebnisse der Abnahmemessung vorgestellt.

Di. 16:55 Raum 2

Körperschall

**Dürfen Körperschallpegel des Schienenverkehrs unbegrenzt laut sein?**U. Lenz*Ing.-Büro Uderstädt + Partner*

Dürfen Körperschallpegel des Schienenverkehrs unbegrenzt laut sein? Von Schienenverkehrswegen gehen Schallimmissionen aus, die entsprechend der Gesetzgebung nach der 16. BImSchV beurteilt werden. Beim Überschreiten definierter Immissionsgrenzwerte sind Schutzmaßnahmen erforderlich, dies kann auch der Einbau von Schallschutzfenstern nach 24. BImSchV sein. Von Schienenverkehrswegen werden aber auch Schwingungsemissionen erzeugt, die über das Erdreich in die Anliegerbebauung eindringen und dort zu Erschütterungs- und Körperschallimmissionen führen. Die Beurteilung der Erschütterungsimmis-sionen ist zwar nicht gesetzlich geregelt, erfolgt aber auf Basis der allgemein anerkannten DIN 4150/2. Für die vom Schienenverkehr ausgehenden Körperschallpegel existiert dagegen in Deutschland keine normative oder gesetzliche Regelung. Dürfen Körperschallpegel somit unbegrenzt laut sein? Derzeit werden Körperschallpegel im Rahmen von Planfeststellungsverfahren nicht beachtet oder auf vielfältige unterschiedliche Weise beurteilt. Eine eindeutige Regelung fehlt. Wenn Luftschallpegel durch guten aktiven und passiven Schallschutz ausgesperrt werden, dann sind Körperschallpegel umso besser wahrnehmbar.

Di. 17:20 Raum 2

Arbeitslärm

**Lärmbelastung auf Baustellen: Fortschritt = weniger Lärm?**R. Paulsen*BGIA - Institut für Arbeitsschutz*

Seit etwa 25 Jahren führt das BGIA in enger Zusammenarbeit mit den Berufsgenossenschaften der Bauwirtschaft (heute BG BAU) Messungen zu Belastungen an Baustellenarbeitsplätzen durch. Mit etwa 1.100 personengebundenen Messungen auf etwa 400 Baustellen wurde die Lärmbelastung für über 30 verschiedene Berufsbilder ermittelt. In dieser Zeit haben sich viele Tätigkeiten im Baubereich verändert, bedingt durch den Einsatz modernerer Maschinen, neuer Techniken usw.. Dies kann natürlich auch zu Veränderungen in der Lärmbelastung führen. Im Rahmen der Zusammenarbeit mit dem Arbeitsteam Lärm der BG Bau wurden in den letzten beiden Jahren für sechs Berufsbilder, für die durch solche Änderungen andere Lärmbelastungen

möglich schienen, Nachmessungen durchgeführt. Dabei zeigten die Ergebnisse, dass modernere Techniken oder neue Materialien nicht notwendig zu Pegelminderungen führen. Hier bleiben einige geräuschintensive Tätigkeiten pegelbestimmend. Für das Berufsbild des Installateurs hat der technische Fortschritt aber auch eine geringere Geräuschbelastung mit sich gebracht. Mit den Möglichkeiten der modernen EDV sind wesentlich detailliertere Planungen im Vorfeld möglich und diese wiederum ersparen offensichtlich viele laute Stemm- und Bohrarbeiten. Tätigkeiten, die zuvor stark zur Geräuschbelastung beigetragen haben.

Di. 17:45    Raum 2

Arbeitslärm

### **Schalldämmung von Gehörschützern in der betrieblichen Praxis**

S. Dantscher

*BGIA - Institut für Arbeitsschutz*

Der Lärmschutz am Arbeitsplatz in Deutschland wird seit März 2007 von der "Lärm-Vibrations-Arbeitsschutz-Verordnung" geregelt, die die Unfallverhütungsvorschrift "Lärm" ersetzt. Die Verordnung legt in Anlehnung an die zu Grunde liegende EG-Richtlinie "Lärm" maximal zulässige Expositionswerte für die Beschäftigten fest, wobei jeweils die Wirkung des persönlichen Gehörschutzes beim Einsatz im Betrieb zu berücksichtigen ist. Verschiedene internationale Studien zu diesem Thema zeigen eine oft signifikante Reduzierung der Schalldämmung im Vergleich zu den im Labor bestimmten Werten, die sich auf unsachgemäßes Auf- oder Einsetzen der Gehörschützer zurückführen lässt. Aus diesem Grund wurde in einem Projekt des "Fachausschusses Persönliche Schutzausrüstung" in Zusammenarbeit mit dem BGIA (Institut für Arbeitsschutz der DGUV) und verschiedenen Berufsgenossenschaften die tatsächlich erreichte Dämmwirkung von Gehörschützern in der betrieblichen Praxis untersucht.

Während des Projekts wurden mit einem speziell ausgestatteten Audiomobil Messungen direkt in den Betrieben durchgeführt. Die Differenzen zu der im Labor bestimmten Schalldämmung liefern Korrekturwerte für die verschiedenen Typen von Gehörschützern (z.B. Kapselgehörschützer, Gehörschutzstöpsel und Otoplastiken), die entsprechend bei der Auswahl von Gehörschutz als Abschläge zu berücksichtigen sind, wie z.B. in der "Information des FA PSA zur LärmVibrationsArbSchV" (s. [www.dguv.de/psa](http://www.dguv.de/psa)). Als besonders kritisch im Hinblick auf korrektes Einsetzen erwiesen sich dabei wie in früheren Untersuchungen vor Gebrauch zu formende Gehörschutzstöpsel.

Di. 18:10 Raum 2

Arbeitslärm

**Messunsicherheit bei Lärmmessungen an Arbeitsplätzen nach ISO 9612**J.H. Maue*BGIA - Institut für Arbeitsschutz*

Bei der Ermittlung des Lärmexpositionspegels an einem Arbeitsplatz hängt die Genauigkeit und Zuverlässigkeit des Ergebnisses neben der Qualität des eingesetzten Messgerätes und der Wahl der Mikrofonposition vor allem von der Genauigkeit bei der Erfassung der längerfristig typischen Geräuschimmission ab. Nach der derzeit noch gültigen DIN 45645-2 lässt sich die beim Vergleich mit einem Grenzwert zu berücksichtigende Unsicherheit in der Regel durch eine Abschätzung der Genauigkeit bei der Erfassung der typischen Geräuschimmission und unter Berücksichtigung der Genauigkeitsklasse des Messgerätes ermitteln. Dabei werden per Konvention Unsicherheiten von 0 dB, 3 dB und 6 dB angenommen.

Mit der in den letzten Jahren überarbeiteten ISO 9612 wurde ein neues Verfahren zur Ermittlung der Messunsicherheit für Arbeitsplatzmessungen beschrieben, das sich an dem ISO-Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen (GUM) orientiert. Dieses Verfahren nach ISO 9612 wird mit entsprechenden Hintergrundinformationen erläutert. Außerdem wird ein Tabellenkalkulationsprogramm (Excel-Programm) vorgestellt, das die damit verbundenen relativ aufwändigen Berechnungen ausführt und voraussichtlich auf der Internetseite der ISO zum Herunterladen verfügbar sein wird. Für den Vergleich mit Grenzwerten wird ein Verfahren vorgeschlagen, das sich an der bisherigen Praxis entsprechend DIN 45645-2 orientiert.

Di. 14:00 Raum 3

Physik der Musikinstrumente

**Klimasysteme zur Lufttemperierung in Kirchenorgeln**S. Pitsch<sup>a</sup>, M. Jezerkowsky<sup>b</sup>, Z. Dubovski<sup>a</sup> und J. Angster<sup>a</sup>*<sup>a</sup>Fraunhofer-Institut für Bauphysik; <sup>b</sup>Creative Electronic, Birenbach*

Durch das schnelle Aufheizen von Kirchen im Winter oder durch starke Sonneneinstrahlung im Sommer entstehen im Gehäuse zahlreicher Kirchenorgeln sehr ungleichmäßige Temperaturverteilungen, die zu störenden Verstimmungen im Orgelklang führen können. Nach einigen Voruntersuchungen in einer Klimakammer am Fraunhofer IBP zur Verstimmung einzelner Orgelpfeifen wurde ein erstes Klimasystem in der Martinskirche in Oberesslingen

getestet. Es besteht aus mehreren kleinen Ventilatoren, die zusammen mit Temperatursensoren an ausgewählten Orten im Orgelgehäuse aufgestellt wurden, und aus einer Regelung zur Ansteuerung der Ventilatoren. Durch die Umverteilung der Luft im Gehäuse sollten zu große Temperaturunterschiede ausgeglichen werden. Ein weiteres temperaturbedingtes Problem tritt bei der Intonation von Orgelpfeifen auf. Dabei läuft das Gebläse sehr lange bei einem kleinen Volumenstrom und heizt die Luft im Windsystem auf, d.h. die Pfeifen werden bei einer zu hohen Temperatur intoniert und gestimmt und klingen nach Abkühlung der Luft verstimmt. Zur Verbesserung dieses Problems wurde ein mobiles Klimasystem entworfen und im Labor des IBP an einer Modellorgel getestet. Dabei entweicht durch eine geregelte Drosselklappe zwischen Gebläse und Balg ein möglichst großer Volumenstrom aus dem Windsystem und verhindert eine zu starke Erwärmung des Gebläsemotors und der Luft im Windsystem.

Di. 14:25    Raum 3

Physik der Musikinstrumente

### **Untersuchungen über den Einfluss von Pfeifenmensurationsparametern auf den Klang von Lippenorgelpfeifen**

J. Angster, T. Wik, T. Trommer und A. Miklós

*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

Wenn grundlegende Phänomene der Physik von Lippenorgelpfeifen untersucht werden, sind Experimente an Modellen akzeptabel. Häufig allerdings unterscheiden sich diese Modelle beträchtlich von echten Lippenorgelpfeifen. Deshalb sollten die feinen Details des Pfeifenklangs auch an echten Pfeifen untersucht werden. Die Klangqualität einer Orgelpfeife wird hauptsächlich vom Einschwingvorgang beeinflusst. Dieses Einschwingen wird zuerst durch den Schneidenton bestimmt, später dann spielt der Pfeifenresonator eine wichtigere Rolle. Um die Physik einer Lippenorgelpfeife zu verstehen, ist es notwendig, die akustischen Eigenschaften des Pfeifenresonators zu messen, den Schneidenton zu analysieren, sowie den Einschwingvorgang und den Stationärklang. Mehrere spezielle Pfeifen mit dem gleichen Ton sind untersucht worden: Pfeifen mit verschiedenen Durchmessern, eine Pfeife, deren Aufschnitthöhe und eine weitere Pfeife, deren Länge verstellbar sind. Bei der Auswertung wurden alle physikalischen Einflüsse, die zur Klangerzeugung beitragen, berücksichtigt. Diese Ergebnisse werden dazu verwendet werden, eine Mensurationsmethode zu entwickeln, um Lippenorgelpfeifen auszulegen und eine Software zu entwickeln, um die Orgelpfeifenabmessungen der wichtigsten Pfeifenregister zu entwerfen.

Di. 14:50 Raum 3

Physik der Musikinstrumente

**Entwicklung eines Systems zur Simulation der Abstrahlung von Orgelpfeifen**T. Trommer, J. Angster und A. Miklós*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

Die Qualität einer Orgel ist abhängig von ihrer Anpassung an die akustischen Eigenschaften des Raumes. Sie kann über die Dimensionierungen der Pfeifen eingestellt werden. Heutzutage wird versucht die optimale Anpassung durch den Vergleich mit Orgelpfeifen in ähnlichen Räumen oder durch den Aufbau und Betrieb einer kleinen Windlade mit einigen Probepfeifen einzuschätzen. Die Anzahl der Pfeifen und die Möglichkeiten diese zu verändern sind beschränkt. Zur Unterstützung der Orgelbauer die optimale Anpassung der Orgel an den Raum besser abzuschätzen, wurde am Fraunhofer IBP ein System entwickelt, mit welchem die Schallabstrahlung von Orgelpfeifen simuliert wird. Dieses System gibt von Orgelpfeifen gewonnene Klänge wieder und bietet die Möglichkeit, diese nach einigen Regeln der Mensurierung so zu verändern, als ob die Orgelpfeife, von der die Aufnahme stammt, selbst verändert gewesen wäre. Das mobile System besteht aus Notebook mit Programm und Klangbibliothek, Verstärker, 2 Lautsprechern samt Stativ. Das Programm verwaltet die Aufnahmen, passt sie an die gewünschten Pfeifenänderungen an und gibt sie wieder. Sie wurden an zylindrischen, metallenen und offenen Lippenorgelpfeifen des Prinzipalregisters der Tonhöhen  $c^\circ$  und  $c'$  bei unterschiedlichen Dimensionierungen gemacht. Die Überprüfung der Ähnlichkeit der Klänge von System und Pfeife wurde im reflexionsarmen Raum durchgeführt.

Di. 15:15 Raum 3

Physik der Musikinstrumente

**Prediction of overblowing behavior of an organ flue pipe**S. Adachi, J. Angster und A. Miklós*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

The sound of an organ flue pipe originates from oscillation of an air jet in the mouth. The oscillation is caused by fluid dynamical instability of the jet itself and by sound generated in the flue pipe. The phase and magnitude of jet oscillation relative to sound is essential to determine which acoustic mode is excited as well as the spectrum of the generated sound. Because the theory of the oscillating jet has only been developed with several assumptions such as an inviscid flow, a jet of infinite length and a fixed velocity profile, an experimental method should be employed to develop



a model of the actual jet motion. In this research, this was done numerically. Using the finite element method (FEM), a jet initially having a square-shaped velocity profile that is deflected by sound was simulated. The results were analyzed to obtain change in the velocity profile, the phase and the magnitude of the jet oscillation amplitude. Based on these analyses, a jet oscillation model was developed. With this model, incorporated with a physical model of an organ flue pipe, overblowing behavior with change in blowing pressure was estimated. The predicted behaviour was compared with the experimental results.

Di. 15:40    Raum 3

Physik der Musikinstrumente

### **Akustische Untersuchungen an der strengen Rekonstruktion einer gotischen Kleinorgel**

G. Corinth

*Mainz*

Nach dem bekannten Genter Altargemälde der Brüder VAN EYCK (ca. 1432) wurde nach eingehenden photogrammetrischen und bildanalytischen Studien ein spielfähiges Instrument rekonstruiert. Die hohe Genauigkeit der bildlichen Darstellung ermöglichte die sichere Bestimmung von Disposition, Tonumfang und Pfeifenmensur sowie von Details der orgeltechnischen Herstellungsweise. Es ergab sich ein für die Gotik typisches "Blockwerk" mit Praestant und abschaltbarer Hintersatzmixture, eine zeittypische Steilmensur, ein verhältnismäßig geringer Tonumfang und eine um eine Quarte nach oben verschobener Absolut-Tonhöhe und mit größter Wahrscheinlichkeit eine pythagoreische Stimmung. Die Vorstellung des fertigen Instruments in einer spätgotischen Kathedrale (Liebfrauenkirche in Oppenheim) brachte ein völlig unerwartetes Klangerlebnis sowohl vom Charakter als auch vom Volumen, das relativ kleine Instrument konnte in dem sehr großen Raum überall einwandfrei gehört und beurteilt werden. Man konnte annehmen, dass u.a. der klangliche Unterschied von Bass und Diskant - bedingt durch die Steilmensur - und der laufende Wechsel zwischen "reinen" und "unreinen" Akkorden der pythagoreischen Stimmung zu dem Klangeindruck beiträgt. Elektroakustische Untersuchungen sollten dies messtechnisch erfassen. Oktav-, Terz- und Halbtonanalysen sowohl von Einschwingvorgängen als auch von stationären Einzeltönen und Akkorden usw. wurden gemacht, bemerkenswerte Ergebnisse ergab auch die Untersuchung zweier Pfeifen von gleicher Tonhöhe und Mensur, aber verschiedenem Material (Bleiguss bzw. Blei-Zinn-Halbschalentechnik).

Di. 16:30 Raum 3

Physik der Musikinstrumente

**Kesselpauken ohne Paukenkessel?**H. Fleischer*UniBw München, Institut für Mechanik*

Der Kessel einer guten Pauke trägt nicht dadurch zur Klangerzeugung bei, dass seine Wandung schwingen und Schall abstrahlen würde. Jedoch klingt die Pauke völlig anders, sobald der Kessel entfernt wird. Offensichtlich kommt dem Kessel bei der Pauke zwar keine aktive, aber eine wichtige passive Rolle zu.

Es wird der Frage nachgegangen, welche Funktionen der Kessel erfüllt. Dadurch, dass er die Vorder- von der Rückseite des Felles trennt, beeinflusst der Kessel sowohl die Schwingungen des Felles als auch die Abstrahlung von Schall durch das Fell. Die Theorie der idealen Membran lässt ein Bessel-Spektrum erwarten, das sich in der Realität bei der Pauke nicht wiederfindet. Erst die vom Kessel umschlossene Luft bewirkt, im Zusammenspiel mit der Luft vor dem Fell, dass die Frequenzen der klangbildenden Fellschwingungen nahezu harmonische Intervalle annehmen. Eine weitere Funktion des Kessels besteht darin, den akustischen Kurzschluss zwischen Vorder- und Rückseite zu unterbinden. Im einfachsten Fall (01-Ton) strahlt das Fell demnach nicht als Dipol, sondern als Monopol, beim 11-Hauptton nicht als Quadrupol, sondern als Dipol usw. Dadurch verändert der Kessel den Abstrahlgrad des Felles nach Größe und Frequenzabhängigkeit. Sein Vorhandensein beeinflusst die Abgabe von Energie ins Schallfeld und damit nicht den Pegel, sondern auch das Abklingen der einzelnen Teiltöne.

Di. 16:55 Raum 3

Physik der Musikinstrumente

**Simulation des vibroakustischen Verhaltens einer Geige mit Hilfe von Finite-Elemente- und Boundary-Elemente-Methoden**K. Hoge<sup>a</sup>, U. Feldmann<sup>b</sup>, W.-C. Von Karstedt<sup>a</sup> und O. von Estorff<sup>a</sup>*<sup>a</sup>TU Hamburg-Harburg, Modellierung und Berechnung; <sup>b</sup>TU Dresden, Inst. für Akustik und Sprachkommunikation*

Der heutige Geigenbau gründet hauptsächlich auf Tradition und Handwerk, wobei die Meinungsbildung über die Güte eines Instruments vor allem auf subjektive Faktoren zurückzuführen

ist. Mit der Entwicklung leistungsfähiger Rechenanlagen und -programme besteht seit einiger Zeit die Möglichkeit, auch numerische Berechnungsmethoden beim Instrumentenbau einzusetzen. Diese ermöglichen schon in einem sehr frühen Entwurfsstadium grundlegende Parameter zu bestimmen und physikalische Zusammenhänge gezielt zu erforschen. In dem gegenwärtigen Beitrag soll die Simulation der vibroakustischen Eigenschaften einer Mustergeige mittels gekoppelter Finite-Elemente- und Boundary-Elemente-Methoden vorgestellt werden. Dabei wird bewusst der Einfluss des Spielers vernachlässigt und an übliche Herangehensweisen der Geigenbauer angeknüpft. Eine gängige Untersuchungsmethode ist die Ermittlung von Übertragungsfunktionen. Als Eingang in das System dienen hier die auf den Steg wirkenden Kräfte (durch Impulshammeranregung des Stags, sowie Zupf- und Streichanregung der Saiten) und als Ausgangssignal fungiert der Schalldruck an drei Positionen auf einer Kugeloberfläche (Radius 1 m) über dem Stegmittelpunkt. Diese Übertragungsfunktionen wurden sowohl berechnet als auch im Rahmen von Messungen am Institut für Musikinstrumentenbau Zwota, ermittelt. Ziel der Untersuchungen ist es, ein validiertes numerisches Modell zu erarbeiten, mit dem zukünftig die Einflüsse z.B. der verwendeten Materialien, der Vorspannungskräfte oder der Waddicken effizient untersucht werden können.

Di. 17:20    Raum 3

Physik der Musikinstrumente

### **Ein steuerbares Mundstück für Fagotte**

T. Grothe, J. Baumgart und R. Grundmann

*TU Dresden, Institut für Luft- und Raumfahrttechnik*

Das Mundstück des Fagottes besteht aus zwei Schilfrohrplättchen und wird Rohrblatt genannt. Beim Spielen des Instrumentes wird der Ton dadurch erzeugt, dass die beiden Rohrblatthälften gegeneinander schlagen. Das vollständige Schließen verursacht einen negativen Druckimpuls, der durch den Instrumentenkörper wandert. Es wird eine Erregungsvorrichtung für Fagotte vorgestellt, die die Funktion des Rohrblattes übernimmt. Die Vorrichtung besteht aus einem Druckluftspeicher und einem Einblasadapter mit einem schnellschaltenden Magnetventil. Der Einblasadapter hat das Volumen des Rohrblattes und ist mit einem Drucksensor versehen. Zunächst wurden instationäre Druckmessungen in präparierten Fagottrohrblättern durchgeführt, während professionelle Musiker das Instrument spielten. Während des

künstlichen Anblasens wird das Steuersignal des Ventils modifiziert, um die Druck-Zeit-Verläufe von Musikeranspiel bestmöglich zu reproduzieren. Bei Druckamplituden von bis zu 16 kPa lassen sich so "künstliche" Drucksignale erzeugen, die mit den "realen" Drucksignalen vom Musikeranspiel hoch korrelieren ( $r = 0,93$ ). Die Vorrichtung ermöglicht daher realitätsnahe, wiederholbare Versuchsbedingungen für ein automatisiertes Anspiel von Fagotten. Die Frequenzspektren der "künstlich" erzeugten Klänge wurden analysiert und mit denen von Musikern verglichen.

Di. 17:45    Raum 3

Physik der Musikinstrumente

### **Untersuchungen der Strömungsakustik eines Fagottes unter realen Spielbedingungen**

A. Richter und R. Grundmann

*TU Dresden, Institut für Luft- und Raumfahrttechnik*

Das Lösen der kompressiblen Navier-Stokes'schen Gleichungen erlaubt die Untersuchung der Strömungsakustik in Blasinstrumenten ohne die Vernachlässigung physikalisch relevanter Effekte. Hierbei stellt die Definition realistischer und gleichzeitig stabiler Randbedingungen ein signifikantes Problem für die Strömungsberechnungen dar. Wir demonstrieren ein Verfahren zur Berechnung der Strömungsakustik in einem Fagott unter realen Spielbedingungen. Ergebnisse aus dreidimensionalen Untersuchungen des Fagottes werden vorgestellt und diskutiert.

Di. 18:10    Raum 3

Physik der Musikinstrumente

### **The balance of the spectra of the tones of one organ stop recorded in six room positions**

Z. Otčenasek

*HAMU Praha*

Sounds of all tones of one organ stop were recorded in six room positions (four single microphone and two dummy head positions). The spectra of all tones from each separate position were collected and its global balances were compared. The statistical and graphical results are presented for Principal 8\* stop.

Di. 14:00 Raum 4

Räumliche Wiedergabeverfahren

**ASDF: Ein XML Format zur Beschreibung von virtuellen 3D-Audioszenen**M. Geier, J. Ahrens und S. Spors*Deutsche Telekom Laboratories, TU Berlin*

Mit dem "Audio Scene Description Format" (ASDF) kann man sowohl statische als auch bewegte virtuelle Audioszenen speichern und zwischen unterschiedlichen Wiedergabesystemen austauschen.

Es ist unabhängig von dem verwendeten Betriebssystem und der Programmiersprache aber auch vom Wiedergabeverfahren. Einmal erstellte Demos, Kompositionen, et cetera können also mit wenig Aufwand an verschiedenen Orten mit verschiedenen Systemen abgespielt werden.

Das Format basiert auf XML (eXtensible Markup Language), dadurch ist es für Menschen direkt lesbar und editierbar und man kann es bei Bedarf beliebig erweitern.

Der Aufbau von ASDF Dateien wird beschrieben, einige beispielhafte Szenen werden gezeigt und die konkrete Anwendung in einer Software Applikation für WFS, VBAP und binaurale Spatialisation namens "SoundScape Renderer" wird demonstriert.

Di. 14:25 Raum 4

Räumliche Wiedergabeverfahren

**Investigation of spatial aliasing artifacts of wave field synthesis in the temporal domain**S. Spors*Deutsche Telekom Laboratories, TU Berlin*

Wave field synthesis (WFS) is a spatial sound reproduction technique that facilitates a high number of loudspeakers to create a virtual auditory scene. It improves some of the shortcomings of traditional stereophonic reproduction techniques, like e.g. the sweet-spot. The physical basis of WFS is given by the Kirchhoff-Helmholtz integral. This basic principle states that a continuous distribution of dipole and monopole sources placed around the listening area is sufficient for perfect recreation of a desired virtual scene. For a practical implementation of this principle several simplifications are necessary. Practical implementations constitute of a finite number of loudspeakers placed at spatially discrete positions. Among other artifacts that may result from this simplification, the spatial sampling may result in spatial aliasing artifacts in the reproduced wave field. In the past, the spatial aliasing artifacts of WFS have mainly been investigated in the frequency

domain. This contribution will investigate the aliasing artifacts in the temporal domain. The theory of WFS has been traditionally formulated in the frequency domain. Consequently the theory of WFS is reformulated in the time domain in a first step. The spatial aliasing artifacts for plane waves, point sources and focused sources are investigated in the following.

Di. 14:50    Raum 4

Räumliche Wiedergabeverfahren

### **Wave field synthesis rendering with increased aliasing frequency**

E. Corteel, R. Pellegrini und C. Kuhn-Rahloff

*sonic emotion ag*

Wave Field Synthesis (WFS) is a physically based sound reproduction technique. A fundamental limitation of WFS is that synthesis only remains accurate up to a corner frequency, referred to as the spatial aliasing frequency. This paper addresses techniques to increase the aliasing frequency of WFS reproduction in a preferred listening area. Frequency and position dependant driving functions for the loudspeakers are defined and new formulations of the spatial aliasing frequency are proposed. It is shown that in restricting the listening zone of WFS the aliasing frequency can significantly increased. Applications in the domain of simulation environments and home entertainment are discussed.

Di. 15:15    Raum 4

Räumliche Wiedergabeverfahren

### **On the Extrapolation of Room Impulse Responses from Circular Measurements for Data Based Wave Field Synthesis**

A. Kuntz und R. Rabenstein

*Lehrstuhl f. Multimediakommunikation, Univ. Erlangen-Nürnberg*

Data based wave field synthesis systems calculate the loudspeaker driving signals from sound fields that are extrapolated to the loudspeaker positions. For the auralization of acoustic environments extrapolated room impulse responses are convolved with dry source signals during the sound field reproduction.

To measure the spatio-temporal characteristics of wave fields, circular microphone setups are often used. If the measurements are carried out in a sequential way, room impulse responses can be captured with very high resolution at relatively low expenses.

The extrapolation is usually carried out on a separation of the wave field into plane waves from different directions. As an intermediate step in the calculations the measured sound field is decomposed into circular harmonics. Due to the imperfections of

the measurements (spatial discretization and sensor noise) only a limited number of circular harmonics can be used.

This publication discusses the selection of usable circular harmonics when extrapolating the measured room impulse responses for a data based wave field synthesis system. Common approaches are considered as well as an approach for a selection based on a modal Wiener filter.

Di. 15:40    Raum 4

Räumliche Wiedergabeverfahren

### **Notes on Rendering Focused Directional Virtual Sound Sources in Wave Field Synthesis**

J. Ahrens und S. Spors

*Deutsche Telekom Laboratories, TU Berlin*

Wave field synthesis (WFS) is an approach to the physical (re)synthesis of a desired virtual wave field. It is based on the Kirchhoff-Helmholtz integral formulated for interior problems. This implies that WFS is per se only capable of recreating the wave field generated by virtual acoustic sources outside the listening area. However, it has been shown that the exploitation of the time-reversal principle provides an approach to the reproduction of sources inside the listening area when some drawbacks are accepted. These virtual sources are known as focused sources. So far only point source models have been considered in the derivation of the appropriate loudspeaker driving functions. In this paper, we introduce an approach to the rendering of focused sources with arbitrary directivity. For this purpose we briefly introduce an approach to the rendering of non-focused virtual sources with arbitrary directivity which has been previously published in detail. The approach relies on the expansion of the source's directivity (i.e. its spatial transfer function) into orthogonal basis functions. We will then extend this approach to focused virtual sources and point out the particularities that have to be taken into account compared to the traditional focusing of virtual point sources.

Di. 16:30    Raum 4

Räumliche Wiedergabeverfahren

### **Extension of a WFS loudspeaker configuration with a ceiling array for 3D auralization - perceptual aspects**

J. van Dorp Schuitman und D. de Vries

*TU Delft, Faculty of Applied Physics*

Most operational Wave Field Synthesis systems generate their sound fields through a loudspeaker array configuration in a horizontal plane, roughly matching the ear plane of the listeners. This way, 2D acoustic wave fields can very well be (re)produced.

When, however, a 3D environment (e.g., a concert hall) should be auralized, the lack of the vertical dimension leads to serious perceptual complaints. In a hall occupied with a well-dressed audience, all reflections with non-zero elevation are highly damped, except the first-order ceiling reflections. Therefore, at TU Delft an attempt has been made to solve the problem by extending the rectangular array configuration in the horizontal plane with a ceiling array for reproduction of these first order reflections. Using various signals (noise, music, speech), it was investigated in how far this solution is effective, and how critical it is, from a perceptual point of view, to reproduce the mirror image source which represents a ceiling reflection in a physically correct way. Preliminary results - research is still in progress - indicate that the addition of elevated reflections is perceptually detected only when these are fairly strong relative to the direct sound, corresponding with a highly reflective ceiling in the hall to be auralized.

Di. 16:55    Raum 4

Räumliche Wiedergabeverfahren

### **On the perception of reflections from directive sources in binaural simulations**

F. Melchior<sup>a</sup> und D. de Vries<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*TU Delft / Fraunhofer IDMT*; <sup>b</sup>*TU Delft, Faculty of Applied Physics*

The directivity of a sound source is difficult to be perceived for a static listener in an anechoic environment or in case of a pure direct sound reproduction system. If the listener can navigate inside an auditory environment he can explore the directivity pattern of a source by moving the listening position. In case of a static listener only a difference in the source timbre itself can be perceived without effecting the impression of different directivity. To make the directivity of a source perceivable for a static listener, early reflections are required. In this study the importance of correct auralization of different reflection orders generated by a mirror image source model (MISM) using a directive source is investigated. A listening experiment has been carried out to grade the quality of different simulations. During the experiment the reflections only up to a certain order were auralized corresponding to the source directivity. The results are compared to a reference with correct simulation for all used orders. The paper presents the findings of the listening experiment and its implications for simulation of source directivity in terms of early reflections.



Di. 17:20 Raum 4

Audiotechnik

**Mindestanforderungen an das Hörvermögen von angehenden Tonmeistern / Mediengestaltern Bild und Ton**F. Völkl<sup>a</sup>, H. Fastl<sup>a</sup>, F. Lott<sup>b</sup>, B. Hasford<sup>c</sup> und A. Glink<sup>b</sup><sup>a</sup>AG Technische Akustik, MMK, TU München; <sup>b</sup>Abteilung Betrieb HF, Bayerischer Rundfunk; <sup>c</sup>Betriebsärztin, Bayerischer Rundfunk

Die Eignung des Gehörs von Kandidaten für den Beruf des Tonmeisters / Mediengestalters Bild und Ton wird unter anderem anhand einer Messung des Hörverlustes festgestellt. Allerdings existiert bislang keine Referenzkurve mit Toleranzangaben für maximal zulässige Hörverluste. Die Entscheidung für oder gegen Kandidatinnen oder Kandidaten wird vorwiegend anhand der Erfahrung des Untersuchers und durch Vergleich mit einer überschaubaren Anzahl bekannter Messungen getroffen.

Im vorliegenden Beitrag wird eine, mit statistischen Verfahren anhand einer großen Anzahl von Messergebnissen innerhalb der Zielgruppe, entwickelte Referenzkurve vorgestellt, die Minimalanforderung an das Hörvermögen angehender Tonmeister / Mediengestalter Bild und Ton festlegt. Um diese Referenzkurve wird ein Toleranzschlauch gelegt. Zunächst ist anzustreben, dass alle Messwerte innerhalb des Toleranzschlauches liegen. Bei Vorliegen von "Ausreißern" wird das endgültige Urteil durch fachkundiges Personal in Würdigung eventueller spezieller Gegebenheiten getroffen.

Di. 17:45 Raum 4

Audiotechnik

**Vibration and radiation diagnostics of loudspeaker cones**J. Schlechter und W. Klippel*Klippel GmbH*

The sound reproduction quality of loudspeakers is highly dependent on the vibration and radiation properties of the loudspeaker cone. Advances in the measurement techniques for surface vibration allow to verify preceding models of the cone vibration and to develop basic rules for designing loudspeaker cones. With the help of a certain sound radiation model the produced sound pressure of the loudspeaker can be predicted from the measured cone surface vibration.

The vibration behavior of circular loudspeaker cones is demonstrated on example cones and the direct link to the sound radiation offers insight into critical issues for designing an optimal loudspeaker following a certain target specification.

Di. 18:10 Raum 4

Audiotechnik

**Audiotechnik in Ausstellungen - auch für Schwerhörige nutzbar?**H. Seidler*Hör- & Umweltakustik Dresden*

Moderne Ausstellungskonzepte lösen sich von der bisherigen Präsentation von Wissen und Objekten auf visuellem Weg. Nicht nur das Ansprechen der anderen Sinne, hauptsächlich Hören und Erasten, steht im Fokus der Ausstellungs-Designer. Gerade das Vermitteln von Wissen und Erfahrungen auf unterhaltsamen und spannenden Pfaden macht Museen zu multimedialen Erlebnisräumen, lässt Ausstellungen lebendig werden und hinterlässt oft bleibende Eindrücke. Dem Hörsinn wächst dabei eine zunehmende Bedeutung zu. Teilweise sind einzelne Objekte oder Stationen nur auditiv erfassbar, was bei schwerhörigen Mitmenschen zu Problemen führt. Der "rote Faden" ist vielleicht nicht mehr erkennbar und wichtige Erlebnisbereiche können nicht erschlossen werden. Die aus anderen öffentlichen Bereichen bekannten stationären Höranlagen können hier Abhilfe schaffen. Aber auch die geläufigen mobilen Hilfen (Audioguides) sind meist in der Lage, die notwendige Unterstützung zu bieten. Dabei sind allerdings während der Ausstellungsprojektierung, der Umsetzung und im täglichen Betrieb einige technische und organisatorische Dinge zu beachten. Der Autor, selbst Mitglied im Deutschen Schwerhörigenbund, konnte bei der Vorbereitung und Einrichtung von aktuellen Ausstellungen und umgestalteten Museen viele Erfahrungen sammeln. Der Vortrag fasst an ausgewählten Beispielen die wesentlichen Schwerpunkte zusammen und setzt sich abschließend mit den Perspektiven auseinander, die neue drahtlose, digitale Übertragungstechniken wie beispielsweise Bluetooth mit sich bringen.

Di. 14:00 Raum 5 Strömungsakustik und Verbrennungslärm

**A first step towards a parametric model for fan broadband and tonal noise**A. Moreau und L. Enghardt*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Berlin*

The fan of an aero-engine is one of the most significant noise sources of civil aircraft. The purpose of the present work is to provide a tool for fan noise prediction, which can be integrated into the design process of innovative fans.

Fan noise is predicted by means of an analytic model. A single noise source is considered for this first approach: the rotor-stator interaction noise due to rotor blade wakes impinging onto the stator vanes. This source is known to be the major source of fan broadband and tonal noise. The formula for the sound power is based on the single airfoil theory in far field developed by Amiet. It accounts for the effect of subsonic compressible flow and source non-compactness.

The model provides two sound power spectra, for broadband and tonal noise, respectively. It accounts for fan parameters such as geometry (blade and vane count, chord length, rotor-stator gap) and flow parameters (mean velocities, wake and turbulence characteristics).

Future work will investigate a more detailed description of the sound field based on an acoustic modal approach, in which each frequency component of the sound spectrum is decomposed into a distribution of duct acoustic modes.

Di. 14:25    Raum 5    Strömungsakustik und Verbrennungslärm

## **Entwicklung lärmarmen Klimaanlagenrohrkomponenten**

C. Spehr

*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Braunschweig*

Der Passagierkomfort bei Verkehrsflugzeugen hängt in entscheidender Weise vom Innenlärm ab, dessen Hauptkomponenten im Reiseflug die Geräusche der Triebwerkstrahlen, der Rumpfgrenzschichtströmung und des Klimaanlagensystems sind. Im Rahmen der Zusammenarbeit des DLR mit Airbus soll die Fähigkeit zur Auslegung leiser Klimaanlagenrohrsysteme auf der Basis numerischer Simulation entwickelt werden.

Hierzu wurde das Projekt CoSiCab (Comfort and Silent Cabin) gestartet. Ein Ziel dieses Projektes ist es, die Berechnungsmethoden für die Vorhersage von Lärmmentstehungsmechanismen und Lärminderungsmaßnahmen zu verbessern. Aufbauend auf dem DLR eigenen CAA-Code (Computational Aeroacoustics) PIANO soll die Schallleistung von Klimaanlagenrohrkomponenten in beliebigen Einbausituationen auf rechnerischem Wege quantifiziert werden. Um für den industriellen Designprozess anwendbar zu sein, darf der Rechenaufwand den einer RANS (Reynolds Averaged Navier Stokes) Strömungssimulation nicht überschreiten. Die Ergebnisse dieser Rechnung werden durch Vergleich mit Messungen im Klimaanlagenrohrprüfstand validiert.

Ein weiteres Ziel des Projektes besteht darin, Kriterien für eine lärmarme Anlagenauslegung zu entwickeln. Hierzu werden in experimentellen Studien die signifikanten Strömungsparameter für die Vorhersage des Strömungslärms an Komponenten wie Rohrblende oder Krümmer bestimmt. Durch Variation der Geometrie dieser Komponenten und Variation der Vorturbulenz bei verschiedenen Anströmgeschwindigkeiten wurden Kenngrößen wie der auftretende Druckverlust an der Blende, die Zuströmbedingungen zur Blende sowie die abgestrahlte Schallleistung ermittelt.

Di. 14:50    Raum 5    Strömungsakustik und Verbrennungslärm

### **Numerischer Ansatz zur Simulation von Strukturbewegung induziert durch Fluidschwingungen**

I. Pantle, G. Bardossy und M. Gabi

*Universität Karlsruhe, Fachg. Strömungsmaschinen*

Die Untersuchung von strömungsinduzierten Strukturschwingungen und die sich daraus ergebende Wechselwirkung zwischen Fluid und Struktur ist für viele Bereiche der Technik, aber auch der Medizin von Bedeutung. So kann die Schwingungsanregung in Resonatoren, wie beispielsweise beim Auftreten von Brennkammerschwingungen, zur Anregung der Resonatorwände führen. Bei technischen Anwendungen stellt sich sofort die Frage nach Materialbelastung und langfristiger Stabilität. Darüber hinaus kann über die schwingende Struktur Lärm nach außen abgestrahlt werden, was in zunehmendem Maße aus Gründen der Lärmvermeidung und -bekämpfung, aber auch der Effizienz und Wirtschaftlichkeit technischer Geräte möglichst vermieden werden soll.

Um derartige Wechselwirkungen zu untersuchen, wird zunehmend auf numerische Simulationsverfahren gesetzt. Hier gibt es verschiedene Verfahren. Speziell im nieder- bzw. mittelfrequenten Bereich bieten sich, aufbauend auf den klassischen und hocheffizienten Simulationsmethoden von CFD (Computational Fluid Dynamics) und CSD (Computational Structure Dynamics) kombinierte Methoden an: Hier werden aus einer Strömungsberechnung heraus über eine Schnittstelle die relevanten Daten zum CSD-Verfahren und die Ergebnisse wieder zurück zum CFD-Verfahren transferiert. Meist werden hier Interpolationsverfahren benötigt zwischen unterschiedlich aufgebauten Berechnungsnetzen. Hohe Effizienz und Genauigkeit der Interpolationsverfahren stellen eine Herausforderung dar. Im Rahmen dieser

Präsentation wird das hybride, von den Autoren entwickelte CFD-CSD-Verfahren vorgestellt. Die derzeitigen Möglichkeiten und geplante Entwicklungsschritte werden zur Diskussion gestellt.

Di. 15:15 Raum 5 Strömungsakustik und Verbrennungslärm

### **Numerical investigations of the noise sources generated in a swirl stabilized flame**

F. Zhang, P. Habisreuther, M. Hettel und H. Bockhorn

*Universität Karlsruhe, Fachb. Verbrennungstechnik*

The investigations shown in the present work cover the compressible simulations of a premixed swirled flame using a double concentric swirl burner, which is typically used for industrial application. The numerical tool used to solve the turbulent flow field is called Large Eddy Simulation (LES) which calculates the unsteady Navier-Stokes equations using the compressible formulation. Furthermore, to add chemical reaction into the flow, we represented the Turbulent Flame Speed Closure Model (TFC). Within this combustion model the turbulence-chemistry interaction was modeled by the turbulent burning speed  $S_T$ . In our simulation methane-air mixture was used as fuel.

Spectral analysis of the pressure fluctuations on several monitor points within the flame has been made to get the preferential frequencies. These have been further identified. These mechanisms may interact with the flame and cause unsteady heat release which serve as main sources of the noise emission in the flame. Moreover, to give an overview of the acoustic source distributions, we have evaluated the two major source terms in the Lighthill's acoustic analogy:

$$\frac{1}{c_0^2} \frac{\partial^2 p'}{\partial t^2} - \Delta p' = \frac{\partial^2 T_{ij}^*}{\partial x_i \partial x_j} + \frac{\partial^2 W}{\partial t^2}, \quad (1)$$

$T_{ij}^* = \rho v_i v_j - \tau_{ij}$ ,  $W = p'/c_0^2 - \rho'$ , where  $T_{ij}^*$  and  $W$  represent the sources caused by turbulent flow and by unsteady heat release.

Di. 15:40    Raum 5    Strömungsakustik und Verbrennungslärm

### **Lokalisierung von Schallquellen in geschlossenen Brennkammern**

C. Pfeifer<sup>a</sup>, L. Enghardt<sup>b</sup>, U. Tapken<sup>b</sup> und C.O. Paschereit<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*TU Berlin, Inst. f. Strömungsmechanik und Technische Akustik;*

<sup>b</sup>*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Berlin*

Moderne Brennkammern für Flugzeugtriebwerke oder stationäre Gasturbinen werden zur Optimierung ihrer Effizienz und zur Minimierung der Schadstoffemissionen bei sehr hohen Temperaturen mit nicht stöchiometrischen Gemischen von Luft und Brennstoff mager betrieben. Diese Art der Verbrennung hat den Nachteil, dass sie zur Ausbildung von Instabilitäten neigt, die grundsätzlich ein sehr unangenehmes akustisches Fernfeld erzeugen und außerdem im Resonanzfall auch die Lebensdauer der Brennkammer signifikant herabsetzen können. Im Rahmen der DFG Forschergruppe Verbrennungslärm geht es im Teilprojekt 10 um die Lokalisierung solcher Schallquellen in geschlossenen Brennkammern. Dies wird durch die Auswertung von Druckmesswerten wandbündig angeordneter Sensoren unter Ausnutzung der akustischen Nahfeldinformation der Schallquellen erreicht. Das örtlich begrenzte Gebiet, in dem die Schallquellen vermutet werden, wird durch ein Raster vorgegebener Monopolquellen diskretisiert. Danach wird aus den Beziehungen zwischen den Schallquellen und dem durch die Quellen im Raster theoretisch hervorgerufenen Schalldruck ein lineares Gleichungssystem für die Quellamplituden aufgestellt. Durch Invertierung dieses Systems werden die Amplituden der diskreten Schallquellen rekonstruiert. Eine örtliche Variation des Rasters ermöglicht die Abtastung potentieller Quellgebiete und somit den Rückschluss auf die tatsächliche Quellenverteilung. Die aufgestellten Gleichungssysteme werden im Rahmen einer Simulationsrechnung als Parameterstudie gelöst und bewertet. Ausgewählte Simulationsergebnisse werden vorgestellt, um die Möglichkeiten und Grenzen des Verfahrens zu verdeutlichen.

Di. 16:30    Raum 5    Strömungsakustik und Verbrennungslärm

### **Einfluss von Temperaturgradienten auf den von Flammen abgestrahlten Schall**

R. Piscoya und M. Ochmann

*TFH Berlin*

Der Schall im Fernfeld einer turbulenten Flamme kann mittels des Standard- Randelementeverfahrens (BEM) ermittelt werden. Dafür muss der Druck oder die Schnelle auf einer geschlossenen

Fläche (Hüllfläche), die die Flamme umschließt, bekannt sein. Darüberhinaus muss das Medium außerhalb dieser Hüllfläche homogen sein. Wenn Temperaturgradienten außerhalb der Hüllfläche vorhanden sind, gilt die homogene Helmholtzgleichung nicht mehr. Stattdessen muss eine inhomogene Helmholtzgleichung gelöst werden. Die entsprechende Integralform enthält ein Volumenintegral, dessen Berechnung großen Rechenaufwand erfordert. Mit Hilfe der "Dual-Reciprocity-BEM" (DRBEM) kann das Volumenintegral in eine Summe von Flächenintegralen überführt werden, so dass das Fernfeld wiederum allein aus der Kenntnis der Schallgrößen auf der Hüllfläche bestimmt werden kann. Mit Hilfe der DRBEM wird die Schallausbreitung in einem Volumen heißen Gases untersucht. Die Temperaturverteilung ist hierbei entweder vorgegeben oder wird durch eine vorgeschaltete CFD-Simulation gewonnen. Der Einfluss der Temperaturgradienten auf das Schallfeld wird untersucht, indem charakteristische Größen wie Schallleistung und Richtcharakteristik mit und ohne Temperaturgradient verglichen werden.

Di. 16:55    Raum 5    Strömungsakustik und Verbrennungslärm

### **Numerische Simulation der Schallabstrahlung von eingeschlossenen turbulenten Flammen**

F. Weyermann, C. Hirsch und T. Sattelmayer

*Lehrstuhl für Thermodynamik, TU München*

In technischen Verbrennungssystemen werden häufig turbulente Flammen eingesetzt, um eine hohe volumetrische Leistungsdichte zu erreichen. Allerdings haben turbulente Flammen den grundsätzlichen Nachteil, Lärm zu entwickeln, den so genannten turbulenten Verbrennungslärm. Dies macht aufwändige Schalldämpfungsmaßnahmen notwendig, die in Zukunft durch eine lärmarme Gestaltung des Verbrennungsvorgangs vermieden oder vermindert werden sollen.

Damit turbulente Verbrennungssysteme schon im frühen Entwicklungsprozess hinsichtlich ihrer Lärmemission optimiert werden können, sollen Methoden entwickelt werden, die eine Vorabrechnung des emittierten Schallspektrums erlauben. Das von den Autoren entwickelte Verfahren basiert auf dem Ansatz, aus einer stationären numerischen Simulation der Strömung mit Verbrennung die räumliche Verteilung der Wärmefreisetzung zu ermitteln. Die zeitlichen Wärmefreisetzungsfuktuationen wirken als akustische Monopolquelle und sind die stärkste Lärmquelle in reaktiven Strömungen geringer Machzahlen. Deshalb kann über

geeignete Modelle sowohl die Schalleistung, als auch der spektrale Charakter des Lärms aus der Charakteristik der Wärmefreisetzung und den Turbulenzgrößen in der Flammenzone ermittelt werden.

Das gewonnene Spektrenfeld wird als Quellterm in ein eindimensionales akustisches Netzwerkmodell eingelesen, das die Wellenausbreitung im Verbrennungssystem modelliert. Das Verfahren basiert auf der isentropen Wellengleichung, berücksichtigt aber darüber hinaus auch akustische Verluste im Strömungspfad. Über diese Schallausbreitungsrechnung wird die über den Abgasstutzen abgestrahlte Schalleistung berechnet.

Es werden Rechenergebnisse präsentiert und deren gute Übereinstimmung mit Validierungsexperimenten nachgewiesen.

Di. 17:20    Raum 5    Strömungsakustik und Verbrennungslärm

### **Übertragungsverhalten von Flex-Elementen in Abgasanlagen bei Frequenzen bis 5000Hz**

H.-J. Kammer<sup>a</sup>, J.-F. Brand<sup>b</sup> und M. Fallen<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *TU Kaiserslautern*; <sup>b</sup> *Tenneco, Heinrich Gillet GmbH*

Flexible Elemente werden in Abgasanlagen von Straßenfahrzeugen eingesetzt, um Bewegungen des Motorblocks von der Abgasanlage zu trennen. Diese entstehen z.B. durch Lastwechsel-Reaktionen, aber auch durch Schlechtweganregungen oder weitergeleiteten Vibrationen. Diese Flex-Elemente werden als steife, selbst tragende Elemente ausgeführt oder als weiche Elemente, die eine zusätzliche Aufhängung der Abgasanlage erfordern. Die Bauteile werden bisher auf tieffrequente Schwingungen deutlich unterhalb von 500Hz ausgelegt. Das akustische Übertragungsverhalten oberhalb dieser Frequenz ist noch nicht näher untersucht worden.

Bedingt durch zunehmende Anteile an höherfrequenten Schwingungen, z.B. durch Verwendung von Turboladern mit größeren Toleranzbreiten oder Einspritzsystemen bei direkt einspritzenden Benzinmotoren, ist es nötig, diese Bauteile geeignet zu beschreiben. Da bisher keine geeigneten theoretischen Modelle existieren, wird das Betriebsverhalten der Bauteile experimentell beschrieben. Die gemessenen Daten sind dann Eingabegrößen für die Berechnung mit der Finite Elemente Methode. Ziel ist es, die Anzahl von Prototypen und Tests und damit Entwicklungszeiten zu reduzieren und die Bauteile bereits frühzeitig in einer Entwicklung robust gegen Störgeräusche zu machen.



Gezeigt wird dazu ein neuer, innovativer Prüfstand, der basierend auf der Verwendung der Vierpol-Theorie das akustische Übertragungsverhalten der Flex-Elemente unabhängig von den Randbedingungen bis 5000Hz beschreibt. Verschiedene konstruktive Parameter der Flex-Elemente wie Länge und Durchmesser werden untersucht und dargestellt.

Di. 17:45    Raum 5

Technische Akustik

### **Modellierung der Absorptionseigenschaften poröser Strukturen und Aufbereitung für die Anwendung in der Raumakustik**

M. Buchschmid und G. Müller

*Lehrstuhl für Baumechanik, TU München*

Absorptionseigenschaften verschiedener Materialien werden typischerweise über den Ansatz eines diffusen Schallfelds (Hallraumraummessung) oder senkrechten Schalleinfalls (Messungen im Kundt'schen Rohr) beschrieben. In der Realität können Absorber ein vom Einfallswinkel der Schallwelle und somit von den Wellenzahlen auf der Absorberoberfläche abhängiges charakteristisches Verhalten aufweisen, welches in Messungen bei stochastisch verteilten Einfallswinkeln nur im Mittel oder wie beim Kundt'schen Rohr selektiv berücksichtigt wird. Aufgrund modaler Effekte herrschen in kleinen Räumen signifikante Wellenmuster vor, was bei niedrigen und mittleren Frequenzen eine Berücksichtigung der Wellenzahlabhängigkeit bei der Modellierung von Absorbern nahelegt.

Es wird eine Methode für die Modellierung von Verbundabsorbern, bestehend aus Platten und porösen Schichten vorgestellt. Die das System beschreibenden Differentialgleichungssysteme werden mit Hilfe der Kontinuumsmechanik und der Theorie Poröser Medien aufgestellt. Für die Lösung werden diese, unter der Annahme unendlich ausgedehnter Strukturen, in den Wellenzahl- Frequenzbereich transformiert. Für in der Praxis relevante Verbundabsorber werden Schichten aus homogenen und porösen Materialien modelliert und die für die Lösung benötigten Randbedingungen angegeben. Beispielhaft werden Berechnungsergebnisse für verschiedene Einfallswinkel gezeigt. Mit Hilfe der beschriebenen Methode lassen sich wellenzahlabhängige Impedanzen poröser Verbundabsorber ermitteln, welche für die Beschreibung raumakustischer Fragestellungen verwendet werden können.

Die Kopplung von Verbundabsorbern mit dem akustischen Fluid in Modellen kleiner Räume wird abschließend erläutert.

Di. 18:10 Raum 5

Technische Akustik

**Optimierung des Schichtaufbaus von Verbundplatten zur Minimierung der Schallabstrahlung**W. Hufenbach<sup>a</sup>, O. Täger<sup>a</sup>, M. Dannemann<sup>a</sup> und S. Holtzhausen<sup>b</sup><sup>a</sup>*Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik, TU Dresden;*<sup>b</sup>*Institut für Maschinenelemente und Maschinenkonstruktion, TUD*

Bei Hochtechnologieanwendungen wird für Leichtbaustrukturen im zunehmenden Maße neben einer hohen spezifischen Steifigkeit und Festigkeit auch ein optimiertes Schallabstrahlungs- und Schwingungsverhalten gefordert, da die Komfort- und Umweltsanforderungen stetig steigen. Hier können abstrahlungsgerecht ausgelegte Faserverbundwerkstoffe einen wesentlichen Beitrag zur Entwicklung von Leichtbauakustik-Konzepten leisten. Denn anisotrope Mehrschichtverbunde erlauben die gezielte Einstellung des Dämpfungs-, Frequenz- und Abstrahlungsverhaltens auf die dynamischen Belastungen. Die Ermittlung von Verbundvarianten mit minimierter Schallabstrahlung erfordert dabei aufgrund der großen Vielfalt faserverbundspezifischer Entwurfsvariablen wie etwa Faserorientierung und Lageraufbau den Einsatz leistungsfähiger Optimierungsstrategien auf Basis effizienter Vibroakustik-Simulationsmodelle. Ausgangspunkt zur Entwicklung eines werkstoffgerechten Optimierungsmodells ist ein analytisch basiertes Berechnungsverfahren zur Bewertung der Schallabstrahlung ebener Mehrschichtverbund-Flächentragwerke. Mit diesem Optimierungsprogramm wurde exemplarisch der Einfluss von Lagerungsbedingungen und Schichtanzahl auf das erreichbare Schallleistungsminimum untersucht. Die Optimierungsergebnisse zeigen, dass sich eine feste Einspannung verbunden mit einer hohen Schichtanzahl günstig auf das erreichbare Minimum auswirkt. Es ist somit möglich durch Anpassung vibroakustisch relevanter Entwurfsvariablen und insbesondere durch Auswahl geeigneter Faserwinkelorientierungen die abgestrahlte Schallleistung von Mehrschichtverbunden zu minimieren und so die konstruktive Vielfältigkeit dieses Leichtbauwerkstoffes gezielt für eine funktionsintegrative und ganzheitliche Leichtbaulösung zu nutzen. Dies erlaubt dem Ingenieur die volle Ausschöpfung des Leichtbauakustik-Potentials von anisotropen Mehrschicht- und Hybridverbunden.

**Fachvorträge am Mittwoch, den 12.03.2008**

Mi. 8:30 Festsaal

KFZ-Akustik II

**Zur Vorhersagegenauigkeit von Kfz-Innengeräuschen in Bezug auf das Mündungsgeräusch der Abgasanlage**

M. Nicolai und J. Krüger

*Eberspächer GmbH*

Das Innengeräusch dient als wesentliches und direkt erlebbares Produktmerkmal zur Differenzierung von Qualität und Designanspruch von Fahrzeugen. Deshalb ist es wünschenswert, schon in einem frühen Entwicklungsstadium des Fahrzeugs, Aussagen zum Innengeräusch treffen zu können und so richtungweisende Designentscheidungen zu unterstützen. Dabei wird häufig die bei Körperschallquellen bekannte und bewährte Methode der Transferpfadanalyse/Transferpfadsynthese auch auf die am Fahrzeug vorhandenen Luftschallquellen übertragen. Das Abgasmündungsgeräusch spielt als eine wesentliche Luftschallquelle häufig nicht nur im Außen- sondern auch im Innengeräusch eine erhebliche Rolle. Eine genaue Vorhersage des Innengeräuschanteils ist jedoch nur möglich, sofern nicht nur das Mündungsgeräusch selbst, sondern auch die anderen Beiträge sowie die Übertragungswege bekannt sind und die Phasenbeziehungen des Mündungsgeräuschanteils zu den anderen Quellen bei der Synthese korrekt berücksichtigt werden. In frühen Stadien der Entwicklung, wenn das Mündungsgeräusch noch auf Gasdynamikberechnungen beruht, liegen aber oft noch keine, für diesen Weg gültigen Übertragungsfunktionen vor. Im fortgeschrittenen Entwicklungsstadium, wenn Messwerte für Übertragungsfunktion und Abgasmündungsgeräusche vorliegen, besteht hingegen die Schwierigkeit, die in mehreren Messdurchläufen ermittelten einzelnen Geräuschanteile phasenrichtig zu synthetisieren. Im Hinblick darauf wird an Beispielen aufgezeigt, welche Genauigkeit bei der Prognose von Innengeräuschen in der Praxis zu erwarten ist.

Mi. 8:55 Festsaal

KFZ-Akustik II

**Untersuchungen an einem aktiven Resonator für den Kfz-Einsatz**

W. Foken

*Westsächsische Hochschule Zwickau*

Aktive Komponenten spielen in Ansaug- und Abgassystemen von Kfz eine zunehmend wichtigere Rolle. Beim Einsatz eines

schmalbandigen Resonators ist die Abhängigkeit der Resonanzfrequenz von den variablen Betriebszuständen des Motors problematisch. Ziel der Arbeiten war die Realisierung eines adaptiven Resonators, mit betriebspunkt-abhängiger Steuerung der Resonanzfrequenz, um eine dynamische Beeinflussung monofrequenter Geräuschkomponenten im Ansaug- und Abgassystem von Fahrzeugen zu erreichen. Es werden erste Ergebnisse mit einem robusten Prototyp für die Nutzung im Ansaugsystem dargestellt. Außerdem werden Konstruktionsprinzipien für die Nutzung eines adaptiven Resonators im Hochtemperaturbereich vorgestellt.

Mi. 9:20 Festsaal

KFZ-Akustik II

### **Zur numerischen Vorhersage des Zuschlaggeräusches einer Fahrzeugtür**

O. Zaleski<sup>a</sup>, O. von Estorff<sup>b</sup>, M. Markiewicz<sup>a</sup> und L. Miranda<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Novicos GmbH; <sup>b</sup>TU Hamburg-Harburg, Modellierung und Berechnung; <sup>c</sup>Volkswagen AG

Eine besondere Herausforderung im Hinblick auf die Simulation vibroakustischer Fragestellungen ist seit einiger Zeit die Erstellung von Modellen, die - neben der Ergebnissauswertung im Frequenz- und Zeitbereich - auch das Hörbarmachen des Berechnungsergebnisses in Form eines möglichst realitätsgetreuen Geräusches ermöglichen. Ein solches Modell ist dann besonders anspruchsvoll, wenn neben der impulsartigen Strukturanregung auch die akustischen Eigenschaften einer geschlossenen Kavität, z.B. eines Fahrzeuginnenraumes, zu berücksichtigen sind. Von Bedeutung ist auch das zum Einsatz kommende Berechnungsverfahren. Es muss die für die Schallentstehung und -übertragung wesentlichen Effekte ausreichend genau erfassen, eine effiziente Datenübertragung zwischen einzelnen Teilmodellen sicherstellen und den Einsatz von zum Teil messtechnisch ermittelten Modellparameter erlauben. Im gegenwärtigen Beitrag werden Berechnungsmodelle erläutert, die zur Berechnung und zwecks Hörbarmachen des Geräusches einer ins Schloss fallenden Fahrzeugtür zum Einsatz kommen können. Bei der vorgeschlagenen Modellierung werden eine Mehrkörpersimulation und eine Schallfeldberechnung mit der FEM im Zeitbereich kombiniert. Erste Ergebnisse, die mittels LMS Virtual.Lab in Kombination mit speziell entwickelten Matlab-Routinen berechnet wurden, werden vorgestellt und diskutiert.

Mi. 9:45 Festsaal

KFZ-Akustik II

**Identifikation akustischer Muster für die Qualitätsüberwachung im Automobilbereich**G. Mauer und R. Sottek*HEAD acoustics GmbH*

Zur Prüfung der Materialeigenschaften von Komponenten werden gelegentlich akustische Prüfverfahren eingesetzt. So können z.B. gezielt durch Anschlagversuche erzeugte Geräusche Hinweise auf mögliche Materialfehler geben. Die Automobilindustrie wird dagegen häufig mit dem Problem konfrontiert, dass störende Geräusche unter schwer reproduzierbaren Betriebsbedingungen auftreten. Mit hohem Aufwand werden Testprozeduren durchlaufen (Anregung durch Hydropulser oder Rüttelstrecke, kritische Umgebungsbedingungen, usw.), um das Auftreten dieser Störgeräusche zu provozieren. Die vom Kunden beanstandeten Geräusche liegen oft deutlich unter dem Innengeräuschpegel. Das menschliche Gehör nimmt diese jedoch aufgrund zeitlicher und spektraler Muster als störend wahr. Anders als bei der Materialprüfung müssen in dem komplexen System Fahrzeug solche Geräusche detektiert und die verursachende Komponente möglichst lokalisiert werden können. Bisher wird die Geräuschqualität durch einen Prüfer subjektiv bewertet und die Lokalisation meist durch zusätzliche Messungen unterstützt. Individuelle und interindividuelle Schwankungen der subjektiven Ergebnisse führen zu dem Wunsch nach objektiven Verfahren mit einer höheren Reproduzierbarkeit und einer besseren Dokumentation. Der Beitrag beschreibt beispielhaft mögliche Vorgehensweisen für die Identifikation akustischer Muster unter den oben beschriebenen schwierigen Bedingungen. Als Grundlage innerhalb eines mehrstufigen Prozesses dient uns oft ein Modell zur Signalverarbeitung des menschlichen Gehörs mit seiner überzeugenden Fähigkeit zur Analyse von Schallereignissen.

Mi. 10:10 Festsaal

KFZ-Akustik II

**Zur Bedeutung des PKW-Außengeräuschs hinsichtlich der Gesamtwahrnehmung des Fahrzeugs aus Kundensicht**U. Letens<sup>a</sup> und S. Dahlinger<sup>b</sup><sup>a</sup>Daimler AG; <sup>b</sup>Impulse Forschungsgesellsch. für Marketing und Organisation mbH

Die Differenzierbarkeit von Personenkraftwagen zwischen den verschiedenen Marken aber auch innerhalb einer Marke (zwischen verschiedenen Baureihen) ist ein wichtiges Positionierungsmerkmal. Nach dem visuellen Eindruck, der Verarbeitungsqualität, den Fahrleistungswerten etc. gewinnt auch der akustische Eindruck zunehmend an Bedeutung. Bedingt durch die physikalischen Gegebenheiten ist die Differenzierbarkeit im Außengeräusch größer als im Innengeräusch. Sowohl Störgeräusche (wie "Nageln", "Tickern", "Heulen", etc.) als auch der Klangcharakter ("komfortorientiert", "sportlich", "emotional", etc.) sind im Außengeräusch stärker differenzierbar. - Die Bedeutsamkeit dieses Potentials zur Geräuschgestaltung für die Gesamtwahrnehmung aus der Sicht des Kunden ist jedoch nicht vollständig geklärt. Für neu zu entwickelnde Fahrzeug-Baureihen ergibt sich die Fragestellung, wie dieses Potential gezielt zur Steigerung der empfundenen Wertigkeit des Fahrzeugs genutzt werden könnte. In einer mit Kunden durchgeführten "Sound-Clinic" wird an serienmäßigen Fahrzeugen exemplarisch untersucht, in welchem Maße die ganzheitliche Wahrnehmung des Fahrzeugs durch das Außengeräusch positiv oder negativ beeinflusst wird. Hierzu werden Fahrzeuge mit unterschiedlichen Motorisierungen in definierten Betriebszuständen präsentiert (sowohl im Stand als auch bei Vorbeifahrten). Die Erfassung der subjektiven Eindrücke der Probanden erfolgt durch geschulte Interviewer unmittelbar nach jeder Einzel-Präsentation. Die Ergebnisse werden hinsichtlich der akustischen Wahrnehmung der Probanden und der daraus abgeleiteten Auswirkung auf die Gesamtwahrnehmung analysiert und bezüglich möglicher Konsequenzen diskutiert.

Mi. 14:00 Festsaal

KFZ-Akustik II

**Beurteilung von Betätigungsgeräuschen im PKW mit dem semantischen Differenzial und in einem Präferenzpaarvergleich**S. Buss<sup>a</sup>, J. Rausch<sup>a</sup>, T. Beitz<sup>b</sup> und R. Weber<sup>a</sup><sup>a</sup> *Universität Oldenburg, Institut für Physik - Akustik*; <sup>b</sup> *Daimler AG*

Die akustische Rückmeldung über eine erfolgreich oder nicht erfolgreich durchgeführte Mensch-Maschine-Interaktion in einem Fahrzeug spielt eine wichtige Rolle für die Orientierung des Fahrers. Zu diesen akustischen Rückmeldungen zählen auch die sogenannten Betätigungsgeräusche. Diese lassen sich zum Einen auf einer Dimension angenehm-unangenehm beurteilen. Zum Anderen lässt ihre Analyse durch das Gehör Rückschlüsse auf die initiierte Aktion und ihren Verlauf zu. Für die Analyse der verschiedenen Wahrnehmungsdimensionen von Zentralverriegelungsgeräuschen wird ein semantisches Differenzial eingesetzt und die Ergebnisse werden mit den Resultaten eines Paarvergleichstests zur Präferenz der Geräusche verglichen. Die Verriegelungsgeräusche sind mit einem Kunstkopf aufgenommen worden und sie werden den Versuchspersonen im Originalpegel über Kopfhörer in einer geräuschgedämmtem Kabine dargeboten. Die Tests werden für jede Versuchsperson an zwei verschiedenen Terminen durchgeführt, wobei die eine Hälfte der Versuchspersonen mit dem Präferenztest beginnt und die andere mit dem semantischen Differenzial. Im Vortrag werden die Faktoren des semantischen Differenzials vorgestellt zusammen mit den Ergebnissen des Paarvergleichstests, der unter anderem mit der BTL-Methode ausgewertet wurde.

Mi. 14:25 Festsaal

KFZ-Akustik II

**Audiologische Tests zur Beurteilung der Geräuschqualität im Fahrzeuginnenraum**O. Jung<sup>a</sup>, J. Becker-Schweitzer<sup>b</sup> und V. Grützmacher<sup>a</sup><sup>a</sup> *Adam Opel GmbH*; <sup>b</sup> *Fachhochschule Düsseldorf*

Üblicherweise werden audiologische Tests wie z.B. der "Oldenburger Satztest" zur Beurteilung des Hörvermögens in einem Störgeräuschumfeld sowie zur individuellen Anpassung von Hörgeräten verwendet. Die Modellannahme dabei ist, daß die Sprache durch ein internes oder externes Rauschen verdeckt wird

und dadurch bei niedrigen Pegeln unverständlich wird. Einzahlmaße, wie z.B der Artikulationsindex, deren Berechnungsmethoden auf der Bestimmung eines SNR zwischen einem gemessenen Hintergrundgeräusch und einem als durchschnittlich angenommenen Sprachsignal basiert, werden häufig zur Beurteilung der Geräuschqualität im Fzg.-Innenraum ersatzweise herangezogen. In der hier vorgestellten Arbeit wird die Anwendung sprachbasierter Tests auf die Beurteilung der Geräuschqualität im Fahrzeug unter Betriebsbedingungen erweitert. Hierbei wird das auf Sprachmaskierung ausgelegte originale Hintergrundgeräusch durch typische im Fzg. auftretende Fahrgeräusche bestehend aus Wind-, Abroll- und die durch den Antriebstrang induzierten Geräusche ersetzt, die sich sowohl im Pegel als auch in der spektralen Zusammensetzung erheblich von den in oben genannten audiologischen Tests verwendeten Hintergrundgeräuschen unterscheiden. Es werden erste Ergebnisse vorgestellt, die eine Quantifizierung der Güte des jeweiligen Hintergrundgeräusches erlauben.

Mi. 14:50 Festsaal

KFZ-Akustik II

## **Neue Möglichkeiten der akustischen Gestaltung von PKW-Klimakanälen**

K. Pfaffelhuber und F. Uhl

*Röchling Automotive AG & Co. KG*

Das Ausströmgeräusch von Klimaanlage steht in der Rangfolge der störenden Fahrzeug-Nebenaggregatgeräusche mit an oberster Stelle. Dies insbesondere in Phasen des Defrostens im Winter und des Herunterkühlens im Hochsommer. Zusätzliches Anbringen von Absorbern im Kanal scheitert im Wesentlichen an den nicht vorhandenen Bauräumen und Querschnitten. Klimakanäle aus klassischen Absorbermaterialien besitzen nicht die nötigen Eigenschaften bzgl. Toleranz und Stabilität. Es wird ein neuartiger Materialansatz eines selbsttragenden, eigensteifen Absorbers vorgestellt, der bei Beibehaltung der bisherigen konstruktiven Eigenschaften klassischer Klimakanäle erhebliche akustische Verbesserungen erlaubt.



Mi. 15:15 Festsaal

KFZ-Akustik II

**Entwicklung eines Subsystemprüfstandes zur Beurteilung von Gebläse- und Strömungsgeräuschen der Fahrzeugklimaanlage**S. Sentpali<sup>a</sup>, K. Pies<sup>b</sup> und M. Fallen<sup>b</sup><sup>a</sup>BMW AG, München; <sup>b</sup>TU Kaiserslautern

In Fahrzeugen der Oberklasse werden Strömungs- und Gebläsegeräusche der Klimaanlage aufgrund der geringen Verdeckung durch Motor-, Wind- und Rollgeräusche durch den Kunden störend wahrgenommen. Da in dieser Fahrzeugklasse die Klimatisierungsanforderungen besonders hoch sind und deswegen Klimaanlagen mit leistungsstarken Gebläsen ausgestattet werden, erhöht dies deutlich den Aufwand an "Lärmarmer Konstruktion". Zur Erreichung der gesetzten Geräuschziele reicht es oft nicht aus eine Optimierung am Gesamtfahrzeug vorzunehmen. Beliebige geometrische Änderungen sind aufgrund der knappen Bauraumverfügbarkeit in der Serienentwicklung nicht möglich oder erzwingen sehr hohe Folgekosten, bedingt durch Werkzeug- oder Gesamtpackageänderungen. Eine hohe Konzeptreife hinsichtlich der Funktionsgeräusche und eine Geräuschoptimierung sind daher in der frühen Phase der Fahrzeugentwicklung notwendig. Im Rahmen dieses Vortrages wird ein Prüfstandskonzept für das Subsystem Heiz/Klimaanlage vorgestellt. Eine Fahrzeug unabhängige Geräuschbeurteilung der Gesamtanlage, sowie auch die Differenzierung auf einzelne Ausströmer, Gebläse und Strömungsgeräusche ist möglich. Beispielhaft werden Änderungen von Konstruktionsparametern und deren Auswirkung auf die Schallemission gegenübergestellt.

Mi. 15:40 Festsaal

KFZ-Akustik II

**Parametrische Analyse des Schallfeldes am Ausströmer einer Kfz-Klimaanlage zur Bestimmung einer Mündungskorrektur**K. Pies<sup>a</sup>, S. Sentpali<sup>b</sup> und M. Fallen<sup>a</sup><sup>a</sup>TU Kaiserslautern; <sup>b</sup>BMW AG, München

Aufgrund des sinkenden Innengeräuschniveaus in Fahrzeugen der Oberklasse treten bisher durch Motor- und Wind/Rollgeräusche maskierte Geräusche von Nebenaggregaten immer mehr in den Vordergrund. Ein erheblicher Beitrag erfolgt durch das Strömungsgeräusch der Klimaanlage. Hierbei wird zum Einen über die Ausströmer das Gebläsegeräusch in den Fahrzeuginnenraum eingeleitet und zum Anderen aufgrund

der Lamellenumströmung zusätzlich Strömungsgeräusch induziert. Im Rahmen dieses Vortrages wird anhand von Ergebnissen aus Labormessungen ein Ansatz zur Beschreibung des Schallfeldes vorgestellt. Es erfolgt eine Detaillierung des kompletten Schallweges ausgehend vom Gebläsekanalinnenpegel über den Lüftungsausströmer bis hin zum Insassenohr des Fahrers. Besondere Berücksichtigung findet hierbei die sich einstellende Mündungskorrektur aufgrund der Luftschallimpedanzänderung am Austrittsquerschnitt des Ausströmers. Eine Parameterstudie verdeutlicht die Zusammenhänge zwischen Querschnittssprung, Strömungslamellenstellung und Massenstromstärke.

Mi. 16:30 Festsaal

Sprache im KFZ I

### **Explorative Evaluation von Kommunikationssystemen in Fahrzeugen**

B. Schulte-Fortkamp

*TU Berlin, Inst. f. Strömungsmechanik und Technische Akustik*

Wenn die Sprachakustik im KFZ auf dem Prüfstand ist, dann geht es um komplexe Bewertungsstrategien. Urteile über die Sprachakustik sind vernetzt in Erwartungen, Erfahrungen, und Projektionen. Nicht nur die Informationshaltigkeit sondern das Verstehen, das Sprech- und Sprachniveau sind relevant, um ein Urteil über die über die Akzeptanz der Information zu erzielen. Vielmehr, Komfort und Lebensstil sind entscheidende intervenierende Variable. Die akustische Vermittlung der Informationen muss im Kontext gesehen werden, Die Sprachakustik im KFZ ist eine weitere Variante von Fahrzeuginnengeräuschen. Sie muss sich einpassen in ein Gefüge akustischer Implikationen, den "richtigen Ton" finden. Bei der Bewertung von Fahrzeuginnengeräuschen bewährt sich eine neue Technik der Bewertung, die sich diese Erkenntnisse zu Eigen macht und als methodisches Verfahren die expertenorientierte Evaluation anwendet. In diesem Beitrag soll diskutiert werden, welche Rolle die "neuen Experten" bei der Evaluation von Kommunikationssystemen leisten können.

Mi. 16:55 Festsaal

Sprache im KFZ I

**Anforderungen jüngerer und älterer Autofahrer an In-Car-Kommunikation und die Sprachwiedergabe von Infotainmentgeräten**R.-L. Fischer<sup>a</sup>, C. Meinecke<sup>a</sup> und J. Otten<sup>b</sup><sup>a</sup> *Universität Erlangen-Nürnberg*; <sup>b</sup> *AUDI AG*

In den letzten Jahren ist eine Zunahme der Bedeutung auditiver Kommunikation im Fahrzeug zu beobachten. Die meisten Fahrerassistenz- und Informationssysteme besitzen Sprachausgaben, es werden vermehrt Sprach-Dialog-Systeme eingesetzt und Avatare sollen zukünftig sogar in natürliche Kommunikation mit dem Fahrer treten können.

Hier vorgestellt werden die Ergebnisse einer Online-Befragung von Autofahrern zu ihren Erfahrungen bei der Wahrnehmung von Sprache während der Fahrt und ihren Erwartungen diesbezüglich. Fokussiert wird in der Untersuchung die Wahrnehmung der Sprachqualität natürlicher Sprache und von Sprachausgaben verschiedener Infotainmentgeräte, beschrieben durch die Skalen *Klang*, *Lautheit*, *Sprachverständlichkeit* und *Höranstrengung*.

Es ist zu erwarten, dass sich die Anforderungen an die Sprachausgaben der Systeme verändern werden, weil im Zuge des demographischen Wandels eine Erhöhung des Durchschnittsalters und damit einhergehend mit einer Zunahme der Anzahl hörbeeinträchtigter Autofahrer zu rechnen ist. Entsprechend untersucht diese Studie nicht nur die Wahrnehmung jüngerer Autofahrer (bis 40 Jahre), sondern auch älterer Autofahrer (ab 50 Jahre) mit und ohne Hörverlust, mit dem Ziel die spezifischen Probleme und Bedürfnisse der einzelnen Personengruppen zu beschreiben.

Die Ergebnisse der Studie werden dargestellt und Konsequenzen für die Entwicklung eines objektiven Messinstrumentes für Sprachverständlichkeit im Fahrzeuginnenraum diskutiert.

Mi. 17:20 Festsaal

Sprache im KFZ I

**Integriertes Konzept zur Evaluierung von Freisprecheinrichtungen im Kraftfahrzeug**W. Gädicke*Volkswagen AG*

Das zentrale Qualitätsmerkmal von Freisprechsystemen im Kraftfahrzeug ist bis heute die Sprachqualität, sowohl im Fahrzeug als auch bei dem verbundenen Gesprächsteilnehmer am fernen Ende. Die Evaluierung der Sprachqualität von Freisprechsystemen ist ein relativ junges Forschungsgebiet. Dennoch sind

in den letzten Jahrzehnten eine Vielzahl von Formeln und Algorithmen entstanden, die auf eine objektive Quantifizierung der Sprachqualität abzielen. Besonders waren hierbei Verfahren, die sich der bekannten psychoakustischen Modelle der Lautheitswahrnehmung des menschlichen Ohres bedienen. Bekannte Repräsentanten dieser Algorithmen sind PESQ und TOSQA. Viele Versuche wurden unternommen diese Modelle zu verfeinern und zu optimieren. Gerade im Fahrzeug ist das Hintergrundgeräusch von besonderer Bedeutung. Weiterhin müssen auch Situationen bewertet werden, in denen beide Gesprächspartner gleichzeitig sprechen, also Doubletalk. Die Aufgabe besteht hierbei nicht nur darin, einen Algorithmus zu entwickeln, der diese beiden Aspekte der Sprachqualität im Kraftfahrzeug berücksichtigt, sondern auch in einer effizienten und reproduzierbaren Gewinnung von Sprachdaten, sowohl zum Training als auch zur späteren automatischen Evaluierung der Freisprechsysteme.

Mi. 17:45    Festsaal

Sprache im KFZ I

### **A New Methodology for Objective Performance Assessment of Hands-free Systems in Double-Talk**

K. Steinert<sup>a</sup>, S. Suhadi<sup>b</sup>, M. Schönlé<sup>a</sup> und T. Fingscheidt<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Siemens AG; <sup>b</sup>TU Braunschweig, Institute for Communications Technology

Speech quality evaluation of hands-free terminals is a complex task. Several aspects have to be taken into account such as the various conversational situations and a possibly nonlinear and time-variant system behavior. The lack of access to the internal signal processing of black-box systems complicates a separate assessment of the processed clean speech, echo, and noise. In this paper we present an objective evaluation of the performance of two hands-free systems in terms of echo attenuation and speech distortion during double-talk. Based on an earlier published signal separation method, we consider the processed echo and the processed clean speech relative to the respective unprocessed signal individually. Our findings are compared with the results of a subjective listening test.

Mi. 18:10 Festsaal

Sprache im KFZ I

**New Developments in Car Hands-free Testing - the ITU-T Focus Group FITCar**H.W. Gierlich*HEAD acoustics GmbH*

Since January 2007 ITU-T has established the Focus Group FITCar (from/in/to Car Communication). The goal of this Focus Group is to setup a specification for handset and headset terminals used in car type environments. In the Focus Group the relevant stakeholders coming from the telecom industry, the car industry, the suppliers and universities participate. In the presentation the new specification as developed for car hands-free terminals is introduced. New techniques such as tests based on electrical access points, Bluetooth testing as well as new requirements compared to the well known VDA specification will be introduced.

Mi. 8:30 Zwinger

Raumakustik II

**Design und Entwicklung von Akustikelementen**C. Nocke<sup>a</sup>, P. Ruckstuhl<sup>b</sup> und M. Groth<sup>b</sup><sup>a</sup>*Akustikbüro Oldenburg*; <sup>b</sup>*Ruckstuhl AG*

In den letzten Jahren haben harte Bodenbeläge - Holz, Stein, Linoleum - sowohl im Arbeitsumfeld und in öffentlichen Räumen als auch im exklusiven Wohnbereich an Bedeutung gewonnen, während Teppiche immer unpopulärer wurden. Der Wunsch nach mehr Ruhe und Behaglichkeit in Verbindung mit modernem Design lässt Architekten und Bauherren repräsentativer Objekte - Grossraumbüros, offener Empfangshallen, Restaurants - inzwischen zunehmend nach Möglichkeiten suchen, Schallabsorption quasi unsichtbar bzw. in ansprechender Form im Raum unterzubringen.

Der international bekannte Architekt und Gestalter Matteo Thun (Milano) und die Firma Ruckstuhl hatten bei der in diesem Beitrag vorgestellten Absorberentwicklung den Anspruch, nicht nur eine technisch-akustische Problemlösung zu entwickeln, sondern darüber hinaus ein formschönes und funktionales Element für die anspruchsvolle Innenarchitektur zu kreieren. Neben hohen Absorptionswerten erfüllt das so entwickelte Absorbermodul weitere Funktionen, z.B. als Projektions- und Pinnwand und zur Raumgestaltung als Trennelement. Über die akustischen Eigenschaften sowie Aspekte der Entwicklung wird in diesem Beitrag berichtet.

Mi. 8:55 Zwinger

Raumakustik II

**Untersuchungen zur Wahrnehmbarkeit von Nachhall**

G. Engel und F. Walter

*Müller-BBM GmbH*

Als Maß für die subjektiv wahrnehmbare Halligkeit eines Raumes wird üblicherweise die Nachhallzeit (T60 bzw. EDT) verwendet. Speziell bei großen oder ungewöhnlich gestalteten Sälen passen aber oftmals die Messgrößen nur schlecht zur während einer Aufführung wahrgenommenen Halligkeit.

Mit Hilfe eines Systems zur elektroakustischen Beeinflussung der Raumakustik wurden Untersuchungen durchgeführt, um das Verständnis vom Zusammenhang zwischen subjektiver Klangwahrnehmung und messtechnisch erfassbaren Eigenschaften des Nachhalls zu verbessern.

Die Verwendung des elektronischen Raumakustiksystems ermöglicht dabei den Einsatz realer Schallquellen und vermeidet die Einschränkungen von Kunstkopfaufnahmen.

Mi. 9:20 Zwinger

Raumakustik II

**Measuring sound coloration due to synthesized room reverberation**

N. Korany

*Alexandria University*

The aim of this article is to characterize the sound coloration perceived due to the room reverberation simulated by different methods. The room reverberation is simulated, and the sound coloration perceived is measured. The relation between the sound coloration and the acoustical parameters is discussed and factors affecting the coloration perceived are investigated.

Mi. 9:45 Zwinger

Bauakustik: Messtechnik

**Entwicklung eines Kurzprüfverfahrens zur Bestimmung des Trittschallverbesserungsmaßes von Fußböden**M. Sommerfeld*Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig*

Die Charakterisierung von Fußbodenbelägen erfolgt i. d. R. über eine Messung nach DIN EN ISO 140-8 mit anschließender Bewertung nach DIN EN ISO 717-2. Hierzu wird ein geeigneter Prüfstand, Messtechnik und technisches Personal benötigt, was diese Art zu messen einerseits genau, andererseits teuer, zeitaufwändig und unflexibel macht. Im Rahmen eines von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) geförderten Projektes wird ein Kurzprüfverfahren entwickelt, das eine schnelle und exakte Untersuchung von lokal reagierenden Fußbodenbelägen möglich machen soll.

Ziel des Kurzprüfverfahrens ist es Ergebnisse zu produzieren, die im Mittel den Ergebnissen des derzeit genormten Mess- und Bewertungsverfahrens entsprechen. Hinsichtlich der Messstreuungen bzw. Unsicherheiten können größere Werte als in den derzeit genormten Verfahren akzeptiert werden.

Zunächst wird ein bereits angewendetes Kurzprüfverfahren aus der ehemaligen DDR vorgestellt. Dabei wird aus der maximalen Beschleunigung eines fallenden Hammers direkt das Trittschallverbesserungsmaß berechnet. Vor- und Nachteile dieses Verfahrens und Ergebnisse im Vergleich zum Normverfahren werden vorgestellt. Daneben wird ein neues Konzept für ein Kurzprüfverfahren diskutiert.

Mi. 10:10 Zwinger

Bauakustik: Messtechnik

**Zur Messung der Längsdämmung in normalen Schalldämmprüfständen**M. Schmelzer und C. Bethke*Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig*

Viele Prüfstellen verfügen nicht über die zur Messung der Längsdämmung erforderlichen Prüfstände und bauen die Prüfobjekte darum seitlich in normale Wandprüfstände ein. Diese Verfahrensweise, insbesondere der Einfluss des dabei entstehenden schmalen Luftvolumens war in einem Projekt untersucht worden. Dabei hatte sich besonders bei dünnwandigen, leichten Prüfobjekten ein deutlicher Einfluss des seitlichen Luftvolumens und dessen Bedämpfung gezeigt.

Für diese Gruppe von Prüfobjekten sind nun weitere Messungen - erneut an Modellprüfständen - durchgeführt worden. Dabei wurden besonders zweischalige Bauteile und bestimmte Einbauformen des Dämmmaterials - vollflächig am Prüfobjekt oder als Belag an Decke, Boden und den Seiten des Luftvolumens - auf das Auftreten der oben genannten Effekte untersucht.

Das einschalige Prüfobjekt zeigte eine hohe Empfindlichkeit hinsichtlich Variationen des Rückraums und seiner Bedämpfung. Bei der Untersuchung mit umrandender Bedämpfung des Rückraums wurde darüber hinaus noch ein Einfluss der Positionierung und damit indirekt auch der Dicke des eingefügten Dämmmaterials festgestellt.

Demgegenüber zeigten sich die zweischaligen Prüfobjekte unempfindlich hinsichtlich der ausgeführten Variationen des Rückraums und seiner Bedämpfung. Im Vergleich mit dem einschaligen Prüfobjekt fand auch keine Veränderung des Werts der Längsdämmung statt.

Mi. 14:00 Zwinger

Bauakustik: Messtechnik

### **Bauakustische Modellmessungen zur Ermittlung systematischer Einflüsse bei der Luftschall-Dämmung**

V. Wittstock und C. Bethke

*Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig*

Eine zentrale bauakustische Kenngröße ist die Luftschalldämmung. Ihr bauteilspezifischer Wert wird üblicherweise in genormten Prüfständen ermittelt. Solche Prüfstände zeichnen sich u.a. durch unterschiedlich große Sende- und Empfangsräume von mindestens  $50 \text{ m}^3$  Volumen, Prüflingsgrößen von ca.  $10 \text{ m}^2$  sowie spezielle Nachhallzeiten aus. Beim Einsatz am Bau liegen diese Bedingungen jedoch nicht generell vor, so dass die Frage steht, wie groß die Unterschiede zwischen Schalldämmungen am Bau und im Labor sind. Gefördert vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) wurde an der PTB ein Projekt durchgeführt, bei dem dieser Frage anhand von Modellmessungen nachgegangen wurde. Dabei zeigte sich, dass das bewertete Schalldämm-Maß am Bau um ca. 1 dB unter den Laborwerten liegt. Dieser Unterschied kann auch durch Einbringen von Diffusoren und zusätzlicher Absorption nicht nennenswert reduziert werden.



Mi. 14:25 Zwinger

Bauakustik: Messtechnik

**Unsicherheiten in der Bauakustik und Konsequenzen**

W. Scholl und V. Wittstock

*Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig*

Die Kenngrößen in der Bauakustik weisen Unsicherheiten in einer Stärke auf, die es zum Teil unmöglich macht, zu entscheiden, ob Anforderungen an den Schallschutz in Gebäuden eingehalten sind oder nicht, oder in welche Qualitätsklasse ein Bauteil oder ein Gebäude einzustufen ist, oder ob Produkt A besser als Produkt B ist. Ursache hierfür ist die Komplexität bauakustischer Kenngrößen (z.B. der Schalldämmung): diese Größen müssen räumlich und zeitlich veränderliche Schallfelder unter ungenügend erfüllten Voraussetzungen mit Hilfe eines extrem nichtlinearen Bewertungsverfahrens auf eine einzige Zahl reduzieren, wobei außerdem erwartet wird, dass z.B. im Labor an einem einzigen Exemplar ermittelte Werte für die ganze verwandte Bauteilfamilie gelten sollen und sich hieran bei der Anwendung im Gebäude auch nichts ändert. Da in Deutschland der Nachweis ausreichenden Schallschutzes in Gebäuden zunächst rechnerisch erbracht wird, kommen weitere Unsicherheiten des Prognoseverfahrens hinzu. Offen ist auch die Frage, welcher Messaufwand für Bauteilkataloge, Einzelnachweise, Ringversuche und Nachmessungen am Bau zu treiben ist, um mit einer gewünschten Sicherheit Aussagen machen zu können. Im vorliegenden Beitrag wird über umfangreiche Untersuchungen der PTB hierzu und die Vorschläge zur Umsetzung in der neuen DIN 4109 "Schallschutz im Hochbau" berichtet. Die Arbeiten wurden vom Deutschen Institut für Bautechnik in Berlin gefördert.

Mi. 14:50 Zwinger

Bauakustik: Messtechnik

**Schallschutz-Vergleichsmessungen in der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt im Jahr 2007**

S. Stange-Kölling, V. Wittstock und H. Bietz

*Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig*

Alle drei Jahre finden in der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt die Vergleichsmessungen der anerkannten Stellen für die Erteilung allgemeiner bauaufsichtlicher Prüfzeugnisse statt. Im Rahmen dieser Vergleichsmessungen werden eine Luftschalldämmungsmessung und die Bestimmung des Normtrittschallpegels nach DIN EN ISO 140 sowie eine Zusatzaufgabe durchgeführt. In diesem Jahr bestand die Zusatzaufgabe aus der Bestimmung des Norm-Schalldruckpegels

$L_{AFmax}$  einer haustechnischen Anlage nach DIN EN ISO 10052. Für die Bestimmung der Referenzwerte und der Toleranzgrenzen wurden in diesem Jahr insbesondere beim Trittschall neue Verfahren angewendet. Die neue Verfahrensweise sowie die Ergebnisse der Vergleichsmessungen dieses Jahres werden in diesem Vortrag vorgestellt. Im Rahmen der Vergleichsmessungen werden auch die Normtrittschallhammerwerke und die Sendelausprecher der Teilnehmer einer Kurzprüfung unterzogen. Auch diese Ergebnisse werden kurz vorgestellt.

Mi. 15:15 Zwinger

Bauakustik: Messtechnik

### **Gehschall: Das Hammerwerk kann den Schuh nicht nachbilden**

R. Bütikofer und M. Gillard

*Empa, Abteilung Akustik, Dübendorf (Schweiz)*

Gehschall ist der Schall im Raum, wo sich die gehende Person befindet. Messungen zeigen, dass das typische "clack-clack" von harten Schuhabsätzen im Wesentlichen durch den Kraftimpuls des auf den Boden auftreffenden Schuhs erzeugt wird. Bei harten Böden spielt die Anregungsimpedanz keine Rolle, aber bei mehrschichtigen Bodenkonstruktionen mit einer dünnen Oberschicht wie z.B. bei Laminatböden ergibt sich eine sensible Abhängigkeit des Kraftverlaufes des Stosses zwischen der Eingangsimpedanz des Bodens und der Impedanz des schlagenden Gegenstandes. Bei Messungen mit reproduzierbarer, künstlicher Anregung muss deshalb der "Ersatzschuh" in der Form eines Hammers ähnliche Masse und Steifigkeit aufweisen wie ein Schuh-Absatz mit harter Sohle, d.h. die Masse muss zwischen 100 und 200 Gramm liegen. Der 500 Gramm schwere Hammer des in der Bauakustik verwendeten Hammerwerks ist ganz einfach zu schwer und die obere Grenzfrequenz des resultierenden Kraftspektrums ist um mindestens eine Oktave tiefer als bei einem leichten Hammer bzw. einem Schuh. Entsprechend tönt ein Schlag des Hammerwerks dumpfer als der Aufprall des Absatzes. Lösungsansätze gehen in zwei Richtungen: entweder Verwendung einer fallenden Masse von 100 bis 200 Gramm mit definierter Fallhöhe (Kugeln, Miniatur-Hammerwerk) oder die Verwendung eines Impulshammers von 100 bis 200 Gramm mit integrierter Kraftmessdose.

Mi. 15:40 Zwinger

Bauakustik: Messtechnik

**Force Measurements of a Person Walking on a Lightweight Floor**M. Lievens*Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen*

For the simulation of impact sound on lightweight floors the excitation force can be calculated from the blocked force, the source mobility (the person walking) and the receiver mobility (the floor). When using this model in the frequency domain, time invariance of the source mobility is assumed. Although the source mobility will definitely change in time due to the changing posture of the body and the contraction of the leg muscles during the contact period of 600 ms, it might still be acceptable to assume time invariance for the first few milliseconds which dominate the excitation of the floor from the acoustical point of view. Force measurements of a person walking on a lightweight floor will be compared with force calculations from the time invariant model to clarify to what extent the assumption holds.

Mi. 16:30 Zwinger

Bauakustik: Messtechnik

**Berücksichtigung der Dämpfung bei der Trittschallberechnung auf Basis der Finite Elemente Methode**A. Rabold und E. Rank*Lehrstuhl für Bauinformatik, TU München*

Die Forschung und Entwicklung im Bereich der Bauakustik erfolgt bislang schwerpunktmäßig durch umfangreiche messtechnische Parameterstudien. Durch den daraus resultierenden hohen Messaufwand ist die Forschung langwierig und teuer. Eine wesentliche Reduzierung dieser Kosten könnte dadurch erreicht werden, dass die aufwändigen Bauteil-Parameterstudien nicht mehr ausschließlich durch Messungen erfolgen, sondern auch anhand von geeigneten Berechnungsmodellen durchgeführt werden. Die Berechnung der Trittschalldämmung von Decken anhand der Finiten Elemente Methode (FEM) wird in diesem Beitrag als ein geeignetes Berechnungsmodell vorgestellt. Die Trittschallberechnung erfolgt hierbei durch die Modal- und Spektralanalyse auf Basis der mit der FEM berechneten Eigenwerte der Decke. Der Schwerpunkt des Beitrags ist auf die Berücksichtigung der Dämpfung in der Spektralanalyse fokussiert. Die vorgestellten Ergebnisse basieren auf Zwischenergebnissen eines aktuellen Gemeinschaftsforschungsvorhabens zwischen der TU München, dem ibp Stuttgart und dem ift Schallschutzzentrum, Rosenheim.

Mi. 16:55 Zwinger

Bauakustik: Leichtbau I

**Spatial variation of the point mobility of a timber joist floor**A.R. Mayr<sup>a</sup>, B. Gibbs<sup>b</sup> und H.-M. Fischer<sup>a</sup><sup>a</sup>*Hochschule für Technik Stuttgart*; <sup>b</sup>*University of Liverpool, School of Architecture*

In wood framed buildings, floors are formed by fastening wood sheathing to joists spaced at a regular interval. The sheathing is typically fastened to the joist using screws so the resulting system is a complicated periodic point-connected plate-rib structure. The point mobility will be expected to vary significantly with location. This paper presents measured and predicted mobilities for a point-excited timber joist floor where a single layer of chipboard forms the sheathing and where the joists are screwed at 350 mm intervals. It is shown that the spatial variation in point mobility is bounded. The characteristic plate mobility (i.e. that of an infinite plate of same material and thickness as the chipboard) defines the upper bound while the characteristic beam mobility (corresponding to a joist of infinite length) defines the lower bound. The plate-rib structure is modelled using the analytical formulation for an assembly of finite-sized plate strips coupled at a series of parallel junctions. Experimental results indicate a general behaviour with respect to the distance to the nearest screw position, normalised with the governing bending wavelength. A master mobility curve is proposed, which is based on infinite beam and infinite plate behaviour, useful for simple prediction of floor response.

Mi. 17:20 Zwinger

Bauakustik: Leichtbau I

**Schalldämmung von Holzdecken in der Altbausanierung**

J. Hessinger, A. Rabold, S. Bacher und F. Holtz

*LSW Labor für Schall- und Wärmemesstechnik GmbH*

Die Altbausanierung nimmt gegenüber dem Gesamtvolumen der Bautätigkeit eine immer bedeutendere Stellung ein. Für die richtige Planung einer Sanierung ist jedoch die Kenntnis und Berücksichtigung möglicher Schallschutzanforderungen erforderlich. Als Bauteil, das bei der Sanierung eine besonders sorgfältige Planung erfordert, ist die Trenndecke zu nennen, da sie in Altbauten häufig als Holzbalkendecke ohne ausreichende schalldämmende Maßnahmen ausgeführt wurde. Bezüglich der Einschätzung der Luft- und Trittschalldämmung der Altbaudecke bestehen mangels ausreichender Grundlagen große Unsicherheiten. Dies

liegt einerseits an der großen Anzahl an Konstruktionsvarianten und dem Zustand der Altbaudecken. Zusätzlich sind die verbauten Materialien nicht einheitlich, sondern richteten sich nach den vorhandenen Möglichkeiten. Im Rahmen eines von der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V. initiierten und aus Mitteln des Holzabsatzfonds HAF und Industriemitteln geförderten Forschungsvorhabens wurden Sanierungsmaßnahmen an Holzdecken unter besonderer Berücksichtigung des Anforderungsprofils einer Altbausanierung untersucht. Hierzu wurden "typische" Holzdecken wie sie in Altbauten vorkommen im Labor nachgebaut und kommerzielle Sanierungsmaßnahmen auf diesen Decken erprobt. Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens sollen hier vorgestellt werden.

Mi. 17:45 Zwinger

Bauakustik: Leichtbau I

### **Schlanke Deckenauflagen für die Altbausanierung**

L. Weber

*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

Bei der akustischen Sanierung bestehender Bauten ist man bestrebt, die vorhandene Raumhöhe zu erhalten. Aus diesem Grund werden in zunehmendem Maße schlanke Deckenauflagen - d. h. Trockenestriche aus Holz- oder Gipsfaserplatten mit reduzierter Bauhöhe - eingesetzt. Die Dicke der Dämmschicht beträgt bei derartigen Konstruktionen oft nur wenige Millimeter. Ähnliche Verhältnisse findet man auch bei den weit verbreiteten Systemen zur schwimmenden Verlegung von Laminat und Parkett (sogenannte Klicksysteme). Die herkömmliche Unterscheidung zwischen schwimmenden Estrichen in Nassbauweise einerseits und weichen Bodenbelägen (z. B. Teppichböden oder PVC-Belägen) andererseits ist daher nicht mehr länger gültig. Schlanke Deckenauflagen haben sich als neue kostengünstige Bauweise etabliert und nehmen eine Zwischenstellung zwischen den oben erwähnten klassischen Konstruktionen ein.

Trotz ihrer zunehmenden Verbreitung wurden die akustischen Eigenschaften von schlanken Deckenauflagen bislang nur wenig untersucht. Es wird über die Ergebnisse eines zu diesem Thema durchgeführten Forschungsvorhabens berichtet. Die Untersuchungen erbrachten zum Teil überraschende Ergebnisse, die mit den üblicherweise verwendeten Masse-Feder-Modellen nicht ohne weiteres erklärbar sind. Es wurden u. a. verschiedenartige Dämmstoffe sowie die Wirkung von Körperschallbrücken und lokalen Lasten betrachtet. Die Messungen fanden sowohl auf Holzbalken- als auch auf Massivdecken statt.

Mi. 18:10 Zwinger

Bauakustik: Leichtbau I

**Schallschutzgerechtes Konstruieren in Holzleichtbauweise unter Berücksichtigung des Frequenzbereichs unter 100 Hz**

C. Humer und H. Müllner

*Versuchsanstalt TGM, Wien*

Da Wohnbauten in Holzleicht- und Holzmassivbauweise in den letzten Jahren immer öfter realisiert werden, müssen sich diese dem Vergleich mit den traditionellen Massivbauten, vor allem im Bereich der Bauphysik, stellen. Das steigende Bedürfnis nach Komfort und die speziellen Anforderungen des Holzleichtbaus zeigen im Zusammenhang mit den Ansprüchen an den Schallschutz speziell im Frequenzbereich unter 100 Hz Optimierungsbedarf auf. Die derzeitigen Anforderungsregelwerke der meisten europäischen Länder berücksichtigen diesen inzwischen als komfortrelevant nachgewiesenen Frequenzbereich nicht. Mit den über den klassischen Frequenzbereich ermittelten Einzahlangaben werden die Bauteile im tiefen Frequenzbereich nur unzureichend charakterisiert. Zudem führen vermeintliche Verbesserungsmaßnahmen zwar zu Erhöhungen des Schallschutzes im Frequenzbereich zwischen 100 Hz und 5000 Hz und somit auch der klassischen Einzahlangaben, für den Frequenzbereich unter 100 Hz wirken sich diese jedoch sehr oft kontraproduktiv aus, wie durch Messungen an zahlreichen gängigen Bauteilen der Holzrahmen- bzw. Holzmassivbauweise nachgewiesen werden kann. Derzeit wird versucht, einige Konstruktionsweisen auf praxistaugliches Niveau hin zu entwickeln. Versuche im Labor zeigen vielversprechende Ergebnisse. Es soll erläutert werden, wie die für den tiefen Frequenzbereich optimierten Elemente im fertigen Bauwerk ihr Potential zur Geltung bringen können.

Mi. 8:30 Studiotheater Aktive Schwing.- u. Lärmbekämpfung.

**Active Noise Control for Power Transformers**B. Masiero<sup>a</sup>, V. Nascimento<sup>b</sup> und F. Ribeiro<sup>b</sup><sup>a</sup>*Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen;* <sup>b</sup>*Escola Politécnica da Universidade de São Paulo*

Active Noise Control is a noise reduction technique with an ever increasing range of applications. The use of Active Noise Control systems for reducing sound levels in enclosed spaces or for on-ear devices has already shown good results; but the use of Active Noise Control on open field situations presents several difficulties, the main one being how to optimally place the electroacoustic transducers necessary for the control system. Genetic

algorithms were used for the optimization of the transducers' position. Using a simplified model the importance of the genetic algorithms' cost function in its performance was made evident. It was also verified that a joint optimization for transducers' position provides the same result, and in shorter time, as the independent optimization of control source and error sensor positions.

Mi. 8:55    Studiotheater    Aktive Schwing.- u. Lärmbekämpfg.

### **Reduction of compressor vibrations by means of an active tuned vibration absorber**

J. Bös, E. Janssen, M. Kauba und D. Mayer

*Fraunhofer-Institut Betriebsfestigkeit Systemzuverlässigkeit*

Within the framework of the European Integrated Project InMAR (Intelligent Materials for Active noise Reduction) active vibration control and active structural acoustic control approaches are applied to an HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) unit used to air-condition the driver's cab of a tram. Measurements previously performed by the manufacturer of the unit indicated that annoying tonal noise in the 50 Hz and 100 Hz 1/3 octave bands inside the driver's cab is mainly caused by the vibration of the compressor mounted in the HVAC unit on the roof of the tram. Therefore, active tuned vibration absorbers were designed that reduce the vibrations caused by the compressor. These vibration absorbers consist of two discrete masses attached to the ends of two cantilevered beams and are tuned to 50 Hz. This fundamental frequency can be varied within a certain range by an acceleration feedback control system using the acceleration of the discrete masses as input, thus virtually adapting the mass of the absorber. In addition, the acceleration at the mounting point can be used as the input to an adaptive digital control system such that the absorber behaves as a vibration compensator at higher frequencies.

Mi. 9:20    Studiotheater    Aktive Schwing.- u. Lärmbekämpfg.

### **Messanordnung zur frequenzselektiven Beurteilung der richtungsbezogenen Bedämpfung der durch Verbrennungsmotoren angeregten Körperschallausbreitung mittels Active Noise Control**

M. Noisternig<sup>a</sup>, M.-R. Telsnig<sup>b</sup> und R. Höldrich<sup>b</sup>

<sup>a</sup>LIMSI-CNRS, Orsay (F); <sup>b</sup>Institut für Elektronische Musik und Akustik, Graz

Verbrennungsmotoren verursachen durch ihr Zünden Schwingungen, die sich als Körperschall über das Motorlagersystem

und die Fahrzeug-Rahmenkonstruktion in die Fahrgastzelle ausbreiten, in der sie als Vibrationen oder als akustischer Schall wahrgenommen werden.

In diesem Artikel wird eine Methode zur Beurteilung des richtungsbezogenen Dämpfungsverhaltens der durch Verbrennungsmotoren angeregten Körperschallausbreitung mittels Active Noise Control (ANC) vorgestellt. Als Referenzsignal steht der Messanordnung die Motordrehzahl und daraus resultierend verschiedene Motorordnungen zur Verfügung. Bei einer Motorordnung handelt es sich um eine Sinusschwingung, deren Frequenz - bei konstanter Motordrehzahl - nur geringe Varianzen aufweist. Die Auslöschung des Körperschalls kann durch Ansteuerung eines an die Fahrzeug-Rahmenkonstruktion gekoppelten elektrodynamischen Schwingerregers (Shaker) durch ein Sinussignal mit entsprechender Frequenz, Phase und Amplitude erfolgen. Aufgrund der geringen Bandbreite der Signale ist es möglich den ANC Algorithmus mit sehr kurzen adaptiven Filtern zu realisieren, wodurch das Konvergenzverhalten der adaptiven Prozesse positiv beeinflusst wird.

Das vorgestellte Verfahren dient der Optimierung der Dämpfung störender Frequenzen in der Fahrgastzelle mittels ANC.

Mi. 9:45    Studiotheater    Aktive Schwing.- u. Lärmbekämpfung.

### **Gleichzeitige Kontrolle zweier Drehklangkomponenten in einer axialen Turbomaschine bei Verwendung aeroakustischer Gegenschallquellen**

O. Lemke<sup>a</sup>, W. Neise<sup>b</sup>, L. Enghardt<sup>b</sup> und M. Möser<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Technische Universität Berlin; <sup>b</sup> Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Berlin; <sup>c</sup> TU Berlin, Inst. f. Strömungsmechanik und Technische Akustik

Die Hauptursache der tonalen Geräuscentstehung in axialen Turbomaschinen sind instationäre periodische Kräfte als Folge der Rotor-Stator Interaktion, die zu einer Abstrahlung kompliziert strukturierter Schallfelder in das Fernfeld führen. Konventionelle Methoden verwenden Lautsprecher zur Generierung eines geeigneten Sekundärschallfeldes mit dem Ziel, die Struktur des Primärschallfeldes gegenphasig nachzubilden und somit destruktiv zu überlagern. Diese Methode ist auf Grund des hohen Platzbedarfs und Gewichts der Lautsprecher nicht allgemein einsetzbar. In einem DFG-geförderten Forschungsvorhaben werden Möglichkeiten untersucht, das Sekundärschallfeld auf aeroakustischem Wege zu erzeugen. Durch stationäre Drucklufteinblasung über kleine zylindrische Düsen am Gehäuseumfang zwischen



Rotor und Stator eines Axialventilators werden zusätzliche in-stationäre Kräfte auf den Schaufeloberflächen angeregt, die zur Ausbildung eines Sekundärschallfeldes führen. Die Nachbildung des Primärschallfeldes hinsichtlich der azimuthalen Struktur ist gegeben, wenn die Zahl der Einblasdüsen gleich der Zahl der Statorschaufeln ist. Die Anpassung von Amplitude und Phasenlage erfolgt durch den Einblasmassenstrom und die Umfangsposition der Düsen bezüglich des Stators.

Mit der bisherigen Düsenanordnung war es möglich, einen Freiheitsgrad des Sekundärschallfeldes in Amplitude und Phase zu kontrollieren, d.h. entweder den Pegel der Blattpassierfrequenz oder einer ihrer Harmonischen zu mindern. In aktuellen Untersuchungen werden zwei axial gestaffelte Düsenringe zur Kontrolle von zwei Freiheitsgraden verwendet, um gleichzeitig zwei tonale Komponenten zu beeinflussen.

Mi. 10:10    Studiotheater    Aktive Schwing.- u. Lärmbekämpfg.

### **Räumliche Schalldruckverteilung bei lokaler aktiver Lärm-minderung in Schlafräumen**

K. Simanowski, T. Kletschkowski und D. Sachau

*HSU / Universität der Bundeswehr Hamburg*

Zur Lärmbekämpfung in Schlafräumen bieten sich, insbesondere im Bereich niedriger Frequenzen, aktive Maßnahmen an. In der vorliegenden Arbeit wurde die Anwendung eines lokal wirksamen Gegenschallsystems an einem handelsüblichen Bett analysiert. Die Versuche fanden in einem Transmissionsprüfstand statt. Dieser besteht aus einem Reflektionsarmen Raum, in dem der Störschall erzeugt wurde und einem Hallraum, in dem sich der Versuchsaufbau befand. Der beide Räume verbindende Transmissionskanal wurde mit einem doppelglasigen Fenster ausgestattet. Zwei direkt in das Kopfkissen integrierte Mikrophone dienten als Fehlersensoren. Die Anwendung einer adaptiven Vorwärtsführung auf Basis des FxLMS-Algorithmus (engl. Filtered Reference Least Mean Square) ermöglichte für tonale und breitbandige Anregungen signifikante Pegelreduktionen an den Fehlermikrophonen. Die räumliche Verteilung des Schalldruckes im unge-regelten und geregelten Zustand wurde unter Verwendung eines Mikrophonfeldes vermessen. Die Untersuchungen erfolgten auf drei Ebenen von je  $7,2\text{m}^2$  in einer Höhe von 76cm, 126cm und 176cm über dem Fußboden. In jeder Ebene wurden in einem äquidistanten Raster 777 Messpunkte aufgenommen. Die Untersuchungen belegen einerseits die Ausbildung der Ruhezone

über dem Kopfkissen. Andererseits verdeutlichen die Ergebnisse, dass die globale Rückwirkung des lokalen, aktiven Gegen-schallsystems auf den Hallraum von deutlich kleinerer Ordnung als die Lärminderung an den Fehlermikrofonen ist.

Mi. 14:00    Studiotheater    Aktive Schwing.- u. Lärmbekämpfg.

### **Einfluß von Positionierung und Wichtung von Error-Mikrofonen auf ein Aktives System zur Minimierung von Propellerläuten in einem Flugzeug**

A. Gündel<sup>a</sup>, S. Marburg<sup>b</sup> und S. Häusler<sup>a</sup>

<sup>a</sup>EADS Deutschland GmbH; <sup>b</sup>TU Dresden, Institut für Festkörpermechanik

Abstrahlende Propeller erzeugen im Rumpf von Transportflugzeugen Schallfelder, die durch den Propellergrundton sowie den zugehörigen Harmonischen geprägt werden. Zur Minderung des tieffrequenten Lärms im Laderaum kommen zunehmend aktive Maßnahmen zum Einsatz. Ein derartiges System verwendet Schalldrücke von Mikrofonen, die im Inneren des Rumpfes verteilt sind als Eingangsgröße. Im freien Laderaum können funktionsbedingt keine Mikrofone installiert werden. Stattdessen werden diese entlang der zylindrischen Außenwand platziert. Damit besteht ein räumlicher Unterschied zwischen der Position der Mikrofone und dem eigentlichen Zielgebiet der aktiven Maßnahme im freien Laderaum.

Eine numerische Studie zeigt die Sensitivität der Positionierung von Mikrofonen entlang der zylindrischen Struktur auf die Leistungsfähigkeit des aktiven Systems. Mittels Monte Carlo Optimierung werden je zwei Mikrofone pro Aktuator unter gegebenen Randbedingungen bestmöglich verteilt um eine optimale Wirkung für die ersten drei Blattfolgefrequenzen zu erreichen. Die Regelung zielt dabei auf das freie Ladevolumens ab in dem sich keine Mikrofone befinden.

In einer zweiten numerischen Studie liegen 500 mögliche Mikrofonpositionen entlang der zylindrischen Struktur fest. Die Verteilung führt zu mittelmäßigen Schalldruckreduktionen. Durch geschickte Wichtung einzelner Mikrofone innerhalb des Regelkreises kann aber eine deutliche Steigerung der erreichbaren Reduktion im eigentlichen Zielgebiet erreicht werden. Die Gewichte werden wiederum durch Monte Carlo Optimierung ermittelt und auf das Problem angewendet.

Mi. 14:25    Studiotheater    Aktive Schwing.- u. Lärmbekämpfg.

### **Globale Lärmreduktion mit intensitätsbasierter Regelung**

S. Böhme, D. Sachau und T. Kletschkowski

*HSU / Universität der Bundeswehr Hamburg*

Die Implementierung von Systemen für die aktive Lärmreduktion lohnt sich vor allem für technische Anwendungen mit stationärem Störschall. Aktive Systeme können gerade im niederen Frequenzbereich eine Gewichts- und Platzersparnis gegenüber passiven Maßnahmen bieten, deswegen wird gerade im Flugzeug- und Fahrzeugbau die Integration solcher Systeme forciert. Um eine hohe Performance des Gesamtsystems zu erreichen, sind bei der technischen Realisierung verschiedene Aspekte wie Regelstrategie, Platzierung und Auswahl der Aktuatoren bzw. Sensoren zu beachten. In der Regel müssen für eine globale Lärmreduktion die Hardwarekomponenten ebenfalls global verteilt sein. Tritt jedoch der stationäre Störschall durch eine begrenzte Anzahl von Transmissionswegen in das Kontrollvolumen ein, können mit der Platzierung von Aktuatoren in die Übertragungswege globale Schallpegelreduktionen erzielt werden. Allerdings müssen dafür bei herkömmlichen Gegenschallsystemen die Sensoren weiterhin räumlich disloziert sein. Unter Verwendung einer intensitätsbasierten Regelstrategie im Zusammenhang mit einer kollokalen Anordnung von Aktuatoren und Sensoren ist es möglich den Eintrag von Schallenergie durch die Transmissionswege zu verhindern. Dadurch wird mit einer rein lokalen Maßnahme ein globaler Regelungserfolg möglich. Der Ansatz für mehrkanalige Systeme und dessen experimentelle Umsetzung für stationären tonalen Störschall in einer vereinfachten Versuchsumgebung werden präsentiert.

Mi. 14:50    Studiotheater    Aktive Schwing.- u. Lärmbekämpfg.

### **Regelalgorithmen zur Schallreduktion**

K. Kochan, D. Sachau und T. Kletschkowski

*HSU / Universität der Bundeswehr Hamburg*

Lärm ist heute ein ständiger Begleiter in der technisierten Welt. Systeme zur aktiven Schallreduktion (engl. Active Noise Control Systems, ANC) bieten hierbei die Möglichkeit gezielt den Lärm so zu beeinflussen, dass der Komfort des Menschen verbessert wird. Die Regelungsaufgabe können hierbei von adaptiven Filtern der Signalverarbeitung oder Reglern der klassischen Regelungstechnik übernommen werden. Im Vortrag wird

auf Teilaspekte bei der Entwicklung von ANC-Systemen eingegangen, wie zum Beispiel die Echtzeitimplementierung großer (mehr als 15 Lautsprecher und 15 Mikrofone) ANC-Systeme bei begrenzten Hardware-Ressourcen, die Robustheit und die Konvergenzgeschwindigkeit von Algorithmen. Experimentelle Ergebnisse aus aktuellen Projekten werden vorgestellt.

Mi. 15:15    Studiotheater    Aktive Schwing.- u. Lärmbekämpfg.

### **Modellreduktionsverfahren bei der Regelung von aktiven Systemen zur Minderung der Schallabstrahlung**

T. Doll

*TU Darmstadt, FG Systemzuverlässigk. und Maschinenakustik*

Intelligente oder adaptronische Systeme bilden zunehmend die Grundlage für zukünftige Entwicklungen in vielen Bereichen des Maschinenbaus. Diese Systeme sind durch den Einsatz multifunktionaler Werkstoffe und aktiver Regelungssysteme gekennzeichnet. Auch in der Maschinenakustik kommen verstärkt adaptive Systeme zum Einsatz mit dem Ziel, Geräusche zu verringern (Active Noise Control) oder zu verändern (Sound Design).

Bei der Technik Active Structural Acoustic Control (ASAC) werden piezokeramische Aktoren und Sensoren verteilt auf eine schallemittierende Fläche aufgebracht. Mit einer geeigneten Regelstrategie und einem Echtzeit DSP-System werden die Strukturschwingungen reduziert und somit die Schallabstrahlung deutlich verringert. Aktive Systeme zur Vibrationsminderung werden in der virtuellen Simulationsumgebung entworfen und getestet. Modellreduktionsverfahren stellen dabei ein wichtiges Glied in der Entwicklungskette aktiver Systeme dar. Exakte Modelle der realen Struktur bilden die Grundlage der Reglerentwicklung und des Entwurfs aktiver Systeme. Finite Elemente Modelle bieten die Möglichkeit, eine sehr exakte Beschreibung der realen Struktur zu liefern. Allerdings sind die Modelle i.a. aufgrund ihrer Komplexität nicht direkt für den Einsatz in modellbasierten Regelungen geeignet. Mit speziellen Reduktionsverfahren können komplexe Modelle auf ein Minimum an Freiheitsgraden reduziert werden. Die reduzierten Modelle eignen sich dann sowohl für den Test der Echtzeit-Regelung, als auch für die Modellierung des Sekundärpfades eines adaptiven Reglers zum Einsatz am realen System.

Mi. 15:40    Studiotheater    Aktive Schwing.- u. Lärmbekämpfg.

### **Aktive Schall- und Schwingungsminderung unter Verwendung eines modifizierten LMS-Algorithmus zur Kompensation auftretender Verzögerungen**

M. Glugla und R.-K. Schulz

*Technische Universität Berlin, IBBA*

Der Least-Mean-Square-Algorithmus (LMS-Algorithmus) wird zur aktiven Schall- und Schwingungsminderung wegen seiner Einfachheit und Robustheit als Regelalgorithmus im Zusammenhang mit der Nutzung von Digital Signal Processors (DSPs) häufig verwendet.

In den theoretischen Grundlagen des LMS-Algorithmus wird davon ausgegangen, dass das erzeugte Kontroll-Signal zum nächsten Sample am Aktuator anliegt. Diese Annahme ist bedingt durch Signallaufzeiten nicht erfüllt. So ergibt sich, aufgrund der geometrischen Anordnung von Sensor und Aktuator, immer eine Verzögerung.

Experimente zeigen, dass bereits kleine Verzögerungen im Signalpfad zu Instabilitäten führen. Die Verwendung schnellerer DSPs kann nur die Verzögerungen des elektronischen Signalpfades verkleinern. Die geometrisch bedingten Signallaufzeiten sind nur bis zu einer unteren Grenze minimierbar.

Zur Kompensation dieser Verzögerungen ist eine Anpassung des LMS-Algorithmus notwendig. Eine mathematische Betrachtung des LMS-Algorithmus offenbart den Grund für das divergente Verhalten. Ferner liefert die analytische Betrachtung eine einfache Möglichkeit zur Modifikation des LMS-Algorithmus, welche sich als leicht umsetzbar erweist.

Der Vortrag stellt durch Aufzeigen der Analyse die breite Anwendbarkeit des verzögerungskompensierenden LMS-Algorithmus heraus und gibt einen Ausblick auf weitere mögliche Modifikationen und deren Anwendung.

Mi. 16:30    Studiotheater

Verkehrsgeräusche I

### **Änderungen in der Aussengeräuschgesetzgebung beim PKW**

D. Volkenborn<sup>a</sup> und H.-M. Gerhard<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Daimler AG; <sup>b</sup>Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG

Seit Einführung der Aussengeräuschgesetzgebung ECE51.02 im Jahre 1970 wurden im Laufe der Jahre die Grenzwerte für PKW

mehrmals gesenkt und das Gesetz an den technischen Fortschritt angepasst. In der Bevölkerung wird trotz Grenzwertsenkungen das Straßenverkehrsgeräusch noch immer als störend empfunden. Nach der letzten Grenzwertsenkung 1995 wurden Untersuchungen von verschiedenen Instituten zum Fahrverhalten von PKW im urbanen Verkehr durchgeführt und führten letztendlich zu den Grundlagen einer kompletten Neufassung der Geräuschgesetzgebung ECE51.03. Die Prüfbedingung ändern sich mit der ECE 51.03 grundlegend, die äußeren Gegebenheiten wie Fahrbahn nach ISO 10844 und Abmaße bleiben jedoch unverändert. Das heutige designabhängige Verfahren wird durch eine performanceorientierte Gesetzgebung ersetzt, bei der die bisherige starre Vorgabe der zu prüfenden Gänge durch die Lösung einer Fahraufgabe ersetzt wird. Während das Verfahren feststeht, sind die neuen Grenzwerte noch nicht festgelegt. Messwerte für die neue Typprüfung werden im Zuge der Geräuschtpprüfung von den typprüfenden Behörden ermittelt und bilden die Grundlage für die Grenzwertvorschläge der EU Kommission. Ergänzend wird für Drehzahlen oberhalb des geprüften Drehzahlbereiches an einem Zusatztest gearbeitet, der die bisher erzielten akustischen Fortschritte im Automobilbau absichern und andererseits Unstetigkeiten im Geräuschverhalten reglementieren soll.

Mi. 16:55    Studiotheater

Verkehrsgeräusche I

## **Prüftechnik in der Außengeräuscentwicklung**

H. Finsterhölzl

*BMW AG, München*

In der Außengeräuscentwicklung ist der Einsatz aufwändiger Mess- und Prüftechnik, darunter auch die Nutzung von Außengeräuschprüfständen, üblich. Mit diesen qualifizierten Hilfsmitteln gelingt es Fahrzeugherstellern heute, selbst bei wachsender Komplexität der Anforderungen an Fahrzeugentwicklungen die gesetzlichen Vorgaben sicher zu erfüllen.

Künftige gesetzliche Anforderungen an Geräuschemissionen eines Fahrzeugs werden Anstrengungen zur weiteren Reduzierung des Außengeräusches von Fahrzeugen auslösen. Dabei stellt die Reduktion des Beitrags des Antriebsgeräusches bei Typprüfungsmessungen nach den beiden Messverfahren A und B der ECE-R51 eine besondere Herausforderung dar. Lösungsanforderungen und -massnahmen an den fahrdynamischen und akustischen Stellhebeln sind mit Präzision zu bewerten, um Bauteile im Rahmen aller weiteren Entwicklungsanforderungen optimal auslegen zu können.

Dies verlangt nach verlässlichen und vertieften Simulationsmethoden für die Pegel in der gesetzlichen Vorbeifahrt. Hierzu können Analysen des Antriebsgeräusches von Fahrzeugen im Außengeräuschprüfstand unter Normbedingungen und mit hoher Reproduzierbarkeit erfolgen. Aufbauend darauf muss die rechnerischen Prognose des Pegelverlaufs unter Bedingungen der realen Vorbeifahrt auf einer Außengeräuschmessstrecke in der erforderlichen Güte gelingen.

Aus diesen Motiven werden heute leistungsgesteigerte Infrastrukturen der Mess- und Prüftechnik errichtet und Entwicklungsmethoden zur Nutzung dieser Potentiale erschlossen. Die moderne Prüftechnik muss sich an dem Anspruch messen lassen, das Potential für Simulation in der Absicherung des Antriebsgeräusches bei ISO362-Vorbeifahrten zu erschließen.

Mi. 17:20    Studiotheater

Verkehrsgeräusche I

## **Das Gaswechselgeräusch als Teilschallquelle im Aussengeräusch**

J. Schorn

*Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG*

Das Aussengeräusch eines Fahrzeuges wird im Allgemeinen von vier Teilschallquellen geprägt. Diese sind im Einzelnen das Motorgeräusch, das Reifengeräusch, das Getriebegeräusch und das Gaswechselgeräusch.

Im folgenden Beitrag wird die Bedeutung des Gaswechselgeräusches und deren Auslegung aufgezeigt. Unter dem Begriff Gaswechselgeräusch werden die von den Quellen Ansaug- und Abgasmündung abgestrahlten Geräusche zusammengefasst. Die Bedeutung dieser Quellen im Gesamtgeräusch ist stark von der Fahrzeugklasse abhängig. Bei sportlich ausgerichteten Fahrzeugen werden diese Quellen genutzt den Charakter des Fahrzeuges auch akustisch zu präsentieren, hier sind diese Quellen dominierend. Bei komfortbetonten Fahrzeugen tritt das Gaswechselgeräusch in den Hintergrund, d.h. die Hauptteilschallquellen haben in etwa eine gleiche Verteilung im Aussengeräusch. Das Gaswechselsystem umfasst alle Beuteile der Ansaugung und des Abgassystems.

Bei der Auslegung der einzelnen Komponenten müssen unterschiedliche, teilweise konträre Anforderungen bzgl. Akustik, Leistung, Emissionen, Gewicht und Package berücksichtigt werden. Die Hauptaufgabe in der Entwicklung ist es den für das jeweilige Fahrzeug optimalen Kompromiss zwischen den Anforderungen zu finden und umzusetzen. Hierfür stehen Simulations-

tools zur Verfügung, die Aussagen über unterschiedliche Bauteilkonzepte in einer frühen Entwicklungsphase ermöglichen. Damit können Konzeptentscheidungen für die Bauteilentwicklung unterstützt werden.

Mi. 17:45    Studiotheater

Verkehrsrgeräusche I

### **Reifen/Fahrbahngeräusche bei schweren Lkw auf ISO- und SMA-Fahrbahnen - Bewertung nach aktuellen Messvorschriften 92/23/EG und ECE R51.3**

H.-P. Fingerhut

*MAN Nutzfahrzeuge AG*

In einem Forschungsvorhaben der FAT (Forschungsvereinigung Automobiltechnik, AK12) wurde unter Beteiligung der BAST sowie der Reifen- und Fahrzeugindustrie eine Alternative der heutigen ISO-Prüffahrbahn (ISO 10844) zur Ermittlung von Reifen- und Fahrzeuggeräuschen untersucht. Dazu wurde auf einem Flugfeld ein Splittmastixasphalt (SMA 0/8S) mit Maximalkorngröße 8mm eingebaut, der einerseits in der heutigen Anwendung in der Praxis gebräuchlich und häufig ist, andererseits aufgrund der Oberflächen-Struktur ein relativ niedriges Geräuschniveau erwarten lässt. Parallel dazu wurde ein neuer ISO-Belag gem. der derzeitigen Vorschrift verlegt, der als Referenz dienen sollte. In diesem Beitrag wird über Reifen/Fahrbahngeräusche sowohl beim Rollen (nach der EG-Prüfvorschrift für Reifen) als auch unter Drehmoment bei beschleunigter Vorbeifahrt (entsprechend der zukünftigen Messvorschrift für Lkw) eines geräuscharmen Experimental-Lkw mit hoher Motorleistung, jeweils durchgeführt mit Lenkachsreifen und Traktionsreifen auf der zwillingbereiften Antriebsachse, auf den neuen Fahrbahnbelägen berichtet.

Zumindest für Lkw scheint ein SMA-Belag mit der Größtkörnung 8 mm eine mögliche Alternative für den heutigen Normbelag (ISO 10844), der wiederum sehr empfindlich auf Einbaufehler reagiert, darzustellen.

Mi. 18:10    Studiotheater

Verkehrsrgeräusche I

### **Prediction of perceptibility of vehicle exterior noise**

S. Kerber<sup>a</sup> und H. Fastl<sup>b</sup>

<sup>a</sup>AG Techn. Akustik, MMK, TU München (now: MRC Inst. of Hearing Res.); <sup>b</sup>AG Technische Akustik, MMK, TU München

In the past years the warning impact of vehicle exterior noise for other road users, especially pedestrians has been widely recognized. Earlier research [Kerber Stefan, Fortschritte der Akustik,



DAGA 2007, Stuttgart] shows experimental results on perceptibility of different vehicle exterior noises in urban traffic, and demonstrates that a qualitative prediction of perceptibility is possible by just considering noise levels. The present paper aims to extend this approach so that correct quantitative predictions become possible. This can be achieved by considering masked threshold in addition to the vehicles' exterior noise levels. In the contribution the algorithm for calculation of perceptibility will be explained, and then a comparison will be made between calculated and experimental results. The presentation will be given in german.

Mi. 18:35    Studiotheater

Verkehrsgeräusche I

### **Langfristige Planungsmaßnahmen zur Minderung der Verkehrsgeräuschbelastung**

H.-M. Gerhard

Abstract siehe Seite 256

Mi. 8:30    Neumarkt

Finite-Elemente-Verfahren II

### **Berücksichtigung unsicherer Eingangsparameter bei der vibro-akustischen FE-Berechnung von Flugzeugkabinenkomponenten**

S. Lippert und O. von Estorff

*TU Hamburg-Harburg, Modellierung und Berechnung*

Viele Fragestellungen in der Akustik werden heute mit Hilfe von Diskretisierungsmethoden, wie beispielsweise der Finite-Elemente-Methode (FEM) oder der Boundary-Elemente-Methode (BEM), gelöst. Insbesondere die stetige Weiterentwicklung der Computertechnologie erlaubt dabei die Verwendung immer feinerer und vermeintlich genauerer Modelle. Vielfach unberücksichtigt bleiben dabei jedoch Ungenauigkeiten, die durch die Verwendung unsicherer oder streuender Eingangsdaten entstehen und teilweise zu erheblichen Abweichungen zwischen vorhergesagtem und realem Bauteilverhalten führen. Ein häufiger Grund für ungenaue Eingangsdaten ist die produktionsbedingte Streuung beispielsweise der Werkstoffparameter oder der Bauteilgeometrie. Zusätzlich stehen während der Entwicklung neuer Bauteile oft keine exakten Angaben zu Geometrie und Werkstoffverhalten zur Verfügung.

In dem vorliegenden Beitrag wird beispielhaft an einem Honeycomb-Paneel der Flugzeuginnenraumverkleidung gezeigt, wie trotz schwankender Eingangsgrößen das Schalldämmmaß des Bauteils zuverlässig bestimmt werden kann. In einem ersten

Schritt wurde ein gekoppeltes FEM/FEM-Modell des Paneels und einer Empfangskavität in MSC.NASTRAN erzeugt und die mit Unsicherheiten behafteten Eingangsparameter definiert (E-Modul der Deckschicht, Wabenkerndicke, Lackschichtdicke und Dämpfung). Aufgrund der Anzahl der Parameter und der hohen Rechenzeit des Modells ist eine Auswertung mit der weitverbreiteten stochastischen Monte-Carlo-Methode nur noch schwer möglich. Stattdessen wurde die auf der Fuzzy-Arithmetik basierende Transformationsmethode verwendet, um Aussagen über die Streuung des Schalldämmmaßes des Bauteils und die Sensitivitäten der einzelnen Parameter zu erhalten.

Mi. 8:55 Neumarkt

Finite-Elemente-Verfahren II

### **Numerical Solution of 1-D Wave Equation with Stochastic Parameters using Generalized Polynomial Chaos Expansion**

K. Sepahvand, S. Marburg und H.-J. Hardtke

*TU Dresden, Institut für Festkörpermechanik*

This paper presents a numerical algorithm which is using generalized polynomial chaos combined with the finite difference method for the solution of the one-dimensional wave equation with stochastic physical parameters. The stochastic parameters are represented by the Hermite polynomial chaos. A spectral-finite difference model for the numerical solution is introduced using generalized polynomial chaos expansion. The general conditions for convergence and stability of numerical algorithms are derived. Finally, the method is applied to a vibrating string. Results are compared with those of a Monte Carlo simulation.

Mi. 9:20 Neumarkt

Finite-Elemente-Verfahren II

### **Gittererzeugung für die FEM Analyse von akustischen Innenraummodellen**

M. Bansal<sup>a</sup>, W. Ahnert<sup>b</sup>, S. Feistel<sup>b</sup> und M. Möser<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*TU Berlin, Inst. f. Strömungsmechanik und Technische Akustik;*

<sup>b</sup>*AFMG Ahnert Feistel Media Group*

Die Lösung von Differentialgleichungen mit FEM erfordert die Diskretisierung oder das "Meshing" der zunächst kontinuierlich definierten geometrischen Raumdaten. Verschiedene Algorithmen wurden entwickelt, um diesen Prozess der Gittererzeugung zu automatisieren. Allerdings können die meisten dieser Algorithmen keine Aussagen über die Qualität des resultierenden Gitters treffen. Mit dieser Arbeit wird ein neuer Algorithmus vorgestellt, der sogenannte Schnittebenenalgorithmus (Cutting Plane Algorithm) zur Erzeugung eines Gitters, das vollständig aus

Hexaedern besteht. Schwerpunkt dieses Beitrags ist die Untersuchung der praktischen Anwendbarkeit dieses Verfahrens auf akustische Innenraummodelle. Der Algorithmus basiert auf der Zerlegung komplexer konkaver Polyeder in konvexe Teilpolyeder durch eine Serie von Schnitten. Die konvexen Teilkörper können in einem weiteren Bearbeitungsschritt schließlich in konvexe, trivalente Hexaeder überführt werden. Die räumliche Auflösung des Gitters kann dabei durch Mid-Point Subdivision den Rechenanforderungen angepasst werden. In diesem Zusammenhang werden spezielle Schnittverfahren für Innenraummodelle vorgeschlagen und anhand verschiedener Beispiele demonstriert. Insbesondere wird die Gitterqualität für typische Modelle mit Balkonen, Kuppeln, Treppen und Säulen betrachtet. Für gekrümmte Oberflächen wird ein angepasster Projektionsalgorithmus eingeführt. Abschließend wird nachgewiesen, dass durch die richtige Kombination dieser Schnitt- und Projektionsschritte eine gute Gitterqualität erreicht werden kann.

Mi. 9:45 Neumarkt

Finite-Elemente-Verfahren II

### **Prediction model of the flanking transmission through a light-weight building construction utilizing fluid-structure interaction procedures**

J. Sonnerup, D. Bard und G. Sandberg

*Lund University, Department of construction sciences*

A reliable acoustic prediction method is a fundamental prerequisite for a successful sound insulation design in a light-weight building construction. The vibration pattern of a light-weight floor structure and the corresponding pressure field in the cavity in the low frequency range have been evaluated with the help of a fluid-structure interaction prediction model. Both flanking transmission rate and the direct transmission rate between two adjacent rooms depends on a multitude of structural properties, such as the orientation of the bearing beams, the formation of plasterboards in the dividing wall and the precise design of the junction between the two rooms. The diagonal transmission rate of the low frequency rate with different floor beam orientation is another important quality that affects the total behaviour.

In this presentation we will discuss a number of the crucial design parameters. In the prediction model, the damping loss factors at each location are extracted from the experimental measurements with the help of Rayleigh's method.

Mi. 10:10 Neumarkt

Finite-Elemente-Verfahren II

**Experimental investigation of the damping coefficient in light-weight constructions**D. Bard, J. Sonnerup und G. Sandberg*Lund University, Department of construction sciences*

Light-weight timber construction has many advantages, but the main challenge in the acoustic design process is to improve the relatively poor sound insulation through different junctions, especially in the low frequency range. Increasing the total mass can eliminate the sound transmission rate, but is of course against the basic aim of light-weight construction. One alternative is to put a sandwich construction that contains a number of EPDM rubber layers and a thin piece of synthetic material layer in between. Similar solution uses frequently in the vehicle design to obtain sufficiently vibration insulation.

To be able to give a reliable prediction calculation model for such a construction with the help of finite element methods, a number of experimental measurements have been performed with the help of three axis accelerometers. To be able to estimate the damping loss factor, a set of Rayleigh damping measurements have been performed. All the constants can later be used to extract the damping coefficients of the discrete Maxwell-element in the calculations as part of an optimized design process.

Mi. 14:00 Neumarkt

Numerische Akustik

**FEM Schalldurchgangsrechnung einer Doppelwandstruktur**C. Moeser, A. Peiffer, S. Brühl und S. Tewes*EADS Deutschland GmbH*

Doppelwände mit einer Zwischenisolierung sind weit verbreitete Strukturbauteile. Am Beispiel einer Flugzeugstruktur aus Kohlefaser, bestehend aus einer Außenhaut mit Spanten und Stringern, einer Zwischenisolierung sowie der Innenverkleidung wird eine Schalldurchgangsberechnung durchgeführt. Für die Beschreibung der Struktur wird ein Finite Element Modell erstellt. Modelliert werden die Außenstruktur, die Innenverkleidung und die Isolierung. Die isolierende Glasswolle wird dabei als Fluid mit frequenzabhängigen Materialparametern beschrieben.

In dieses Finite Element Modell wird eine akustische Belastung integriert. Diese Last besteht aus statistisch verteilten Punktschallquellen. Aufgrund der zu erwartenden hohen Modendichte wird eine direkte Frequenzanalyse durchgeführt. Die Berechnung beinhaltet die Kopplung der Struktur mit der Isolierschicht, inklusive der Glasswolle.

Aus den resultierenden Strukturschnellen wird mit einem MATLAB Programm die abgestrahlte Leistung ermittelt. Aus der anregenden sowie der abstrahlenden Leistung ergibt sich der Schalldurchgang. Das Ergebnis wird mit Messwerten in einem Bereich bis 2000Hz verglichen.

Mi. 14:25 Neumarkt

Numerische Akustik

### **Identifikation von Schallquellen mittels inverser FEM mit realen Messdaten**

M. Weber, D. Sachau und T. Kletschkowski

*HSU / Universität der Bundeswehr Hamburg*

Die Identifikation von Lärmquellen in Flugzeugkabinen gestaltet sich insbesondere bei tiefen Frequenzen schwierig, da das sich ausbildende stehende Schallfeld keinen direkten Rückschluss auf Schallquellen zulässt. Ein neuer Ansatz zur Rekonstruktion der räumlichen Verteilung von Schalldruck und Schallschnelle auf dem Kabinenrand basiert auf der Anwendung der inversen Finite-Elemente-Methode. Dieses Vorgehen setzt zunächst die Aufnahme von Messwerten im Kabineninneren voraus. In einem zweiten Schritt sind diese den Knoten eines FE-Modells zuzuordnen. Befinden sich alle Schallquellen auf dem Kabinenrand, kann das aus dem FE-Modell resultierende Gleichungssystem umsortiert werden, und zwar derart, dass mit Hilfe von Regularisierungsverfahren die Berechnung der unbekannten Randlasten auch bei Störung der Messwerte möglich wird. Im Vortrag wird die Anwendung dieser neuartigen Ortungsmethode am Beispiel eines vereinfachten Versuchsaufbaus erläutert. Dieser besteht aus einem schallhart berandeten Messgebiet mit einem in den Rand eingelassenen Lautsprecher. Die Vermessung des Schalldruckes im gesamten Messgebiet ermöglichte zunächst die Validierung eines zur Vorwärtsrechnung mit gegebenen Randwerten verwendeten FE-Modells. Für die nachfolgende inverse Berechnung wurde die Steifigkeitsmatrix dieses FE-Modells so umpartitioniert, dass ein Teil der im Messgebiet aufgenommenen Schalldrücke erfolgreich zur Berechnung der nun freien Randwerte verwendet werden konnte. Vorgestellt wird die Qualität der Randverläufe für Schalldruck- und Schallschnelle für unterschiedliche Geometrien, Netzdichten und Anregungsfrequenzen.

Mi. 14:50 Neumarkt

Numerische Akustik

**The Numerical Simulation and Measurement of Schroeder Diffusers**

J. Yang und A.P. Manners

*TU Berlin, Inst. f. Strömungsmechanik und Technische Akustik*

Number theoretic diffusers have been widely used in architectural acoustics in the design of concert halls and listening rooms in order to improve acoustic diffusion and increase acoustic absorption. This paper studies the diffusive and absorptive performance of a periodic Schroeder diffuser using a range of numerical approaches and compares against measurements. The numerical methods considered to simulate the acoustical diffusion are the Boundary Element Method (BEM), Finite Element Method (FEM) and Finite Difference Method (FDM). The absorption and diffusion combined are simulated using a FDM for the full Navier-Stokes equations.

Mi. 15:15 Neumarkt

Numerische Akustik

**Model Reduction Techniques with Interface Reduction for FE/BE Coupled Systems**

M. Junge, D. Brunner und L. Gaul

*Institut für Angewandte und Exp. Mechanik, Universität Stuttgart*

For the finite element method model reduction techniques exist to represent the dynamic behavior of component substructures. Depending on the type of reduction method, the reduction basis is populated either by free or fixed interface modes and augmented by constraint or attachment modes. They are computed for all degrees of freedom on an interface. The interface can either be defined by adjacent substructures or by coupling interfaces to other physical domains. A large interface thus leads to an increased size of the reduced order model and limits standard model reduction techniques to applications with small interfaces. In the case of FE/BE coupling for vibro-acoustic computations, the interface includes all degrees of freedom at the numerous nodes in contact with the acoustic fluid. In this work interface reduction methods are investigated. Here, the size of the reduced order model is decreased by reducing the number of retained interface modes, while marginally increasing the reduction error. A direct reduction method based on strain-energy considerations is presented. Additionally, an iterative reduction scheme is proposed which only adds a basis vector to the reduction basis, if the spanned subspace is sufficiently enlarged. The applicability of the proposed methods is shown for an example structure.

Mi. 15:40 Neumarkt

Numerische Akustik

**FE-BE Coupling for Partly Immersed Bodies**D. Brunner<sup>a</sup>, M. Junge<sup>a</sup>, C. Cabos<sup>b</sup> und L. Gaul<sup>a</sup><sup>a</sup>*Institut für Angewandte und Exp. Mechanik, Universität Stuttgart;* <sup>b</sup>*Germanischer Lloyd AG*

The legal noise level limits of ships are continuously reduced. Ships should be quiet onboard for people's comfort and the underwater noise pollution is to be minimized, since the water is the living environment of marine mammals. Simulation of the vibro-acoustic behavior of ships needs dealing with fluid-structure coupled problems, since the surrounding water has a significant influence on the vibration behavior. For the structural part, namely the ship, the finite element method (FEM) is used. The commercial finite element package ANSYS is applied for setting up the mass and stiffness matrices. The surrounding water is modelled with the fast multipole boundary element method (FBEM). For the partially immersed case a special halfspace formulation is applied to incorporate the pressure boundary condition of the infinite water surface. Iterative preconditioned solvers are employed and the numerical efficiency is discussed. The applicability of the coupling scheme is demonstrated using a realistic model problem.

Mi. 16:30 Neumarkt

Boundary-Elemente-Methode I

**Neue Entwicklungen in der Randelementmethode**

S. Seipelt und G. Müller

*Lehrstuhl für Baumechanik, TU München*

Analytische Lösungen für Differentialgleichungen sind die eleganteste Art physikalische Problemstellungen zu lösen. Für viele komplexere Probleme ist diese Vorgehensweise aber nicht möglich. Das analytischste aller "Näherungsverfahren" stellt sicherlich die direkte Randelementmethode dar. Für die Anwendung bei Außenraumproblemen sowie bei infiniten Kontinua werden die durch die Reduktion der Diskretisierungsordnung gegebenen Vorteile offensichtlich. Mit der Einführung der "Dual Reciprocity Method" können auch für Problemstellungen mit nichtlinearen Differentialoperatoren, bei denen die Suche nach Grundlösung meist nicht zum Ziel führt, Randelementformulierungen gefunden werden. Auch durch die Fouriertransformation der bekannten Randintegralgleichungen in den Frequenzraum (Fourier-BEM) und die damit verbundene Erleichterung der Suche nach Grundlösungen ist eine Verallgemeinerung der Methode möglich.

Für dynamische Problemstellungen sowie für die durch die Fluid-Struktur-Kopplung gegebenen Fragestellungen haben sich Hybride Randelementformulierungen als effektiv erwiesen, da hier symmetrische Steifigkeitsmatrizen die weitere Analyse erleichtern. Zweifelsohne stellt aber die Entwicklung der Fast Multipole Randelementmethode, die zu einer deutlichen Reduzierung der Rechenzeit bei großen Problemen führt, die wichtigste Neuerung dar. Die genannten Ausprägungen der Randelementmethode werden nachfolgend kurz erläutert und es wird ein Ausblick auf weitere Einsatzmöglichkeiten der Methode im Bereich der körperschallbezogenen "Zerstörungsfreien Prüfverfahren" gegeben. Dabei wird auch auf die Kopplung der Randelementmethode mit spektralen Finite-Element-Verfahren sowie die Verwendung spektraler bzw. globaler Ansatzfunktionen eingegangen.

Mi. 16:55 Neumarkt

Boundary-Elemente-Methode I

### **The fast multipole boundary method: Breaking the high frequency barrier for acoustic simulation of large structures**

K. de Langhe und P. Segaeert

*LMS International*

In the last 15 years, the Boundary Element Method has proven itself as an extremely powerful and versatile tool for the numerical simulation of interior and exterior acoustic radiation problems in the automotive, aerospace and consumer electronics industries. Although Acoustic BEM codes are attractive because they allow the re-use of existing structural surface meshes, the mathematical formulation leads to a dense matrix system of equations. The matrix inversion requires a number of operations that increases rapidly with node number  $N$  : with  $\text{Order}(N^3)$  for direct decomposition algorithms , with  $\text{Order}(N^2)$  for iterative decomposition algorithms. This imposes a practical upper frequency limit on the analysis of vibrating structures with large dimensions, e.g. full-size cars or aircraft fuselages, as the "six-elements-per-wavelength" rule leads to a computational bottleneck.

This presentation describes an innovative approach to the numerical formulation of the Acoustic Boundary Element Method : the Fast Multipole BEM method. Through the use of a multi-level grid scheme and multipolar expansions, this method only requires  $\text{Order}(N \log N)$  operations to resolve the matrix equations, a quantum jump in computational performance. The presentation will highlight the potential of the FMBEM algorithm by comparing computational statistics from a set of industrial cases.



Mi. 17:20 Neumarkt

Boundary-Elemente-Methode I

**Entwicklung einer Halbraum-BEM zur Simulation der Schallausbreitung über einer Impedanzebene**

H. Brick und M. Ochmann

*TFH Berlin*

Die Boundary-Element-Method (BEM) ist ein sehr leistungsfähiges Verfahren zur Simulation von Schallabstrahlung und Schallstreuung. In ihrer klassischen Form wurde sie für den unbegrenzten Raum entwickelt, sie ist jedoch ebenfalls problemlos für Lösungen im Halbraum erweiterbar, solange der Halbraum durch eine perfekt schallharte bzw. schallweiche Ebene begrenzt wird. Die Greensche Funktion, das Herzstück der BEM, kann in diesem Fall mit Hilfe eines einfachen Spiegelquellenansatz hergeleitet werden. Mit diesem Ansatz kann jedoch eine allgemeine Impedanz-Randbedingung auf der Ebene nicht erfüllt werden. Eine Einbindung der Ebene in das Modell über eine Diskretisierung führt indessen zu einer enormen Erhöhung der Größe des Gleichungssystems und damit des Speicherbedarfs der Berechnungen. Im Vortrag wird eine geeignete Greensche Funktion zur Beschreibung der Schallausbreitung über einer Impedanzebene vorgestellt, die auf der Superposition von Quellen mit komplexen Quellpunkten beruht. Es wird die numerische Auswertung und Einbindung dieser Greenschen Funktion in eine direkte BEM präsentiert. Dabei werden verschiedene Testkonfigurationen zur Verifizierung der entwickelten "Complex-Source-Point-BEM" (CBEM) vorgestellt und der Rechenaufwand mit dem einer klassischen BEM mit Diskretisierung der Impedanzebene verglichen.

Mi. 17:45 Neumarkt

Boundary-Elemente-Methode I

**Ein Vergleich von IBEM und IFEM zur Ermittlung von Admittanzrandbedingungen**

S. Marburg, R. Anderssohn und H. Neumann-Heyme

*TU Dresden, Institut für Festkörpermechanik*

Akustische Nahfeldholographie wird bei beliebig geformten Strahlergeometrien üblicherweise mit inverser BEM (IBEM) betrieben. Es sind nur wenige Arbeiten bekannt, in denen eine inverse FE-Formulierung (IFEM) genutzt wird. Beide Verfahren eignen sich auch, um Admittanzrandbedingungen zu identifizieren.

In diesem Beitrag werden beide Verfahren beispielhaft miteinander verglichen. Die vorliegenden Beispiele werden auf zweidimensionale Probleme begrenzt. Während für IBEM ein klassisches inverses Problem über Singulärwertzerlegung und Pseudoinverse gelöst wird, erfordert die IFEM die Behandlung eines nichtlinearen Optimierungsproblems. Letzteres ist trotz Nutzung von adjungierten Operatoren zur Gradientenbestimmung und schneller Konvergenz relativ aufwendig in der Lösung. Es bietet allerdings andere Vorteile, die in diesem Beitrag diskutiert werden.

Mi. 18:10 Neumarkt

Boundary-Elemente-Methode I

### **Anwendung einer symmetrischen Galerkin Randelemente Formulierung für das Baffle Problem**

Z. Chen

*Österr. Akademie der Wissenschaften*

Eine symmetrische Galerkin Randelemente Formulierung für die Berechnung der Schallabstrahlung wurde am Institut für Schallforschung weiterentwickelt. Wenn eine Struktur in einer akustisch harten Wand (Baffle) eingebaut wird, müssen auch die Reflexionen der Wand berücksichtigt werden. Eine direkte Diskretisierung der Wand mittels Randelementen ist numerisch sehr aufwendig. Deswegen wurde eine alternative Methode implementiert. Der gesamte Raum wird in drei Domänen unterteilt: Eine Domäne um die eigentliche Struktur und zwei Halbräume auf jeder Seite der Wand. Zwischen jedem der beiden Halbräume und dem Raum um die Struktur werden Schnittstellen definiert, an denen die Stetigkeit von Schalldruck und normaler Schallschnelle gefordert wird. In der Strukturdomäne müssen die Reflexionen von der Wand nicht berücksichtigt werden, in den beiden Halbräumen werden die Reflexionen mittels einer Green'schen Funktion für den schallharten Halbraum simuliert. Ergebnisse für unterschiedliche Beispiele zeigen, dass die Methode verlässlich und effizient ist.

Mi. 8:30 Graf Brühl

Lärmschutz

### **Methods for the calculation of sound propagation**

W. Probst

*ACCON GmbH*

Calculation of sound propagation comprises all methods and procedures applicable to determine the sound immission at defined positions from influencing input parameters. It should be distinguished between the mainly scientifically oriented methods (SM)

and the engineering methods (EM). SM are more strongly based on the physics behind and are applied more or less in research-based expert work or for detailed expert studies. Engineering methods (EM) are applied by many persons to check if legal requirements can be fulfilled with a planned design. The precision is an important topic in these cases to ensure that many people doing the same calculation on the same problem get the same result. Therefore it is advisable to standardize these methods. Each calculation method has its pros and cons. For each method there are applications where it can be used preferably and others where it is not very advantageous methodically or where it is too complicated to be used. Although it's a difficult task it shall be tried to relate the different phenomena that have to be dealt with in practical problems to the different calculation methods. It is planned to create a frame document that can be the basis for more source specific standardisation.

Mi. 8:55 Graf Brühl

Lärmschutz

### **Multithreading, Parallel Computing and 64-bit Noise Calculation Software - The Answer on many Questions about Large Scale Noise Mapping**

W. Probst<sup>a</sup> und B. Huber<sup>b</sup>

<sup>a</sup>ACCON GmbH; <sup>b</sup>DataKustik GmbH

In noise-mapping-projects for agglomerations and for built-up areas in the vicinity of main roads and railways for whole countries it is absolutely necessary to minimize or avoid any manual intervention. It is shown how this has been realized for the noise mapping projects of the countries Baden-Wuerttemberg, Hessen and Schleswig-Holstein and for the cities Munich, Frankfurt and Wiesbaden by fully automated parallel computing applying the PCSP-technique (Program Controlled Segmented Processing) and by using all cpu-cores of the noise mapping computer cluster (multithreading). It is further shown how effectively the 3-D-models and the grid of such countries with more than 10 Gigabytes can be handled if the 64-bit-software for noise calculation is used.

Mi. 9:20 Graf Brühl

Lärmschutz

**Improvements in the Calculation of Sound Propagation in Workrooms**W. Probst*ACCON GmbH*

The method of VDI 3760 to calculate the sound propagation in workrooms has been derived to calculate the sound pressure levels at the work places from the emission values of the machines and to be able to optimize these rooms with respect to low noise exposure at the work places. The application since more than 10 years has shown the shortcomings: Only the mean absorption on walls, ground and ceiling of the room with approximated cuboid shape is taken into account and the local distribution of an absorbent coating has no influence on the result. Further sources radiating with directivity and screening effects are neglected, and therefore the effect of many sound reduction measures important in practice cannot be calculated with VDI 3760. With a project financed by the BAuA (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund) possible improvements of the method have been investigated and first steps of a practical realization are presented.

Mi. 9:45 Graf Brühl

Lärmschutz

**Road traffic noise reduction at the source - an overview**A. Lorenzen*Bundesanstalt für Straßenwesen*

Essential part of various research projects, e.g. DEUFRAKO, LEI-STRAS2, and other research activities is to find and develop measures to reduce road traffic noise. The most efficient and sustainable way is to reduce the noise at the source, which means to understand the noise generating processes at the interaction of vehicle tires and road surfaces. An overview is given about these activities, e.g. numerical codes were developed that by now enable tire engineer to understand the complex tire noise generating mechanisms much better, new road surfaces have been developed or their sound absorbing abilities were improved.

Mi. 10:10 Graf Brühl

Lärmschutz

**Stand der Strassenlärmsanierung in der Schweiz**T. Meloni<sup>a</sup>, L. Cosandey<sup>a</sup>, K. Ingold<sup>a</sup>, N. Lüthi-Freuler<sup>b</sup> und H. Pestalozzi<sup>b</sup><sup>a</sup>*Bundesamt für Umwelt, Bern;* <sup>b</sup>*Grolimund & Partner AG*

Im Jahre 2006 wurde erstmals eine umfassende Erhebung zum Stand der Lärmsanierung aller Strassen in der Schweiz durchgeführt. Erfasst wurden dabei die Kosten der bis heute abgeschlossenen (rund 1 Mrd. Schweizer Franken) und der verbleibenden Sanierungen und Schallschutzmassnahmen (rund 3 Mrd. Schweizer Franken). Neben den Kosten werden auch die Verteilung auf die verschiedenen Massnahmentypen sowie die Schutzwirkung auf die Bevölkerung dargestellt. Neben dem finanziellen Mittelbedarf für die fristgerechte Sanierung der Schweizer Strassen werden auch dringlich einzuleitende Massnahmen zur Bekämpfung des Lärms an der Quelle aufgezeigt.

Mi. 14:00 Graf Brühl

Lärmschutz

**Geräuschemissionen durch Binnenschiffe**U. Ritterstaedt*Ing. Büro f. Schallschutz, Neuss*

Nicht nur Wale werden durch Schiffslärm gestört, sondern auch Anwohner in der Nähe von Binnenschiffahrtswegen. Für die Prognose derartiger Geräusche existieren nur spärliche Angaben. Aus Messungen an Kanälen wird ein einfaches Prognoseverfahren für die Geräusche durch Binnenschiffe vorgeschlagen.

Mi. 14:25 Graf Brühl

Lärmschutz

**Zur Unsicherheit von Baulärm-Prognosen mit garantierten Schalleistungspegeln gemäß 2000/14/EG**U. Trautmann*ABIT Ingenieure Dr. Trautmann GmbH*

Innerstädtische Baustellen führen häufig zu Lärmbeschwerden. Soll aufgrund technischer oder wirtschaftlicher Zwänge auch nachts gearbeitet werden, so ist für die Erteilung einer Ausnahmegenehmigung in der Regel eine Schallimmissionsprognose erforderlich. Als Geräuschemissionsgröße steht meistens nur der garantierte Schalleistungspegel zur Verfügung, der gemäß 2000/14/EG von den Herstellern der Baumaschinen angegeben wird. Die auf diesem Wege mit dem garantierten Schalleistungspegel bei den Anliegern ermittelten Geräuschemissionen sind regelmäßig zu hoch. Das führt zu behördlichen Restriktionen

(Arbeitszeit, Maschineneinsatz, Schallschutzmaßnahmen) oder zu einer Verweigerung der Betriebsgenehmigung für die Baustelle. Es wird gezeigt, welchen Einfluss die Messverfahren gemäß 2000/14/EG, die Kennzeichnungspraxis der Maschinenhersteller und die prozessspezifischen Geräuschanteile auf die Geräuschemission haben.

Mi. 14:50 Graf Brühl

Lärmschutz

### **Vollzugshilfe zur Beurteilung von Alltagslärm**

F. Abbühl und S. Wschiansky

*Bundesamt für Umwelt, Bern*

Immer häufiger sind die Behörden mit Klagen über Alltagslärm konfrontiert. Oft entsteht Alltagslärm durch Freizeitbeschäftigungen. Beispiele sind rasenmähende Nachbarn, übermässig laute Discogänger oder Jugendliche mit Skateboards. Aber auch ganz traditionelle Geräusche wie Kirchenglocken, Brunnengeplätscher oder die Glocken weidender Kühe können zu empfundenen Störungen und somit zu Lärmklagen führen.

Nach dem schweizerischen Umweltschutzgesetz (USG) sollen Menschen, Tiere, Pflanzen und ihre Lebensgemeinschaften vor schädlichen oder lästigen Einwirkungen - also auch Lärm - geschützt werden. Im Gegensatz zu Bahn-, Strassen-, Flug-, Schiess-, Industrie- und Gewerbelärm gibt die Lärmschutzverordnung (LSV) für Alltagslärm keine konkreten Grenzwerte vor. Im Konfliktfall hat die Beurteilung der Lärmwirkung daher im Einzelfall und direkt aufgrund der Kriterien des Umweltschutzgesetzes zu erfolgen.

Mit dem Ziel einer möglichst einheitlichen Vollzugspraxis in der Schweiz will die "Vollzugshilfe Alltagslärm" auf einfache Art und Weise eine Grundlage für die Beurteilung von Lärmarten bieten, für die keine Grenzwerte festgelegt sind. Sie soll die Behörden in Konfliktfällen unterstützen die Lärmklagen systematisch und nachvollziehbar zu bearbeiten und Lösungsansätze aufzeigen, mit welchen Mitteln die Lärmimmissionen begrenzt werden können. Die Vollzugshilfe richtet sich in erster Linie an kommunale Behörden, welche den Lärm von Anlagen im Sinne des Umweltschutzgesetzes zu behandeln haben, häufig aber keine Lärmspezialisten sind.

Mi. 15:15 Graf Brühl

Lärmschutz

**Pegelbegrenzung in Gaststätten - Kriterien und Verfahren zur Einmessung des Limiters**W. Teuber*IAB Institut für Akustik und Bauphysik*

Der Einbau von Schallpegelbegrenzern (Limiter) ist für zahlreiche Musikanlagen in Gaststätten vorgeschrieben. Ziel ist es, Immissionsrichtwerte in benachbarten Wohnräumen zu erfüllen. Zur Festlegung des Maximalpegels im Gastraum wird ein Verfahren praktiziert, das von Messergebnissen der Schallpegeldifferenz zwischen Gast- und Wohnraum ausgeht. Hierbei werden Gegenüberstellungen zum mittleren Musikspektrum vorgenommen. Vorteile bestehen gegenüber dem vereinfachten Vorgehen mit Messung lediglich des A-bewerteten Schalldruckpegels. Vergleiche beider Verfahren sind aufgezeigt, ergänzt durch Untersuchungen zum mittleren Frequenzspektrum und der zeitlichen Verteilung (Pegelstatistik) von Musik, speziell Disco-Musik.

Mi. 15:40 Graf Brühl

Lärmschutz

**Untersuchungen zur gehörgesünderen Diskothek**K. Joiko*TU Dresden, Institut für techn. Logistik und Arbeitssystem*

Das gesundheitliche Risiko durch hohe Schallbelastungen ist Jugendlichen meist bewusst. Aber es wird eher schicksalhaft, als Krankheit oder Unglück empfunden. Dieser menschliche Glaube an die eigene Unverwundbarkeit ist als unrealistischer Optimismus bekannt. Verbote von Grenzwertüberschreitungen wären angebracht. In anderen Ländern sind sie längst erfolgt. Aufklärung ist dringendes Gebot. Ziel der Untersuchungen war es, die bevorzugten Schallpegel, sowie das Wissen von Jugendlichen über Zusammenhänge von lautem Schall und Gesundheitsschäden zu erkunden. Vor allem jedoch sollten die Möglichkeiten der Steuerung von einsichtigem Verhalten durch Aufklärung untersucht werden. Eine "Pegelampel" signalisierte sowohl Besuchern als auch dem Diskjockey, ob die aktuelle Lautstärke auf der Tanzfläche "eher ungefährlich" im grünen Bereich oder bei roter Anzeige "sehr gefährlich" war. Positive Wirkungen waren deutlich nachweisbar. In einer realitätsnahen Disko mit geladenen Versuchspersonen wurde die Akzeptanz von Absenkungen der Schallpegel im mittleren besonders schädlichen Frequenzbereich untersucht. Die schalltechnischen, die audiologischen Untersuchungen und die Befragungen fanden im Feldversuch in

Dresdner Schulen bzw. mehrfach in einer öffentlichen Diskothek statt. In Folge der Untersuchungen spielte die Dresdner Diskothek "Dance Factory" anlässlich des Tages gegen den Lärm 2001 in ihrer "Teeniedisko" ein halbes Jahr die Musik mit einem Mittelungspegel von 98 dB(A).

Mi. 16:30 Graf Brühl

Lärmschutz

### **Schallschutz-Maßnahmen an Musiker-Arbeitsplätzen**

H.V. Fuchs

*Berlin*

Die EU-Richtlinie 2003/10/EG hat neue Maßstäbe für den Schallschutz an Arbeitsplätzen gesetzt. Nach fünfjähriger "Schonfrist" treten 2008 mit einer Verordnung, welche die UVV "Lärm" aktualisiert, schärfere Grenzwerte auch für Schallbelastungen professioneller Musiker in Kraft. Arbeitgeber und Arbeitnehmer stehen aber in diesem besonders sensiblen Bereich - anders als in der gewerblichen Wirtschaft - vor einem scheinbar unauflösbaren Dilemma: Einerseits erscheint eine Minderung der Schall-Emissionen um die tatsächlich notwendigen 5 bis 10 dB (an den Quellen selbst!) im Hinblick auf das von den Künstlern angestrebte und von ihren Zuhörern erwartete Klangerlebnis geradezu widersinnig und kontraproduktiv. Andererseits sträubt sich die Mehrzahl der betroffenen Akteure mit einleuchtender Begründung gegen das Tragen von persönlichem Gehörschutz während der die Lärmdosis wesentlich bestimmenden Dienste im Orchester. Auch organisatorische und konventionelle Schall abschirmende und dämpfende Maßnahmen können das Problem aber nicht nachhaltig lösen. Es wird deshalb ein bereits vielfach bewährtes alternatives raumakustisches Konzept vorgeschlagen, welches den umgebenden Raum (Orchestergraben oder -probesaal; Unterrichts- oder Stimmzimmer) breitbandig, besonders zu tiefen Frequenzen hin, bedämpft. Dies schafft eine höhere akustische Transparenz, die besseres Ensemblespiel mit weniger Kraftaufwand ermöglicht und - bei entsprechend rücksichtsvoller Intonation aller Musiker und verantwortungsvollem Dirigat, insbesondere während der Probenarbeit - die erforderliche Pegelminderung realisierbar macht, ohne das künstlerische Ergebnis zu schmälern.



Mi. 16:55 Graf Brühl

Lärmschutz

**Machbarkeitsstudie Ruhelabel für Wohnnutzungen**I. Schlachter und F. Fischer*Bundesamt für Umwelt, Bern*

Der Vollzug der gesetzlichen Grundlagen zur Lärmverminderung und zur Sanierung von Anlagen mit übermässiger Lärmbelastung schreitet nur zögerlich voran - Anreize zur Lärmverminderung unter die Immissionsgrenzwerte sind trotz dem in der Umweltschutzgesetzgebung verankerten Vorsorgeprinzip kaum vorhanden. Die Analyse zum Stand der Lärmbekämpfung in der Schweiz weist denn auch ein differenziertes Bild aus: Zwar ist 20 Jahre nach Inkrafttreten der Lärmschutzverordnung viel erzielt worden, es zeigt sich aber deutlich, dass der Schutz der Bevölkerung vor schädlichem oder lästigem Lärm nur teilweise erreicht wurde und sich viele Menschen auch nach Abschluss der Sanierungen weiterhin von Lärm belästigt fühlen. Zur weiteren Lärmreduktion sind deshalb zusätzliche Instrumente nötig.

Als mögliches Anreizsystem zur Lärmverminderung prüft das Bundesamt für Umwelt die Einführung eines sog. Ruhelabels. Das Ruhelabel hat zum Ziel, der Bevölkerung die Lärmbelastungssituation durch die Hauptlärmarten an ihrem Wohnort auf einfache Art ins Bewusstsein zu rufen. Der Lärmsituation kommt beim Wohnen eine grosse Bedeutung zu und der Wert einer Liegenschaft steigt indirekt proportional mit der Lärmbelastung. Durch das Aufzeigen der Belastungssituation einer Liegenschaft soll der Druck auf Politik und Behörden verstärkt werden, die Lärmsituation im Bereich Wohnnutzung in der Schweiz zu verbessern.

Mi. 17:20 Graf Brühl

Lärmschutz

**Windenergieanlagen und Geräusche - Ein aktueller Sachstand**D. Piorr*Landesamt für Umwelt NRW*

Nachdem das Institut für Meteorologie der Universität Leipzig im Auftrag des Landes NRW im Jahr 2005 Simulationsrechnungen zur Schallausbreitung einer hochliegenden Quelle unter Berücksichtigung realer höhenabhängiger Wind- und Temperaturprofile durchgeführt hat, erfolgten im Jahr 2007 ergänzende Berechnungen von Tagesgängen. Hierbei wurden fünf unterschiedliche Quellenhöhen zwischen 0 m und 140 m berücksichtigt. In einem weiteren Untersuchungsvorhaben erfasste die Kötter Consulting

Engineers KG im Jahr 2006 im Auftrag des Landes NRW die Schallemission einer hohen Windenergieanlage mehrfach tags und nachts. Dabei wurden auch die jeweils vorhandenen höhenabhängigen Windprofile dokumentiert. Es wird im Rahmen des Vortrags aufgezeigt, welche Kenntnisse zur Emission und Transmission der Geräusche von Windenergieanlagen derzeit im Immissionsschutz vorhanden sind.

Mi. 17:45 Graf Brühl

Lärmschutz

### **Umsetzung der Lärmmanagementrichtlinie für Schießlärm großkalibrier Waffen - Teil I: Managementwerkzeug**

F. Hammelmann<sup>a</sup>, E. Braun<sup>b</sup> und K.-W. Hirsch<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Cervus Consult*; <sup>b</sup>*Streitkräfteunterstützungskommando*

In 2007 ist vom BMVg die Lärmmanagementrichtlinie (LMR) für das Lärmmanagement auf Schießplätzen der Bundeswehr erlassen worden. Diese LMR schreibt ein ‚tägliches‘ Lärmmanagement so vor, dass einerseits jeweils bestimmte Lärmkriterien einzuhalten sind (Schutz vor erheblichen Belästigungen) und andererseits in Umsetzung der zweiten Forderung des BImSchG der tägliche Schießbetrieb so zu planen ist, dass die Nachbarschaft so gering wie möglich belastet wird (Minimierung der Belastung). Das Lärmmanagement beruht also nicht auf einer statischen Genehmigung, sondern definiert einen dynamischen Prozess, der täglich mit dem Lärmproblem konfrontiert. Vor Ort muss das Lärmmanagement entscheidungsarm sein, weil lärm-akustische Kompetenz nicht vorausgesetzt werden darf. Zur Durchführung dieses Lärmmanagement muss dem Betreiber deshalb ein IT-Werkzeug an die Hand gegeben werden, das weitgehend automatisiert und angepasst an den Planungsvorgang den Betriebsplaner dabei unterstützt, die Managemententscheidung während der Schießplanung zu treffen. Der Beitrag beschreibt das komplexe Zusammenwirken der topographischen, geometrischen, militärischen und akustischen Eingangsdaten für die Berechnung einer Lärmprognose und erläutert die Aussagen der während des Planungsprozesses verfügbaren Rasterlärmkarten und Analysewerkzeuge.

Mi. 18:10 Graf Brühl

Lärmschutz

**Umsetzung der Lärmmanagementrichtlinie für Schießlärm großkalibriger Waffen - Teil II: Dokumentation und Qualitätssicherung**K.-W. Hirsch<sup>a</sup>, E. Braun<sup>b</sup> und F. Hammelmann<sup>a</sup><sup>a</sup> *Cervus Consult*; <sup>b</sup> *Streitkräfteunterstützungskommando*

Das tägliche Lärmmanagement nach der Lärmmanagementrichtlinie des BMVg (LMR) erfordert einen grundsätzlich anderen Umgang mit den Eingangs- und Ausgangsdaten bei der Lärmprognose als bei traditionellen Genehmigungsverfahren. Die Prognose wird zu jedem Zeitpunkt der Planung eines konkreten Schießtages auf der Basis der jeweils verfügbaren aktuellen Daten berechnet. Diese Daten sind entlang der Zeitachse zu protokollieren. Damit kommt der Synchronität der Datengültigkeit eine größere Bedeutung zu als in Genehmigungsverfahren, deren typischer Bezug auf einen mittleren Tag, ein mittleres Jahr o.ä. eher träge von Datenänderungen abhängen. Beispielsweise wird in der LMR eine Langzeitstärkewindrose benutzt, um die Schallausbreitung im Vorfeld des Schießtages zu schätzen. Nach Durchführung des Schießtages wird diese Schätzung durch Wetterbeobachtungen am konkreten Schießtag ersetzt. Genauso wird der eigentliche Schießbetrieb in der typisch 10-wöchigen Planungsphase z.B. im Hinblick auf die einzusetzenden Waffen und Anlagen immer näher spezifiziert, so dass sich die Quelldaten also Quellstärke, Richtcharakteristik, Schussanzahl und die Belegung ändern. Dennoch ist der einmal zugesagte Schießbetrieb grundsätzlich zu ermöglichen, um Betreibern und Nutzern die unabdingbare Planungssicherheit zu gewährleisten. Der Beitrag möchte nur einige Aspekte der Dokumentation und Qualitätssicherung eines täglichen Lärmmanagements aufzeigen, um deutlich zu machen, wie transparent und nachvollziehbar die Managemententscheidungen z.B. der öffentlich-rechtlichen Fachaufsicht zur Verfügung gestellt werden.

Mi. 8:30 Semper

Music Processing

**Anwendungsbeispiele für Musikanalyse-Algorithmen**J. Skowronek, M. McKinney und S. van de Par*Philips Research Europe, Eindhoven (NL)*

Seit einigen Jahren werden Algorithmen zur automatischen Analyse von Musik entwickelt, die dann wiederum für verschiedene Anwendungen eingesetzt werden. Das Spektrum der Anwendungen reicht von erweiterten Musikdatenbankabfragen über

Online-Shops und personalisiertem Internet-Radio bis hin zu Musikplayern. Zunächst wird dieser Konferenzbeitrag eine kurze Übersicht des Marktes geben, bei der der Fokus auf jenen Anwendungen liegt, in denen eine Analyse des Audiosignals eine zentrale Rolle spielt. Anschliessend werden eigene Ansätze für die vier Musikanalyseaufgaben Musik-Genre-Klassifikation, Musik-Mood-Klassifikation, Musik-Ähnlichkeits-Bestimmung sowie Persönliche- Kategorien-Klassifikation vorgestellt. Eine Demonstration dieser Algorithmen mittels eines Musikplayers schliesst den Beitrag ab.

Mi. 8:55 Semper

Music Processing

### **Experimente zur Wahrnehmung von Strukturgrenzen in populärer Musik**

A. Kohlrausch, M. Bruderer und M. McKinney

*Philips Research Europe, Eindhoven (NL)*

In diesem Beitrag stellen wir zwei Experimente vor, in denen die zeitliche Position und wahrgenommene Stärke von Strukturgrenzen in 6 Pop-Musikstücken bestimmt wurden. In einem ersten Experiment hatte jede Versuchsperson die Aufgabe beim Anhören des Stückes durch Drücken einer Taste anzugeben, wann sie eine Strukturgrenze wahrnahm. Jede der 20 Versuchspersonen wiederholte dieses Experiment dreimal. Aus den insgesamt 60 Einzeldurchgängen wurde ein gemeinsames Profil wahrgenommener Strukturgrenzen erstellt. Dieses Profil zeigt, wie häufig innerhalb eines Fensters von 2 sec eine Grenze notiert wurde, womit wir über ein erstes Maß für die Stärke der Strukturgrenzen verfügen. In einem zweiten Experiment mussten die Versuchspersonen für ca. 15 ausgewählte Strukturgrenzen pro Song die wahrgenommene Stärke auf einer Skala von 0 bis 6 angeben. Zusätzlich mussten sie die für die Wahrnehmung der Grenze wichtigen Musikmerkmale (Cues) aufschreiben. Ein Vergleich der beiden Experimente ergab eine hohe Korrelation zwischen den zwei Maßen für die Stärke einer Strukturgrenze, der direkten Skalierung und der Häufigkeit der Notierung. Die von den Versuchspersonen genannten Cues wurden in einer Ontologie kategorisiert. Die Zahl der für eine bestimmte Grenze angeführten Cues ist ebenfalls stark mit den direkten Skalierungswerten korreliert: je stärker eine Grenze beurteilt wird, desto mehr unterschiedliche Cues werden von den Hörern genannt.

Mi. 9:20 Semper

Music Processing

**Möglichkeiten des Computereinsatzes im Gesangsunterricht**

T. Fröb, A. Nürnberger und S. Stober

*O.-v.-Guericke-Universität Magdeburg, Fakultät für Informatik*

Klassische Gesangsausbildung ist ein komplexer Unterricht, der sich zum einen mit den physischen Gegebenheiten eines Stimmapparates, mit dessen Verwendung und Training beschäftigt, zum anderen aber auch mit musikalischen Aspekten. Computer beurteilen zu lassen, ob eine gesungene Phrase musikalisch gelungen ist oder bestimmte dynamische Verläufe dem Stück angemessen sind, wäre vielleicht etwas zu vermessen. Hier gibt es einfach so viele unterschiedliche Auffassungen, die in bestimmten Kontexten sicher ihre Berechtigung haben, aber kein allgemein gültiges Urteil zulassen. Hinsichtlich der technischen Seite der Stimmentwicklung gibt es allerdings einige Parameter, die sich durchaus objektiv bewerten lassen. Der Klang einer Stimme wird durch die Zusammensetzung verschiedener Frequenzanteile hervorgerufen. Dieses Frequenzspektrum lässt sich sehr gut mit dem Computer untersuchen und maschinell auswerten. Anhand des Obertonreichtums lässt sich hier z.B. die Klangfarbe sehr gut ablesen. Solch eine Analyse ersetzt natürlich keinen Gesangslehrer, gibt diesem aber ein Mittel zur Hand, das es ihm erlaubt, Hilfestellung und Erklärung geben zu können, beispielsweise in Form einer visuellen Darstellung die mehr vermitteln kann als Sprache und mit Hilfe von Sprache kommunizierte Bilder. Im Rahmen des Vortrags sollen Verschiedene Ansatzmöglichkeiten vorgestellt und erste Ergebnisse kritisch diskutiert werden.

Mi. 9:45 Semper

Music Processing

**Emotional Music Recommendation - Auf der Suche nach dem Gänsehautfaktor**S. Baumann*Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz*

Das Music Information Retrieval als interdisziplinäres Forschungsfeld hat im Verlauf der letzten 8 Jahre beachtliche Erfolge bei der Verarbeitung hochvolumiger Musikkollektionen erzielt. In Teilen sind diese Ergebnisse bereits in kommerziellen Empfehlungsangeboten wie Pandora, Last.fm oder MyStrands für Endanwender verfügbar. Obgleich derartige Systeme personalisierte Empfehlungen durch die Kombination von Audioanalyse, implizitem und explizitem Relevance Feedback als auch Social und Community Metadaten errechnen, fehlt nach wie vor die

Berücksichtigung emotionaler Kontexte. Hierunter verstehen wir nicht die sogenannte Moodklassifikation, die vorhandene musikalische Eigenschaften auf intendierte oder empfundene Emotionen abbildet, sondern zu entwickelnde Verfahren, die in der Lage sind, lebenssituationsspezifische Musik für einen Anwender zu empfehlen. In unserem Beitrag stellen wir eine Architektur für ein derartiges System vor, das Verfahren des Music Information Retrieval mit der Aggregation von Lifestreams und expliziten oder impliziten Affektionsmustern verbindet. Wir nutzen hierbei als Informationsquellen zur Extraktion von Lifestreams Web2.0-Plattformen wie bspw. Facebook oder gängige Blogangebote. Eine Kollektion von persönlichen, emotionalen Reaktionen auf bestimmte Musiktitel erheben wir mittels Crowdsourcing in einem weltweiten, offenen Web2.0-Angebot. Zukünftig soll diese Erhebung noch um Laborversuche zur Erfassung von Gänsehautphänomenen erweitert werden. Im Bereich des klassischen Music Information Retrieval werden benötigte Erweiterungen zur Verarbeitung von Liedtexten integriert.

Mi. 10:10    Semper

Music Processing

### **Skalierbare automatische Klassifikation von Musikstücken mit individuellen Genre-Modellen**

R. Engelhard, M. Möller und S. Baumann

*Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz*

Wir beschreiben ein Open-Source System zur automatischen Genre-Klassifikation von Musikdateien. Dabei vertreten wir die Position, dass die Kriterien zur Unterscheidung von Genres wie Rock oder Pop nicht allgemeingültig, sondern unscharf und subjektiv sind. Darauf aufbauend extrahiert das vorgestellte System aus einer bereits klassifizierten Musiksammlung Merkmale (u.a. *RMS*, *Bandwidth*, *MFCC*) und lernt mittels Support Vector Machine ein Modell, das anschließend auf neue Musikstücke angewendet werden kann. Bei der Entwicklung lagen wichtige Augenmerke auf Effizienz, Skalierbarkeit und Benutzerfreundlichkeit, um einen Transfer des State-of-the-Art im Music Information Retrieval in die Anwendungspraxis zu ermöglichen. Mit sehr kurzen Programmlaufzeiten und guten Klassifikationsgenauigkeiten legen wir vielversprechende Zwischenergebnisse vor.

Mi. 14:00 Semper

Music Processing

**Comparing Basic Elements for an Online Harmonic Progression Analysis Framework for Audio Streams**J. Eckel*Österr. Forschungsinstitut für Artificial Intelligence*

The automatic identification of harmonic progressions from music audio data is an interesting problem, both from a signal processing and a music theory perspective. Harmony identification is considered a problem of great practical importance in the field of Music Information Retrieval. In the most simple case, the goal of the analysis is to identify the root of the currently played chord. The root of a chord is the fundamental note on which the chord is built. Existing approaches to this task either use pitch class distribution optimizations or segmentation approaches.

A limitation of both approaches is that they do not put currently analyzed chords into the context of preceding chords. The proposed framework combines the two approaches mentioned above. It consists of three major modules: Module 1 analyses the pitch class distribution of audio frames. Module 2 segments the audio stream. Module 3 interprets the retrieved data in the context of previously analyzed audio frames.

At least two different instantiations are presented and analyzed for each module. Thus several audio analysis techniques, several segmentation approaches and different Hidden Markov Models are analyzed. The evaluation tasks are performed on one piece of music by Chopin and several tracks by The Beatles.

Mi. 14:25 Semper

Music Processing

**Beat-Synchronous Data-driven Automatic Chord Labeling**B. Schuller, F. Eyben und G. Rigoll*Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation, TU München*

Automatic Chord Labeling becomes a challenge when dealing with original audio recordings, in particular of modern popular music. In this work we therefore suggest a data-driven approach applying Support Vector Machines as opposed to typical chord-template modeling. The feature basis is formed by pitch-tuned chromatic feature information. For synchronization with the rhythmic structure we use IIR comb-filter banks for tempo detection, meter recognition, and on-beat tracking. The chord base is built by all typical triads resulting in 76 classes. Extensive experimental results are reported on MP3 compressed audio of popular music and demonstrate effectiveness over the traditional approach to Automatic Chord Labeling.

Mi. 14:50 Semper

Music Processing

**Vektorquantisierung chromabasierter Audiomerkmale**F. Kurth<sup>a</sup>, M. Müller<sup>b</sup>, S. Ewert<sup>c</sup> und M. Clausen<sup>c</sup><sup>a</sup>*FGAN-FKIE, Abteilung KOM*; <sup>b</sup>*Max-Planck-Institut für Informatik*; <sup>c</sup>*Institut für Informatik III, Universität Bonn*

Chromabasierte Audiomerkmale haben sich in den letzten Jahren als ein mächtiges Werkzeug zur Analyse von Musiksignalen erwiesen. Insbesondere konnten durch den Einsatz von Chromamerkmale große Fortschritte beim Audiomatching harmoniebasierter Musik erzielt werden. Hierbei besteht das Ziel des Audiomatching darin, bei Anfrage eines kurzen Abschnitts einer CD-Aufnahme alle hierzu musikalisch ähnlichen Abschnitte innerhalb einer Kollektion von Musikaufnahmen zu identifizieren. Im Hinblick auf ein effizientes und auf große Datenmassen skalierendes Verfahren ist eine Quantisierung und damit verbundene Indexierbarkeit der Chromamerkmale sehr wichtig.

In diesem Beitrag stellen wir zwei Methoden zur Chromaquantisierung vor. Die erste Methode basiert auf einem Clusteringansatz aus dem Bereich des unüberwachten Lernens, für den wir den bekannten LBG-Algorithmus geeignet adaptieren. Die zweite Methode nutzt semantisches Vorwissen über den Merkmalsraum aus, das sich aus dem auf der wohltemperierten Stimmung basierenden Harmoniekonzept für westliche Musik ergibt. Weiterhin vergleichen wir in diesem Beitrag die aus den beiden Methoden resultierenden Codebücher im Rahmen der Audiomatchinganwendung und diskutieren, wie diese im Kontext effizienter, indexbasierter Matchingalgorithmen eingesetzt werden können.

Mi. 15:15 Semper

Music Processing

**Partielle Musiksynchronisation**M. Müller<sup>a</sup> und D. Appelt<sup>b</sup><sup>a</sup>*Max-Planck-Institut für Informatik*; <sup>b</sup>*Institut für Informatik III, Universität Bonn*

Oft enthalten digitale Musikbibliotheken verschiedene Versionen oder Interpretationen eines Musikstücks. Die Entwicklung von Synchronisationstechniken zur automatischen Verlinkung solcher unterschiedlicher Varianten ist in Hinblick auf eine effiziente Navigation in inhomogenen Musikdatenbeständen von großer Bedeutung. Ziel der Synchronisation ist es, zu einer bestimmten Position innerhalb einer Interpretation die entsprechende Stelle innerhalb einer anderen Version zu bestimmen. Bisherige Verfahren zur Musiksynchronisation setzten voraus, dass sich zu



verlinkende Datenströme bis auf interpretatorische Unterschiede in Dynamik, Klang, und Tempoverlauf im Wesentlichen entsprechen. Eine wichtige Aufgabe besteht nun darin, eine semantisch sinnvolle Synchronisation auch dann zu gewährleisten, wenn sich die Versionen nur in Teilen entsprechen. Häufig auftretende Variationen beinhalten dabei das Auslassen von Wiederholungen, das Einfügen zusätzlicher Teile wie Soli oder Kadenzzen, oder eine unterschiedliche Anzahl von Strophen oder Refrains in populärer Musik. In diesem Beitrag beschreiben wir ein neuartiges Synchronisationsverfahren, welches eine sinnvolle Verlinkung von Audioaufnahmen auch in Gegenwart struktureller Variationen erlaubt. Als einen wesentlichen Beitrag führen wir das Konzept pfadbeschränkter Ähnlichkeitsmatrizen ein, auf deren Basis eine partielle Verlinkung mittels eines effizient berechenbaren Optimierungsverfahren bestimmt werden kann. Unsere allgemeine Strategie besteht hierbei darin, möglichst lange, zusammenhängende Musikabschnitte zu verlinken und so eine Zerstückelung des Audiomaterials zu vermeiden.

Mi. 15:40    Semper

Music Processing

### **SyncPlayer - Multimodale Wiedergabe, Suche und Navigation in digitalen Musikkollektionen**

D. Damm<sup>a</sup>, C. Fremerey<sup>a</sup>, F. Kurth<sup>b</sup>, M. Müller<sup>c</sup> und M. Clausen<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Institut für Informatik III, Universität Bonn;* <sup>b</sup>*FGAN-FKIE, Abteilung KOM;* <sup>c</sup>*Max-Planck-Institut für Informatik*

In den letzten Jahren wurden auf dem Gebiet des Music Information Retrievals (MIR) zahlreiche Techniken zur inhaltlichen Erschließung digitaler Musikdokumente entwickelt. Insbesondere die temporale Beziehung zwischen mehreren unterschiedlichen Darstellungsformen eines Musikstücks (Audioaufnahmen, Liedtexte, Partitur-Scans etc.) ist ein für Analyse-, Erschließungs- und Präsentationsaufgaben wichtiger Aspekt. Der SyncPlayer stellt hier eine Plattform zur zeitlich synchronisierten, multimodalen (audio-visuellen) Wiedergabe solcher verschiedenartiger Darstellungsformen eines Musikstücks bereit. Neben diesen erweiterten Abspielfunktionalitäten gestattet der SyncPlayer, interaktiv zwischen ähnlichen musikalischen Abschnitten sowohl innerhalb einer einzelnen Audioaufnahme als auch Aufnahme-übergreifend innerhalb unterschiedlichen Interpretationen eines Musikstücks zu navigieren. Ferner bietet der SyncPlayer die Möglichkeit zur gezielten Volltextsuche auf den Liedtexten und zur inhaltsbasierten Suche nach klangverwandten Musikpassagen.

Zur Realisierung dieser Funktionalitäten werden Beziehungen der unterschiedlichen Darstellungsformen eines Musikstücks untereinander sowie verschiedener Musikstücke zueinander mittels MIR-Techniken erschlossen. Techniken, die hier eingesetzt werden sind z.B. die Synchronisation von MIDI- und Audiodatenströmen sowie der Notenerkennung aus eingescannten Partituren. Der SyncPlayer kann einerseits zur Evaluation, Darstellung und zum Vergleich von Forschungsergebnissen dienen. Zum anderen soll der SyncPlayer aber auch Möglichkeiten aufzeigen, auf welche Weise sich MIR-Techniken miteinander kombinieren lassen. Weiterhin kann der SyncPlayer den musikwissenschaftlichen Benutzer bei der Analyse von Musikstücken unterstützen.

Mi. 16:30    Semper

Music Processing

### **Exploring music collections through automatic similarity visualization**

S. Nowak, C. Bastuck und C. Dittmar

*Fraunhofer IDMT*

Digital music collections are normally organized in folders, sorted corresponding to artists or genres, forcing the user to navigate through the folder hierarchy to find songs. A completely different paradigm for exploring music collections is the comprehensive search for similar music. Automatic methods from information retrieval as well as similarity ratings from experts exist. Regardless, the user still gets similar songs to one query listed and has to restart the query to find another style of songs. To allow for a comprehensive overview of the users music collection, we propose a fast and scalable visualization using the metaphor of a universe. Every song is presented as a star and the closeness of one star to another denotes their similarity. For an intuitive handling, the universe is composed of two dimensions and a zooming function to browse into closely located star constellations. The focus lies on the quick visualization of the whole collection in one scenario. This requirement forbids utilizing common used methods for similarity visualization like multidimensional scaling or self-organizing maps. We present two methods; one completely based on low-level features, the second one incorporating semantics by spanning the dimensions of the universe in terms of rhythm and instrument density.

Mi. 16:55 Semper

Music Processing

**An Integrative Framework for Content-Based Music Similarity Retrieval**C. Bastuck und C. Dittmar*Fraunhofer IDMT*

During the last years the internet along with data-compression techniques changed our music experience in fundamental ways and as consequence created a demand for a guide through the unmanageable masses of available content. In the context of music similarity retrieval electronic guides often rely on expert knowledge or collaboratively user-annotated tags. In contrast, this paper introduces a purely content-based music similarity classification framework that implements a top-down approach by subdividing the classification task into a number of independent classifications. Each of these contribute to the overall similarity on different musically motivated domains with individual semantic entropy subject to the used features. While low-level features capture only a small amount of semantic information, a set of novel mid-level features is used that provide access to more sophisticated musical properties. A tree-based data structure implements a mapping between individual classifiers and domains. Classifiers that use low-level features and thus contribute to rather abstract domains are located near the top-level domains, like timbre, rhythm, etc. In contrast classifiers that produce high-level information like instrumentation or transcription data are located at the bottom (leaves of the tree). By traversing the similarities produced by each classifier are combined according to empirically identified weights.

Mi. 17:20 Semper

Music Processing

**Automatic Music Transcription with User Interaction**C. Dittmar und J. Abesser*Fraunhofer IDMT*

This publication describes a software toolbox that bundles different algorithmic solutions directed towards the automatic extraction of symbolic note information from digitized pieces of music. In the field of Music Information Retrieval (MIR), this process is often referred to as automatic transcription and is widely acknowledged as an ambitious task. Seemingly a research object of purely scientific interest, the automatic transcription of music potentially provides various fruitful application scenarios. Creative communities enjoying music performance and production can

greatly profit from automatic music transcription technologies since they allow aficionados to quickly practice their favourite song without being experienced with manual transcription. However, automatic transcription is a very demanding research area, both from the signal-processing as well as the musicology point of view. There still exist no definitive solutions for problems like mimicking the human perception or coming to a decision between ambiguous candidates for symbolic representation. Therefore, the current publication describes a software tool enabling the detection and classification of drum notes, bass notes, main melody notes and chord structure from digitized music pieces in conjunction with possibilities for intervention of a human user. The additional user interaction allows the achievement of comprehensive and satisfying transcription results even in difficult cases.

Mi. 17:45 Semper

Music Processing

### **Phoneme Detection for Lyrics Synchronization**

M. Gruhne und C. Dittmar

*Fraunhofer IDMT*

Automated detection of phonemes in polyphonic music is an important prerequisite for synchronizing music and corresponding lyrics. This paper describes a novel approach of automatic phoneme estimation within digitized music pieces. Since there are already a number of publications, aiming at distinguishing singing passages and non-singing passages in music, this paper only concentrates on detecting voiced phonemes in singing passages of music. In a first step, the leading melody of a segment is recognized based on an efficient implementation of a Multiresolution Fast Fourier Transform (MRFFT) and subsequently the harmonics are extracted and a subset is selected for further processing. Thereafter, the harmonics are resynthesized to an audible signal. Finally, different common feature extraction methods are applied and the performance of the classification algorithms Gaussian Mixture Models (GMM), Support Vector Machines (SVM) and Multilayer Perceptron (MLP) is compared in order to detect the phonemes based on a manually established music phoneme database.

Mi. 18:10 Semper

Music Processing

**A transients / sinusoids / residual approach for audio signal decomposition**

F.X. Nsabimana, M. Guillemard und U. Zölzer

*HSU / Universität der Bundeswehr Hamburg*

In this paper, we propose an algorithm which splits an audio signal into transients, sinusoids and residual components. Our algorithm tracks first the transient components in each signal frame and leaves a first residual only composed of sinusoidal and residual components. To achieve this, a transient detection is performed based on the prediction error, its smoothed estimated Hilbert envelope and the first order statistical moments of the latter. Sinusoids detection is then started on the first residual signal using partial tracking taking advantage of psychoacoustics. In the second residual, obtained after subtracting the psychoacoustic relevant sinusoidal components from the first residual, a second partial tracking is started to remove the undesirable sinusoidal components. This ensures a final residual signal free of transients and sinusoidal components. This third residual signal is finally modelled with filtered white noise. Transients are represented with transform coding techniques, while sinusoidal components are modelled as sum of sinusoids with slowly vary amplitude and phase. The synthesized output signal is then obtained by summing transients, sinusoidal and residual components up. This approach has been successful tested with various audio signals. Objective and subjective listening tests of the application to different audio signals are also presented.

Mi. 8:30 Altmarkt

Auditive Wahrnehmung

**Neuronale Basis audiovisueller Integration**

T. Noesselt

*O.-v.-Guericke-Universität Magdeburg, Klinik für Neurologie II*

Ereignisse in unserem täglichen Leben stimulieren oft mehr als nur eine Sinnesmodalität. Eine Integration der Informationen aus verschiedenen Modalitäten scheint daher sinnvoll; und findet auch statt, wie viele Verhaltensexperimente zeigen. Trotzdem ist die neuronale Basis dieser multimodalen Integrationsprozesse bisher noch kaum untersucht. In diesem Vortrag berichten wir über neueste Befunde zur neuronalen Basis audiovisueller Integration im Menschen. Dabei wird sowohl die zeitliche (Noesselt et al., 2007, J Neurosci/ Brain Res) also auch die räumliche Beziehung von auditorischen und visuellen Reizen (Bonath/Noesselt et

al., 2007, Curr Biol), die einer multimodalen Integration zugrunde liegen, analysiert. In allen Untersuchungen fanden wir neuronale Modulationen bereits in sogenannten ‚unisensorischen‘ Arealen beim Vergleich von unterschiedlich erlebten multimodalen Stimuli. Somit stellen die vorliegenden Ergebnisse die bisher dominierende Sichtweise einer ‚Einbahnstraßenverarbeitung‘ des Gehirns mit unimodalen Verarbeitungsmodulen, deren ‚Output‘ dann an multimodale Areale weitergeleitet wird, in Frage und sprechen eher für eine enge Vernetzung unimodaler und multimodaler Areale bei der Herstellung eines verhaltensrelevanten multimodalen Perzepts.

Mi. 8:55    Altmarkt

Auditive Wahrnehmung

### **Wahrnehmung akustischer Bewegungen und visueller Positionen - ein Fall audiovisueller Integration?**

R.-L. Fischer<sup>a</sup> und S. Getzmann<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Universität Erlangen-Nürnberg; <sup>b</sup>Institut für Arbeitsphysiologie an der Universität Dortmund

Ausgangspunkt dieser Arbeit waren Untersuchungen zu unimodalen Positions- und Bewegungsnacheffekten und zu cross-modalen Wahrnehmungsphänomenen. Es wurde untersucht, ob die Wahrnehmung visueller Positionen durch adaptive Prozesse - hervorgerufen durch eine akustische Bewegung - verändert wird. Dazu wurden Versuchspersonen in Dunkelheit zuerst bewegte Schallreize und anschließend statische visuelle Reize dargeboten. Nach Erlöschen der visuellen Reize sollten die Probanden deren Positionen manuell lokalisieren.

Im ersten Experiment trat eine Positionsverschiebung der visuellen Stimuli entgegen der Richtung der akustischen Bewegung ähnlich dem bekannten unimodalen Positionsnacheffekt auf. In weiteren Experimenten wurde der Einfluss von Augenbewegungen auf diesen Effekt untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass die Positionsverschiebungen deutlich stärker auftraten, wenn die Versuchspersonen die akustischen Bewegungen mit den Augen verfolgten. Sie traten nicht mehr auf, wenn die Bewegung nicht verfolgt, sondern die Augen bei der Lokalisation der visuellen Stimuli auf diese ausgerichtet wurden. Wenn den Probanden generell keine Augenbewegungen erlaubt wurden, trat die Positionsverschiebung dagegen wieder auf.

Die Ergebnisse führten zu der Annahme, dass der Effekt der Positionsverschiebung durch weitere Einflüsse, wie bspw. das Überschießen von Augenbewegungen und periphere Wahrnehmung,

überlagert werden könnte. Darüber hinaus werden Ermüdungs- und Lerneffekte als moderierende Variablen diskutiert.

Mi. 9:20 Altmarkt

Auditive Wahrnehmung

### **Repräsentationales Momentum bei der visuellen und auditiven Bewegungswahrnehmung**

S. Getzmann und J. Lewald

*Institut für Arbeitsphysiologie an der Universität Dortmund*

Das "Repräsentationale Momentum" (RM) tritt bei der Wahrnehmung bewegter Objekte auf und beschreibt die Tendenz, den Endpunkt eines bewegten Zielreizes in Richtung der Bewegung zu verschieben. Vorangehende Studien ergaben, dass das RM bei Verwendung auditiver Reize stärker ausgeprägt ist als bei visuellen Reizen. In der vorgestellten Studie wurden Verschiebungen in beiden Modalitäten unter Verwendung vergleichbarer Zielreize und einer manuellen Zeigeprozedur verglichen. In einer dunklen, reflektionsfreien Umgebung wurden Probanden Lichtpunkte, Rauschpulse oder eine Kombination aus beiden Reizen präsentiert, die sich auf Augenhöhe in horizontaler Richtung bewegten. Die Geschwindigkeit war entweder konstant oder variierte unvorhersagbar während der Bewegung. Bei konstanter Geschwindigkeit traten modalitätsunabhängig äquivalente Verschiebungen auf. Unterschiede in der Stärke des RM sind also hauptsächlich auf unterschiedliche experimentelle Settings zurückzuführen. Die Ergebnisse sprechen für den modalitätsunspezifischen Charakter des Effekts. Das RM könnte daher auf höheren kognitiven Prozessen beruhen, deren Funktion die Vorhersage zukünftiger Positionen bewegter Zielreize ist. Bei variabler Geschwindigkeit nahmen die Verschiebungen von auditiven Zielreizen stark ab, während visuelle und audiovisuelle Reize weiterhin verschoben wurden. Einflüsse von Augenbewegungen, die diese Diskrepanz erklären könnten, werden diskutiert.

Mi. 9:45 Altmarkt

Auditive Wahrnehmung

### **An Integrated Object-Based System for Performing Audiovisual Subjective Assessments**

U. Reiter

*NTNU Trondheim*

This contribution describes an integrated system for performing audiovisual subjective assessments. It is mainly used as a tool for investigations of perceived overall audiovisual quality. The system offers novel approaches to the problems of presentation and rating of content, as well as handling and analysis of the collected

data. The system consists of three main parts: an input device, a data logging tool, and an MPEG-4 based reproduction software that is capable of rendering three-dimensional audiovisual content in real time. The system is immanently interactive and it provides a modular audio engine for real time rendering of (room) acoustic simulations and effects. In this presentation, the main features of the system are described.

Mi. 10:10 Altmarkt

Auditive Wahrnehmung

### **Kognitive Grundlagen der multimodalen Mensch-Maschine Interaktion**

A. Naumann, I. Wechsung und R. Schleicher

*Deutsche Telekom Laboratories, TU Berlin*

Bezüglich multimodaler Mensch-Maschine Interaktion sind mittlerweile widersprüchliche Ergebnisse in der Literatur dokumentiert (Oviatt et al., 1999). Einerseits kann das Nutzen mehrerer Wahrnehmungskanäle, z.B. durch redundante Informationsdarstellung, zur Fehlervermeidung beitragen (Sarter, 1999; Sturm, 2005). Andererseits kann man annehmen, dass dem Benutzer zusätzliche kognitive Ressourcen, z. B. bei der Entscheidung für eine der angebotenen Modalitäten, abverlangt werden, was zur Überforderung des Nutzers führen kann (Schomaker et al., 1995; Wickens, 2002). Angesichts immer neuer Möglichkeiten hinsichtlich der Integration neuer Modalitäten in interaktive Systeme stellt sich die Frage, wann der Einsatz multimodaler Benutzerschnittstellen tatsächlich mit positiven Effekten verbunden ist. Antworten liefert die psychologische Forschung, deren gegenwärtiger Stand Erklärungsansätze für diese uneindeutige Befundlage bietet. Das Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley (Baddeley, 2000) und die Theorie der multiplen Ressourcen von Wickens (2002) gehen davon aus, dass bei der Nutzung unterschiedlicher Modalitäten zum Teil auf unterschiedliche Ressourcen zurückgegriffen wird und Multimodalität in diesem Fall die Interaktion unterstützen kann. Als weiterer Einflussfaktor zeigte sich in empirischen Studien neben der Allokation der Ressourcen die Kohärenz der Präsentation: Zeitlich und räumlich inkohärente Darbietung multimodaler Signale kann sich im schlechtesten Fall negativ auf die Interaktion auswirken (McGurk & MacDonald, 1976; Schomaker et al., 1995).



Mi. 14:00 Altmarkt

Auditive Wahrnehmung

**Effects of auditory feedback on manual control in a balancing task**M. Rath und R. Schleicher*Deutsche Telekom Laboratories, TU Berlin*

Auditory perception of information about objects and processes in our surroundings from sounds they emit has been recognised as an important aspect in psychoacoustic research. E.g., one may ask if certain types of ecological information are more often or particularly well perceived auditorily as compared to vision or other senses.

The "Ballancer" is an experimental audio-visual interface based on the metaphor of balancing a (virtual) rolling ball on a tiltable track. Its technical core consists of an accelerator/orientation sensor connected to the handheld control track and a physical model of the movement of a rolling ball and emerging acoustic vibration.

While many studies on ecological auditory perception deal with discrete sound- and information-events (such as most notification or warning sounds), the current work aims at the possible continuous, seamless convection of information. Focus is hereby on the hypothesis that in the chosen specific yet familiar situation (of balancing a moving object), perception and sensory-motor processing of velocity information may significantly improve in a natural way through sonic feedback, even under very good visual display of the scenario. Experiments of a target-reaching task at different types of auditory feedback show consequences on and improvements of gestural control by test subjects.

Mi. 14:25 Altmarkt

Auditive Wahrnehmung

**Subjektive Bewertung der Schaltgeräusche von Bedienelementen im Kraftfahrzeug**A. Treiber und G. Gruhler*Hochschule Heilbronn*

In modernen Fahrzeugbedienkonzepten wird der Großteil der Funktionen des Fahrzeugs über ein menübasiertes Interface gesteuert. Diese Interfaces verfügen über relativ wenige Bedienelemente, die jedoch relativ häufig betätigt werden müssen. Um gleichzeitig die subjektiv empfundene Qualität des Fahrzeugs und die Bedienungssicherheit des Systems zu steigern, ist die

Qualität sowohl der akustischen als auch der haptischen Rückmeldung der Bedienelemente von Bedeutung. In der vorgestellten Arbeit wurden sowohl reale als auch synthetische akustische Rückmeldungen von rotatorischen Bedienelementen durch Probanden subjektiv beurteilt. Die Subjektiven Beurteilungen werden mit objektiven Messungen verglichen.

Mi. 14:50    Altmarkt

Auditive Wahrnehmung

### **Einfluss der zeitlichen Frequenzveränderung auf die audio-taktile Integration im Fahrzeug**

E. Altinsoy und S. Merchel

*TU Dresden, Inst. für Akustik und Sprachkommunikation*

Im Fahrzeuginnenraum werden Schall sowie Ganzkörperschwingungen gleichzeitig wahrgenommen. Durch Interaktion der beiden Sinnesmodalitäten ergibt sich ein Gesamtfahrzeug-Innenraumeindruck. Diese multimodale Interaktion und Integration zweier Stimuli ist abhängig von unterschiedlichen physikalischen Parametern wie Synchronität, Frequenz, Ort oder Intensität. In vorherigen Untersuchungen wurden sinusoidale Signale sowohl vibratorisch, als auch akustisch wiedergegeben. Damit diese von einer Versuchsperson als ein multimodales Ereignis wahrgenommen werden, darf zum Beispiel ihre Frequenz nur in bestimmten Grenzen voneinander abweichen. Bei solchen Experimenten werden die zu untersuchenden Parameter meist zeitlich konstant gehalten. Aber in der Realität (zum Beispiel im Fahrzeug oder bei musikalischen Darbietungen) verändern sich diese Parameter zeitlich. In diesem Beitrag wird, unter Berücksichtigung bisheriger Studien, der Einfluss der zeitlichen Frequenzänderung auf die audio-taktile Integration untersucht.

Mi. 15:15    Altmarkt

Auditive Wahrnehmung

### **5.1 oder 5.2 Surround - Ist Surround taktile erweiterbar?**

S. Merchel und E. Altinsoy

*TU Dresden, Inst. für Akustik und Sprachkommunikation*

Bei musikalischen Darbietungen wird der Schall vom Hörer oft sowohl auditiv als auch taktile wahrgenommen. Eindrucksvolle Beispiele sind die Pauken im klassischen Konzert, die Orgel in der Kirche oder Rockkonzerte. Dabei regt der Luftschall die Sitzplätze oder die Körperoberfläche direkt zum Mitschwingen an. Es kann (z. B. bei der Orgel) auch direkt Körperschall von der Schallquelle zum Hörer übertragen werden.

Obwohl in der Realität diese taktilen Komponenten wahrnehmbar sind, fehlen sie oft bei der Reproduktion von Musikaufnahmen im Heimbereich. Das liegt zum einen an niedrigeren Pegeln zum anderen am eingeschränkten Frequenzbereich der Wiedergabelautsprecher. Im Surround-Standard ist für die Reproduktion tieffrequenter Effekte ein zusätzlicher Kanal (LFE) vorgesehen. Dieser wird üblicherweise über einen Subwoofer wiedergegeben. Die Reproduktion von taktilen Komponenten ist dabei nur eingeschränkt möglich. Eine Erweiterung des Systems durch einen elektrodynamischen Schwingungserreger zur Wiedergabe von Ganzkörperschwingungen kann sinnvoll sein.

Dieser Beitrag untersucht welchen Einfluss solch eine Erweiterung auf die authentische Reproduktion von Musik hat. Verschiedene Wiedergabemöglichkeiten werden in einem Hörversuch verglichen. Die Ergebnisse werden mit Hinblick einer möglichen Erweiterung für Surroundwiedergabe diskutiert.

Mi. 15:40    Altmarkt

Auditive Wahrnehmung

### **Cross-Modality-Matching von Schall und Ganzkörpervibrationen**

S. Töpken<sup>a</sup>, R. Weber<sup>a</sup> und M. Bellmann<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Universität Oldenburg; <sup>b</sup>itap - Institut für technische und angewandte Physik GmbH

In vielen Situationen ist der Mensch sowohl Schall- als auch Schwingungsreizen ausgesetzt. Gibt es eine Beeinflussung der wahrgenommenen Vibrationsstärke durch ein akustisches Signal? Diese Frage wird im Labor mit Reizkonfigurationen untersucht, bei denen ein Schall- und ein Vibrationssignal dargeboten werden. Die Versuchsperson, die auf einem Schwingstuhl sitzt, hat dabei die Aufgabe, die Vibrationsstärke im Vergleich zur Lautstärke des dargebotenen Schalls zu beurteilen. Bei dem Schall handelt es sich um ein Bandpassrauschen mit der Mittenfrequenz um 100 Hz und einer Bandbreite von einer halben Oktave. Der Pegel des Bandpassrauschens wird konstant gehalten. Das Vibrationssignal mit einer Mittenfrequenz von 31,5 Hz ist ebenfalls ein Schmalbandrauschen. Die Wahl der Signale ist angelehnt an bestimmte Situationen in einem Automobil. Das Schallsignal und das Vibrationssignal haben jeweils eine Länge von einer Sekunde und werden weich ein- und ausgeschaltet. Der Parameter, der im Versuch geändert wird, ist der Zeitversatz, mit der beide Signale dargeboten werden. Er ist so abgestuft, dass die Signale mal nacheinander, mal teilüberlappend und mal vollständig überlappend dargeboten werden. Gemessen wird dann

im Vergleich zur Lautstärke der Punkt gleicher Vibrationsstärke mit einem AFC-Verfahren. Über die Ergebnisse dieser Versuche wird berichtet.

Mi. 16:30 Altmarkt

Auditive Wahrnehmung

### **Die Bedeutung der Laut- und Klangmalerei für die Generierung inter-modaler Bezüge**

M. Haverkamp

*Ford Werke GmbH*

Die Wahrnehmung und Beurteilung von Geräuschen wird wesentlich durch die Beziehung auditiver Reize zu multi-sensuellen Wahrnehmungsobjekten bestimmt, die als Gedächtnisinhalte frühere Wahrnehmungserfahrungen repräsentieren. Für diese Verbindung sind Phänomene der Laut- und Klangmalerei von großer Bedeutung. Lautmalerei oder Onomatopoesie meint die sprachliche Nachahmung von Geräuschen. Lautmalerei spielt bei der kommunikativen Beschreibung von Geräuschen eine wichtige Rolle. So werden z. B. auch in der Fahrzeugakustik Umschreibungen verwendet, die charakteristische Eigenschaften von Geräuschen durch klangliche Nachahmung wiedergeben.

Zum stilbildenden Element wurden lautmalerische Umschreibungen im Comic. So kann die Handlung akustisch bereichert werden. Der auditive Gehalt erschließt sich auch beim stummen Lesen, indem sich die Geräusche als Ereignisse der Vorstellung manifestieren. Obwohl Lautmalereien in der Regel als eingängig und simpel empfunden werden, ist ihr Verständnis das Ergebnis komplexer Informationsverarbeitung, die eine Rücktransformation geschriebener Sprache in elementare Wahrnehmungsobjekte leistet.

Klangmalereien ermöglichen Beschreibungen außermusikalischer Inhalte mit Mitteln der Musik und leisten so einen wesentlichen Beitrag zur Etablierung semantischer Systeme, die in der Opern- und Programmmusik ebenso bedeutsam sind wie bei der Gestaltung von Jingles, Sound-Icons, Warnsignalen und Geräuschkulissen im Film.

Der Vortrag befasst sich mit der Bedeutung der Onomatopoesie für die multi-sensuelle Wahrnehmung und die Etablierung semantischer Inhalte.

Mi. 16:55 Altmarkt

Auditive Wahrnehmung

### **Untersuchung von Farbeinflüssen auf die Lautheit mit einem Einregelverfahren**

D. Menzel, E. Faccinelli und H. Fastl

*AG Technische Akustik, MMK, TU München*

Der Einfluss visueller Reize auf die Lautheit wurde in früheren Experimenten anhand unterschiedlich eingefärbter Standbilder von Personenzügen und Sportwagen mittels freier Größenschätzung untersucht. Die Farbe rot ließ hierbei Geräusche als lauter erscheinen, während hellgrün die beurteilte Lautheit verringerte. Ziel der vorliegenden Studie war es, Farbeinflüsse auf die Lautheit mittels der psychoakustischen Methode des Einregelns genauer zu quantifizieren. Hierbei hatten die Versuchspersonen die Aufgabe, zwei breitbandige Rauschsignale auf gleiche Lautheit einzuregulieren, während synchron rote bzw. grüne Farbflächen dargeboten wurden. Der eingestellte Rauschpegel erwies sich jedoch als unabhängig von der Farbe, was darauf hindeutet, dass während des Vorgangs des Einregelns die auditive Wahrnehmung dominiert. Eine zur Verifizierung unter gleichen Bedingungen durchgeführte Größenschätzung zeigte wiederum tendenziell die aus früheren Untersuchungen bekannten Ergebnisse.

Mi. 17:20 Altmarkt

Auditive Wahrnehmung

### **Crosscultural comparison of colour evaluation using semantic differential**

H. Fastl<sup>a</sup>, T. Rader<sup>a,b,c</sup>, G. van den Boogaart<sup>a,d</sup>, S. Kuwano<sup>b</sup> und S. Namba<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*AG Technische Akustik, MMK, TU München;* <sup>b</sup>*Environmental Psychology, Osaka University, Japan;* <sup>c</sup>*now: Audiolog. Akustik, ZHNO, Klinikum der Univ. Frankfurt;* <sup>d</sup>*now: Multimedia Computing Lab, University of Augsburg*

At same SPL, red trains can be perceived as louder than trains in light green colour (e.g. Fastl, ICA 2004). Since these effects are of importance for sound quality engineering, in a global market it is of vital interest, whether there exist crosscultural differences. Therefore, a basic study was performed both in Germany and Japan, using the method of semantic differential. Two sets of experiments were performed: In one experiment, the subjects got a questionnaire with adjective pairs like beautiful/ugly, dark/bright, pleasant/unpleasant etc, and the name of a colour, e.g. "red", was written on top of the questionnaire. Thus, the subjects had

to answer the semantic differential from their memory of the colour "red". In a second experiment, the subjects were shown colour cards of different colour, and had to perform the semantic differential with the questionnaire again. The results of both experiments were analyzed using factor analysis and cluster analysis, and are discussed in view of two main aspects: 1) Differences between ratings for words of colours versus colour cards, i.e. imagined colours versus real colours. 2) Differences in the rating of German versus Japanese subjects .

Mi. 17:45    Altmarkt

Auditive Wahrnehmung

### **On the visualization and modification of room impulse responses for sound design**

F. Melchior<sup>a</sup> und D. de Vries<sup>b</sup>

<sup>a</sup> *TU Delft / Fraunhofer IDMT*; <sup>b</sup> *TU Delft, Faculty of Applied Physics*

The integration of psycho-acoustic knowledge can enhance the usability of sound design tools. For this purpose a psycho-acoustic layer between the signal processing and the user interface is required to adapt the visualization and interaction tools. In this work the concept is used in an interaction model for impulse responses. To allow a direct shaping of the energy decay curve by the user the inverse curve is calculated. Afterwards an envelope is derived in order to process the room impulse response. This approach is also used for the frequency dependent modification of energy decay relief plots. Using perceptual adapted smoothing windows makes further improvements to the visualization of energy decay relief plots in terms of sound design. This paper describes the extension of an interaction model for impulse responses based on energy decay curves and energy decay relief plots as well as perceptual adapted smoothing windows for visualization improvements.

Mi. 8:30 Raum 1

Elektroakustik II

## **Über das Chaos des breitbandigen Klangbildes von Raumklangkopfhörern - Welches Equalizing für wen mit oder ohne DSP?**

F.M. König

*Ultrasone AG*

Das Abhörmedium Kopfhörer erfuhr in den letzten 30 Jahren Optimierungen in Klang- und Raumabbildung von Hörereignissen. Gerade die portable Stereotonwiedergabe erfreut sich aktuell an Beliebtheit durch mp3-Player oder multifunktionale Handies. Bezüglich Vergleiche von virtuellen, kopfbezogenen zu natürlichen oder realistischen Raumklangabbildungen besteht jedoch immer noch Handlungsbedarf seitens der Reduzierung einer sogenannten Im-Kopf-Lokalisation von Klanggeschehen. Zur Eliminierung solcher Tonwiedergabemängel können u.a. eine sogenannte Frei- und Diffusfeldentzerrung beitragen (Basis: Kunstkopftonaufnahmen). Um im gehobeneren Kopfhörersegment die (3D-) Hörrichtungsinformation zu beeinflussen stehen heutzutage zudem binaurale Filtertechniken (DSP) sowie eine de-zentrale Anordnung von Schallwandlern vor bzw. in den eigentlichen Kopfhörern zur Verfügung. Ferner sind seit gut einem Jahrzehnt Tendenzen auszumachen, dass gerade in der Pop-Musik eine eher der früheren "Loudness-Entzerrung" zu interpretierende Klangbildwiedergabe bevorzugt wird (s. Subwoofer-User). Ausgelöst wurde dies wohl durch "mischende" Musikkünstler, wie Michael Jackson oder Madonna sowie deren in CD's eingegangene Klangfarbenästhetikwünsche. Überdies trug hierzu auch die Kino-Surround-Sound-Beschallung (vgl. THX) zu nennen, welche hohe Ansprüche gerade an die Tiefbasswiedergabe leg(t)en. Kontext dieses Beitrage ist nun eine offene Diskussion, diese o.g. Tendenzen der standardisierten Kopfhörer-Entzerrung bzw. -Entwicklung (s. "Rundfunk-Tonsignal-Linearität") einerseits sowie den neuzeitigen POP-Musik-Sound-Geschmack andererseits mit jenen nötigen, binauralen Hörmerkmalen von Probanden der individuellen Kopfhörer-Entzerrung für u.a. Raumklangzwecke gegenüberzustellen - ein unwegbares Chaos?

Mi. 8:55 Raum 1

Elektroakustik II

**Elektrostatischer Wandler mit nichtebener konvexer oder konkaver Gegenelektrode**Z. Skvor<sup>a</sup> und J. Skvor<sup>b</sup><sup>a</sup>*Elektrotechnische Fakultät, Technische Univ., Prag;* <sup>b</sup>*PC LAB, Prag*

The electrostatic transducer as a microphone has usually a thin circular or square membrane (or plate) and a planar perforated back-electrode parallel to membrane. The membrane area, the number of the vent holes in the back-plate, their dimension and position and the air-gap thickness determine the acoustic impedance of the system, mainly the membrane damping, the frequency response, the pressure sensitivity and the distortion. The paper presents an analytical study of a transducer with a circular diaphragm and the back-plate in the form of a paraboloid of the  $n$ -th order,  $n=2,4,6,\dots$  and having the convex or concave shape. The case of the back-plate with/without the vent holes is discussed. Some experimental results of the transducer as a microphone with a convex shape of the non-perforated back-plate will be presented. (Electrostatic Transducer with a non-planar (convex or concave) Back-plate.)

Mi. 9:20 Raum 1

Elektroakustik II

**Piezeoelektret-Mikrofone mit nicht-planaren Folienstapeln und hoher Kapazität**

J. Hillenbrand, P. Pondrom und G. Sessler

*TU Darmstadt, Institut für Nachrichtentechnik*

Piezeoelektret-Mikrofone zeichnen sich durch einen einfachen Aufbau, große Empfindlichkeiten, sehr kleine Klirrfaktoren und hohe Grenzfrequenzen aus. Die großen Empfindlichkeiten ergeben sich durch die Verwendung von Folienstapeln, was einer elektrischen Reihenschaltung der Einzelfolien entspricht. Damit steigt die Leerlauf-Empfindlichkeit des Mikrofons proportional mit der Folienanzahl an, die Gesamtkapazität des Folienstapels nimmt allerdings umgekehrt proportional mit der Anzahl ab. Somit sind wegen der kapazitiven Spannungsteilung an einem FET-Impedanzwandler maximale Ausgangssignale und Mikrofonempfindlichkeiten zu erzielen, wenn jede Folie neben einer hohen Empfindlichkeit auch eine große Kapazität besitzt und somit auch die Gesamtkapazität des Stapels möglichst hoch wird. Um trotzdem möglichst kleine Mikrofone ohne Richtwirkung bauen zu können, wurden die Folienstapel aufgewickelt und mit einem FET



verbunden. An derartigen Mikrofonen mit unterschiedlicher Folienzahl und Folienfläche wurden Freifeld- und Druckkammer-Messungen durchgeführt. Bei 5-Film-Mikrofonen wurden Empfindlichkeiten von 10 mV/Pa und äquivalente Rauschpegel von 28 dB(A) gemessen.

Mi. 9:45    Raum 1

Elektroakustik II

### **Einsatz von Mikrofonarrays zur Schallfeldanalyse in Fahrzeugen**

M. Strauß, A. Zhykhar und S. Heeg

*Fraunhofer IDMT*

Zur Planung von elektro- oder raumakustischen Maßnahmen in Räumen ist die Verwendung von entsprechenden Simulationsprogrammen gebräuchlich. Für die Überprüfung oder zur Analyse der Schallausbreitungsvorgänge in der Realität sind geeignete Mess- und Bewertungsmethoden vorhanden. Diese Messungen werden meist an einigen wenigen Positionen eines Raumes durchgeführt.

Werden die Raumdimensionen kleiner, verändern sich auch die Eigenschaften des Schallfeldes schneller bzw. kann im akustisch zu untersuchenden Raumbereich die örtliche Veränderung der Schallfeldgrößen ausgeprägter sein. Dann kann eine flächendeckende Erfassung von Schallfeldgrößen sinnvoll werden und wesentlich zur Aussagekraft der Analyse des Schallfeldes beitragen. Unter Berücksichtigung von räumlicher Unterabtastung ist ein, dem zu untersuchenden Frequenzbereich genügend feines, Raster an Messpunkten zu erstellen. Damit gelingt unter anderem eine Darstellung der Ausbreitung und Reflexion des Schalls oder auch die flächenhafte Berechnung verschiedener raumakustischer Parameter. Ein anderes Beispiel für die Notwendigkeit einer räumlich feiner aufgelösten Erfassung ist z.B. die Analyse der Rekonstruktionsqualität von Wellenfronten bei Anwendungen der Wellenfeldsynthese.

Ein praxiserprobter Ansatz zur Durchführung solcher Messaufgaben wurde für die Anwendung in Fahrzeuginnenräumen überarbeitet. Mit Hilfe dieser Methode wurden über den gesamten Innenraum verteilt Impulsantworten für verschiedene Versuchsanordnungen ermittelt. Die Messdaten wurden mit vorhandenen Ergebnissen aus der Schallfeldsimulation verglichen, und zur Abschätzung des Gültigkeitsbereichs der Simulation herangezogen.

Mi. 10:10 Raum 1

Elektroakustik II

**Die Umkehrung parametrischer Schallabstrahlung**T. Merkel*TFH Berlin*

Parametrische Ultraschallstrahler können nicht hörbare, hochfrequente Schallwellen stark gerichtet aussenden. Bei hohen Schalldrücken lassen sich nichtlineare Übertragungseigenschaften der Luft in der Art nutzen, dass ein aufmoduliertes Audiosignal demoduliert wird und in den hörbaren Bereich verschoben wird. Dieses Audiosignal hat trotz seiner viel größeren Wellenlänge eine ähnliche Richtcharakteristik, wie das Trägersignal, man spricht daher von einem Audiobeam. Derartige Lautsprecher haben den Nachteil, dass die Wiedergabe der Tiefen quadratisch mit der Frequenz abnimmt. Der parametrische Effekt in der Luft lässt sich umkehren: Ein nicht modulierter und gerichteter Ultraschall wird im Übertragungsmedium mit Audioschall konfrontiert und mit einem Mikrofon wieder aufgenommen. Es zeigt sich, dass das empfangene Signal moduliert wurde und sich das Audiosignal durch Signalverarbeitung wiedergewinnen lässt. Es werden Experimente mit verschiedenen Messanordnungen vorgestellt und die Ergebnisse zur Diskussion gestellt.

Mi. 14:00 Raum 1

Akustische Messtechnik I

**Software-basierte Live Sound Messungen**E. Finder, W. Ahnert, S. Feistel und R. Miron*AFMG Ahnert Feistel Media Group*

Nach einer kurzen Einführung der Meßsoftware EASERA wird eine neue Meßmethode dargestellt, bei der zur Anregung des Meßobjektes nicht nur klassische Sweep- oder MLS-Signale, sondern Sprach- und Musiksignale zur Anwendung kommen. Durch Verwendung eines solchen neuen Tools wird es möglich, auch mit externen Anregungen im Live-Modus zu arbeiten. Dabei werden Referenzsignale direkt von einem Ausgang eines Wiedergabegerätes, aber alternativ auch von einem Referenzmikrofon abgenommen. Das Meßsignal wird dann einer Echtzeitentfaltung RTD mit hoher Aktualisierungsrate unterzogen, so daß Impulsantworten oder komplexe Übertragungsfunktionen direkt erhalten werden. Neuartige Rauschunterdrückungsalgorithmen erlauben es, daß Impulsantworten bis zu 10s Länge auch in besetzten Hallen oder Stadien abgeleitet werden können. Als Beispiele werden Falluntersuchungen in einem Stadion und in der Frauenkirche Dresden erläutert. Die notwendigen Meßbedingungen und die Grenzen des Verfahrens werden dargelegt.

Mi. 14:25 Raum 1

Akustische Messtechnik I

**Measuring Loudspeaker Distortion at Highest Speed**

S. Irrgang

*Klippel GmbH*

Distortion measurements of loudspeaker are an important signature of the quality of loudspeakers. Within the design phase of the driver usually no time restriction apply. Contrary, during mass production it is highly desirable to assess all produced speakers (100% testing rate). This requires optimized algorithms for highest speed testing. A comparison will be presented of testing harmonic distortion using fast step sine, continuous linear and logarithmic sweeps (vs. frequency) against steady state tests. The advantages of using logarithmic sweeps are discussed and it will be shown that the required time for testing distortion is no longer restricted by the applied equipment but by the physics of distortion generation. Using the presented technique, a full band speaker test (20Hz-20kHz) can be performed within a fraction of a second.

Mi. 14:50 Raum 1

Akustische Messtechnik I

**New Developments in Mobile Phone Testing**

F. Kettler, S. Dyrbusch, S. Poschen und N. Rohrer

*HEAD acoustics GmbH*

A comprehensive speech quality test of mobile phones needs to cover all conversational aspects. The single talk situation in both directions needs to be addressed; echo and double talk performance tests are necessary and the quality of background noise transmission. Today's speech quality tests are suitable to measure the performance of mobile phones in detail and to provide the necessary information for quality improvement. However, new developments in mobile phone testing extend this field by applying more perception oriented analysis methods. The intention is not to substitute the technical analysis methods available today, it more a completion by linking the technical parameters to perception adequate analyses. The combination of these measurements is discussed in this contribution. Practical examples are shown.

Mi. 15:15 Raum 1

Akustische Messtechnik I

**VoIP meets DECT**N. Rohrer, F. Kettler und C. Landauer*HEAD acoustics GmbH*

Strong marketing activities can currently be observed from nearly all network providers to promote integrated VoIP communication for private customers. IADs (Integrated Access Devices) provide voice and data access over IP together with digital ISDN S0 interfaces or analog telephone adapters for users to connect their accustomed private telephone. A typical interaction problem arises: analog or digital DECT phones often do not provide a sufficient echo attenuation. These have not been "really" disturbing in the past when this telephone was connected to the public switched telephone network because relatively low delays occur in these connections. If parts of the connection are now substituted by VoIP links with its typical long delays, significant echo disturbances now arise even both subscribers still use their common telephone set as they did before. Echo cancellation implemented in IADs is not capable to cancel these acoustical DECT echoes. The processing window length can often not cover the DECT delay. This aspect is of particular importance and can not be ignored by operators and manufactures: about 90% of telephone users in Germany use DECT phones. These interaction problems are discussed using typical test results.

Mi. 15:40 Raum 1

Akustische Messtechnik I

**Erweiterung des nutzbaren Dynamik- und Frequenzbereichs**R. Nerche*Brüel & Kjaer GmbH*

Es werden zwei neue Entwicklungen im Bereich der Signalanalyse vorgestellt. Ein neues Eingangsmodulkonzept das einen Dynamikbereich von 160 dB ermöglicht. Dieser hohe Dynamikbereich wird durch ein einzigartiges Hardwarekonzept, die sogenannte Dyn-X - Technologie, basierend auf zwei unabhängigen A-D Wandlern, ermöglicht. Damit werden Übersteuerungen und ungültige Messungen auf Grund eines falschen Eingangsspannungsbereiches vermieden. Des weiteren wird die Req-X - Technologie vorgestellt. Durch dieses Verfahren ist es uns nun möglich den nutzbaren Frequenzbereich von Sensoren zu erhöhen. Weiterhin lassen sich die Frequenzgänge von Mikrofonen und Beschleunigungssensoren in der Analyse berücksichtigen.

Mi. 16:30 Raum 1

Akustische Messtechnik I

**Einfluss der rasanten Entwicklung der Elektronik auf die akustische Messtechnik am Beispiel der Personen-Dosimetrie**O. Alberts*Cirrus Research plc*

Mit der Direktive 86/188/EWG zur Messung des Lärms am Arbeitsplatz erhielt die Personen-Dosimetrie in Europa einen höheren Stellenwert. Zwar gab es auch vorher Geräte, die derartige Messungen ermöglichten, aber ihre Anwendung war gering. Nun wurden "Dosimeter" von verschiedenen Herstellern auf den Markt gebracht. Ihre generellen Nachteile waren ihre Größe sowie das Kabel zwischen Mikrofon und Gerät, die den Träger häufig bei der Arbeit störten. Mit dem doseBadge entstand ein kleines Dosimeter ohne Kabel und Tasten, das zunächst nur ein simpler Erfasser des  $L_{eq}$  war. Mit der Entwicklung neuer Mini-Akkus und der zunehmenden Verkleinerung elektronischer Bauelemente entwickelte sich daraus ein komplexes Messsystem bis hin zum ex-Schutz. Damit ist es möglich, auch an sensiblen Messorten nahezu völlig störungsfrei die Einhaltung von Vorschriften korrekt zu überwachen, wobei Forderungen nach der gleichzeitigen Erfassung global unterschiedlicher Parameter erfüllt werden.

Mi. 16:55 Raum 1

Akustische Messtechnik I

**Impulsquellen zur Nachhallzeitmessung**S. Goossens*Institut für Rundfunktechnik GmbH*

Bei der Messung der Nachhallzeit wird durch Anregung des Raumes mit einer Impulsquelle (z.B. Pistolenschuss) gegenüber der Anregung mittels Lautsprecher der Aufwand erheblich reduziert. Allerdings muss der Impuls den jeweiligen Raum auch bei tiefen Frequenzen ausreichend anregen, damit für die unteren Terzbänder des Messbereichs die Nachhallzeit zuverlässig ermittelt werden kann. Es wurden die durchschnittlichen Anregungsspektren zweier Signalpistolen (Kaliber 9mm und 6mm), einer Holzklappe und eines zerplatzenden Folienkissens im Freifeld ermittelt. Daraus kann unter Berücksichtigung des Grundgeräuschspektrums (Grenzkurve), des Raumvolumens sowie der erwarteten Nachhallzeit das unterste Terzband bestimmt werden, für das eine zuverlässige Messung der Nachhallzeit bei Impulsanregung möglich ist. Die Ergebnisse der vier Impulsquellen werden für drei Raumgruppen (kleine, mittlere und große Räume) vorgestellt.

Mi. 17:20 Raum 1

Akustische Messtechnik I

**Sonderhallräume nach DIN EN ISO 3743-2**H.-J. Milz*G+H Schallschutz*

Hallräume bieten die Möglichkeit, unabhängig von der Richtcharakteristik der Quelle, aus dem Diffusfeldspektrum und dem Nachhallzeitspektrum das Schallleistungsspektrum der Quelle zu bestimmen.

Sonderhallräume nach DIN EN ISO 3743-2 erlauben die Schallleistungsbestimmung direkt aus dem Diffusfeldspektrum unter Verwendung einer konstanten Nenn-Nachhallzeit.

Dieses sehr schnelle Messverfahren (bei dem die Messung der Nachhallzeit entfällt) erfordert im Gegenzug besondere akustische Eigenschaften des Messraumes.

Insbesondere muss das Nachhallzeitspektrum innerhalb eines schmalen Toleranzbandes liegen.

Im Vortrag werden die Rahmenbedingungen dargestellt und die Realisierung und die notwendigen Hilfsmittel beschrieben.

Mi. 17:45 Raum 1

Akustische Messtechnik I

**Experimental Evaluation of Transfer Matrices of Multi-Port Mufflers**B.K. Bachner*Augsburg*

Experimental methods for determining acoustic properties of flow duct components are well-established techniques in the design process of automotive exhaust systems. For describing plane wave acoustic transmission characteristics of a muffler, the significant quantity is the so-called transfer matrix. While recent publications focus on improving measurement accuracy particularly at high flow velocities, they are restricted to the case of two-port elements. The term two-port element is related to a muffler with only one inlet and one outlet. However, engines with high mass flow rates are often equipped with dual flow exhaust systems, containing mufflers with more than two ports. There is thus a need to extend the current measuring techniques to the case of multi-port elements. A mathematical formulation of the problem is presented that allows the experimental determination of the transfer matrix of such elements. Based on an over-determination on two aspects - multiple microphone and multiple source location technique - the proposed procedure includes current measurement techniques for transfer matrices. The method has been applied

to a simple four-pole muffler and results are presented for the case without mean flow.

Mi. 18:10 Raum 1

Akustische Messtechnik I

### **Zum Einfluss der Anregung auf das Schwingverhalten elektrisch-akustischer Oszillatoren**

A. Peter<sup>a</sup>, S. Vassileva<sup>b</sup> und L. Zipser<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH)*; <sup>b</sup>*Institute of Control and Systems Research, Sofia*

Auf der Basis elektrisch-akustischer Oszillatoren können robuste industrietaugliche Sensoren für zahlreiche Messgrößen wie Temperatur, Gaszusammensetzung, Volumen, Abstand u.s.w. entwickelt werden. Bei diesen Sensoren werden Schallwellen in einem definierten Messraum elektrisch angeregt und erfasst. Zur Auswertung kommt beim frequenzanalogen Messverfahren die Oszillatorfrequenz  $f_{Oz}$ . Diese ist im Idealfall direkt bzw. indirekt linear über eine Oszillatorkonstante  $k$  mit der Messgröße  $MG$  verknüpft ( $f_{Oz} = k \cdot MG$  bzw.  $f_{Oz} = k \cdot MG^{-1}$ ). Es zeigt sich jedoch, dass die Art der Anregung und Erfassung erheblichen Einfluss auf die gewünschte Messgrößenempfindlichkeit, die Dynamik, das Messfehlerverhalten und die zulässigen Umgebungsbedingungen hat.

Im Beitrag werden diese Zusammenhänge theoretisch und experimentell untersucht und dabei die Möglichkeiten und Grenzen der Entwicklung elektrisch-akustischer Sensoren aufgezeigt und diskutiert. Als Grundlage dafür dienen abstrakte Systemmodelle, Simulationen und Messungen an vereinfachten Labormustern.

Mi. 8:30 Raum 2

Wideband Speech Revisited

### **Wie gut ist breitbandige Sprachübertragung wirklich? Ein Lagebericht zur Erweiterung des E-Modells**

S. Möller<sup>a</sup>, N. Côté<sup>b</sup>, M. Wältermann<sup>a</sup> und A. Raake<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Deutsche Telekom Laboratories, TU Berlin*; <sup>b</sup>*France Télécom R&D*

Breitbandige Sprachübertragung ermöglicht gegenüber derjenigen im Standard-Telefonband (300-3400 Hz) eine bessere Sprachübertragungsqualität. Auf einer Gesamt-Qualitätsskala, die insbesondere in der Netzplanung Verwendung findet, wurde der Qualitätsvorsprung für das definierte Breitband 50-7000 Hz mit knapp 30% angegeben. Jedoch ist bislang noch völlig unklar, in welchen Situationen dieser Vorsprung tatsächlich besteht. So kann er durch niederbitratige Kodierverfahren oder andere Störungen zunichte gemacht werden, sodass breitbandige

Sprachübertragung unter Umständen schlechter als eine ungestörte ISDN-Schmalbandübertragung ist. Auch ist nicht klar, ob noch größere Bandbreiten einen weiteren Qualitätszuwachs erlauben.

In diesem Beitrag soll zunächst versucht werden, den Qualitätsvorsprung breitbandiger Sprachübertragung auf einer Gesamt-Qualitätsskala zu verorten. Dabei werden verschiedene Einflussfaktoren beleuchtet: Kontrast zwischen breitbandiger und schmalbandiger Übertragung im direkten oder indirekten Vergleich innerhalb eines Versuches, Störungen schmalbandiger und breitbandiger Verbindungen durch Kodierer, sowie Bandbreiten-Qualitätsfaktoren, wie sie von Raake (2006) vorgestellt wurden. Für einzelne dieser Faktoren werden Zahlenwerte sowie auditiv oder instrumentell basierte Verfahren zu ihrer Ableitung angegeben. Im Ausblick wird der Beitrag in Zusammenhang zu anderen Arbeiten auf diesem Gebiet gesetzt, die letztendlich die Entwicklung eines parametrischen Modells für breitbandige Sprachübertragung, ein sogenanntes Breitband-E-Modell, anstreben.

Mi. 8:55    Raum 2

Wideband Speech Revisited

### **Predicting Speech Quality under Noise for a Wideband E-model**

J.-P. Ramirez, A. Raake, M. Wältermann und S. Möller  
*Deutsche Telekom Laboratories, TU Berlin*

A survey was performed in order to assess the impairment due to circuit noise in wideband telephony (50-7000 Hz). The aim is to develop a model similar and/or complementary to the narrow-band E-model (ITU-T Rec. G.107, 2005), assessing a user's opinion of the overall quality in wideband speech transmission. The present study discusses the results of a wideband listening-only test. It is shown that in noisy conditions, quality of wide- and narrow-band transmission are rated in a very similar way. However, as opposed to the narrow-band case, a high- and a low-quality area can be differentiated, showing different sensitivity of speech quality to noise level increments. Based on our findings, we propose a model of the relationship between users' quality ratings (expressed on the wideband R-scale recently defined for the E-model, which ranges from 0 to 129) and the signal-to-noise ratio in wideband speech transmission. Following the same line of thoughts used by the narrow-band E-model, the signal-to-noise ratio can be calculated from the same underlying parameters such as the loudness rating and the circuit noise levels.



Mi. 9:20 Raum 2

Wideband Speech Revisited

**Assessment of Different Loudness Models for Perceived Speech Quality**N. Côté<sup>a</sup>, V. Gautier-Turbin<sup>a</sup>, S. Möller<sup>b</sup> und A. Raake<sup>b</sup><sup>a</sup>*France Télécom R&D*; <sup>b</sup>*Deutsche Telekom Laboratories, TU Berlin*

Quality of transmitted speech is based on auditory perception and judgment processes. In a listening test, a subject compares the speech stimulus (i.e. the related auditory event) to an internal reference. This internal reference may be decomposed into several perceptual dimensions which correspond to attributes of the speech quality. The influence of loudness as an attribute of the speech intelligibility was well studied for eighty years [e.g. H. Fletcher]. However, modeling of loudness is still a topic under study. As a result, only few evidence exists on the impact of loudness on the overall quality of transmitted speech. To assess the quality of speech stimuli, auditory experiments are commonly carried out where stimuli are normalized to the same active speech level. This speech level is set to 79 dB SPL for a monaural presentation. After a brief description of loudness models amongst which the one used in the parametric quality prediction model "E-model" [ITU-T, Rec. G.107], we will describe the derivation of auditory loudness impairment factors ( $I_{e,loud}$ ) based on results of an overall quality auditory experiment. Using several loudness models, we will compare the estimated loudness impairment factors to the auditorily derived ones, for narrow-band and wideband transmission scenarios.

Mi. 9:45 Raum 2

Wideband Speech Revisited

**Ein neuer Qualitätsfaktor für die Modellierung linearer Verzerrungen bei der Übertragung von Sprache**

M. Wältermann und A. Raake

*Deutsche Telekom Laboratories, TU Berlin*

Die Qualität übertragener Sprache lässt sich mit dem sog. E-Modell vorhersagen, einem von der ITU-T empfohlenen Werkzeug für die Netzwerkplanung. Dieses parametrische Modell berücksichtigt verschiedene Klassen von Störungen, die potentiell zu einer Reduktion der Ende-zu-Ende Qualität führen. Diese Störungsklassen werden durch Qualitätsfaktoren, sog. *Impairment Factors* repräsentiert, die sich auf einer Gesamtqualitätsskala

aufsummieren lassen. Verzerrungen aufgrund von verschiedenen Kodierern werden z.B. unter dem sog. *Equipment Impairment Factor* zusammengefasst.

In der aktuellen Version des E-Modells sind Qualitätsvorhersagen von linearen Verzerrungen, wie sie etwa durch mangelhafte elektro-akustische Eigenschaften von Endgeräten entstehen, nicht möglich. Ebenso wird die Qualitätsbeeinträchtigung von Schmalband gegenüber Breitband-Sprachübertragung (50-7000 Hz) lediglich implizit durch den *Equipment Impairment Factor* abgedeckt. Werden allerdings zwei Schmalband-Kodierer in einem Breitband-Kontext miteinander verknüpft, führt dies zu einem übermäßig großen Gesamt-*Impairment* aufgrund der Addition der Einzelfaktoren.

In diesem Beitrag wird ein neuer Qualitätsfaktor vorgestellt, mit dessen Hilfe lineare Verzerrungen explizit berücksichtigt werden. Dieser sog. *Bandwidth Impairment Factor* wird auf der Grundlage zweier einfacher Parameter aus der "Übertragungsfunktion" der Telefonstrecke geschätzt. Die Aufspaltung herkömmlicher *Equipment Impairment Factors* in einen linearen und einen Restanteil erlaubt eine nahtlose Erweiterung des bestehenden Modells und die Vorhersage des Einflusses von Kanalfiltern, Endgeräten und Kodierern.

Mi. 10:10    Raum 2

Wideband Speech Revisited

### Testing Wideband Terminals

S. Poschen<sup>a</sup>, F. Kettler<sup>a</sup>, A. Raake<sup>b</sup> und S. Spors<sup>b</sup>

<sup>a</sup>HEAD acoustics GmbH; <sup>b</sup>Deutsche Telekom Laboratories, TU Berlin

Wideband speech transmission is likely to come up in the near future, leading to an extension of the transmitted frequency range from 300-3400 Hz (narrowband) to 50-7000 Hz or beyond. Wideband-capable phones are under development, the network infrastructure is moving towards the inclusion of wideband speech coders and an interoperation with wideband terminals. Consequently, there is a high demand for testing in order to ensure high speech quality for these scenarios, both for the network side (choice of speech coders, tandem operation, etc.) and for the terminals. It can be assumed that the acceptance of wideband communication will highly depend on the service quality perceived by the users. There are only very rudimental test specifications for wideband terminals available now. Requirements are often unknown due to a lack of subjective test results. This

contribution discusses new procedures and requirements for wideband terminal testing. Subjective test results and new measurement approaches are introduced and discussed in the light of practical examples.

Mi. 14:00 Raum 2

Wideband Speech Revisited

### **Beyond Wideband Telephony - Bandwidth Extension for Super-Wideband Speech**

B. Geiser und P. Vary

*RWTH Aachen, Inst. für Nachrichtengeräte und Datenverarb.*

Driven by the market success of high-quality Voice over IP technology, the introduction of wideband telephony with an acoustic bandwidth of at least 7 kHz is meanwhile also foreseen for "traditional" digital voice communication services such as ISDN, DECT, or UMTS. While wideband speech addresses the basic requirement of intelligibility (even for meaningless syllables), the perceived "naturalness" and the experienced "quality" of speech can be further enhanced by providing an even larger acoustic bandwidth. Thus, the next logical step towards true "Hi-Fi Telephony" could be the rendering of "super-wideband" speech signals with an acoustic bandwidth of at least 14 kHz.

In this contribution, we review previous and current standardization activities with this focus. Moreover, a method for artificial bandwidth extension (BWE) of wideband speech signals towards "super-wideband" is presented and evaluated. It is shown that improved naturalness and speech quality can be attained by a purely receiver-based modification of wideband terminals.

Mi. 14:25 Raum 2

Wideband Speech Revisited

### **Speaker- and Language Dependency of Artificial Bandwidth Extension**

P. Bauer<sup>a</sup> und T. Fingscheidt<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Braunschweig Technical University;* <sup>b</sup>*TU Braunschweig, Institute for Communications Technology*

Artificial bandwidth extension techniques can be employed in mobile terminals to improve the intelligibility and quality of the far-end speaker's speech signal at the receiver. To accomplish this, usually statistical models are trained requiring wideband speech material from the conversational partner, or at least from the language that is expected to be used in the conversation. In practice however, both, the speaker and language of a certain phone conversation are not known to the user equipment. Therefore we investigated the performance of an HMM-based multilingually

trained artificial bandwidth extension on speech signals of which the speaker and language were unseen in training. The cross-language training and test turned out to cause only minor degradations compared to the use of monolingually trained acoustic models of the language used in test. The experimental results further showed that both of these speaker-independent methods could even keep up with the speaker-dependent technique to a large extent. Our findings indicate that artificial bandwidth extension can be efficiently trained with speaker- and language-independent speech data without significant losses in speech intelligibility and quality.

Mi. 14:50    Raum 2

Wideband Speech Revisited

### **Speech quality of wide- and narrowband codecs: Object- and subject-oriented view**

A. Raake<sup>a</sup>, S. Spors<sup>a</sup>, H.-J. Maempel<sup>b</sup>, T. Marszalek<sup>b</sup>, S. Ciba<sup>b</sup> und N. Côté<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Deutsche Telekom Laboratories, TU Berlin; <sup>b</sup>TU Berlin, Fachgebiet Audiokommunikation; <sup>c</sup>France Télécom R&D

We describe an extensive auditory test series on the perceived quality of standardized (e.g. ITU-T Rec. G.722.2) and non-standardized speech coders (e.g. linear PCM) under different network conditions. This research consists of an object- and a subject-oriented part:

In the object-oriented part, we have addressed the impact of technical factors on perceived speech quality. In the listening test series, speech quality was assessed under a variety of degradation types such as coding under background noise, packet loss, and narrowband and wideband codec-tandeming conditions. The test results are discussed in the light of existing and new approaches to parametric quality prediction, such as the existing ideas for a wideband-E-model.

In the subject-oriented part, we have investigated the impact of subject-related factors on speech quality. To do so, we have recruited our test subjects from a wide range of different user and age groups. In addition to subjective quality ratings, we have collected subject-related information on the subjects' experience with technology and their social background, and have investigated their hearing capabilities.

The relative importance of the different technological and social factors is discussed as well as the implications for predicting the speech quality of wideband speech services.

Mi. 15:40 Raum 2

Metrologie in der Akustik

**Metrologische Aspekte in der angewandten Akustik**V. Wittstock*Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig*

Direkte Messgrößen der angewandten Akustik sind üblicherweise die akustischen Feldgrößen, meist der Schalldruck aber auch die Schallschnelle oder die Schallintensität. Der Schalldruck wird dabei mit Messgeräten bestimmt, die auf das nationale Normal rückführbar und häufig auch geeicht sind. Bei der Messung der Schallintensität und auch der Schallschnelle ist eine solche Rückführung nur mittelbar gegeben, da heute meist Druckgradienten mit zwei Mikrofonen gemessen und speziell ausgewertet werden. Auf die interessierenden Größen wie z.B. die Schallleistung, die Schalldämmung, den Expositionspegel oder den Absorptionsgrad wird aus den gemessenen Feldgrößen geschlossen, indem festgelegte, oft genormte Bestimmungsverfahren Anwendung finden. In diesen Verfahren werden die Randbedingungen, z.B. die Verwendung spezieller Messräume, die Anwendung von Mittelungsprozeduren, wie auch alle Auswertgleichungen festgelegt. Aus metrologischer Sicht bedeutet dies, dass die Definition der interessierenden Größen über das Ermittlungsverfahren erfolgt. Zwangsläufig führen dann auch verschiedene Verfahren auf verschiedene Zahlenwerte für Größen, die in ihrem Namen nicht unterschieden werden. Besonders bei der Nachprüfung von gesetzlichen Anforderungen ist dies nur schwer hinnehmbar. Einen Ausweg stellt hier die Verwendung einheitlicher Definitionen, z.B. durch die Festlegung von Referenzverfahren, und eine korrekte Ermittlung der Unsicherheiten dar. Auf die aktuellen Aktivitäten auf diesem Gebiet wird im Vortrag eingegangen.

Mi. 16:05 Raum 2

Metrologie in der Akustik

**Die Berücksichtigung von Messunsicherheit und Toleranzen bei Konformitätsaussagen nach akustischen Normen**T. Fedtke und D. Ratschko*Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig*

Im Jahre 2003 wurde durch das Technische Komitee ISO/TC 43 "Acoustics" beschlossen, dass in seinen Bereich fallende Normen geeignete Informationen und Anleitungen zur Ermittlung der Messunsicherheit enthalten sollen. Damit wurde der Anforderung aus der Norm ISO/IEC 17025 zur Kompetenz von Laboratorien

entsprochen, dass alle Prüf- und Kalibrierlaboratorien in der Lage sein müssen, die Unsicherheit ihrer Messergebnisse abzuschätzen. Grundsätzlich soll der "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement" (GUM) für die Messunsicherheitsbetrachtungen herangezogen werden. Dieses Prinzip wurde auch in die einschlägigen Normen des Technischen Komitees IEC/TC 29 "Electroacoustics" übernommen. Weiterhin enthalten die aktuellen Akustik-Normen Angaben über höchstzulässige Messunsicherheiten, die für den Nachweis der Konformität mit der jeweiligen Norm von den Kalibrier- und Prüflaboratorien eingehalten werden müssen.

Bei Konformitätsaussagen entsteht damit ein kompliziertes Zusammenspiel von höchstzulässiger und tatsächlicher Messunsicherheit des Messprozesses mit den Toleranzen (Grenzabweichungen) für die zu testenden Eigenschaften eines Prüflings. Verschiedene Betrachtungsweisen können hier leicht zu Missverständnissen und Inkonsistenzen führen, insbesondere wenn eine solche Aussage in mehrstufigen Prüfverfahren, wie z.B. Baumusterprüfung und anschließender periodischer Test, verwendet wird, bei denen sich die tatsächlichen Messunsicherheiten unterscheiden.

Die Problematik wird an Beispielen aufgezeigt, und die Vor- und Nachteile verschiedener Herangehensweisen werden erläutert.

Mi. 16:30    Raum 2

Metrologie in der Akustik

## **Die neuen IEC Normen für die Verwendung, Kalibrierung und Charakterisierung von Ultraschallhydrophonen**

V. Wilkens

*Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig*

Kürzlich wurde die neue Norm IEC 62127 mit den drei Teilen für die Verwendung, die Kalibrierung und die Charakterisierung von Ultraschallhydrophonen für den Frequenzbereich bis 40 MHz veröffentlicht. Dieses umfangreiche Werk ersetzt und vereinheitlicht mehrere Vorgänger. Im Vortrag werden die neue Struktur erläutert und Details diskutiert. Eine wesentliche inhaltliche Neuerung besteht in der nun möglichen Impulsentfaltung zur Kompensation der Übertragungsfunktion nichtidealer Hydrophone bei der Messung nichtlinear aufgestellter breitbandiger Impulse, wie sie zum Beispiel bei medizinischen Sonographiegeräten auftreten. Wie der dazu im allgemeinen benötigte Phasengang eines Hydrophons ermittelt werden kann, wird im Normenteil zur Kalibrierung beschrieben. Während jedoch für das konventionelle Verfahren der Hydrophonsignalauswertung bei der Verwendung des

kalibrierten Hydrophons die bekannten, recht genauen Bedingungen übernommen werden konnten, gibt es für die Impulsentfaltungsmethode bislang wenig praktische Erfahrung und daher noch keine detaillierten Vorgaben, z. B. bezüglich des dabei zu verwendenden Frequenzbereiches in Abhängigkeit von der spektralen Verteilung des zu messenden Signals. Bei der Verwendung von sehr breitbandigen Hydrophon-Vorverstärkersystemen kann es ferner notwendig sein, die Bandbreite durch Tiefpassfilterung nachträglich einzuschränken, um numerische Artefakte bei der Entfaltung und zusätzliches hochfrequentes Rauschen zu minimieren. Praxisnahe allgemeinen Regeln sind hier für zukünftigen Ausgaben wünschenswert.

Mi. 16:55    Raum 2

Metrologie in der Akustik

### **Messverfahren zur technischen Qualitätssicherung in der Ultraschalldiagnostik**

K.-V. Jenderka

*Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig*

Die Ultraschalldiagnostik nimmt seit vielen Jahren ständig in ihrer Bedeutung zu. Dies äußert sich nicht nur in der ständig wachsenden Zahl von abgerechneten Anwendungen, sondern auch in positiven Wachstumsraten bei einem der umsatzstärksten Zweige im Bereich der Medizintechnik. Bei dieser Präsenz rückt verstärkt die Anwendungssicherheit (direkter Schutz von Patient und Untersucher) und die diagnostische Sicherheit (Ergebnis der Befundung und deren Konsequenzen, Rechtssicherheit des Untersuchers) in den öffentlichen Blickpunkt. Neben der erforderlichen Ausbildung und Erfahrung der Ärzte ist die technische Qualität der Ultraschallsysteme ein wesentlicher Aspekt der diagnostischen Sicherheit. Dabei ist auch die zunehmende Anwendung der Sonographie zur Messung nicht zu vernachlässigen (z. B. für die Bestimmung von Distanzen, Volumen und Flussgeschwindigkeiten). Dem gegenüber steht, dass es derzeit keine verbindlichen Vorschriften und Richtlinien für eine kontinuierliche Prüfung der Funktion und Abbildungseigenschaften der Geräte im Sinne einer Konstanzprüfung gibt. Um ein durchgängiges System zur technischen und diagnostischen Qualitätssicherung zu etablieren, sind geeignete Messverfahren auszuwählen und zu prüfen. Wichtige Aspekte sind dabei die Stabilität, Genauigkeit und Handhabbarkeit der Verfahren. Im Sinne einer breiten Akzeptanz

spielen auch Effizienz und Kosten eine Rolle. Der Beitrag stellt eine Reihe verfügbarer Lösungen und denkbarer Ansätze im breiten Spektrum von einfach und schnell bis hochgenau und teuer vor.

Mi. 17:20 Raum 2

Metrologie in der Akustik

### **Quantitative Schallfeldmessungen mit refraktometrischer Tomographie in flüssigen und festen, transparenten Medien**

L. Bahr, M. Kaltenbacher und R. Lerch

*Lehrstuhl für Sensorik, Universität Erlangen-Nürnberg*

Bei dem Messverfahren der refraktometrischen Tomographie wird der optische Weg des Laserstrahls eines Interferometers, das ein Schallfeld durchstrahlt, ausgewertet. Der Brechungsindex (engl. refractive index) und damit verknüpft die Ausbreitungsgeschwindigkeit und der optische Weg des Laserlichts sind eine Funktion des absoluten Drucks im Medium. Die durchstrahlte Schalldruckverteilung verändert also den optischen Weg gegenüber dem Wert bei Ruhedruck. Durch Radon-Transformation gehen die gesuchte Schalldruckverteilung und die gemessenen Interferometersignale ineinander über. Für eine quantitative Analyse muss der Schalldruck tomographisch aus den Interferometersignalen rekonstruiert werden. In unserem Messaufbau verwenden wir ein Einpunkt-Laservibrometer, das über Linearverfahrenheiten das Schallfeld abscannt. Die tomographische Rekonstruktion der Daten findet an einem PC statt. Messergebnisse des Verfahrens in Wasser wurden bereits vorgestellt (L. Bahr, R. Lerch. Beam Profile Measurements Using Light Refractive Tomography. IEEE Trans. Ultrason. Ferr. Freq. Contr., accepted). Diese stimmen mit Hydrophonmessungen gut überein. Der Fokus dieser Präsentation liegt auf Ergebnissen von Messungen in anderen transparenten Medien, insbesondere in einem Polyurethanprobenkörper, in dessen Innerem die Schallfeldverteilung mit Hydrophonen nicht gemessen werden kann. Die gewonnenen Schallfelder werden Finite-Elemente Schallfeldsimulationen gegenübergestellt. In einer separaten Messung werden die nötigen Materialparameter, d.h. Dichte, Dämpfung und Schallgeschwindigkeit, bestimmt. Als Randbedingung für die Simulation dient das Geschwindigkeitsprofil des Ultraschallwandlers.



Mi. 17:45 Raum 2

Metrologie in der Akustik

**Kalibrierung von Vibrationsaufnehmern im Tieffrequenzbereich**C. Hof*Bundesamt für Metrologie METAS (CH)*

Zur Messung von Erschütterungen und zur Beurteilung von abgestrahltem Körperschall werden in der Praxis relativ schwere Vibrationsaufnehmer verwendet. Das Gewicht dieser Aufnehmer (von typischerweise 1-2 kg) wird durch ihre Bauart bestimmt, welche einerseits eine hohe Empfindlichkeit (und Dynamik) im Bezug auf die zu messenden Signale ermöglichen soll, andererseits aber auch unempfindlich gegen Beschädigungen bei der praktischen Handhabung sein soll. Bei der Kalibrierung solcher Aufnehmer werden diese mit Hilfe eines elektromechanischen Erregers in eine bekannte, harmonische Bewegung versetzt und das dabei durch sie erzeugte elektrische Signal gemessen. Grundsätzlich hat eine harmonische Bewegung drei translatorische und drei rotatorische Freiheitsgrade. Man möchte jedoch bei der Kalibrierung die elektromechanisch erzeugte Bewegung auf einen Freiheitsgrad einschränken. Konkret möchte man idealerweise eine lineare, sinusförmige Bewegung erzeugen, die frei von Kipp- und Drehbewegungen ist. Nur so können neben der Aufnehmerempfindlichkeit zum Beispiel auch dessen Querempfindlichkeiten gemessen werden. In diesem Beitrag werden dabei auftretende Probleme und verschiedene Lösungsansätze diskutiert.

Mi. 18:10 Raum 2

Metrologie in der Akustik

**Messtechnische und theoretische Untersuchungen zum Einfluss von Massebelastungen auf den Übertragungskoeffizienten von Beschleunigungsaufnehmern der Back-to-Back-Bauform**A. Täubner, H.-J. Schlaak und T. Bruns*Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig*

Messtechnische und theoretische Untersuchungen zum Einfluss von Massebelastungen auf den Übertragungskoeffizienten von Beschleunigungsaufnehmern der Back-to-back-Bauform

Mit der Einführung von Beschleunigungsaufnehmern der Back-to-Back-Bauform als Bezugsnormale zur Vergleichskalibrierung von Beschleunigungsaufnehmern entstand das Problem, den Übertragungskoeffizienten solcher Bezugsnormale für anwendungsbezogene Massebelastungen zu bestimmen. Die Beschleunigungsaufnehmer-Normale der Back-to-Back-Bauform

sind dadurch gekennzeichnet, dass das seismische System an der Top-Fläche des Aufnehmers befestigt ist. Für die Vergleichskalibrierung wird dann ein Beschleunigungsaufnehmer-TransfERNormal auf der Topfläche eines primärkalibrierten Beschleunigungsaufnehmer-Bezugsnormalen befestigt. Die Topfläche ist damit die Referenzfläche der Anregungsbeschleunigung bei der Vergleichskalibrierung. Für Untersuchungen zum Einfluss von Massebelastungen auf den Übertragungskoeffizienten wurden auf die Top-Fläche des Aufnehmer spezielle, in der PTB gefertigte Belastungsmassen montiert und mit einem zweikanaligem Heterodyn-Interferometer in Verbindung mit einem Signalverarbeitungssystem das Übertragungsverhalten gemessen. Es bestätigte sich, dass eine Abhängigkeit vorliegt. In dem Beitrag werden experimentelle Untersuchungen zum Verhalten von verschiedenen Beschleunigungsaufnehmer-Normalen der Back-to-Back-Bauform unter Masseeinfluss im Frequenzbereich 10 Hz bis 20 kHz sowie Ansätze einer theoretischen Modellbildung zur Erklärung des Aufnehmerverhaltens vorgestellt.

Mi. 8:30    Raum 3

Beurteilung von Musikinstrumenten

### **Analyse von Musikinstrumentenschallen mittels psychoakustischem Merkmalssatz**

G. Ziegenhals

*Institut für Musikinstrumentenbau, Zwota*

In der täglichen Praxis des Instrumentenbaus sind Instrumententests sei es im Rahmen der Produktionskontrolle oder zum Vergleich verschiedener Produkte an der Tagesordnung. Diese Tests finden jedoch in der Regel nicht unter Laborbedingungen sondern in Form von (vergleichenden) Anspielen durch Musiker statt. Die Beurteilung der Produkte nimmt dabei teilweise der anspielende Musiker selbst oder eine mehr oder weniger große Anzahl von Zuhörern vor. Nicht wenige Firmen, insbesondere im Bereich des Holzblasinstrumentenbaus, haben Berufsmusiker unter Vertrag, die zum Teil die gesamte Produktion zu Testzwecken anspielen. Der Analyse der bei realem Anspiel von Musikinstrumenten ausgesandten Schalle muss deshalb wieder verstärkte Aufmerksamkeit gewidmet werden. Ziel einer praktisch verwertbaren Klanganalyse muss immer die Beschreibung anhand eines verständlichen (möglichst orthogonalen) Merkmalssatzes sein. Die beschriebenen Untersuchungen verwenden einen erweiterten und modifizierten Satz der bekannten psychoakustischen Größen. Die eigentlichen Merkmale sind die Mittelwerte der Größen über ca. 30 s Anspiele der Instrumente. Variiert wurden für

die Untersuchungen Instrument, Musiker, Stück und Raum. Untersuchungen mit Gitarren, Geigen, Trompeten und Klarinetten zeigten, dass den Instrumenten selbst der geringste Einfluss (innerhalb der Exemplare eines Typs!) auf das klangliche Ergebnis zuzuschreiben ist.

Mi. 8:55    Raum 3

Beurteilung von Musikinstrumenten

### **Berechnungsmodelle der akustischen Rauhigkeit**

H. Löschke

*Institut für Musikinstrumentenbau, Zwota*

Psychoakustische Rauhigkeit ist eine gut wahrnehmbare und verhältnismäßig leicht zu erklärende Empfindungsgröße. Es sind verschiedene Modelle zur Vorhersage dieser Empfindung bekannt und bereits in kommerziell erhältlichen Messgeräten implementiert, dennoch findet sie nur wenig Akzeptanz in der breiten Öffentlichkeit. Der Beitrag diskutiert und vergleicht verschiedene Berechnungsverfahren und zeigt dabei auftretende Probleme auf, die eine sichere Verwendung als Maß für die Schallbeurteilung erschweren. Besonderes Augenmerk wird auf die Verfahren gelegt, die eine Analyse der enthaltenen Hüllkurvenschwankung voraussetzen. Probleme entstehen hier bei der Ermittlung des Modulationsgrades, der in direktem Zusammenhang mit der empfundenen Rauhigkeit steht. Ein anderer Ansatz setzt die Erkennung enthaltener tonaler Komponenten voraus und untersucht deren Frequenzverhältnisse. Daraus lässt sich ein Maß für die Dissonanz und damit die akustische Rauhigkeit ermitteln. Hierbei ist vor allem die Bestimmung der tonalen Komponenten problematisch. Ein bisher ungelöstes Problem ist die Berechnung der Rauhigkeit für zeitlich veränderliche Schalle und damit auch auf musikalische Klänge, hierzu werden Lösungsansätze vorgestellt.

Mi. 9:20    Raum 3

Beurteilung von Musikinstrumenten

### **Untersuchungen zur Wahrnehmung von psychoakustischer Rauhigkeit und Diffusität in realen Instrumentenanspielen**

U. Figula

*Mittweida*

Ziel des Projektes "Psychoakustik-Messsystem", das vom Institut für Musikinstrumentenbau (IfM) Zwota und der Sinus Messtechnik GmbH bearbeitet wird, ist die Entwicklung eines Messsystems, das es dem Anwender ermöglicht, verschiedene Schalle zu beurteilen. Modelle zur Berechnung psychoakustischer Größen sollen die Beurteilung verschiedener Schallsignale, so

auch solcher mit transientem Anteil, möglich machen. In Zusammenhang mit diesem Projekt wurden vorhandene Instrumentenaufnahmen mithilfe von Hörtests auf die wahrgenommene psychoakustische Rauigkeit untersucht. Das Institut geht von einer Unterteilung der Rauigkeit in zwei Teilaspekte aus. Einer dieser Teilaspekte wurde mit Diffusität bezeichnet und mit einer stärkeren "Durchmischung" im Signal beschrieben. Weitere Hörtests sollten Aufschluss geben, ob diese Diffusität in realen Instrumentenspielen und in synthetischen Signalen wahrnehmbar ist und ob eine Abhängigkeit dieses Merkmals von der Rauigkeit vorliegt. Die durchgeführten Hörversuche sollten eine Datenbasis schaffen, um ein im IfM entwickeltes Berechnungsmodell zur Bestimmung der Diffusität überprüfen zu können.

Mi. 9:45    Raum 3

Beurteilung von Musikinstrumenten

### **Timbre Perception of Changes in Musical Instrument Geometry using Physical Modeling Techniques**

R. Bader

*Univ. Hamburg, Musikwissenschaftliches Institut*

The perception of timbre as cognitive representations in subjects is investigated using sounds produced by Physical Modeling techniques (PM) applied to whole body guitar and violin models as well as simple examples of strings, plates ect. By changing a physical parameter linearly, sounds with controlled varying timbres are produced. Using Multidimensional Scaling Techniques (MDS), where subjects judge similarities of all possible sound pairs, a multidimensional space is constructed representing the perceptual space of these timbres. Its dimensions are then interpreted with respect to the geometrical changes. As a simple example, a string with varying bending stiffness is used. It shows up, that three dimensions are needed by listeners when perceiving these sounds, one representing the increasing inharmonicity, one representing the amount of mixture between harmonic and inharmonic sounds and one representing a categorical perception, where the sounds are judged according the amount of different cognitive categories it belongs to. Applied to geometrical changes of guitars and violins with changing thickness of plates, variation of fan bracings and solidity of ribs and back plates next to several other changes are investigated and results of timbre perceptual spaces are shown.

Mi. 10:10 Raum 3

Musikalische Akustik

**Auditory Resonance Model of Percussive Sounds**F. Zotter<sup>a</sup>, A. Freed<sup>b</sup> und A. Sontacchi<sup>a</sup><sup>a</sup>*Institut für Elektronische Musik und Akustik, Graz;* <sup>b</sup>*Center for New Music and Audio Technology, Berkeley (USA)*

In many cases, resonance models offer a huge reduction of data describing sounds of percussive musical instruments. Nevertheless, the high resolution of the human auditory perception of sounds may require uncomfortably large computational and numerical efforts to obtain suitable results, which inevitably yields a quite large number of inaudible partials, too. The present work presents an approach that tries to utilize some properties of the auditory perception to comply with both issues. As a front-end of the algorithm, an outer- and middle-ear stage is used, followed by a Bark band analysis filter bank. In the sub-band signals, decimated linear predictive analysis of the resonances can be performed at very high order. Moreover, this kind of analysis provides information about the audibility of the partials, which is useful to select the most relevant components only by regarding the masking levels as well as the decay and attack times. Eventually, the analysis model also yields residual signals of the sounds that aren't whitened in a broad-band sense, but retain the perceivable auditory excitation pattern of the instrumental stroke. A practical analysis example concludes the work on the present analysis model.

Mi. 14:00 Raum 3

Musikalische Akustik

**Vokale in Klängen - Eine LPC-basierte Extraktion der Vokalqualität zur Abbildung von Violinklängen im Vokaldiagramm**

S. Müller und R. Mores

*Hochschule für Angew. Wissenschaften Hamburg*

Sprache umgibt uns seit unserer Geburt und prägt unsere auditive Wahrnehmung grundlegend. Prägt Sprache vielleicht auch unseren musikalischen Geschmack? Spricht uns ein Klang eher an, wenn er eine vokalähnliche Färbung besitzt, weil uns der Klang vertraut vorkommt? Weisen bestimmte Musikinstrumente ähnliche spektrale Eigenschaften in sprachrelevanten Frequenzbereichen auf und lassen an Vokale erinnern?

Als einen ersten Ansatz wird untersucht, wie Vokalqualitäten aus Instrumentenklängen extrahiert und dargestellt werden können. Um das Ergebnis reproduzierbar zu machen, erfolgt die Vokalqualitätsextraktion automatisiert. Ausgehend von Sprachdaten

werden die akustischen Parameter von Vokalen analysiert, die wichtigsten Resonanzen durch LPC-Analyse gewonnen und über heuristische Regeln die beiden relevanten Formanten F1 und F2 ausgewählt. Die Formeln von Pfitzinger bilden die Grundfrequenz, F1 und F2 auf die Ebene des Vokaldiagramms nach Jones für primäre Kardinalvokale ab.

In einem weiteren Schritt wird die Vokalqualität in Instrumentenklängen anhand ausgewählter Aufnahmen verschiedener Violinen untersucht. Um die Qualität der Erkennung zu überprüfen, werden die Formanten der Hörproben manuell ausgewählt. Erste Ergebnisse zeigen, dass sich der Höreindruck in den Spektren der Violinen widerspiegelt und dass in Violinklängen enthaltene Vokale dargestellt werden können. Auf diese Weise ist eine Perspektive einer Klangbeschreibung reproduzierbar ausformuliert, die bisher vielleicht nur unbewusst in die Bewertung von Klangqualität mit eingeflossen ist.

Mi. 14:25    Raum 3

Musikalische Akustik

### **Parametrisches Multipeak-Filtersystem als Grundlage für neue Klangästhetik-Studien an virtuellen Streichinstrumenten**

F. von Türckheim und R. Mores

*Hochschule für Angew. Wissenschaften Hamburg*

In diesem Beitrag wird das Konzept eines parametrischen Multipeak-Filtersystems vorgestellt, anhand dessen weiterführende Studien an einer virtuellen Violine in Echtzeit durchgeführt werden sollen. Die vielfältigen Ansätze elektronischer Streichinstrumente nach dem Stand der Technik verfolgen in der Regel entweder möglichst genaue physikalische Abbildungen bei hohem Rechenaufwand oder Echtzeitfähigkeit bei bescheidenerem klangästhetischen Anspruch. Hier wird dagegen der Ansatz verfolgt, dass der Klang nicht allein dem Instrument geschuldet ist sondern dass er vielmehr das Ergebnis einer differenzierten Arbeit des Musikers am Instrument darstellt. Welche akustischen Eigenschaften oder Modulationsfähigkeiten muss letzteres also besitzen, um die technischen und interpretatorischen Feinheiten umsetzen zu können? Ein virtuelles Instrument, das auf diese tongestalterische Feinarbeit des Musikers reagiert, kann dann später auf klangliche und spielbeeinflussende Charakteristika untersucht werden. Ausgangspunkt ist eine stumme Geige mit einem nachgeschaltetem virtuellen Resonanzprofil, welches sich an hochwertigen natürlichen Instrumenten orientiert. Das Konzept des hier diskutierten Filterdesigns bietet einen Ansatz für die

widersprüchlichen Forderungen nach komplexem, reichhaltigem Klang einerseits und geringster Latenzzeit andererseits. Einen Beitrag leistet hierbei - neben allgemein gültigen systemtheoretischen Entwurfsverfahren für eine effiziente, echtzeitfähige Implementierung - die Irrelevanzreduktion nach bekannten psychoakustischen Kriterien.

Mi. 14:50    Raum 3

Hörmodelle

### **Vom Hörmodell zur Richtlinie**

D. Krahé

*Bergische Universität Wuppertal*

Mit Hörmodellen werden psychoakustische Effekte und / oder physiologische Vorgänge nachgebildet, oft mit dem Ziel, die Reaktion auf Hörreize möglichst gut abschätzen und einordnen zu können. Funktionsbasierte Elemente, die z.B. adaptive und nicht-lineare Verarbeitungsschritte ausführen, zielen dabei auf Modelle ab, die bei Reizmuster mit verschiedensten Ausprägungen im Sinne der oben genannten Zielsetzung zu gleich aussagekräftigen Ergebnissen führen.

Richtlinien zur Bewertung von Lärm haben, zumindest was den reizrelevanten Anteil betrifft, sicher die gleiche Intention, doch sind sie in ihren analytischen Mitteln in der Regel stark an Standards gebunden. Dies soll sicherstellen, dass die gebräuchlichen Messmittel verwendet werden können und praktikable Auswertungsmethoden Anwendung finden. Solche Vorgaben können aber mit Einschränkungen verbunden sein, was die Aussagekraft des Ergebnisses betrifft.

Konkret geht es in dem Beitrag um tieffrequenten Schall. Es ist zu vermuten, dass Auffälligkeiten in der Wahrnehmung und Wirkung von tieffrequentem Schall teilweise durch die Verarbeitung im Nervensystem hervorgerufen werden. Anhand eines Modells können diese Auffälligkeiten nachvollzogen werden. Sind diese Auffälligkeiten relevant für die Lärmwirkung, so müssten die gewonnen Erkenntnisse auch in eine entsprechende Richtlinie einfließen. Natürlich dann in einer "richtlinienkompatiblen" Form.

Mi. 15:15 Raum 3

Hörmodelle

**Die Sinus-Impuls-Analogie der Basilarmembran als Ursprung der Frequenzgruppen**H. Hudde*Ruhr-Universität Bochum, Inst. für Kommunikationsakustik*

Als Frequenzgruppen (critical bands) werden Frequenzbereiche bezeichnet, innerhalb derer das Gehör die Lautheitsbildung von Schallsignalen in bestimmter Weise spektral zusammenfasst. Die Lautheit wird wesentlich dadurch bestimmt, ob das Signal spektral nur in eine Frequenzgruppe fällt oder darüber hinausgeht. Es ist kaum zu bezweifeln, dass der Ursprung der Frequenzgruppen in der Cochlea zu finden ist, da die Ohrsignale hier spektral zerlegt werden. Trotzdem erscheint eine ins Detail gehende Erklärung für das Zustandekommen von Frequenzgruppen schwierig, weil bei der Lautheitsbildung vielfältige nichtlineare Mechanismen innerhalb der Cochlea und auf neuraler Ebene eine Rolle spielen.

In diesem Beitrag wird hingegen gezeigt, dass der Ursprung der Frequenzgruppen bereits mit einem einfachen linearen Modell der Basilarmembran (BM) erklärt werden kann. Es handelt sich dabei nicht etwa um die "Entdeckung" eines neuen Mechanismus, sondern um eine Interpretation der Effekte, die sich bei der bekannten Wanderwellenausbreitung ergeben. Bei richtiger Abstimmung der Basilarmembran ergeben sich die Frequenzgruppen unabhängig von den Details des Modells. Insbesondere werden keine nichtlinearen Mechanismen zur Erklärung der Frequenzgruppen benötigt.

Mi. 15:40 Raum 3

Hörmodelle

**Schwellenverbesserung durch frequenzübergreifende und beidohrige Verarbeitung bei verschiedenen Frequenzen**B. Epp<sup>a</sup> und J.L. Verhey<sup>b</sup><sup>a</sup>*Universität Oldenburg, Graduiertenkolleg Neurosensorik;*<sup>b</sup>*Universität Oldenburg, AG Neurosensorik*

Die Mithörschwelle eines maskierten Signals hängt nicht nur von dem Signal-Rausch-Verhältnis in einem kritischen Band um die Signalfrequenz ab, sondern kann durch Ausnutzen zeitlich-frequenzübergreifender oder interauraler Eigenschaften deutlich verbessert werden. So liegt die Mithörschwelle eines Sinustones, welcher durch ein um die Signalfrequenz zentriertes Rauschen maskiert ist, deutlich niedriger, wenn weitere Rauschmaskierer in spektral entfernten Bändern hinzugefügt werden, sofern diese



zum Maskierer an der Signalfrequenz kohärente Pegelschwankungen aufweisen. Dieser Effekt wird "Comodulation Masking Release" (CMR) genannt. Ausserdem können Unterschiede zwischen den Ohrsignalen (interaurale Unterschiede), welche etwa zur Lokalisation genutzt werden können, auch zu einer deutlichen Verbesserung der Mithörschwelle führen. Ein Effekt der auf dieser Signaleigenschaft beruht ist "Binaural Masking Level difference" (BMLD). Ergebnisse aus psychoakustischen Experimenten bei einer Signalfrequenz von 700 Hz und Simulationen mit einem effektiven Modell deuten auf eine Addition der Verbesserungen durch Komodulation und interaurale Unterschiede hin, und somit auf eine effiziente, serielle Verarbeitung im auditorischen System (Epp & Verhey, Fortschritte der Akustik-DAGA 2007, 373-374 (2007)). In diesem Beitrag wird die Kombination von interauraler und frequenzübergreifender Information durch Messungen bei verschiedenen Signalfrequenzen weiter untersucht und durch Vergleich mit Modellvorhersagen die Additivitätshypothese für einen größeren Frequenzbereich getestet.

Mi. 16:30 Raum 3

Hörmodelle

### **Modelling across- and within-channel mechanisms in comodulation masking release**

T. Piechowiak<sup>a</sup>, S. Ewert<sup>b</sup> und T. Dau<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Centre for Applied Hearing Research, TU of Denmark;*

<sup>b</sup>*Universität Oldenburg, Medizinische Physik*

The audibility of a target sound embedded in another masking sound can be improved by adding sound energy that is remote in frequency from both the masker and the target. This effect is known as comodulation masking release (CMR) and is observed when the remote sound and the masker share coherent patterns of amplitude modulation. While a large body of data has been presented, the mechanisms underlying CMR are not clear. Neuronal suppression at a cochlear level, the detection of modulation beatings within auditory channels, and across-channel comparisons of temporal envelope information have been suggested to contribute to CMR. The present study extends an earlier model that includes an equalization-cancellation (EC) stage for the processing of modulations across the audio-frequency channels by a non-linear peripheral filtering stage. In the framework of the model, the combination and interaction of three main

mechanisms were assessed: (i) suppression, (ii) within-auditory-channel cues related to amplitude modulations, and (iii) across-auditory-channel processes at higher, retro-cochlear stages. Experiments are presented to examine the relative role of these mechanisms. In particular, the influence of level and effects of auditory grouping on CMR were investigated.

Mi. 16:55    Raum 3

Hörmodelle

### **Modelling lateralization of binaural stimuli with fine-structure and envelope-based temporal disparities**

S. Ewert, M. Dietz und V. Hohmann

*Universität Oldenburg, Medizinische Physik*

Lateralization of binaural stimuli in headphone experiments is dependent on both interaural timing- and interaural level differences. In contrast to natural situations, both cues can be manipulated independently and each cue can be analyzed separately. While the influence of interaural level differences (ILD) on the intracranial image of a sound is well understood, the influence of interaural phase differences (IPD) or interaural time differences (ITD) appears more complicated, particularly when competing temporal disparities are present in the fine-structure and envelope of binaural stimuli. A "classical" neuronal model for processing interaural timing disparities is the so-called "Jeffress-model" which consists of a series of coincidence detectors receiving their input along two converse chains of delay elements. Since the model fails for some complex stimuli which carry information in both fine-structure and envelope, extensions like the position-variable model and the weighted-image model have been introduced. Here, an alternative modelling approach based on IPD extraction is suggested. Critical experiments where ILD and IPD cues were matched to evoke the same lateralization or where contradicting fine-structure and envelope IPD cues were traded to evoke a centred image are presented. In contrast to the "classical" models, the current model is shown to predict all data.

Mi. 17:20    Raum 3

Hörmodelle

### **Dynamische Lautheitsmodellierung**

J. Rennies<sup>a</sup> und J.L. Verhey<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Institut für Physik, Carl-von-Ossietzky Universität Oldenburg;*

<sup>b</sup>*Universität Oldenburg, AG Neurosensorik*

Die Lautheit stationärer Signale ist bereits intensiv untersucht worden und konnte erfolgreich modelliert werden. Natürliche

Schalle zeichnen sich jedoch durch zeitliche Fluktuationen ihrer Intensität aus. Die für das Lautheitsempfinden solcher im Pegel schwankenden Signale maßgebenden Mechanismen sind bislang nicht vollständig verstanden. So zeigen neuere Messungen, dass der Anstieg der Lautheit mit der Bandbreite des Stimulus von der Stimulusdauer abhängt und bei kurzen Signalen stärker ausgeprägt ist als bei langen. Im vorliegenden Beitrag wird zunächst gezeigt, dass bestehende Modellansätze zur dynamischen Lautheit diesen Effekt nicht zufrieden stellend simulieren können. In einem zweiten Schritt werden verschiedene zur Dauerabhängigkeit der spektralen Lautheitssummation vorgeschlagene Mechanismen im Rahmen eines modifizierten dynamischen Lautheitsmodells durch Vergleich von Modellvorhersagen und Messdaten kritisch getestet. Von besonderer Bedeutung sind hierbei die auf der letzten DAGA vorgestellten Daten zur spektralen Lautheitssummation bei Pulsfolgen [Verhey, J.L. und Uhlemann, M., Spektrale Lautheitssummation von pulsierenden Geräuschen, Fortschritte der Akustik - DAGA 2007, S.847-848] zu, die eine Abschätzung der relevanten Zeitkonstanten erlauben.

Mi. 17:45 Raum 3

Hörmodelle

### **Audiologische Anwendungen eines dynamischen Lautheitsmodells für Normal- und Schwerhörige**

J. Chalupper

*Siemens Audiologische Technik*

Der Gültigkeitsbereich des dynamischen Lautheitsmodells nach Zwicker kann im Wesentlichen allein durch die Berücksichtigung des Hörverlusts auf Schwerhörige erweitert werden. Dabei wird der Hörverlust in eine dämpfende und eine expansive Komponente aufgeteilt. Ohne weitere Modifikationen können so zahlreiche psychoakustische Messungen nachvollzogen werden, wie Lautheitssummation, Lautheitsintegration, Rekrutment, und Mithörschwellenmuster. In diesem Beitrag werden Anwendungsmöglichkeiten eines derartigen Modells für die Entwicklung, Anpassung und Messungen von Hörgeräten vorgestellt. Während für die Herleitung von präskriptiven Anpassformeln der stationäre Teil des Modells ausreichend ist, sind für zahlreiche dynamische Anwendungen vor allem die zeitvarianten Bestandteile des Modells entscheidend.

Mi. 18:10 Raum 3

Hörmodelle

**Modeling auditory signal processing in hearing-impaired listeners**T. Dau und M.L. Jepsen*Centre for Applied Hearing Research, TU of Denmark*

Recently, an auditory signal processing model was developed which could simulate psychoacoustic data from a large variety of conditions related to spectral and temporal masking in normal-hearing listeners (Jepsen et al., 2007). The model includes the dual-resonance non-linear (DRNL) filterbank suggested by Lopez-Poveda and Meddis (2001) to simulate the non-linear cochlear signal processing, and is otherwise similar to the modulation filterbank model by Dau et al. (1997). In the present study, the model parameters were modified to simulate cochlear hearing impairment. The modifications of the model were based on individual data from notched-noise masking and forward masking experiments and were associated with changes of the parameters of the DRNL stage of the model. Data from a pure-tone audiogram were used to further reduce the listeners' sensitivity in connection with an assumed loss of inner hair cells. In addition, intensity discrimination and modulation-depth discrimination experiments were performed in order to estimate potential retro-cochlear (central) limitations in the processing of supra-threshold stimuli. The model helps understanding the perceptual consequences of hearing impairment in individual listeners and can be useful for the evaluation of hearing-aid processing.

Mi. 8:30 Raum 4

Kavitation und Blasen

**Messung von Schallfeldern in kavitierenden Medien**C. Koch und K.-V. Jenderka*Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig*

Kavitation wird in vielen technischen und medizinischen Bereichen zu den verschiedensten Zwecken - von Reinigung über Emulgierung bis hin zu gesteuerter Gewebeerwärmung - eingesetzt. Trotz der sehr erfolgreichen Nutzung bereitet die quantitative Beschreibung der stochastischen Prozesse große Schwierigkeiten, die insbesondere Wiederholbarkeit, Optimierung oder das Qualitätsmanagement in der Produktion erschweren.

Als eine Möglichkeit der objektiven Prozessbeschreibung bietet sich die Messung des Schallfeldes an, das ja die Ursache der Kavitationsprozesse darstellt. Eine solche Schallfeldmessung ist

im betrachteten Frequenzbereich jedoch mit vielen Schwierigkeiten verbunden, da die meisten Sensoren sehr groß sind und das Schallfeld stören, ungenügende Genauigkeit aufweisen oder von den Kavitationsblasen zerstört werden.

Im Vortrag werden verschiedene Messsysteme auf der Basis optischer Faserenden und piezoelektrischer Hydrophone vorgestellt, die den Anforderungen einer Messung in kavitierenden Feldern hinsichtlich Genauigkeit und Widerstandsfähigkeit weitgehend gerecht werden. Es wird diskutiert, wie verschiedene Schallfeldparameter, z. B. positiver und negativer Spitzendruck, die Amplitude von Grund- und Oberwellen sowie Subharmonischen oder das Kavitationsrauschen für eine Prozessbeschreibung genutzt werden können und welche Faktoren die Genauigkeit und Verlässlichkeit der Messung begrenzen. Eine Weiterführung der lokalen Schallfeldmessung ergibt sich aus der Messung an verschiedenen Orten und der Bestimmung der Korrelationen zwischen den jeweiligen zeitlichen Druckverläufen.

Mi. 8:55 Raum 4

Kavitation und Blasen

## **Experimentelle Untersuchungen zur Optimierung von Ultraschallreinigungsprozessen**

J. Strobel und R. Lerch

*Lehrstuhl für Sensorik, Universität Erlangen-Nürnberg*

Die Steigerung der Leistungsfähigkeit von Erzeugnissen basiert bei modernen Fertigungsverfahren auf erhöhter Präzision bearbeiteter Oberflächen und auf kleineren funktionsrelevanten Geometrien. An Reinigungsverfahren entsteht daraus der Anspruch einer verbesserten Reinigungsqualität bei gleichzeitig verkürzten Prozesszeiten.

Von besonderer Bedeutung ist hierbei die ultraschallunterstützte Tauchreinigung, die neben einer hohen Reinigungseffizienz eine Vielzahl von Einsatzvarianten ermöglicht. Durch Einkopplung von hochintensivem Ultraschall nutzt dieses Verfahren die entstehenden Kavitationsmechanismen zum Lösen und zum Abtransport von Partikeln. Zur Charakterisierung und Überwachung der Reinigungswirkung durch Kavitationseffekte sind eine präzise Kenntnis der Einflussparameter und ein quantifizierbares Reinigungsmaß erforderlich.

Der Haupteinflussfaktor auf das Kavitationsverhalten ist die Schalldruckamplitude. Hierzu wird ein Sensorprinzip zur Bestimmung der Druckverteilung auf einer Bauteiloberfläche vorgestellt. Im Gegensatz zur Messung im Reinigungsbecken ohne Beladung mit Reinigungsgut ermöglicht dieses Messverfahren eine

direkte Korrelationsuntersuchung von lokalem Reinigungsergebnis und Schalldruckverteilung.

Weitere wichtige Einflussgrößen auf die Reinigungswirkung sind die eingebrachte Leistung, der Gehalt an gelösten Gasen und die Oberflächenspannung. Es werden Ergebnisse präsentiert, die den Einfluss dieser Größen auf Schallfeld und Reinigungswirkung darstellen. Hierbei wird die Wirkung mechanischer Reinigungseffekte durch eine entwickelte Testschicht für Kavitationserosion lokal quantifiziert.

Die Ergebnisse der Kavitationsbewertung mittels Testschicht werden mit den Sensorsignalen der Druckmessung auf der Bauteiloberfläche verglichen. Aus den Ergebnissen der Messverfahren werden optimierte Reinigungsparameter abgeleitet.

Mi. 9:20    Raum 4

Kavitation und Blasen

### **Membranreinigung mit Ultraschall**

F. Reuter, R. Mettin und W. Lauterborn

*Universität Göttingen, Drittes Physikalisches Institut*

Die Ultraschallreinigung von Filtrationsmembranen zur Trinkwasseraufbereitung wird untersucht.

Für die Ultraschallreinigung spielen schwingende Kavitationsblasen eine wichtige Rolle, daher wird ihnen in dieser Untersuchung besondere Beachtung geschenkt.

In einem flexiblen Testaufbau, der aus einem durchsichtigen Wasserbecken und Tauchschwingern besteht, wird ein getauchtes, aus mehreren parallelen Polymermembrantaschen aufgebautes Membranmodul im Saugverfahren betrieben. Dabei sind die Verschmutzungsseiten der Membrantaschen optisch zugänglich. An diesem Testaufbau werden optische und akustische Messungen durchgeführt. Dazu gehören die Vermessung der Schallfeldkonfiguration des benutzten niederfrequenten Ultraschalls unter Veränderung verschiedener, zum Beispiel geometrischer Parameter, sowie die fotografische und hochfrequenzkinematografische Aufnahme der Kavitationsstrukturen im Hinblick auf ihre Reinigungswirkung. Gleichzeitig findet eine fortlaufende Prüfung der Membranintegrität durch Trübungsmessung und Partikelzählung statt.

Ziel der Untersuchung ist sowohl ein verbessertes Verständnis der mikroskopischen Vorgänge bei der Reinigung als auch die Erkenntnis von Optimierungsmöglichkeiten in großtechnischen Anlagen zur Trinkwasserfiltration.

Mi. 9:45 Raum 4

Kavitation und Blasen

**Energieoptimierte, ultraschallunterstützte Membranreinigung bei der Ultrafiltration von Oberflächenwasser**S. Lauterborn, W. Urban und M. Wagner*TU Darmstadt*

Bereits auf der Daga 2007 in Stuttgart konnte anhand von Ergebnissen einer Versuchsanlage zur Trinkwasseraufbereitung aus Oberflächenwasser mit getauchten Polymer-Membranen gezeigt werden, daß es möglich ist, ohne den Einsatz von Reinigungschemikalien durch kombinierte ultraschall-/luftunterstützte Rückspülung (USL-Verfahren) eine wesentlich höhere Filtrationsleistung zu erzielen. Bei dieser Art der Anwendung mit vorge reinigtem Wasser der Rheinwasseraufbereitungsanlage Biebesheim und 130 kHz wurde die Membran nicht zerstört und eine gleichbleibend gute Permeatqualität erzielt. Dies wurde durch online-Tübungsmessung, online-Partikelzählung und chemisch-mikrobiologische Analysen nachgewiesen. Nach Abschluß der Versuche wurde mit den mit 130 kHz und 35 kHz beschallten Membranen zusätzlich ein Druckhaltetest durchgeführt, der die Dichtigkeit der Membranen bestätigte. Weitere Versuche haben ergeben, daß die Ultraschall (US-)Frequenz entscheidend für das Ergebnis ist, wie auch die US-Leistung, aber mit wesentlich verkürzter Beschallungsdauer die gleiche Filtrationsleistung erzielt werden kann, also eine Einsparung von Energie möglich ist. Dies entscheidet letztendlich über die technische Realisierung und einen wirtschaftlichen Einsatz in membran Wasseraufbereitungsanlagen. Weiterhin werden folgende Fragestellungen untersucht: 1) Ist es möglich, schon verschmutzte Membranen wieder so zu reinigen, daß sie dieselbe Filtrationsleistung wie von Beginn an US-behandelte Membranen erreichen? 2) Wie verhält sich das System bei der Anwendung von Ultraschall am Beginn der Membrannutzung und bei der direkten Beaufschlagung mit unvorgereinigtem Rheinwasser.

Mi. 10:10 Raum 4

Kavitation und Blasen

**Studies on cleaning with megasound**A. Otto<sup>a</sup>, T. Nowak<sup>a</sup>, R. Mettin<sup>a</sup>, F. Holsteyns<sup>b</sup> und A. Lippert<sup>b</sup><sup>a</sup>*Universität Göttingen, Drittes Physikalisches Institut;* <sup>b</sup>*SEZ AG, Villach*

While ultrasonic cleaning is well established as a major application of cavitation, the detailed mechanisms and the optimization

of parameters are still under investigation. This is true in particular for the higher frequency range, where more gentle cleaning of surfaces can be achieved, and where the treatment of nanostructured material is within the scope. We report on experimental investigations of megasound cavitation characteristics and effects with respect to surface cleaning and erosion. The methods include visual bubble observations, luminescence measurements, and acoustic measurements.

Mi. 14:00    Raum 4

Kavitation und Blasen

### **Ultraschallinduzierte Kavitationserosion an vorbehandelten Graphit-Plättchen**

C. Jung und R. Sobotta

*Elma GmbH & Co KG*

Der Materialabtrag durch ultraschallinduzierte Kavitationserosion an Plättchen aus kunstharzimpregnierten und thermisch carbonisierten Graphit-Plättchen (ca. 10x10x2 mm) wird untersucht. Hierzu wird ihr Masseverlust nach unterschiedlicher Ultraschallbehandlungsdauer in wässrig-tensidischem Medium durch Wägung ermittelt.

Der verwendete Versuchsaufbau ermöglicht eine Beschallung des Materials bei mehreren Frequenzen. Die Schallausbreitungsrichtungen der beiden Multifrequenzwandler sind dabei orthogonal angeordnet.

Mittels Messung des Kavitationsrauschpegels wird für unterschiedliche Frequenzen jeweils eine geeignete Position der Plättchen im Versuchsaufbau für die Durchführung der Abtragsversuche ermittelt.

Die Ergebnisse der Abtragsversuche mittels ultraschallinduzierter Kavitationserosion werden für unterschiedliche Frequenzen diskutiert und mit den Messungen des Rauschpegels verglichen.

Mi. 14:25    Raum 4

Kavitation und Blasen

### **Untersuchungen zum Einfluss der Viskosität auf die Strömungsführung und den Ultraschallwandler in einem hochviskosen Medium**

R. Maas und H. Friedrich

*FhG Institut Keramische Technologien und Systeme*

Ultraschallreaktoren stellen in vielen Zweigen der Industrie eine Standardlösung zur Dispergierung von Suspensionen dar. Der vorherrschende Mechanismus ist dabei die durch die hohen Schalldruckamplituden verursachte Kavitation. In zunehmendem



Maße werden Durchflusszellen mit Ultraschallsonotroden ausgestattet, um die Dispergierung von Suspensionen zu erreichen. Bei der Dispergierung kommen oftmals hochviskose Medien zum Einsatz, die sowohl einen Einfluss auf die Strömungsführung in den Ultraschallreaktoren haben als auch auf den Wandler zurückwirken.

Am Beispiel einer Saccharose-Lösung wird der Einfluss der Viskosität auf die Strömungsform in einem zwangsdurchströmten Ultraschallreaktor durch Auswertung von CCD Bilddaten erläutert. Dabei wird insbesondere die zeitliche Entwicklung des Kavitationsfeldes mit abnehmender Viskosität berücksichtigt. Die Viskosität der Suspension ändert sich mit zunehmender Temperatur. Der Anstieg der Temperatur wird durch den fortlaufenden Eintrag von Ultraschall in das Medium und durch Rückführung der Suspension in den Vorlagebehälter zur Ultraschallanlage verursacht. Die Rückwirkung auf die Auslenkung des Wandlers konnte aus dem Feedbacksignal einer zusätzlichen Piezopackung als Sensor im Wandler realisiert werden. Das Signal konnte mit einem Oszilloskop ausgelesen und in Relation zur Viskosität gesetzt werden.

Mi. 14:50 Raum 4

Kavitation und Blasen

### **Online-Ultraschallmessung zur Charakterisierung opaker Stoffsysteme**

R. Weser<sup>a</sup>, B. Wessely<sup>a</sup> und F. Hinze<sup>b</sup>

<sup>a</sup> *TU Dresden, Institut für Verfahrens- und Umwelttechnik*; <sup>b</sup> *Aello In-Line Sensor Systems*

Viele Messaufgaben in der Ultraschallmesstechnik werden mit dem so genannten Impuls-Echoverfahren realisiert, bei dem ein und derselbe Transducer als Sender und Detektor genutzt wird. Dies ist prinzipiell immer dann möglich, wenn das Anregungssignal (US-Impuls bzw. US-Burst) und das Echosignal zeitlich getrennt voneinander anliegen. Im Beitrag wird ein auf dem Impuls-Echoverfahren basierendes Konzept für kostengünstige, prozessfähige Ultraschallsensoren zur Überwachung der Feinheit und der Konzentration disperser Partikelsysteme vorgestellt. Üblicherweise finden bei derartigen Messaufgaben klassische Extinktionsanordnungen Verwendung. Eine eigens entwickelte Software realisiert neben der Signalerzeugung und -erfassung auch die Signalverarbeitung des Echosignals. Die eingesetzten Algorithmen zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit und der

Schalldämpfung im Frequenz- bzw. Zeitbereich werden erläutert. Zudem erfordert die relativ geringe Abtastfrequenz der Ultraschallmesskarte eine Rekonstruktion des zeitdiskreten Echo-signals, um die gewünschte Messgenauigkeit zu erzielen. Eingesetzt wird der Sensor zur Charakterisierung opaker Stoffsysteme, bei denen keine optische Untersuchung möglich ist. Typische Beispiele sind die Nasszerkleinerung von Pigmenten, Emulgierverfahren in der chemischen Industrie sowie das Dispergieren von Pulvern in hochkonzentrierten Dispersionen.

Mi. 15:15    Raum 4

Kavitation und Blasen

### **Ultrasound and swimmer safety**

M. Postema

*The University of Hull, Department of Engineering*

The benefits of ultrasonics in algae control have been well known. The transmit frequencies used to study this application have been as low as 20 kHz and as high as 1.7 MHz. Most commercial equipment operates in the lower ultrasonic range. There have been speculations about the physical mechanism behind the algae eradication, specifically about the role of cavitation. Furthermore, the consequences for swimmers in water subjected to ultrasonic treatment have been unknown. In this study, an overview is given of potential harmful effects of typical ultrasonic equipment used, and the physical mechanisms behind these. Furthermore, estimates are given of swimmer safety radii, based on current regulations and recent measurements. Although the worst-case mechanical index close to a typical algae control transducer is only  $MI=0.16$ , some the acoustic pressures determined are higher than those allowable by the NATO Undersea Research Centre Human Diver and Marine Mammal Risk Mitigation Rules and Procedures.

Mi. 15:40    Raum 4

Kavitation und Blasen

### **Frequenzskalierung von Kavitationsstrukturen**

T. Nowak<sup>a</sup>, R. Mettin<sup>a</sup>, W. Lauterborn<sup>a</sup>, F.J. Becker<sup>b</sup> und F. Holsteyns<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Universität Göttingen, Drittes Physikal. Institut; <sup>b</sup>Fraunhofer Institut Biomedizinische Technik; <sup>c</sup>SEZ AG, Villach

Kavitationsstrukturen und -effekte werden bei verschiedenen Anregungsfrequenzen untersucht. Hierfür wurden z.T. spezifische Wandler hergestellt, um die Schallfeldgeometrie mit der Wellenlänge zu skalieren und deren Einfluss jeweils möglichst ähnlich

zu gestalten. Untersuchungsmethoden sind Hochgeschwindigkeitsaufnahmen, Lumineszenz- und akustische Emissionsmessungen sowie Reinigungs- und Erosionstests. Erste Ergebnisse zeigen einen Bereich, in dem eine gewisse Skalierbarkeit mit der Wellenlänge gegeben ist. Damit könnte man eventuell zu sehr hohen Frequenzen, bei denen die aktiven Blasen nicht mehr beobachtbar sind, extrapolieren.

Mi. 16:30 Raum 4

Kavitation und Blasen

### **Dynamik wechselwirkender Blasen bei akustischer Kavitation**

A. Pluta, U. Parlitz, R. Mettin und W. Lauterborn

*Universität Göttingen, Drittes Physikalisches Institut*

Ein Modell zur Beschreibung der Blasendynamik bei der akustischen Kavitation muss sowohl die Kopplung zwischen dem Schwingungs- und Translationsverhalten (z.B. primäre Bjerkneskraft) der einzelnen Blasen als auch die Wechselwirkungen untereinander (sekundäre Bjerkneskraft, Schallabstrahlung) berücksichtigen. In numerischen Simulationen werden die Einflüsse der verschiedenen Wechselwirkungen auf die Dynamik eines Mehrblasensystems und die dadurch auftretenden Bewegungsmuster untersucht. Zunächst wird die radiale Pulsationsdynamik akustisch angeregter, sphärischer Gasblasen in einem viskosen, schwach kompressiblen Fluid mit Hilfe linearisierter Keller-Miksis-Gleichungen über ein gekoppeltes System von gedämpften getriebenen harmonischen Oszillatoren beschrieben. Anschließend wird die Auswirkung einer zeitverzögerten Kopplung sowie nichtlineare Schwingungen untersucht.

Mi. 16:55 Raum 4

Kavitation und Blasen

### **Are shock fronts always present in pressure waves radiated by cavitation bubbles?**

K. Vokurka<sup>a</sup> und S. Buogo<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Technische Universität Liberec*; <sup>b</sup>*CNR - Istituto di Acustica 'O.M. Corbino', Roma*

Oscillations of cavitation bubbles can be extremely intensive. During these oscillations pressure waves of very high amplitude may be radiated, and it is common to refer to such waves as shock waves. But are these waves really shock waves? Shock waves, such as those generated in shock tubes or by explosive sources, can be characterized by a very steep shock front and by a supersonic velocity of propagation. However, no steep shock fronts have been observed in experimental pressure records yet, while there

is only evidence of supersonic velocities of propagation near the bubble wall. In the presentation we want to discuss the subject of shock waves in cavitation research in greater detail. The discussion will be based on a large set of pressure waves radiated by violently oscillating spark bubbles and measured recently by the authors. For intensities of bubble oscillations occurring in these experiments no shock waves have been observed. However, this does not imply that shock waves cannot be present in waves radiated by more intensively oscillating bubbles. But the question is: how intensively a bubble must oscillate to observe shock waves? [Work has been supported by the Czech Ministry of Education as the research project MSM46747878501]

Mi. 17:20 Raum 4

Kavitation und Blasen

**Molekuldynamische Untersuchung des Einfluß der Wassertemperatur auf Wasserdampfgehalt und sonochemische Reaktionen in schallangeregten Kavitationsblasen**

D. Schanz, T. Kurz und W. Lauterborn

*Universität Göttingen, Drittes Physikalisches Institut*

Die in den letzten Jahren durchgeführten Simulationen der Dynamik des Mediums im Innern einer kollabierenden, schallangeregten Kavitationsblase haben gezeigt, dass die Menge an Wasserdampf, die während des Kollapses in der Blase gefangen bleibt, einen starken Einfluß auf die berechneten Temperaturen und chemischen Umwandlungen hat.

Ein hoher Anteil von Wasserdampf in der Blase senkt die Kollapstemperatur und Reaktionsausbeute, da die Rotationsfreiheitsgrade des Wassers und seine chemische Dissoziation Energie aufnehmen. Entsprechend vermindert sich die Emission von Sonolumineszenzlicht.

Für eine Maximierung der Temperatur und das Erreichen extremer Zustände im Kollaps sollte daher der Wasserdampfanteil im Blasenmedium verkleinert werden. Dies lässt sich durch eine Absenkung der Wassertemperatur erreichen, welche zu einer Verminderung des Dampfdruckes führt.

In der vorliegenden Arbeit wird ein molekuldynamisches Modell einer Kavitationsblase genutzt, um den Einfluß der Wassertemperatur auf die Menge des im Kollaps gefangenen Wasserdampfes (das 'vapor trapping') zu ermitteln. Es werden die Unterschiede in den erreichten Temperaturen und Drücken aufgezeigt, sowie die Auswirkungen auf die chemische Aktivität der Blase am Beispiel des Anteils der produzierten Radikale dargestellt.

Mi. 17:45 Raum 4

Kavitation und Blasen

**Dynamische Entwicklung laserinduzierter Kavitationsblasen im stehenden Ultraschallfeld**L.-G. Wißmann, T. Kurz, D. Kröninger und W. Lauterborn*Universität Göttingen, Drittes Physikalisches Institut*

Es werden Untersuchungen zur zeitlichen Entwicklung der dynamischen Eigenschaften laserinduzierter, schallangeregter Kavitationsblasen unter verschiedenen Bedingungen vorgestellt. Die Blasen werden hierbei durch einen Femtosekundenlaser im stehenden Ultraschallfeld bei der Grundresonanz (44 kHz) einer wassergefüllten Küvette erzeugt. Mit Hilfe von kurzzeitbelichteten, zeitlich gestaffelten CCD-Aufnahmen wird die Blasendynamik vermessen. Die zeitliche Änderung der maximalen Blasengröße, die durch Gasdiffusion und eventuelle chemische Umwandlungsprozesse verursacht wird, kann je nach Stabilität der Blase bis zu einigen Sekunden lang verfolgt und dokumentiert werden. Durch Aufnahmen mit einer ICCD-Kamera wird parallel dazu die Entwicklung der Sonolumineszenzintensität registriert. Die Abhängigkeit dieser langsamen Veränderungen von dem Gasgehalt und der Temperatur der Flüssigkeit erlaubt Rückschlüsse auf die während der Transformation einer lasererzeugten Blase in eine stabile Sonolumineszenzblase auftretenden Transportprozesse.

Mi. 18:10 Raum 4

Kavitation und Blasen

**Experimentelle Beobachtung der sprunghaften Blasenbewegung in Kavitationsfeldern**R. Mettin und T. Nowak*Universität Göttingen, Drittes Physikalisches Institut*

Oszillierende Blasen, die in einem Schallfeld eine Translation ausführen, sollten eine unstete Bewegung zeigen: durch die Impulserhaltung der umströmenden Flüssigkeit wird die Blase in ihrer Kollapsphase beschleunigt und während des Aufschwings abgebremsst. Während der Effekt theoretisch wohlbekannt ist und auch an größeren Blasen in speziellen Aufbauten untersucht wurde, ist den Autoren keine direkte Beobachtung in kavitierenden Blasenfeldern bekannt. Wir zeigen Hochgeschwindigkeitsaufnahmen, in denen die sprunghafte Bewegung für einzelne Blasen sichtbar wird. Die gemessenen Blasengrößen und -geschwindigkeiten werden mit Modellen der Blasentranslation verglichen und insbesondere in Hinsicht auf Blasenstabilität untersucht.

Mi. 8:30    Raum 5    Aeroakustik: Messtechnik und Simulation

## **Low Noise Design - Beispiele aus der Strömungstechnik**

F. Kameier

*Fachhochschule Düsseldorf*

In der Strömungsakustik arbeiten ganz unterschiedliche Fachdisziplinen an Aufgabenstellungen, die häufig dem allgemeinen Maschinenbau zuzurechnen sind. Ein Wissen aus Physik, Elektrotechnik, Thermodynamik, Schwingungs-, Festigkeits- oder Strömungslehre und im speziellen aus der Aerodynamik ist dabei zu kombinieren. Grundlegende Verfahren, mit denen sich die strömungsmechanische Geräuscherzeugung simulieren lässt, stehen bisher nicht wirklich zur Verfügung. Prognosen hinsichtlich Schalldruckpegel und exponierter Frequenzen können verlässlich nur über Modelluntersuchungen und Ähnlichkeitsgesetze getroffen werden. Damit ist es aber bereits im Konstruktionsprozess möglich, strömungsinduzierte Geräuscentstehungsmechanismen zu berücksichtigen, um leise aber dennoch effiziente Maschinen zu konstruieren.

Beispielhaft werden hier komplexe Entstehungsmechanismen und technische Umsetzungen diskutiert. Neben dem Konstruktionsprozess leiser Strömungsmaschinen am Beispiel von Radialventilatoren werden Präventivmaßnahmen zur Geräuschreduktion an freistrahllähnlichen Anwendungen beschrieben. Verschiedene Turbulenzerzeuger zur Geräuschbeeinflussung werden anhand angewandter Beispiele aus der Strömungsmechanik gezeigt.

Für Radialventilatoren wird ein CAE-Verfahren vorgestellt, das an der FH Düsseldorf im Rahmen der anwendungsorientierten Forschung entwickelt wird. Leise und effiziente Maschinen bestehend aus Laufrad und Spiralgehäuse werden vollständig automatisiert virtuell konstruiert. Die 3-D Modelle werden sowohl für strömungsmechanische als auch für statische und dynamische Festigkeitsrechnungen im Rahmen numerischer Simulationen verwendet. Ein semi-empirisches Berechnungsverfahren erlaubt die Schallprognose - sofern Modellmessungen durchgeführt wurden.

Mi. 8:55    Raum 5    Aeroakustik: Messtechnik und Simulation

### **Ein innovatives CFD/BEM-Verfahren zur Berechnung von Strömungsgeräuschen von nicht-kompakten Körpern**

P. Segaert und C. Schram

*LMS International*

Die Theorie der "Aeroakustik" ist bereits seit 50 Jahren bekannt. Die zugrunde liegenden numerischen Methoden finden allerdings in der Simulation von strömungsinduziertem Schall erst in den letzten Jahren stärkere Verbreitung. Insbesondere hat dabei die Lighthill Aeroakustik Analogie Bedeutung für die Automobil- und Flugzeugindustrie erlangt. Mit dieser können Strömungsprozesse in äquivalente aero-akustische Quellen umgewandelt werden.

Dieser Vortrag beschreibt eine Erweiterung der Curle Analogie für aeroakustische Dipol-Quellen. Diese Methode findet bei der Berechnung von Geräuschen von turbulenten Grenzschichten in Strömungskanälen Anwendung. Sie setzt eine kompressible Strömungsberechnung voraus. In dieser Erweiterung des Curle-Verfahrens reicht eine inkompressible CFD-Rechnung aus, um die Schallausbreitung in Kanälen und Düsen mit einer akustischen Boundary-Element-Methode zu berechnen. Diese neue Hybrid-Methode basiert auf der Entkopplung der hydrodynamischen und akustischen Größen in der Grenzschicht. Sie eignet sich damit zu der Berechnung von Strömungsgeräuschen bei niedrigen Mach-Zahlen in Klimaanlage und industriellen Rohrleitungssystemen.

Anhand des Beispiels einer zweidimensionalen "Vortex Leapfrogging" Situation veranschaulicht dieser Vortrag die Möglichkeiten dieser Vorgehensweise.

Mi. 9:20    Raum 5    Aeroakustik: Messtechnik und Simulation

### **Berechnung des Umströmungsgeräusches eines komplexen Körpers mit Hilfe des Diskontinuierlichen Galerkin Verfahrens**

M. Bauer

*DLR Braunschweig / TU Braunschweig*

Umströmungsgeräusche spielen beim Entwurf lärmarmen Verkehrsmittel eine wichtige Rolle. Sie entstehen bei der turbulenten Umströmung von Kanten. Das konkrete Ziel dieser Arbeit

ist die Berechnung des Umströmungsgeräusches einer komplexen zweidimensionalen Tragflügelkonfiguration. Diese soll mit einem flexiblen Dreiecksgitter vernetzt werden. Darauf soll mit Hilfe der Diskontinuierlichen Galerkin (DG) Methode eine räumliche Diskretisierung der akustischen Störungsgleichungen (APE) vorgenommen werden. Die DG-Methode ist eine spezielle Finite-Element Methode, bei der die Näherungslösung an den Elementgrenzen unstetig sein darf. Bei den APE handelt es sich um ein System inhomogener, partieller Differentialgleichungen mit zeit- und ortsabhängigen Unbekannten. Ihre Koeffizienten hängen von der zeitgemittelten Grundströmung ab, welche typischerweise durch eine vorgeschaltete RANS-Rechnung ermittelt wird. Der Quellterm der rechten Seite der APE soll kostengünstig aus einem stochastisch modellierten Turbulenzfeld berechnet werden. Es wurde mit der Entwicklung eines Fortran Codes zur Lösung der APE mittels einer DG-Diskretisierung begonnen. Testrechnungen zeigten beispielsweise, dass dieser Code - wie beabsichtigt - eine Konvergenzordnung von vier liefert. Mit seiner Hilfe wurden zudem bereits verschiedene Möglichkeiten zur Berechnung des Schalldurchgangs durch eine ortsveränderliche Grundströmung mit der DG-Methode untersucht. Sobald Rechenergebnisse für die komplexe Tragflügelkonfiguration vorliegen, können diese verifiziert werden.

Mi. 9:45    Raum 5    Aeroakustik: Messtechnik und Simulation

### **The Numerical Simulation of an ElectroPneumatic Transducer**

J.-W. Nam und A.P. Manners

*TU Berlin, Inst. f. Strömungsmechanik und Technische Akustik*

The paper presents numerical simulations of the flow and acoustic fields of an ElectroPneumatic Transducer (EPT) and is a continuation of work reported last year in paper [A. Jakob & A.P. Manners, On the Simulation of ElectroPneumatic Transducers, DAGA 2007, Stuttgart, Germany]. The EPT generates an acoustic field by passing air through a set of holes in a pair of plates with one plate oscillating relative to the other in order to change the effective flow area. The ultimate objective of the work is to provide an acoustic model simple enough to serve as part of an active control model.

The earlier work reported poor results using an acoustic analogy based on the assumption of quasi-steady, incompressible flow because of the presence of an acoustic resonance. The current work considers simulations using an unsteady, two-dimensional,



moving grid, compressible flow model as the basis for deriving improved models for use in the control scheme.

Mi. 10:10 Raum 5 Aeroakustik: Messtechnik und Simulation

### **Entwicklung und Validierung eines Verfahrens zur Berechnung der Schallabstrahlung von Hochauftriebssystemen**

M. Pott-Pollenske und J. Wild

*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Braunschweig*

Das Umströmungsgeräusch der Hochauftriebssysteme heutiger Verkehrsflugzeuge trägt wesentlich zum Gesamtüberfluggeschall im Landeanflug bei. Zur Minderung dieses Geräuschanteils müssen daher Verfahren entwickelt werden, mit deren Hilfe die Schallerzeugung verschiedener Varianten eines Hochauftriebssystems während der aerodynamischen Optimierung in der Entwurfsphase beurteilt werden kann. Da die Schallerzeugung an turbulent überströmten Hinterkanten, wie z.B. der Vorflügelhinterkante, einen wesentlichen Anteil am Umströmungsgeräusch eines Hochauftriebssystems hat, wurde im Rahmen des DLR-Projekts LEISA ein Vorhersageverfahren für Hinterkantenlärm entwickelt und experimentell validiert. Grundlage für die Berechnung der Schallabstrahlung von turbulent überströmten Kanten ist eine von Ffowcs-Williams und Hall abgeleitete Beziehung in der der turbulente Wechseldruck der Strömung eine entscheidende Quellgröße darstellt. Die zur Berechnung des Wechseldrucks benötigten stationären und instationären Strömungsgrößen werden numerischen Strömungssimulationen auf Basis der gemittelten Navier-Stokes-Gleichungen entnommen. Zum Aufbau des Verfahrens erfolgten Untersuchungen an einem 2-dimensionalen NACA0012 Profil im Aeroakustischen Windkanal Braunschweig. Durch Fixierung des laminar-turbulenten Umschlags der Grenzschicht an unterschiedlichen Positionen wurde der Einfluss verschiedener Grenzschichtdicken auf die Schallabstrahlung und auf die Strömungsgrößen an der Hinterkante ermittelt. Letztere zeigten gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen numerischer Strömungssimulationen. Die aus den numerischen Daten für unterschiedliche Transitionslagen ermittelte Änderung der Schallabstrahlung entspricht den im Windkanalversuch ermittelten Werten. Das Verfahren wurde erfolgreich auf unterschiedliche 3-Element Hochauftriebskonfigurationen angewandt.

Mi. 14:00    Raum 5    Aeroakustik: Messtechnik und Simulation

### **Impact of Geometric Variations on the Flow and Generated Sound**

J. Grabinger<sup>a</sup>, C. Hahn<sup>a</sup>, M. Kaltenbacher<sup>a</sup>, S. Becker<sup>b</sup> und I. Ali<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Lehrstuhl für Sensorik, Universität Erlangen-Nürnberg;*

<sup>b</sup>*Lehrstuhl für Strömungsmechanik, Univ. Erlangen-Nürnberg*

A large amount of the total noise in our daily life is generated by turbulent flows (e.g. airplanes, cars, air conditioning systems, etc.). With the increase in traffic, noise pollution is becoming a more and more relevant topic. The sound generated by flow around cylindrical objects are present in many engineering applications like pantographs of trains, high-rise buildings, car antennas, beams, fences, supports in internal and external flows.

The objective of our contribution is to investigate the influence of changes in geometry of a wall mounted square cylinder in cross flow onto the generated aerodynamic noise. The flow and acoustic field of several geometries are numerically computed and their interaction is analyzed. These investigations indicate that a reduction of both pressure based drag and turbulent kinetic energy does not necessarily lead to a reduction of tonal noise sources that are associated with vortex street formation as well.

The obtained results have also been confirmed by measurements in an aeroacoustic wind tunnel. Therewith the major influence of the roof vortex on the stability of the vortex street and thus the resulting sound can be identified and shown in measurements of the wall pressure and its axial correlation.

Mi. 14:25    Raum 5    Aeroakustik: Messtechnik und Simulation

### **Schallemission bei der Überströmung einer vorwärtsspringenden Stufe**

C. Scheit<sup>a</sup>, I. Ali<sup>a</sup>, S. Becker<sup>a</sup>, C. Hahn<sup>b</sup> und M. Kaltenbacher<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Lehrstuhl für Strömungsmechanik, Universität Erlangen-Nürnberg;* <sup>b</sup>*Lehrstuhl für Sensorik, Univ. Erlangen-Nürnberg*

Während in den letzten Jahren die Umweltverschmutzung insgesamt vermindert wurde, blieb die laermbedingte Umweltverschmutzung nahezu konstant. Um geeignete Maßnahmen zur Verringerung der Laermemission entwickeln zu koennen, sind ein tieferes Verstaendnis der Entstehungsmechanismen sowie experimentelle und numerische Methoden zur Bestimmung der Laermquellen und der Ausbreitung notwendig. In dieser Arbeit

wird die Verwendung des Ffowcs-Williams und Hawkings Integralverfahren in Verbindung mit einer inkompressiblen Large-Eddy-Stroemungssimulation zur Berechnung der aerodynamischen Schallerzeugung vorgestellt. Das Verfahren ist direkt in einen Stroemungsloeser integriert um eine Zwischenspeicherung der kompletten Simulationsdaten auf einer Festplatte zu vermeiden. Dazu wurde ein *Advanced-Time*-Verfahren verwendet. Zur Erzeugung des Oberflaechengitters wird ein *Marching-Cubes* Algorithmus verwendet, der urspruenglich zur Visualisierung von Isoflaechen entwickelt wurde. Auf diese Weise ist keine zusaetzliche Gittergenerierung notwendig. Das Verfahren wurde darueber hinaus zum Einsatz auf Hochleistungsrechnern parallelisiert. Im Folgenden wird die Berechnung der Schallabstrahlung bei der Ueberstroemung einer vorwaertsspringenden Stufe gezeigt. Die Berechnung wurde fuer verschiedene Anstroemgeschwindigkeiten im Bereich niedriger Machzahlen ( $Ma < 0.1$ ) durchgefuehrt. Die Ergebnisse werden mit Messungen in einem Akustik-Windkanal verglichen und diskutiert.

Mi. 14:50 Raum 5 Aeroakustik: Messtechnik und Simulation

**Skalierungsgesetze für Hinterkantenlärm -  
konventionelle und lärmarme Abströmkanten im Vergleich**  
M. Herr

*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Braunschweig*

Turbulent überströmte Hinterkanten von Auftriebsflächen liefern einen wesentlichen Beitrag zum Zellenlärm heutiger Verkehrsflugzeuge sowie zum Blattgeräusch von Lüftern, Verdichtern oder Windkraftanlagen. Schon frühe Studien zu dieser Thematik haben gezeigt, dass durch eine strömungsdurchlässige Gestaltung der Endkanten (Porositäten, bürsten- oder kammartige Modifikationen der Kante) eine signifikante Geräuschminderung erzielt werden kann. Für die technische Umsetzung solcher Lärminderungsmaßnahmen an realen Tragflächenkomponenten wurden im Rahmen umfangreicher Parameteruntersuchungen im Aeroakustischen Windkanal Braunschweig (AWB) einfache Skalierungsgesetze für die Schallabstrahlung von kammartigen Abströmkanten abgeleitet. Die Untersuchungen wurden an einer Platte variabler Länge ( $Re = 2.1$  Mio. bis  $7.9$  Mio.) sowie an einem NACA0012-ähnlichen Profil ( $Re = 1.1$  Mio. bis  $1.6$  Mio.) durchgeführt. Zur Messung des von der Hinterkante abgestrahlten Fernfeldschalls wurde eine Richtmikrofonanordnung (elliptischer Hohlspiegel mit  $1/4$ "-Mikrofon im Nahfokus) benutzt. Oberflächenwechseldruckmessungen und Messungen instationärer

Strömungsgrößen (Hitzdrahtmessungen, Hochgeschwindigkeits-Particle-Image-Velocimetry) dienen der Charakterisierung der turbulenten Grenzschicht im Quellbereich. Neben der systematischen Quantifizierung der erzielten Geräuschminderung in Abhängigkeit von den wichtigsten Auslegungsparametern der Kantenmodifikationen erbrachten diese Untersuchungen auch weitere grundsätzliche Erkenntnisse hinsichtlich der Schallerzeugung an konventionellen (undurchlässigen) Abströmkanten.

Mi. 15:15    Raum 5    Aeroakustik: Messtechnik und Simulation

### **Zur Minderung des Umströmungsgeräusches bei Profilen aus porösem Material**

T. Geyer und E. Sarradj

*Brandenb. Technische Universität Cottbus*

Der bei der Umströmung von Tragflügeln und anderen Profilen vor allem an der Hinterkante entstehende Schall ist eine der untersuchten Schallquellen auf dem Gebiet der Aeroakustik.

Ein mögliches Konzept zur Minderung dieses Umströmungsgeräusches ist die vollständige oder teilweise Verwendung von offenporösen Materialien zur Fertigung der Profile. Im Beitrag wird der Frage nachgegangen, welche physikalischen Ursachen dieser Minderung zugrunde liegen und wie sich die porösen Materialparameter, insbesondere der längenbezogene Strömungswiderstand  $\Xi$ , auf das Umströmungsgeräusch auswirken. Dazu wird über die Ergebnisse umfangreicher experimenteller Untersuchungen im aeroakustischen Windkanal der BTU Cottbus berichtet. Dabei wurden Messungen an verschiedenen Modellprofilen identischer Form und Größe, aber aus unterschiedlichen Materialien, durchgeführt. Mit Hilfe akustischer und aerodynamischer Messtechnik wurde die aeroakustische Schallentstehung der einzelnen Profile unter Berücksichtigung der aerodynamischen Effizienz analysiert. Es werden die aus den Ergebnissen abgeleiteten Schlussfolgerungen über die Wirkungsweise des porösen Materials diskutiert. Abschließend werden Arbeiten zur Entwicklung eines Modells vorgestellt, welches die Abhängigkeit der Schallentstehung von den Parametern der porösen Materialien beschreibt.

Mi. 15:40    Raum 5    Aeroakustik: Messtechnik und Simulation

**Experimental and numerical analysis of the generation of a turbulent flow field in a free stream jet and its correlation to acoustic radiation and wall pressure fluctuations**

C. Reichl<sup>a</sup>, W. Tilser<sup>b</sup>, M. Böck<sup>b</sup>, H. Lang<sup>a</sup>, K. Haindl<sup>c</sup>, F. Reining<sup>c</sup> und M. Opitz<sup>c</sup>

<sup>a</sup>arsenal research, Wien; <sup>b</sup>Technical University of Vienna; <sup>c</sup>AKG Acoustics GMBH

A turbulent circular free stream jet is generated using an axial symmetric fan driven by a brushless actuator with variable frequency leading to typical core-velocities of around 10 m/s ( $Re = 99000$ ). The flow is propagated through a pipe system significantly damping the noise from the fan. Turbulence is generated using different sets of turbulence generators in the pipe consisting of meshes, rods, cubes and spikes. The turbulent flow field downstream of the pipe outlet is measured using two-axis hot wire anemometry with a temporal resolution of a minimum of 48 kHz. The CTA probe is positioned using an automated three-axis traversing system. Microphones located at freely adjustable positions are used to capture the acoustic radiation and the wall pressure fluctuations. CFD calculations are performed for the different turbulence generators and compared to the acoustic and CTA signals. An important aspect of the work is the simultaneous recording of both the CTA- and the acoustic signals in the experimental and numerical approach. This allows for the calculation of correlation patterns between turbulence and the acoustic signals. The generation of free stream turbulence in a controlled way and its correlation to downstream pressure fluctuations is the primary aim of the work.

Mi. 16:30    Raum 5    Aeroakustik: Messtechnik und Simulation

**Schallmessungen in Strömungen**

W. von Heesen

*Müller-BBM GmbH, Niederlassung Gelsenkirchen*

Mikrofone sind Druckempfänger. Sie wandeln den an der Mikrofonmembran herrschenden Wecheldruck in eine elektrische Wechselspannung um. Befindet sich das Mikrofon in einer Strömung, so treten zwei Phänomene auf, die die Schallmessung verfälschen. (1) Durch die Umströmung des Mikrofons entsteht der sogenannte "self-noise". Das Mikrofon stellt einen Störkörper in der Strömung dar, an dem sich Wirbel ablösen. Diese

Wirbel erzeugen Druckschwankungen, die vom Mikrofon gemessen werden. (2) In der freien Strömung sind in der Regel Turbulenzen vorhanden, die sich als Schwankungen des Drucks und der Strömungsgeschwindigkeit manifestieren. Diese werden gleichfalls vom Mikrofon gemessen. Die Verfälschung von Schallmessungen in Strömungen kann durch verschiedene Mikrofonvorsätze vermindert werden. Übliche Mikrofonvorsätze sind Nasenkonus, Windschirme aus offenporigem Schaumstoff oder die Schlitzrohrsonde nach ISO 5136. Letztere hat einen signifikanten Einfluss auf den Frequenzgang des Mikrofons und erfordert eine entsprechende Korrektur. Es wird über Praxiserfahrungen mit den verschiedenen Mikrofonvorsätzen berichtet. Der Schwerpunkt liegt auf der Beschreibung der Eigenschaften der Schlitzrohrsonde. Es wird ein Verfahren zur Trennung der von Strömungsturbulenzen und von Schall verursachten Druckschwankungen beschrieben.

Mi. 16:55    Raum 5    Aeroakustik: Messtechnik und Simulation

### **Modifikation am aeroakustischen Windkanal der BTU Cottbus**

J. Giesler und E. Sarraj

*Brandenb. Technische Universität Cottbus*

Für aeroakustische Untersuchungen steht der Juniorprofessur Aeroakustik der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus ein Freistrah-Windkanal nach Eiffel-Bauart zur Verfügung, der eine hohe Strömungsgüte und ein leises Eigengeräusch aufweist. Letzteres wurde unter anderem durch den Einbau von Schalldämpfern und die getrennte Unterbringung von Messstrecke und Antrieb des Kanals in zwei benachbarten Räumen erreicht.

Die akustischen Bedingungen für Messungen können variiert werden. Im Messraum selbst herrschen akustische Diffusfeldbedingungen. Durch Einsatz einer mobilen schallabsorbierend ausgekleideten Messkabine kann aber auch eine reflexionsarme Messumgebung bereitgestellt werden. Mit verschiedenen Düsen waren bisher Strömungsgeschwindigkeiten bis zu 50 m/s in der Messstrecke des Kanals möglich. Durch Modifikation werden höhere Geschwindigkeiten erreicht.

Im Beitrag wird die Nachrüstung des Windkanals vorgestellt und es werden Messergebnisse zur Strömungsgüte und zur Schallemission des Kanals präsentiert.

Mi. 17:20    Raum 5    Aeroakustik: Messtechnik und Simulation

**Vergleich experimenteller Daten und numerischer Berechnungen zur Analyse der Dämpfungseigenschaften überströmter Liner für Flugtriebwerke**

S. Busse<sup>a</sup>, C. Richter<sup>a</sup>, C. Heuwinkel<sup>b</sup>, L. Enghardt<sup>b</sup>, I. Röhle<sup>b</sup>, U. Michel<sup>b</sup> und F. Thiele<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Technische Universität Berlin;* <sup>b</sup> *Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Berlin*

Der Einfluss der Überströmungsgeschwindigkeit auf die Impedanz von Schalldämpfern (Liner) ist für deren Einsatz in Flugtriebwerken ein wichtiger Parameter. Dieser wurde experimentell und numerisch untersucht. Dazu wurden in einer durchströmten, austauschbaren runden oder eckigen Messstrecke verschiedene axialsymmetrische oder ebene schalldämmende, realitätsnahe Auskleidungen vermessen. Jede untersuchte Frequenz wurde von Lautsprechern monofrequent angeregt. Die resultierenden Wechseldrucke wurden mithilfe mehrerer beidseitig der Probe wandbündig angeordneter Mikrofone erfasst. Die Messdatenauswertung, insbesondere die Trennung in hin- und zurücklaufende Wellen und die Berücksichtigung verschiedener Fehlergrößen, erfolgte durch Algorithmen im Frequenzbereich. Die Auswertungsergebnisse waren Ausgangsbasis für die numerische Rückrechnung der Impedanz im Zeitbereich mit Hilfe einer numerischen Methode. Dafür wurde ein kommerzielles, nichtlineares Optimierungsverfahren mit einer proprietären CAA-Methode gekoppelt. Ziel der Optimierung war die Minimierung des Fehlerquadrats zwischen gemessenem und numerisch berechnetem Frequenzgang der Schalleistungsdissipation des Liners. Dazu wurden die fünf Parameter des Impedanzmodells variiert. Bei Formulierung im Zeitbereich kann der Frequenzgang der Impedanz mit einer einzigen Optimierung gefunden werden. Im Gegensatz zu Messungen mit dem Kundtschem Rohr berücksichtigt die berechnete Impedanz nichtlineare Änderungen durch die Überströmung der Probe. Mit den ermittelten Modellparametern kann die Wirkung der akustischen Auskleidung in der realen Einbausituation im Flugtriebwerk simuliert werden.

Mi. 17:45    Raum 5    Aeroakustik: Messtechnik und Simulation

### **Mikrofonarrayverfahren für kompakte aeroakustische Quellen**

E. Sarraj

*Brandenb. Technische Universität Cottbus*

Im Bereich der aeroakustischen Messtechnik und darüber hinaus hat sich die Untersuchung von Schallquellen mit Hilfe des gleichzeitigen Einsatzes mehrerer Mikrofone, so genannter Mikrofonarrays, etabliert. Dabei werden vorrangig Algorithmen zur Signalverarbeitung eingesetzt, die darauf optimiert sind, die Orte mehrerer Schallquellen zu bestimmen. Dabei entsteht, wie zum Beispiel beim Beamforming, das Problem einer mangelhaften Abbildung der einzelnen Quellstärken. Gleichzeitig ist oft der Ort einer Schallquelle a priori bekannt. Davon ausgehend, wird im Beitrag über ein Verfahren berichtet, das auf der Grundlage eines generischen Modells der Schallquelle quantitative Aussagen über die Quellstärke liefert. Dazu wird zunächst der zugrunde liegende Algorithmus erläutert. Danach werden anhand von aus synthetisch gewonnenen Daten erzeugten Ergebnissen die Eigenschaften des Verfahrens erläutert. Abschließend werden Ergebnisse realer Messungen vorgestellt.

Mi. 18:10    Raum 5    Aeroakustik: Messtechnik und Simulation

### **Schallschnellemessung mit akustischem PIV am Beispiel einer Lochplatte**

A. Fischer, L. Enghardt und I. Röhle

*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Berlin*

Durch phasensynchronisierte PIV-Messungen (Particle Image Velocimetry) wurde das Schallschnellefeld an einer einseitig beschallten Lochplatte vermessen. Diese Messung dient als Voruntersuchung für die Bestimmung akustischer Eigenschaften von Linern (akustisch dämpfende Wandauskleidung). Es konnte die Wechselwirkung zwischen Schall- und Sekundärströmungsfeld am Loch in Abhängigkeit von Anregungsamplitude sowie Anregungsfrequenz untersucht werden. Das Schallschnellefeld wurde mit Hilfe von phasensynchronisierten PIV-Messungen bezüglich der monofrequenten Anregung bestimmt. Dazu wurden zwei um  $180^\circ$  phasenversetzte Geschwindigkeitsvektorfelder aufgenommen, in denen die Schallschnelle ein entgegengesetztes Vorzeichen besitzt. Da die gemessenen Geschwindigkeitsvektoren sich



aus den Komponenten der mittleren Geschwindigkeit, den turbulenten Schwankungen sowie der Schallschnelle zusammensetzen, lässt sich durch Subtraktion beider Geschwindigkeitsvektorfelder das Schallschnellefeld berechnen.

Akustische Untersuchungen wurden bisher meist mit Druckaufnehmern wie Mikrofonen durchgeführt. Für die Impedanzbestimmung von z.B. durchströmten Rohren, Düsen oder Linern sind der akustische Druck sowie die Schallschnelle als Funktion von Raum und Zeit notwendig. Eine Bestimmung der Schallschnelle erfolgt beispielsweise durch die gleichzeitige Messung des Druckes an benachbarten Orten und berechnet sich über eine verknüpfte Gleichung von Schnelle und Druck. Das hier vorgestellte so genannte "Akustische PIV" bietet eine berührungslose Möglichkeit zur direkten Messung der Schallschnelle bei gleichzeitiger Bestimmung des Geschwindigkeitsfeldes und ermöglicht zusammen mit wandbündig eingebauten Mikrofonen eine Bestimmung der Impedanz.

**Fachvorträge am Donnerstag, den 13.03.2008**

Do. 8:30 Festsaal

Sprache im KFZ II

**Robust Spelling and Digit Recognition in the Car: Switching Models and Their Like**B. Schuller<sup>a</sup>, M. Wöllmer<sup>a</sup>, T. Moosmayr<sup>b</sup> und G. Rigoll<sup>a</sup><sup>a</sup>*Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation, TU München;*<sup>b</sup>*BMW Group*

Spelling and Digit Recognition is of utmost importance in many car interaction scenarios as destination entering, dialing, browsing, or SMS writing. However, from a recognition point of view it is still not solved, robustly. In this work we therefore investigate the impact of noise and coping with it considering four different car types, and driving situations, each, and the well-known TI-46 digit database. First, word-models are learned by Hidden-Markov-Models in matched and mismatched conditions. Second, we consider filtering and typical noise-reduction techniques. Finally, we switch to switching auto-regressive and linear dynamical models, and show their potential for dealing with true non-white noise in extensive test-runs.

Do. 8:55 Festsaal

Sprache im KFZ II

**Vergleich zwischen automatisiertem Labortest und Live-Probantentest zur Beurteilung der Erkennungssicherheit eines sprachbedienten Systems im Kraftfahrzeug**G. Klasmeyer, B. Haferburg und M. Herrenkind*IAV GmbH*

Sprachbediente Systeme werden zunehmend im Kraftfahrzeug eingesetzt. Um zu verifizieren, dass die Sprachbedienung einem bestimmten Qualitätsanspruch genügt, müssen auch Tests der Erkennungsrate durchgeführt werden.

Üblicherweise finden diese Tests mit verschiedenen Sprechern bei verschiedenen Fahrbedingungen im Kraftfahrzeug statt. Solche Live-Probantentests sind jedoch nur schwer reproduzierbar. Zudem ist die Wiederholung eines Tests, z. B. nach einer Modifikation des Systems in der Entwicklungsphase, nur mit dem gleichen Zeit- und Personalaufwand, sowie den damit verbundenen Kosten realisierbar. Eine Automatisierung unter reproduzierbaren Laborbedingungen bringt in dieser Hinsicht Vorteile. Durch Trennung von in reflektionsarmer Umgebung aufgenommenen

Sprachkommandos und im Fahrzeug aufgezeichneten Fahrgeräuschprofilen lassen sich Sprachsignale wiederholt - auch in unterschiedlichen Fahrzeugkabinen - einsetzen.

Die Testautomatisierung birgt jedoch ein Problem, welches wir in der vorliegenden Studie untersuchen wollen. Wenn ein Proband das System für viele Stunden im Fahrzeug erprobt, ist der Proband selbst einer Lernphase unterworfen, in der er - bewusst oder unbewusst - herausfindet, mit welcher Aussprachevariante, Artikulationsgenauigkeit, Sprechgeschwindigkeit, Stimmlage usw. er vom Gerät am besten verstanden wird. Bei der Aufzeichnung von Sprachproben im reflektionsarmen Raum lässt sich diese Lernphase kaum realistisch simulieren.

Wir untersuchen in der vorliegenden Studie, wie stark die gemessenen Erkennungsraten bei automatisiertem Test im Vergleich mit einem Live-Probandentest voneinander abweichen.

Do. 9:20 Festsaal

Sprache im KFZ II

### **Sprachkommunikation mit Auto-Navigationssystem und ihre Implementation in der VoiceXML Sprache**

T. Nestorovic und V. Matousek

*Westböhmisches Universität Pilsen*

Der Artikel wird die Grundsätze der Dialogführung in natürlicher Sprache mit einem Auto-Navigationssystem beschreiben. Es werden Grundprinzipien des Entwurfs der Dialogführung, Zerlegung von unterschiedlichen Dialogen auf einzelne Funktionsschritte und zusammenhängende Funktionsmodule sowie auch der Entwurf von Grundfunktionen der Kommunikationsschnittstelle detailliert beschrieben. Die Benutzerschnittstelle kann sehr einfach als die Kommunikationsleitung (Kanal) zwischen dem Benutzer und dem System definiert werden, die Qualität der Schnittstelle und die Beziehungen des Benutzers zum System können ohne Probleme festgesetzt werden. Die Dialogführung muss unbedingt einfach und klar entworfen werden, die Kommunikationsschritte müssen nur mit sehr wenigen Alternativen realisiert werden, da die optimale Benutzerschnittstelle die Systemhandhabung mit dem System auch ohne Kenntnis ihrer internen Struktur oder ihrer Konstruktion ermöglichen sollte. Als die Kriterien der Optimalität der Benutzerschnittstelle können die folgenden Bedingungen angenommen werden:

- Konzentrierung nur auf die Grundfunktionen des Systems,
- einfache und zuverlässige Dialogführung,
- einfache Kontrolle der Dialogführung,

- einfache Struktur von Erklärungen, Bemerkungen und Einsparungen,

- Minimalisierung von Fehlern bei der Dialogführung usw.

In allgemeinen gilt, dass die Kommunikationsfähigkeiten von gegenwärtigen Dialogsystemen nicht gut sind, aber der Systemgestalter sollte die Mehrheit von Aktivitäten des Benutzers mit dem System gestatten. Es geht um eine sehr empfindliche Sache, da die Dialogführung vom System vollständig gesteuert werden muss, aber der Benutzer darf es nicht erkennen. Das Modul der Dialogsteuerung soll immer mit ungewaltsamer Form

- die Kohärenz der Benutzeranforderung mit Systemmöglichkeiten ständig überprüfen,

- den Benutzer freundlich behandeln,

- auch die unvollständigen Benutzeranforderungen erfolgreich bearbeiten (wenn es möglich ist),

- die relevanten Systemreaktionen generieren,

- die wahrscheinlichsten Benutzerreaktionen präzisieren u. v. a.

Der Artikel wird auch die Eigenschaften von existierenden technischen und Programmmitteln zum Entwurf von einfachen natürlich sprechenden Dialogsystemen diskutieren und die Implementierungen des Dialogsystems in verschiedenen Programmiersprachen sowie auch eine einfache Implementierung in der spezialisierten Programmiersprache VoiceXML werden präsentiert.

Do. 9:45 Festsaal

Sprache im KFZ II

## **Digitale Sprachverbesserung für Automobile**

C. Schucht

*IAV GmbH*

In Fahrzeugen mit mehr als zwei Sitzreihen leidet die Sprachkommunikation zwischen den Insassen aufgrund verschiedener Einflussgrößen wie z.B. Fahrgeräusch, akustische Bedämpfung der Kabine, Hörentfernung, Reflexionen, Nachhalldauer, etc.. Eine geringe Höranstrengung zur Sprachkommunikation während der Fahrt ist jedoch als wesentliches Komfortmerkmal zu nennen. Das vorgestellte Verfahren löst diese Problematik mithilfe zweier Übertragungswege in der Fahrzeugkabine. Der Beitrag zeigt eine spezielle akustische Auslegung der Wandlerkomponenten, bei der die Rückkopplungsgefahr von Mikrofon zu Lautsprecher verringert wird. Die Signalverarbeitung beinhaltet eine Rauschreduktion in 128 Frequenzbändern, wobei auf ein adaptives Rauschmodell verzichtet und damit eine schnelle Anpassung ermöglicht wird. Des Weiteren sind die Funktionen eines spektralen Mikrofon-Gates und einer Feedback-Reduktion realisiert. Die

gefilterten Sprachsignale steuern eine Pegelwaage, die ein bidirektionales Sprechen erlaubt und gleichzeitig eine übermäßige Pegelerhöhung im Betrieb verhindert. Besondere Maßnahmen wurden zur Frequenzgang- und Zeitentzerrung umgesetzt. Neben der Ausnutzung des Haas-Effekts zur korrekten Lokalisation des Sprechers kommt eine terzbasierte Hörbewertung mit Burst-Signalen zur Anwendung, um gleichzeitig eine optimierte Entzerrung für unetstetige und eingeschwungene Signale zu berücksichtigen. Dabei wird der vorhandene Luftschall um das elektroakustische Signal lediglich ergänzt, damit ein natürlicher Sprachklang entsteht. Die Entzerrung ist damit genau für eine gewünschte Sprachverstärkung gültig. Das System wurde in ein dreireihiges Testfahrzeug verbaut, parametrisiert und beurteilt.

Do. 10:10 Festsaal

Sprache im KFZ II

### **Wahrnehmungsbasierte Audiosignal-Mischung**

W. Hess

*Harman/Becker Automotive Systems*

Fahrzeug-Audiosysteme, die auch als "Infotainment-Systeme" bezeichnet werden, stellen dem oder den Fahrzeuginsassen Informationen und Unterhaltung auditiv zur Verfügung. Dabei werden unterschiedlichste Unterhaltungs-Signalquellen, wie beispielsweise FM/AM-Radio, CD/DVD-Spieler oder MP3-Spieler, wiedergegeben. Oftmals ist ein Mischen mit Informations-Signalquellen, wie beispielsweise einer Navigations-Ansage, erforderlich.

Da nur selten bei gleicher Lautstärke-Einstellung am Gerät äquivalente Lautheiten der verschiedenen Unterhaltungs-Signalquellen erzielt werden, ist ein ständiges Nachregeln der Informations-Lautstärke erforderlich.

Der in diesem Beitrag vorgestellte Lösungsansatz ermöglicht die kontinuierliche Anpassung der Informations-Signalquelle an die Lautheit der Unterhaltungs-Signalquelle. Durch die Schätzung der wahrgenommenen Lautheit mit einem einfachen psychoakustischen Modell wird hierbei die Informations-Signalquelle kontinuierlich nachgeregelt, ohne daß eine Modulation durch das Unterhaltungs-Signal entsteht. Diese Lösung gewährleistet eine an das Fahrgeräusch angepaßte gleichbleibend hohe Sprachverständlichkeit von Informations-Signalen sowohl bei unterschiedlich ausgesteuerten Tonträgern als auch bei mit unterschiedlichem Hub modulierten Radiosendern.

Do. 14:00 Festsaal

Sprache im KFZ II

**Speech enhancement using a modified speech-presence-uncertainty criterion**D. Janardhanan, U. Heute und J. Schwarz*Lehrstuhl für Netzwerk- und Systemtheorie, Universität Kiel*

A speech signal has frequency components that extend even to 14kHz. Thus, in traditional telephone-band/narrowband speech (300-3400 Hz) a significant part of the speech spectrum is dropped. Wideband speech (50-7000 Hz), on the other hand, due to its extended bandwidth is superior in perceptual quality to narrowband speech. Inclusion of the speech spectrum in the lower range (50-300 Hz) improves speech naturalness and comfort, while the inclusion of the high-frequency range (3400-7000 Hz) enhances intelligibility, and speaker identification. These features offered by wideband speech make it an attractive candidate for future modern speech communication, as it is being gradually installed in some applications already.

Speech communication is generally plagued by the presence of background noise sources, particularly in open-air, factory, or especially car environments. Methods trying to reduce this noise by means of digital speech-processing techniques, termed speech enhancement, create artifacts. In the full paper a proposal for a speech enhancement method is given, which incorporates a modified speech-presence-uncertainty criterion. Emphasis is on disturbances in a driving-car interior. The proposed approach is able to better preserve the speech components for both wideband and narrowband speech.

Do. 14:25 Festsaal

Sprache im KFZ II

**Vollduplex-Kommunikation für Consumer- und Automotive-Anwendungen**C. Gruber und D. Hirschfeld*voice INTER connect GmbH*

Die Möglichkeit des Freisprechens ist ein wesentliches Komfortmerkmal in modernen Sprachkommunikationsanlagen. Hierbei kommen unterschiedliche Verfahren zur Echokompensation zum Einsatz (AEC, LEC usw.), mit der sich Rückkopplungen zwischen den einzelnen Funktionskomponenten des Kommunikationssystems reduzieren lassen. Der Beitrag stellt typische Ursachen für Echos in einem Kommunikationssystem vor und erläutert die unterschiedlichen Ansätze zu deren Beseitigung.

Für die Anwendungsbereiche Kfz-Freisprecheinrichtung bzw. vollduplexfähige Gebäudekommunikationstechnik werden praktische Lösungen vorgestellt. Weiterhin werden Maßnahmen beim Systemdesign diskutiert, welche eine gute Audioqualität des Endproduktes sicherstellen.

Als ein drittes Anwendungsbeispiel werden Systeme zur Kommunikation innerhalb von Fahrzeugen (In-Car-Kommunikationssysteme) präsentiert, mit denen sich unter anderem die Sprachkommunikation zwischen Vorder- und Rücksitzen im Pkw bei sehr lauten Umgebungsgeräuschen während der Fahrt bei hoher Geschwindigkeit verbessern lässt.

Der Beitrag stellt die unterschiedlichen Anforderungen an die akustische Echokompensation und das Gesamtsystem dieser drei Zielanwendungen gegenüber, arbeitet die unterschiedlichen praktischen Anforderungen an die Verfahren heraus und vergleicht die Systemarchitektur und die benötigten Komponenten.

Do. 14:50 Festsaal

Sprache im KFZ II

### **Leistungsfähigkeit der modellbasierten Optimalfilterung für die Echounterdrückung in KFZ-Freisprechsystemen**

G. Enzner<sup>a</sup> und M. Pauls<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Ruhr-Universität Bochum; <sup>b</sup>Nokia GmbH Bochum

Die Unterdrückung akustischer Echos und Umgebungsgeräusche ist entscheidend für die Akzeptanz von Freisprechsystemen in Kraftfahrzeugen. Existierende, zumeist heuristisch geprägte Lösungen der Signalverarbeitung erfordern hierfür ein hohes Maß an Optimierung. Dennoch genügt die resultierende Qualität oft nicht den Kundenanforderungen, insbesondere durch die eingeschränkte Gegensprechfähigkeit der Systeme. Diese zeigt sich entweder durch unerwünschte Bedämpfungen des Mikrofonsignals, erhebliche Klangverfärbungen oder durch Echoartefakte während des Gegensprechens. Zudem steigen die Adaptionszeiten vieler Echokompensationsfilter mit zunehmender Empfangslautstärke an.

Der vorliegende Beitrag beschreibt zunächst die Grundzüge eines neuen, modellbasierten Signalverarbeitungskonzeptes, welches die geschlossene mathematische Beschreibung und Optimierung adaptiver Echounterdrückungsfilter und deren Steuerungsmechanismen ermöglicht. Der resultierende Algorithmus zur Echounterdrückung zeichnet sich in der Praxis vor allem durch seine inhärente Robustheit in der Gegensprechsituation aus, welche ohne aufwändige Parameteroptimierung erreicht werden kann.

Des Weiteren werden konkrete Leistungsmerkmale des vorgeschlagenen Verfahrens anhand der aktuellsten Meßempfehlung des Verbandes der Automobilindustrie (VDA) angegeben. Auf der Grundlage der wichtigsten VDA-Qualitätsmerkmale wird dann eine fundierte Einschätzung über die Leistungsfähigkeit des Algorithmus getroffen, welche das Potential des neuen Verfahrens im Kraftfahrzeugbereich unterstreicht. Ergänzt werden die objektiven Meßresultate durch einen auditiven Test einer Gruppe erfahrener Testpersonen.

Do. 15:15 Festsaal

Sprache im KFZ II

### **Speaker Position Estimation in Vehicles by Means of Acoustic Analysis**

A. Swerdlow, T. Machmer und K. Kroschel

*Universität Karlsruhe, Institut für Nachrichtentechnik*

The interaction between man and machine via acoustic analysis systems gains more and more in importance for vehicles that will come on the market in the next years. Thereby, the position of the user within the vehicle is of particular interest, for example to generate some position specific properties for seat and air conditioning settings, but also for manipulations of entertainment systems.

An in-car speaker localization system presented on the DAGA 2007 enabled the detection of passengers by means of a time delay based method and a microphone array in two steps. First, the time delay of arrival (TDOA) of sound signals in a pair of spatially separated microphones had to be estimated. Then the estimated TDOA in combination with the known microphone array geometry could be used for the localization of the sound source in the environment.

The current paper evaluates an improved one-step approach for sound source localization using SRP-PHAT for the position estimation. Furthermore, different microphone array configurations are investigated to find optimal array geometry and consider requirements of the automotive industry concerning microphone positioning possibilities inside modern car models. In addition, the developed real-time system is presented.



Do. 15:40 Festsaal

Sprache im KFZ II

**Blinde akustische Strahlformung für Anwendungen im KFZ**

A. Krüger, E. Warsitz und R. Hüb-Umbach

*Universität Paderborn, Fachg. Nachrichtentechnik*

Mikrofongruppen ermöglichen eine qualitativ hochwertige Sprachaufnahme im KFZ, die sowohl vom Fahrer als auch von Mitfahrern genutzt werden kann.

In diesem Vortrag werden zwei neuartige akustische Strahlformungsalgorithmen für einen Einsatz im KFZ diskutiert. In beiden Verfahren ist für jede Frequenzkomponente der Eigenvektor zum größten Eigenwert eines verallgemeinerten Eigenwertproblems (GEV: generalized Eigenvalue) zu bestimmen:

- beim GEV-PF Strahlformer stellen die Filterkoeffizienten gerade obigen Eigenvektor dar. Sprachverzerrungen werden mit einem einkanaligen Nachfilter (PF: Postfilter) kompensiert.

- der GEV-GSC ist ein Strahlformer in der Struktur eines "Generalized Sidelobe Cancellers" (GSC), deren Blocking Matrix auf obiger Eigenvektorerlegung basiert.

Beide Strahlformer berücksichtigen explizit Abweichungen von der Freiraumausbreitung und räumlich korreliertes Rauschen. Außerdem können sie beide als blinde Strahlformer realisiert werden, d.h. sie benötigen weder die Kenntnis der Sprecherrichtung noch der Mikrofonanordnung. Auch kann die Adaption selbst bei Vorhandensein von gerichteten oder ungerichteten Störungen durchgeführt werden. Für die Bestimmung des Eigenvektors wurde ein schneller iterativer Vektoralgorithmus eingesetzt. Während der GEV-PF sehr schnell adaptiert, erreicht der GEV-GSC insgesamt eine höhere Rauschunterdrückung.

In diesem Beitrag werden die spezifischen Vor- und Nachteile der beiden Anordnungen für eine Anwendung im KFZ diskutiert. Mit einer Kombination der beiden Varianten lassen sich deren jeweiligen Vorteile gemeinsam nutzen.

Do. 16:05 Festsaal

Sprache im KFZ II

**Erfassung von Sprache im KFZ mit Störgeräuschreduktion im Nahfeld eines Mikrofon-Sparse-Arrays**P. Vicinus<sup>a</sup>, P. Kitzenmaier<sup>a</sup> und R. Orglmeister<sup>b</sup><sup>a</sup>*PEIKER acustic GmbH & Co. KG*; <sup>b</sup>*TU Berlin, EN 3*

Die Sprachsignalerfassung in einem KFZ ist von immer größerem Interesse. Neben der Freisprechtelefonie spielt dabei auch die sprachgestützte Bedienung von Geräten im Fahrzeug eine zunehmende Rolle. Sollen diese Anwendungen von allen Fahrzeuginsassen genutzt werden können, ergeben sich erhöhte Anforderungen für die Signalerfassung.

Aufgrund der Direktivität der Sprache in Blickrichtung sowie der Abnahme der Schallintensität mit zunehmendem Abstand vom Mund und einem annähernd diffusen Störgeräusch innerhalb der Fahrzeugkabine ist für eine gute Erfassung aller Sprach-Quellensignale die Platzierung von mindestens einem Mikrofon in der Nähe und in ungefährer Blickrichtung jedes potentiellen Sprechers angebracht. In vielen Fällen kann die entstehende Mikrofonanordnung als sogenanntes Sparse-Array betrachtet werden, in dessen Nahfeld sich die Insassen befinden.

In diesem Beitrag wird ein Verfahren zur Spracherfassung und Störgeräuschreduktion im Nahfeld eines Sparse-Arrays vorgestellt. Es wird zunächst für jeden der Fahrzeuginsassen nach dem Prinzip eines Linear Constrained Minimum Power Beamformers seine Richtcharakteristik berechnet, die nicht stationäre Störer unterdrücken soll. Die Ausgangskanäle dieser Beamformer werden in einer zweiten Stufe über ein blindes Nahfeld-Beamforming-Verfahren optimal bezüglich des maximalen Signal-Stör-Verhältnisses räumlich gefiltert. Eine zusätzliche Reduktion der Störung wird über einen nachgeschalteten kohärenzbasierten Postfilter realisiert. Die Leistungsfähigkeit des Verfahrens zeigen Vergleiche mit anderen bekannten Verfahren.

Do. 8:30 Zwinger

Bauakustik: Leichtbau II

**Schall-Längsleitung bei Massivholzkonstruktionen**F. Dolezal<sup>a</sup> und T. Bednar<sup>b</sup><sup>a</sup>*Holzforschung Austria*; <sup>b</sup>*TU Wien*

Die Schallübertragung zwischen 2 Räumen ist nach EN 12354 für den Massivbau bereits gut berechenbar. Für die höher gedämpften Leichtkonstruktionen wurde die Eignung eingehend untersucht. Keinerlei Daten gibt es jedoch für den immer mehr an Bedeutung gewinnenden Holzmassivbau. Eine Zuordnung des

Holz-Massivbaus zu Leichtbauteilen oder massiven Bauteilen erscheint problematisch, da sie weder in Ständer und Gefach segmentiert sind, noch hohes Gewicht aufweisen. Im Rahmen eines Forschungsprojektes zum urbanen Bauen in Holzmischbauweise wird die Schall-Längsleitung an eigens errichteten Massivholz-Prüfständen untersucht. Massivholz-Deckensysteme, elastische Zwischenlager, Befestigungsmittel und die Belastung der Stoßstelle werden variiert um den jeweiligen Einfluss auf die Schall-Längsleitung zu ermitteln. Die Messergebnisse werden mit der normgemäßen Berechnung verglichen um deren Eignung für die Prognose der Schalldämmung von Massivholzsystemen festzustellen.

Do. 8:55 Zwinger

Bauakustik: Leichtbau II

### **Verbesserung der Schalldämmung durch Vorsatzschalen**

L. Weber

*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

Vorsatzschalen stellen eine wirkungsvolle Maßnahme zur Verbesserung der Schalldämmung dar und sind in mannigfacher Form in der Bauakustik weit verbreitet. Da sie vielfach auch im Bereich Wärmetechnik eingesetzt werden, haben sie häufig eine doppelte akustische und thermische Funktion (Beispiel Wärmedämm-Verbundsysteme).

Obgleich bereits seit mehreren Jahrzehnten bekannt, sind die akustischen Eigenschaften von Vorsatzschalen im Detail noch keineswegs völlig verstanden. Sie wurden deshalb im Fraunhofer-Institut für Bauphysik im Rahmen eines Forschungsvorhabens näher untersucht. Es wird über die Ergebnisse der Untersuchungen und ihre Konsequenzen für die Auslegung und Optimierung von Vorsatzschalen berichtet. Neben einer kritischen Betrachtung der in Forschung und Normung verwendeten Berechnungsmodelle beschäftigt sich der Beitrag vor allem mit den beim praktischen Einsatz von Vorsatzschalen auftretenden Fragen: Einfluss der Grundwand auf die Verbesserung der Schalldämmung, Auswirkung von Vorsatzschalen auf die Schall-Längsdämmung, beidseitige Anbringung von Vorsatzschalen, Einfluss von Hohlraumbedämpfung und Befestigung, akustische Wirkung bei tiefen Frequenzen, etc.

Do. 9:20 Zwinger

Bauakustik: Leichtbau II

**Über die Schalllängsleitung in leichten Gipskartonständerwänden**S. Schoenwald<sup>a</sup>, T. Nightingale<sup>b</sup>, E. Gerretsen<sup>a</sup> und H. Martin<sup>a</sup><sup>a</sup>*Eindhoven University of Technology*; <sup>b</sup>*National Research Council Canada*

In der Norm EN 12354-1 ist ein Prognoseverfahren für die Berechnung der Schalldämmung zwischen benachbarten Räumen mit Berücksichtigung der Schallleitung durch die an das Trennbauteil gekoppelten flankierenden Bauteile vorgegeben. Die Meßmethoden zur Bestimmung der Eingangsdaten für das Rechenmodell sind in der Norm ISO 10848 beschrieben. Beide Normen sind für einschalige schwachgedämpfte Bauteile mit einer hohen modalen Dichte entwickelt. Bei diesen "schweren Bauteilen" aus Beton oder Mauerwerk liegt die Koinzidenzgrenzfrequenz meist im unteren bauakustischen Frequenzbereich. Unter Annahme dieser Voraussetzungen ist das Prognosemodell identisch mit einem entsprechenden Ansatz in der statistischen Energieanalyse (SEA).

Die obengenannten Voraussetzungen sind jedoch bei mehrschaligen biegeweichen Bauteilen, wie Gipskartonständerwänden, nicht erfüllt. Die Koinzidenzgrenzfrequenz ist hoch, d.h. es muss zwischen freien und erzwungenen Biegewellen unterschieden werden. Die Körperschallübertragung zwischen zwei an einer Stoßstelle gekoppelten Bauteilen erfolgt außerdem auf mehreren unterschiedlichen Übertragungswegen. Die Körperschallabnahme in den Schalen der Wände ist wegen der größeren Dämpfung in Verbindung mit relativ kleinen Biegewellenlängen ebenfalls sehr groß.

Wegen dieser abweichenden Voraussetzungen wurde auch für diese Situation ein einfaches SEA-Rechenmodell aufgestellt. In dem Beitrag wird das verwendete SEA Modell vorgestellt, die hergeleiteten SEA-Gleichungen werden mit den entsprechenden Ausdrücken der beiden Normen verglichen und Konsequenzen sowie Lösungsvorschläge für die Anwendung des normierten Verfahrens aufgezeigt.

Do. 9:45 Zwinger

Bauakustik allgemein

**Direkt- und Flankendämmung massiver Innenwände aus Gips-Wandbauplatten - praktische Erfahrungen und rechnerische Prognose**A. Ruff und H.-M. Fischer*Hochschule für Technik Stuttgart*

Massive Gips-Wandbauplatten werden im Geschosswohnungsbau häufig zur Erstellung von nicht tragenden Innenwänden verwendet. Wände aus Gips-Wandbauplatten werden dabei jedoch nicht starr an den Baukörper angeschlossen, sondern durch elastische Randstreifen entkoppelt. Diese Randstreifen haben großen Einfluss auf die Direkt- und Flankendämmung der Gipswände und müssen in ihrer schalltechnischen Funktion deshalb besonders beachtet werden.

Im Rahmen eines laufenden Forschungsprojekts wurden in Prüfständen der Hochschule für Technik Stuttgart und in ausgeführten Gebäuden umfangreiche Untersuchungen der Direkt- und Flankendämmung von Gipswänden für unterschiedliche Randstreifenvarianten durchgeführt. Erste Ergebnisse zur Flankendämmung wurden bereits auf der DAGA 2007 vorgestellt. Diese Thematik soll nun weiter vertieft werden. Ausgehend von den umfangreichen Messdaten soll das europäische Berechnungsverfahren nach EN 12354-1 speziell für die konstruktiven Besonderheiten der Gipswände verifiziert werden. Hierzu gehört auch die Ermittlung geeigneter Daten, die für die Berechnung des Schallschutzes im Gebäude benötigt werden. Der Beitrag gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Untersuchungen.

Do. 10:10 Zwinger

Bauakustik allgemein

**Verlustfaktorkorrektur des Laborschalldämm-Maßes bei Lochsteinmauerwerk**M. Schneider und H.-M. Fischer*Hochschule für Technik Stuttgart*

Das Schalldämm-Maß eines massiven Bauteils wird durch die Energieverluste des Bauteils beeinflusst. Für jede Einbausituation am Bau und für verschiedene Prüfsituationen kann sich aufgrund unterschiedlicher Energieableitung in die angrenzenden Bauteile ein unterschiedlicher Zahlenwert des Schalldämm-Maßes ergeben. Der Verlustfaktor als hinweisende Größe für diese Energieableitung wird inzwischen standardmäßig bei Schalldämmprüfungen von Massivbauteilen im Labor durch die Messung der Körperschall-Nachhallzeit erfasst. Durch den Bezug

des Verlustfaktors auf einen Referenzwert kann die Vergleichbarkeit des Schalldämm-Maßes aus Prüfständen erhöht werden. Bei einer geeigneten Wahl des Referenzwertes entspricht das korrigierte Laborschalldämm-Maß des Bauteils zahlenmäßig dem im üblichen Massivbau für dieses Bauteil im Mittel zu erwartenden Wert. Dieses Vorgehen gilt nur für die Übertragung freier Biege- wellen und wenn die Energieableitung den Gesamtverlustfaktor dominiert. Der für Lochsteinmauerwerk typische Dämmungseinbruch wird jedoch nicht durch Biege- wellen verursacht. Um den Einfluss der Randanbindung auf die Energieableitung und damit auf die Schalldämmung von Lochsteinwänden zu klären, wurden mehrere dieser Wände im Wandprüfstand der HfT aufgebaut. Durch das nachträgliche Trennen der massiv an den Prüfstand angeschlossenen Wand vom Prüfstand konnten unterschiedliche Einbausituationen der gleichen Wand im gleichen Prüfstand realisiert werden. Damit wurden das modale Schallfeld auf der Wand, die Energieableitung der Wand in den Prüfstand und somit auch die Schalldämmung verändert.

Do. 14:00 Zwinger

Bauakustik allgemein

### **Untersuchungen zur Schallübertragung von Massivtreppen**

C. Fichtel<sup>a</sup>, J. Scheck<sup>b</sup> und H.-M. Fischer<sup>b</sup>

<sup>a</sup>STEP GmbH; <sup>b</sup>Hochschule für Technik Stuttgart

In der aktuellen Fassung der DIN 4109 sind für den zu erwartenden Norm-Trittschallpegel für Massivtreppen nur für einige wenige und zum Teil nicht mehr dem Stand der Technik entsprechende Konstruktionen und Entkopplungsvarianten Tabellenwerte angegeben. Eine Berechnung des Norm-Trittschallpegels von elastisch gelagerten Massivtreppen ist nach DIN 4109 - Beiblatt 1 nicht möglich. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens, in Zusammenarbeit mit einem Hersteller für Entkopplungselemente, sollen die Körperschallübertragungswege analysiert und den beteiligten Komponenten (Treppenläufe, Podeste, Entkopplungselemente) für die Implementierung in ein bestehendes Rechenmodell z. B. nach DIN EN ISO 12354 geeignete akustische Parameter zugeordnet werden. Im Beitrag wird das Forschungsvorhaben vorgestellt und erste Ergebnisse aus den laufenden Untersuchungen vorgestellt.

Do. 14:25 Zwinger

Bauakustik allgemein

## **Der Einfluss der Deckenkonstruktion auf das Abstrahlverhalten von eingelegten Abwasserleitungen**

W. Bollmann

*Geberit International AG*

Sammelleitungen werden in der Schweiz in die Betondecken eingelegt. Dabei werden die Leitungen im Allgemeinen mit einer minimalen Betonüberdeckung von 4 cm und einem Gefälle von 2% über der unteren Armierung verlegt. Übliche Deckenstärken sind 20 bis 25 cm.

Für das Spülen eines WC mit 9l erreicht man bei einer 22 cm Decke und einer Überdeckung von 4 cm mit Silent-db20 mit Dämmschlauch Pegel von 27 dB(A) im darunterliegenden Raum. Ausgehend von der Fragestellung, wie es möglich ist, Pegelwerte von höchstens 20 bis 25 dB(A) zu realisieren, haben wir eine systematische Untersuchung der wichtigsten Einflüsse durchgeführt. Dazu haben wir einen Deckenprüfstand aufgebaut, realisiert mit Stahlbetondecken von 36 cm Stärke (Betonüberdeckungen der eingelegten Leitungen 4 cm, 10 cm und 16 cm) und 24 cm Stärke. Die Untersuchungen wurden für Aufprall- und Fliessgeräusche (WC-Spülung 6l, Dauergeräusche von 0.5 bis 9.6 l/s, Dachentwässerung Pluvia), mit verschiedenen Rohren und unterschiedlichen Dämmungen der Rohre, durchgeführt.

Untersucht wurde auch der Einfluss des unten liegenden Raums bei beiden Decken ("nackt", abgehängte Decke, abgehängte Decke plus Vorsatzschalen an den Wänden, nur Vorsatzschalen an den Wänden), sowie der Auflagerung auf den Wänden mit und ohne Deckenlager der 24 cm Decke.

Die Resultate werden präsentiert und kommentiert.

Do. 14:50 Zwinger

Bauakustik allgemein

## **Installationsgeräusche im Leichtbau**

C. Kling, V. Wittstock und H. Bietz

*Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig*

Die zunehmende Ausstattung moderner Wohnumgebungen mit technischen Anlagen, wie zum Beispiel Aufzügen, Klimaanlage oder Sanitärinstallationen, erfordert auch die schalltechnische Behandlung solcher Quellen. Der im Entwurf befindliche Teil 5 der Prognosenorm EN12354 zur Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften befasst sich mit Geräuschen haustechnischer Anlagen und deren Ausbreitung im Bauwerk. Bisher beschränken sich der Entwurf

und damit zusammenhängende Labormessverfahren auf massive Bauteile. Gerade im Sanitärbereich werden jedoch immer mehr Leichtbauteile, wie Holzrahmen- und Metallständerwände, verwendet, die sich in ihren akustischen Eigenschaften grundlegend von Massivbauteilen unterscheiden. Die uneingeschränkte Anwendung der bisher zusammengestellten Mess- und Rechenverfahren ist damit fragwürdig. Gefördert vom Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) führt die PTB ein Projekt Studie zur Anwendbarkeit des Prognoseverfahrens nach prEN 12354-5 und damit zusammenhängender Labormessverfahren (CEN TC 126 / WG 7) im Leichtbau durch, das die mit dieser Thematik verbundenen Fragen klären und eventuell Vorschläge für alternative Labormessverfahren unterbreiten soll. In der Tat zeigen die bisherigen Untersuchungen, dass die für den Massivbau entwickelten Methoden abgewandelt werden müssen, um im Leichtbau Anwendung finden zu können. Dies betrifft insbesondere die Charakterisierung der Schallquellen, die auf einem Leichtbauteil wirken. Der Vortrag berichtet über die Durchführung des Projekts und stellt die gewonnenen Erkenntnisse vor.

Do. 15:15 Zwinger

Bauakustik allgemein

### **Nutzergeräusche in Gebäuden**

W. Scholl und R. Armbruster

*Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig*

In Gebäuden verursachte "Nutzergeräusche" im Sinne der DIN 4109 "Schallschutz im Hochbau" sind z.B. das Aufstellen von Zahnpfutzbechern, hartes Schließen von WC-Deckeln, Spurenläufe, Rutschen in der Badewanne. Obwohl diese Geräusche das nachbarliche Zusammenleben in Gebäuden empfindlich beeinträchtigen können, schreibt die Norm hierzu: "Nutzergeräusche unterliegen nicht den Anforderungen nach Tabelle 4" und weiter in der genannten Tabelle 4: "Einzelne, kurzzeitige Spitzen, die beim Betätigen der Armaturen und Geräte nach Tabelle 6 entstehen, sind z.Z. nicht zu berücksichtigen." Dies seit nunmehr über 40 Jahren. Um einen Schritt weiter zu kommen, wurde an der PTB gemeinsam mit der HfT Stuttgart eine Diplomarbeit zu diesem Thema durchgeführt. Dabei wurden zunächst die akustischen Berater und Prüfstellen in Deutschland nach ihren Erfahrungen befragt und die Ergebnisse je nach Geräuscherzeugungs-Mechanismus in Gruppen sortiert und hinsichtlich ihrer Häufigkeit und ihres Pegels bewertet. Für die hieraus ermittelte wichtigste Nutzergeräuschgruppe wurden die Quellen und das menschliche Betätigungsverhalten analysiert,



um eine Basis für ein künftiges objektives Messverfahren zur Kennzeichnung der Empfindlichkeit von Gebäuden gegenüber Nutzergeräuschen zu schaffen.

Do. 15:40 Zwinger

Bauakustik allgemein

### **Komfort-Schallschutz im Wohnungsbau**

F. Schnelle und R. Kurz

*Kurz u. Fischer GmbH*

Mit den in Deutschland üblichen Bauweisen können bei mehrgeschossigen Gebäuden die Anforderungen an den Schallschutz nach DIN 4109: 1989-11 und bei entsprechender Planung auch die Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz nach Beiblatt 2 zu DIN 4109: 1989-11 sicher eingehalten werden. Mit der Einführung des neuen DEGA- Schallschutzausweises für den Wohnungsbau werden für die Schallschutzklassen C - A\* deutlich höhere Anforderungen an die Luft- und Trittschalldämmung gestellt. Für verschiedene Bauweisen werden auf der Grundlage von Berechnungen und statistischen Auswertungen von Messungen in ausgeführten Bauvorhaben die Grenzen der erreichbaren Schalldämmung angegeben. Zur Einstufung in die Schallschutzklassen B, A und A\* sind bei mehrgeschossigen Gebäuden grundlegende Änderungen gegenüber den herkömmlichen Bauweisen erforderlich. Neben Maßnahmen an den Trennbauteilen (mehrschaliger Aufbau) muss die Schall-Längsübertragung über flankierende Bauteile vermindert werden. Anhand von Beispielen aus realisierten Bauvorhaben wird dargestellt, mit welchen Maßnahmen in mehrgeschossigen Gebäuden bewertete Bau-Schalldämm-Maße von  $R'_{w} \geq 62$  dB und bewertete Norm-Trittschallpegel von  $L'_{n,w} \leq 40$  dB realisiert werden können.

Do. 16:05 Zwinger

Bauakustik allgemein

### **DIN 4109 und die allgemein anerkannten Regeln der Technik**

G. Hilz

*Müller-BBM GmbH*

In den letzten Jahrzehnten traten immer wieder heftige Diskussionen bezüglich einer Abbildung der allgemeinen Regeln der Technik im Normenwerk der DIN 4109 auf. Mit dem Entwurf zur neuen DIN 4109 hat sich die Situation nicht verändert. Neben großzügiger Auslegung des Begriffes durch Juristen ist auch derzeit eine starke Diskussion in Fachkreisen entbrannt.

Es wird der Versuch unternommen unter Berücksichtigung - einer klaren Begriffsabgrenzung - der historischen Entwicklung - den Inhalten der bestehenden DIN 4109 - des Entwurfes zur neuen

DIN 4109 ein Verständnis der allgemein anerkannten Regel der Technik aus schalltechnischer Sicht herauszuarbeiten, eine zukünftige Vorgehensweise vorzuschlagen sowie eine Abgrenzung zu Anforderungswerten darzustellen.

Mi. 18:35    Studiotheater

Verkehrsgeräusche I

### **Langfristige Planungsmaßnahmen zur Minderung der Verkehrsgeräuschbelastung**

H.-M. Gerhard

*Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG*

Die Entlastung der Bevölkerung von Lärm gehört sicherlich zu den großen Aufgaben der mittleren Zukunft. Steigender Personen- und Gütertransport machen spürbare Fortschritte jedoch nicht einfach. Erschwerend kommt hinzu, dass Lärminderung eine Mischung aus flächendeckenden und lokalen Maßnahmen darstellt und damit ein Streit vorprogrammiert ist, wie die Verantwortung verteilt werden soll.

Mit diesem Beitrag wird gezeigt, dass Lärminderung bei einer strukturierten und nüchternen Betrachtung durchaus möglich ist und auch langfristig gesichert werden kann. Die Handlungskette ist dabei einleuchtend: Wo ist Lärm ein Problem? - Welche Ziele müssen gesetzt werden? - Welche Möglichkeiten zur Lärminderung sind Erfolg versprechend? - Was kosten potentielle Maßnahmen und was bringen sie? - Welche begleitenden administrativen Änderungen sind sinnvoll ?

Alle Möglichkeiten müssen dabei erwogen und auch eventuell mit alten Traditionen gebrochen werden. Dabei zeigt sich, dass nach etwas mehr als 100 Jahren modernen Verkehrs, die Infrastruktur weder auf bestehende Transportbedürfnisse und noch weniger auf künftige vorbereitet ist. Auch bei der Auslegung von Fahrzeugen muss über das Tagesgeschäft hinaus eine Vision erarbeitet werden, wie im Jahr 2050 das berechnete und unsere Gesellschaft prägende Bedürfnis nach Mobilität und Warenaustausch befriedigt werden kann.

Do. 8:55 Studiotheater

Verkehrsgeräusche II

**Qualitätsanforderungen an die Datengrundlage zur Berechnung von Lärmschutzbereichen**T. Myck<sup>a</sup> und B. Vogelsang<sup>b</sup><sup>a</sup> *Umweltbundesamt*; <sup>b</sup> *Niedersächsisches Umweltministerium*

Im Juni 2007 ist das novellierte Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm in Kraft getreten. Das Gesetz sieht die Festsetzung von Lärmschutzbereichen an zahlreichen zivilen und militärischen Flugplätzen vor. Die Berechnung der Lärmschutzbereiche erfolgt auf der Grundlage detaillierter Prognosedaten über den zukünftigen Flugbetrieb des jeweiligen Flugplatzes. Diese Daten werden mit einem sogenannten Datenerfassungssystem (DES) erhoben, das die Flugbewegungszahlen für die sechs verkehrsreichsten Monaten des Prognosejahres sowie die genaue Beschreibung der Flugstrecken in der Flugplatzumgebung enthält. Darüber hinaus werden die Rollwege der Flugzeuge auf dem Flughafengelände berücksichtigt. Die Qualität der Angaben des Datenerfassungssystems ist von wesentlicher Bedeutung für die realistische Berechnung der Fluglärmbelastung und damit für die Form und Größe des Lärmschutzbereichs. Im Beitrag werden die qualitativen Anforderungen an die Datengrundlage dargestellt und Möglichkeiten zur Erfüllung dieser Anforderungen aufgezeigt. Hierzu gehört beispielsweise die sachgerechte Festlegung von Korridorbreiten entlang der Flugstrecken. Die Korridorbreiten beschreiben die Abweichung der Luftfahrzeuge von der vorgegebenen Flugstrecke und sollten aufgrund fundierter Erkenntnisse im Datenerfassungssystem angegeben werden.

Do. 9:20 Studiotheater

Verkehrsgeräusche II

**Wirkung von SSI-Aufsätzen für Schallschutzwänden neben der Eisenbahn**M. Kalivoda<sup>a</sup>, G. Presle<sup>b</sup> und H. Rieder<sup>c</sup><sup>a</sup> *psiA-Consult GmbH*; <sup>b</sup> *ÖBB Infrastruktur Bau Aktiengesellschaft, Leiter Stabstelle F&E*; <sup>c</sup> *Betonwerk Rieder GmbH*

Schienenverkehrslärm ist ein großes gesellschaftliches Problem in Europa und Schallschutzwände sind in vielen Bereichen ein notwendiges Übel, um die Anrainer von Eisenbahnstrecken vor dem Lärm zu schützen. Aber weder die Menschen neben den Bahnlinien wollen hinter hohen Schallschutzwänden leben noch

wollen die Bahnkunden in einem Tunnel aus Schallschutzwänden reisen. Die Firma Betonwerk Rieder hat gemeinsam mit Professor Möser von der TU Berlin ein Aufsatzelement für Schallschutzelemente entwickelt, den so genannten Sound-Screen-Improver (SSI-Element), welches die Ausbreitung der Schallwellen über die reine Schirmwirkung beeinflusst und so die Schirmwirkung der Wand verbessert. Im Sommer 2007 wurden die SSI-Elemente schalltechnisch optimiert und gemeinsam mit der Stabstelle Forschung & Entwicklung der ÖBB Infrastruktur BauAG einer praktischen Erprobung unterzogen. Die Messungen, welche im Auftrag der ÖBB von psiA-Consult durchgeführt worden sind, haben gezeigt, dass durch den auf einer 2 m hohen Schallschutzwand montierten SSI-Aufsatz die Abschirmwirkung im Mittel um rund 3 dB(A) erhöht werden konnte. Dieser Betrag stellt den Mittelwert von neun unterschiedlichen Messpunkten hinter der Wand dar, wobei an einzelnen Messpositionen Verbesserungen um bis zu 5,5 dB(A) gemessen werden konnten.

Do. 9:45 Studiotheater

Schienenfahrzeuge

### **TPA Schienenfahrzeuge - Körperschallübertragung Drehgestell**

R. Arndt<sup>a</sup>, K. Jalics<sup>a</sup>, G. Schleiner<sup>b</sup> und H.-H. Pribsch<sup>a</sup>

<sup>a</sup>ACC, Graz; <sup>b</sup>Siemens Transportation Systems

Die hohen Geschwindigkeiten der Reisezüge und die gestiegenen Komfortansprüche der Fahrgäste stellen erhöhte Ansprüche an das Drehgestell. Es ist daher erforderlich, die Körperschallweiterleitung vom Drehgestell in den Reisezugwagen zu verringern.

Im Rahmen dieses von Siemens beauftragten Forschungsprojektes wurde bei einem Reisezugwagen eine Geräuschübertragungsweganalyse vorgenommen. Zuerst wurde dabei im Stillstand unter künstlicher Anregung das Übertragungsverhalten zwischen verschiedenen Punkten des Drehgestells und dem Fahrgastinnenraum gemessen. Anschließend wurden auf der Strecke Graz-Wien Beschleunigungs- und Luftschallmessungen im regulären Fahrbetrieb vorgenommen. Auf Basis dieser Daten wurden danach die Geräuschübertragungsanteile der einzelnen Pfade entwickelt, wobei sowohl die Matrixmethode als auch die Eingangsinertanzmethode zur Kraftbestimmung eingesetzt wurden.

Im Rahmen des Projektes konnte gezeigt werden, dass diese im PKW Bereich schon vielfältig eingesetzte Methode auch im

Bereich der Schienenfahrzeuge gut angewendet werden kann, wenn bestimmte Randbedingungen eingehalten werden.

Die Methode kann nun auch bei ähnlichen Aufgabenstellungen im Bereich der Schienenfahrzeuge gut eingesetzt werden.

Do. 10:10    Studiotheater

Schienenfahrzeuge

### **Das TSI-Lärm Referenzgleis: Hintergründe, Notwendigkeit und Anwendung bei der DB AG**

N. Meunier und C. Gerbig

*DB Systemtechnik*

Im Rahmen der Umsetzung der EU-Richtlinien 96/48/EG und 2001/16/EG über die Interoperabilität des europäischen Eisenbahnsystems wurden Lärmgrenzwerte für Hochgeschwindigkeits- und konventionelle Schienenfahrzeuge von der "Noise Expert Group" der AEIF festgelegt. Die revidierte TSI High Speed Rolling Stock und die TSI Noise schreiben für Neufahrzeuge maximal zulässige Schallpegel im Stand, bei Anfahrt, bei Fahrt und im Führerstand vor. Bei einer Umrüstung oder Erneuerung ist lediglich nachzuweisen, dass die Geräuschemission durch den Umbau nicht erhöht wird. Zusätzlich zu den Grenzwerten beschreiben beide TSI die Fahrzeug- und Messbedingungen, unter denen die Einhaltung der Anforderungen im Rahmen von Typprüfungen (Baumusterprüfungen) zu überprüfen ist. Diese Bedingungen sind insbesondere bei der Messung des Vorbeifahrgeräusches, das anteilig vom Fahrzeug und vom Gleis abgestrahlt wird, von hoher Bedeutung. Da die Grenzwerte der TSI sich nur auf die Schallemission des Rollmaterials beziehen, ist es erforderlich den akustischen Einfluss des Oberbaus während der Messung so gering wie möglich zu halten. Zu diesem Zweck wurde das Konzept des "Referenzgleises" eingeführt. Der Vortrag erläutert die Grundlagen dieses Konzeptes, stellt die aktuellen bezogenen Standardisierungsaktivitäten bei der WG3 des CEN TC256 dar und weist auf die Notwendigkeit der Anwendung eines Referenzgleises bei der akustischen Abnahme von Eisenbahnfahrzeugen hin.

Do. 14:00    Studiotheater

Schienenfahrzeuge

**Numerische Simulation der Anregung und Übertragung von Körperschall bei Schienenfahrzeugen anhand von Beispielen**L. Baures*Bombardier Transportation*

Bei Schienenfahrzeugen werden Kompressoren u.a. zur Erzeugung von Druckluft für Bremssysteme und in Klimaanlage eingesetzt. Da Kompressoren sowohl Luft- als auch Körperschallanteile generieren ist eine Prognose der Fahrzeuginnengeräusche nicht einfach. Für mehrere Anwendungen, z.B. eine Führerraumklimaanlage einer Straßenbahn und ein Bremskompressor auf dem Dach eines Regionalzuges, wird die Problematik anhand von hybriden FE-SEA Modellen untersucht. Die Körperschallentstehung wird sowohl durch die Eigenschaften der Quelle (Kraft und Impedanz), durch Isolationselemente im Ausbreitungsweg, als auch durch die Empfangsstruktur (Impedanz der Befestigungspunkte) beeinflusst. Bei der numerischen Simulation wird als Eingabeparameter für die Quelle die gemessene blockierte Kraft gegen ein starres Fundament mit Vibrationsisolatoren verwendet. Es werden die Impedanzen der Befestigungspunkte rechnerisch ermittelt und gemessen. Soweit möglich werden berechnete und gemessene Parameter verglichen.

Do. 14:25    Studiotheater

Schienenfahrzeuge

**Kurvengeräusche - Entwurf einer Messvorschrift**L. Krüger und C. Eichenlaub*Alstom LHB*

Kurvengeräusche durch bauliche Maßnahmen am Fahrzeug oder am Schienenweg zu reduzieren. Eine Grundvoraussetzung dafür ist die Möglichkeit der Dokumentation und des Vergleichs von Kurvengeräuschen. Die hierbei durchgeführten Messungen folgen in der Regel in ihrer Durchführung der jeweiligen Motivation und sind mangels einer einheitlichen Messdurchführung nicht vergleichbar. Im Forschungsverbund "Leiser Verkehr" wird im Rahmen des Verbundprojektes "Kurvengeräusche" eine Messvorschrift entwickelt, die auf die Besonderheiten von Kurvengeräuschen eingeht und in Struktur und Aufbau den Anforderungen einer Norm entspricht. In dem Vortrag werden unterschiedliche Messmotivationen und -situationen dargestellt sowie die daraus abgeleitete Messvorschrift im aktuellen Entwicklungsstand vorgestellt.

Do. 14:50 Studiotheater

Schienenfahrzeuge

**Experimentelle Untersuchungen von Kurvengeräuschen an Schienenfahrzeugen**M. Tinter*Alstom LHB*

Beim Betrieb von Schienenfahrzeugen kommt es in engen Gleisbögen zu Kurvengeräuschen, die aufgrund ihres Geräuschcharakters häufig als störend empfunden werden. Im Rahmen des Forschungsvorhabens "Leiser Verkehr" werden Arbeitspakete des Projekts "Kurvengeräusche" von der ALSTOM LHB GmbH bearbeitet. Eines der Arbeitspakete befasst sich mit experimentellen Untersuchungen von Kurvengeräuschen. Hierfür wird ein Versuchsträger verwendet, mit dem durch gezieltes Schrägstellen eines Radsatzes in der Geraden Kurvengeräusche erzeugt werden. Im Vorfeld der Feldexperimente werden klimatische und fahrdynamische Parameter, die das Kurvengeräusch beeinflussen ermittelt und einige davon zur Variation ausgewählt. Da mit den Experimenten die Kurvenfahrt auf einem geraden Gleisabschnitt simuliert wird, ist es notwendig die Vergleichbarkeit zur realen Kurvenfahrt zu untersuchen. Im Vortrag werden die Versuche in Aufbau und Durchführung beschrieben. Des weiteren wird die Auswertung der akustischen und fahrdynamischen Daten exemplarisch vorgestellt.

Do. 15:15 Studiotheater

Schienenfahrzeuge

**Vorschriften zur Messung instationärer Kurvengeräusche von Schienenfahrzeugen**C. Eichenlaub<sup>a</sup> und N. Meunier<sup>b</sup><sup>a</sup> *Alstom LHB*; <sup>b</sup> *DB Systemtechnik*

Bei der Geradeausfahrt entstehen Rad-Schiene-Geräusche durch das Abrollen der Radlaufläche auf der Schienenfahrfläche. Dabei wird das Rollgeräusch von der Rauheit der Kontaktflächen bestimmt. Beim Befahren enger Kurven werden dem Abrollen Gleitvorgänge überlagert, die weitere nicht stationäre, zumeist tonhaltige Schallemissionen verursachen. In der Vergangenheit gab es bereits eine Vielzahl von Einzeluntersuchungen von Kurvengeräuschen, die jeweils der Klärung spezieller Fragestellungen dienten. Der Vortrag stellt anhand von Beispielen dar, wie weit diese Arbeiten untereinander vergleichbar sind und welche Schlüsse für das Abfassen einer einheitlichen Messvorschrift gezogen werden können. Eine Untersuchung, die auf Basis des im

Rahmen des Projekts "UIC Combatting Curve Squeal" entstandenen Messvorschriftenentwurfes von TNO durchgeführt wurde, wird vertiefend dargestellt. Insbesondere wird dabei die notwendige Abwägung zwischen einer möglichst einfachen Gestaltung der Messungen und der erzielbaren Qualität der Messdaten untersucht.

Do. 15:40    Studiotheater

Schienenfahrzeuge

### **Prognose von Kurvengeräuschen**

J. Pankau

*Bombardier Transportation*

Fahren Schienenfahrzeuge durch Gleisbögen, entstehen häufig besonders auffällige Geräusche. Es treten folgende Geräusche auf: Kreischen / Quietschen, Zischeln / Zischen und Rumpeln. Das Kurvenquietschen ist mit Abstand das lauteste und wegen seiner Tonhaltigkeit das bedeutendste Geräusch im Nahverkehr. Ein Prognoseverfahren für das Kurvengeräusch kann bei der Auswahl der zu treffenden Maßnahme(n) bei der Konstruktion und Sanierung unterstützend eingesetzt werden. Entsprechende Maßnahmen sind u.a.:

- Beeinflussung der Reibverhältnisse zwischen Rad und Schiene
- Radbedämpfung
- Schienenbedämpfung
- Radiale Einstellbarkeit von Radsätzen / Radpaaren.

Mittels einer Prognose kann der betroffene Frequenzbereich identifiziert werden, Maßnahmen können besser abgestimmt und auf ihre Wirksamkeit überprüft werden. Ein Prognoseverfahren für Kurvengeräusche wurde innerhalb des vom Bundeswirtschaftsministerium im Rahmen des "Leisen Verkehrs" geförderten Forschungsprojektes "Kurvengeräusche" von der Firma SFE GmbH entwickelt (Akusrail). Ein weiteres Prognoseverfahren für Kurvengeräusche steht als Modul von TWINS zur Verfügung (SLYNX). Wir berichten über die Ergebnisse der Anwendung dieser Prognoseverfahren in unserem Hause.

Do. 16:05    Studiotheater

Schienenfahrzeuge

### **Der Doppler-Effekt im Körperschall bei Kurvengeräuschen am Fahrweg von Straßenbahnen**

R. Volz

*TU Berlin, Inst. f. Strömungsmechanik und Technische Akustik*

Im Rahmen des vom BMWi geförderten Forschungsvorhabens "Leiser Verkehr - Kurvengeräusche: Entwicklung von anwendungsreifen und wirksamen Maßnahmen zur Reduzierung von



Kurvenquietschen an Rad und Schiene" wurden vom Institut für Strömungsmechanik und Technische Akustik (Fachgebiet Signale und Systeme der Akustik) Körperschallmessungen am Fahrweg bei der Vorbeifahrt von Straßenbahnzügen durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, dass das Kurvenquietschen im Luftschall bei der Vorbeifahrt am Mikrofon zu einer Frequenzverschiebung aufgrund des Doppler-Effekts führt. Erste Ergebnisse wurden auf der letzten DAGA 2007 in Stuttgart gezeigt. Auch im Körperschall schien der Doppler-Effekt aufzutreten. In diesem Vortrag soll erläutert werden, ob und wie mit einer detaillierteren Datenanalyse die Frequenzverschiebung in den Körperschallsignalen dem Doppler-Effekt zugeordnet werden kann.

Do. 8:30 Neumarkt

Boundary-Elemente-Methode II

### **Berechnung der akustische Rückstreustärke von Unterwasserobjekten mit Hilfe der Randelementmethode und der Kirchhoffschen-Hochfrequenznäherung**

I. Schäfer

*Forschungsanstalt der Bundeswehr für Wasserschall und Geophysik*

Die akustische Rückstreustärke entspricht dem Verhältnis von einfallender zu reflektierter Schallintensität. Um vergleichbare Werte zu erzielen, wird hierbei eine Schallquelle ins Fernfeld des Objektes gelegt und dann die Rückstreustärke, welche auf eine Entfernung von einem Meter zum Objekt zurückgerechnet wird, ermittelt. Die Randelementmethode bietet sich hierzu an, da das vom zu untersuchenden Objekt reflektierte Schallfeld in der Theorie ein Freifeld sein sollte. Demnach muss hierzu nur die Oberfläche des Objektes selbst elementiert werden. Hierbei sollte die Faustformel, welche besagt, dass mindestens sechs Elemente pro Wellenlänge verwendet werden sollten, zwingend beachtet werden. Der Rechenaufwand steigt daher für hohe Erregerfrequenzen (in der Sonartechnik kommen Frequenzen von mehr als 300.000 Hz vor) immens an. Mittels verschiedener Hochfrequenznäherungen kann ebenfalls unter Beachtung der Faustformel (sechs Elemente pro Wellenlänge) eine deutliche Laufzeitreduzierung erzielt werden. Der Vortrag beschreibt die Möglichkeit, diese Faustformel zu umgehen und beliebig grobe Oberflächenelementierungen (unter Nichtbeachtung der Faustformel), die nur noch von der Geometrie des zu untersuchenden Objekts abhängen, zu realisieren. Hiermit kann eine weitere deutliche Laufzeitreduzierung erreicht werden.

Do. 8:55 Neumarkt

Boundary-Elemente-Methode II

**Berechnung der akustischen Rückstreustärke unter Berücksichtigung der Fluid-Struktur-Interaktion auf Basis einer BEM-BEM-Kopplung**R. Burgschweiger<sup>a</sup>, M. Ochmann<sup>a</sup> und B. Nolte<sup>b</sup><sup>a</sup>TFH Berlin; <sup>b</sup>Forschungsanstalt der Bundeswehr für Wasserschall und Geophysik

Auf Basis eines BEM-BEM-Kopplungsverfahrens soll die Rückstreustärke von elastischen Objekten berechnet werden, die sich in einem Fluid befinden und auch teilweise oder ganz im Sediment versunken sein können.

Die Verwendung einer speziellen BEM-Anwendung, welche einen Pre- und Postprozessor (mit 3D-Visualisierung) sowie ein mehrfach parallel ausführbares Berechnungsmodul enthält, ermöglicht die Definition der geometrischen Situation von Objekten im Übergangsbereich zwischen flüssigen und festen Strukturen sowie der benötigten Material- und Berechnungsparameter.

Einfache akustische Außenraumprobleme wie z. B. die Schallstreuung an kugelförmigen elastischen Objekten, die in ein Fluid eingetaucht sind, werden mit dem BEM-BEM-Kopplungsverfahren behandelt und die erzielten Ergebnisse mit analytischen Lösungen oder mit Lösungen anderer numerischer Verfahren verglichen.

Do. 9:20 Neumarkt

Boundary-Elemente-Methode II

**Stabilitätsverhalten und Ergebnisse der transienten Randelementmethode für akustische Außenraumprobleme**M. Stütz<sup>a</sup> und M. Ochmann<sup>b</sup><sup>a</sup>TU Berlin / TFH Berlin; <sup>b</sup>TFH Berlin

Auf der Basis der Kirchhoffschen Integralgleichung kann die transiente Randelementmethode (TD-BEM) formuliert werden. Die TD-BEM findet aufgrund von Instabilitätsproblemen und numerischer Dämpfung bis heute wenig Anwendung in der numerischen Akustik. Ein Zusammenhang zwischen den Innenraumresonanzen der schwingenden Struktur und Instabilitäten beim Lösungsprozess wird zwar vermutet, wurde aber noch nicht mathematisch bewiesen. Im Gegensatz zur BEM im Frequenzbereich ist die zu lösende Systemmatrix nur sehr dünn besetzt, so dass der Einsatz einer iterativen Methode vorteilhaft ist. Das Verfahren der konjugierten Gradienten und die LSQR-Methode liefern

gute Resultate und wirken sich positiv auf das Stabilitätsverhalten aus. Die Stabilität der TD-BEM wird am Beispiel der Schallabstrahlung von einfachen Strukturen in den Außenraum untersucht. Die Ergebnisse zeigen einen deutlichen Einfluss der Innenraumfrequenzen auf die simulierte Schallabstrahlung. Instabilitäten hingegen konnten bisher nur bei Verwendung direkter Gleichungslöser beobachtet werden. Zu Testzwecken wurde die Schallabstrahlung einer offenen turbulenten Flamme berechnet und mit Simulationsergebnissen einer Frequenzbereichs-BEM verglichen.

Do. 9:45 Neumarkt

Boundary-Elemente-Methode II

### **Numerische Modellierung der Schallausbreitung im Zeitbereich mit akustischem Propagator und absorbierenden Randbedingungen**

J. Ehrlich

*Forschungsanstalt der Bundeswehr für Wasserschall und Geophysik*

Zur numerischen Modellierung der Schallausbreitung im Zeitbereich haben sich Finite Differenzen Verfahren im Zeitbereich (FDTD) bewährt. Ein Nachteil dieser Methoden ist die Kopplung von Diskretisierungslänge und Zeitschrittweite, die zu sehr geringen Zeitschrittweiten führt. Der Ansatz des akustischen Propagators, der die Zeitentwicklung von Systemen mit stationären Parametern beschreibt, lässt auf Finite Differenzen Netzen theoretisch unbegrenzte und praktisch sehr viel größere Schritte zu als die FDTD Verfahren und führt somit zu erheblichen Einsparungen bei der Rechenzeit. Der akustische Propagator wird in einer Reihe mit Tschebyscheff Polynomen entwickelt. Wie bei finiten Differenzen können Reflexionen vom Rand des Rechengebietes durch eine Perfectly Matched Layer Randbedingung (PML) effektiv unterdrückt werden. Das Verfahren erlaubt es, akustische Quellen direkt mit in die Entwicklung einzubeziehen und Gebiete mit unterschiedlichen Materialparametern (z.B. Wasser, Luft) zu modellieren. Zur Berechnung großer, auch dreidimensionaler, Gebiete wird für die Berechnung der Zeitentwicklung auf die Erstellung einer großen Systemmatrix verzichtet und die Gleichungen werden für jeden Zeitschritt auf Zeilenniveau berechnet, um Speicherplatzprobleme zu vermeiden.

Do. 10:10 Neumarkt

Boundary-Elemente-Methode II

**Schallausbreitung und Sonarortung unter Wasser unter dem Einfluss inhomogener Strömung**D. Brecht*Forschungsanstalt der Bundeswehr für Wasserschall und Geophysik*

Sonare spielen eine Schlüsselrolle bei der Überwachung von Häfen und Wasserstraßen sowie beim Schutz von Schiffen gegen terroristische Angriffe durch Taucher, Minen oder kleine UUVs/AUVs.

Mit mathematisch/numerischen Modellen lässt sich die Leistungsfähigkeit und Ortungsreichweite eines Sonars unter den konkret herrschenden Bedingungen abschätzen. Dies erfordert, dass neben den technischen Parametern insbesondere die die Schallausbreitung beeinflussenden Umgebungsbedingungen möglichst naturgetreu berücksichtigt werden. Bereits geringfügige Änderungen und Variationen können sich unter sensiblen Bedingungen entscheidend auf die Schallausbreitung und damit die Ortungsreichweiten auswirken.

Die Schallausbreitung wird im wesentlichen durch das Schallgeschwindigkeitsprofil im Wasser sowie die Reflektions-/Absorptionsbedingungen an der Meeresoberfläche sowie am Meeresboden beeinflusst. Unter besonderen Bedingungen kann zusätzlich auch die Strömung zu entscheidenden Änderungen der Schallausbreitung (Brechung) führen. Strömungsbedingte Effekte werden in den derzeit verwendeten Modellen nicht berücksichtigt, da sie in den meisten Szenarien eine untergeordnete Rolle spielen.

Die Berücksichtigung des Strömungseinflusses erfolgt bei den im hohen Frequenzbereich üblichen Strahlenmodellen durch eine Modifizierung der Strahlgleichungen. Der Einfluss auf Schallausbreitung und Detektionsreichweiten wird anhand von Beispielen für den Fall starker Scherströmung demonstriert. In der Praxis sind vergleichbar starke Auswirkungen nur in Gebieten mit besonders starken inhomogenen Strömungen zu erwarten, beispielsweise in Flüssen/Mündungen, Tidengewässern und Meerengen. Die Konsequenzen für die Sonarortung werden für ein konkretes Szenario diskutiert.

Do. 14:00 Neumarkt

Boundary-Elemente-Methode II

**Lastansätze innerhalb einer Schicht eines geschichteten Anisotropen Mediums**H. Waubke und W. Kreuzer*Österr. Akademie der Wissenschaften*

Die Lösung eines horizontal geschichteten anisotropen linearelastischen Mediums geschieht durch Bestimmung der Eigenwerte der homogenen Lösung im Fouriertransformierten Raum. Die Fouriertransformation wird sowohl über die Zeit als auch über alle drei orthogonalen Koordinaten des Raumes durchgeführt, um die partielle Differentialgleichung in eine polynome Gleichung in Abhängigkeit der Winkelfrequenz und der Wellenzahlen zu überführen. Die Rücktransformation der verallgemeinerten Gleichung, welche sich aus Eigenwerten der vertikalen Wellenzahlen und Eigenvektoren aufbauen lässt, erfolgt in der vertikalen Richtung analytisch. Durch Koppelung an den Schichtgrenzen ist es möglich ein Gleichungssystem aufzubauen, welches die Randwerte bestimmbar macht. Durch Verrechnung der Randwerte mit den Ansätzen jeder Schicht lassen sich innere Spannungen und Verformungen ableiten. Das Modell lässt nur Belastungen an einem Schichtrand zu. Fügt man eine zusätzliche Schichtgrenze innerhalb einer Schicht ein, kann man auch diese Grenze belasten. Da die Materialparameter der beiden virtuellen Schichten identisch sind, lassen sich die beiden Schichten wieder zu einer verschmelzen. Anstelle der Belastung an der virtuellen Schichtgrenze ergeben sich partikuläre Spannungs- und Verformungsansätze an beiden Schichtgrenzen. In der praktischen Umsetzung ergeben sich allerdings Instabilitäten, welche sich nur ausräumen lassen, wenn man die willkürliche Wahl der belasteten Schicht anpasst. Weiters ist die Berechnung von Spannungen und Verformungen innerhalb der belasteten Teilschicht problematisch.

Do. 14:25 Neumarkt

Boundary-Elemente-Methode II

**Modell eines Tunnels in einer orthotropen Halbraumschicht**W. Kreuzer und H. Waubke*Österr. Akademie der Wissenschaften*

In den letzten Jahren spielte die Randelemente Methode eine immer größere Bedeutung in der Akustik. Im Gegensatz zur Finiten Elemente Methode hat sie jedoch den Nachteil, dass sie nur für eine bestimmte Klasse von partiellen Differentialgleichungen anwendbar ist. Vorallem ist eine analytische Form der Green'schen

Funktion von großer Bedeutung. Für Medien mit orthotropen Materialparametern ist dies leider nicht der Fall. Als Alternative ist es jedoch möglich, eine numerische Approximation für die fundamentalen Verformungen und Spannungen im Fourier Raum zu berechnen, mit deren Hilfe eine Formulierung mit der Randelemente Methode möglich ist. In dieser Arbeit wollen wir diese Idee in die Praxis umsetzen und ein Modell eines Tunnels vorstellen, der in einem geschichteten Halbraum mit orthotropen Materialparametern eingebettet ist. Mit Hilfe dieses Modells soll es möglich sein, Vibrationen an der Tunnelwand und innerhalb des Bodens zu berechnen, die durch eine Last am Tunnelboden ausgelöst werden.

Do. 14:50    Neumarkt

Statistische Energieanalyse

### **Schalltransmissionsalgorithmen für gekrümmte Strukturen in OpenSourceSEA**

S. Callsen und O. von Estorff

*TU Hamburg-Harburg, Modellierung und Berechnung*

OpenSourceSEA wurde im Jahre 2005 als offene Softwareplattform für die Implementierung von Problemstellungen der Akustik initiiert. Maßgebende Entwicklungsschritte erfolgen seither in enger Zusammenarbeit zwischen der TU Hamburg-Harburg und der EADS Ottobrunn. Bereits existierende Module der Software ermöglichen u. a. die Erstellung von SEA-Schalltransmissionsmodellen für ebene Paneele. Hierbei können Materialgesetze sowohl für einen isotropen Aufbau als auch für Laminat- und Sandwichstrukturen beschrieben werden.

Insbesondere im Flugzeugbau treten jedoch vielfach Strukturen mit gekrümmter Gestalt und großen räumlichen Abmessungen auf. Im Rahmen dieses Beitrags wird die Entwicklung von SEA-Subsystemen diskutiert, die einfachgekrümmte und vollzylindrische Schalelemente darstellen und zur Erstellung von Schalltransmissionsmodellen genutzt werden können. Dabei wurden in einem ersten Schritt die für die SEA relevanten Struktureigenschaften, welche durch die Parameter Wellenzahl und Bandmodenzahlen von Scherwellen, Longitudinalwellen und Biegewellen gegeben sind, implementiert. In einem zweiten Schritt erfolgte dann die Einführung der Kopplungsverlustfaktoren für die Beschreibung von massedominierten sowie resonanten Transmissionspfaden. Abschließend wurde eine Verifikation

der in OpenSourceSEA eingebrachten physikalischen Beziehungen anhand von Berechnungsergebnissen für Schalltransmissionsmodelle vorgenommen, wobei die kommerzielle Software AutoSEA zum Einsatz kam.

Do. 15:15 Neumarkt

Statistische Energieanalyse

### **Berücksichtigung der ersten Reflexionen in SEA-Berechnungen**

J. Prager und B.A.T. Petersson

*TU Berlin, Inst. f. Strömungsmechanik und Technische Akustik*

Eine wichtige Voraussetzung für die Anwendbarkeit der Statistischen Energieanalyse (SEA) ist die Annahme eines diffusen Schallfeldes. Für Quell- bzw. Empfängerpositionen in der Nähe von Begrenzungen oder Diskontinuitäten eines akustischen Systems ist diese Voraussetzung jedoch nicht erfüllt. Daher wird vorgeschlagen, einen Ansatz nach Waterhouse in die SEA-Berechnung zu integrieren, der die Quell- bzw. Empfängerpositionen unter Verwendung sphärischer Besselfunktionen berücksichtigt. Mit dieser Modifikation werden die SEA-Ergebnisse um eine Ortsabhängigkeit und eine zusätzliche Frequenzabhängigkeit erweitert. Der Ansatz wurde für Luftschallausbreitung entwickelt und für Biegewellenausbreitung in Plattenstrukturen mit unterschiedlichen Randbedingungen erweitert. Die Gültigkeit des Verfahrens wird durch den Vergleich mit Ergebnissen der Modalanalyse demonstriert.

Do. 15:40 Neumarkt

Statistische Energieanalyse

### **SEA-Modellierung einer Flugzeug Rumpfsktion**

A. Peiffer

*EADS Deutschland GmbH*

Anhand des Modells einer generischen Flugzeugrumpfsktion werden die Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung der SEA als Simulationswerkzeug für die Innenakustik behandelt. Zunächst werden die typischen Anregungsmechanismen, wie turbulente Grenzschicht und Strahlärm, vorgestellt und deren spezifische Eigenschaften erläutert. Die hohe Steifigkeit der so genannten Primärstruktur bei gleichzeitig sehr geringem Gewicht führt zu spezifischen akustischen Eigenschaften die Konsequenzen für die Strategie der SEA-Modellierung haben, besonders für die Einteilung und Ausführung Subsysteme. Im nächsten Schritt wird die Modellierung der Sekundärstruktur in das Modell einbezogen, d.h. die Innenverkleidung, Kabineneinbauten und die

thermoakustische Isolierung. Aufgrund der Komplexität der verwendeten Materialien und Aufbauten kommen hier eine Vielzahl von analytischen und halb numerischen Modellen zum Einsatz, um die SEA Parameter der Kabinensubsysteme zu bestimmen. Anhand eines Beispiels werden die Ergebnisse der Simulation einer Sektion für typische Anregungen vorgestellt, einfache Schwachstellenanalysen durchgeführt und abschließend kurz die Möglichkeit hybrider Verfahren diskutiert, um den Gültigkeitsbereich hin zu tieferen Frequenzen zu erweitern.

Do. 16:05 Neumarkt

Statistische Energieanalyse

### **Statistische Energieanalyse der Windgeräusche am Kraftfahrzeug**

M. Eberle<sup>a</sup>, M. Brennberger<sup>b</sup> und G. Wickern<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Lehrstuhl für Hydraulische Maschinen, TU München; <sup>b</sup>AUDI AG  
Ab Geschwindigkeiten über 120 km/h sind durch Fahrzeugumströmung entstehende Geräusche die für den Schallpegel im Fahrzeug ausschlaggebende Komponente. Für die typischerweise hochfrequenten Windgeräusche ist die statistische Energieanalyse ein geeignetes Werkzeug um die Schallausbreitung im Gesamtfahrzeug zu betrachten. Aufgabe im Rahmen dieses Projektes ist es, die für den Innenraumpegel eines Fahrzeugs ausschlaggebenden aeroakustischen Quellen zu lokalisieren und geeignete Messmethoden im Windkanal zur Darstellung der Quellen zu finden. Anschließend müssen Wege gefunden werden, die gemessenen Quellterme in bereits bei Audi zur Untersuchung von Antriebs- und Abrollgeräuschen eingesetzte SEA-Gesamtfahrzeug-Modelle zu implementieren. Die Modelle werden hierzu an die Anforderungen der Aeroakustik angepasst. Das Ziel ist eine Vorhersage des durch Windgeräusche hervorgerufenen Geräuschpegels in einem Fahrzeug. Außerdem sollen für lokale Schallquellen die Transferpfade von der windangeregten Quelle in den Fahrzeuginnenraum verfolgt werden. Die Lokalisierung und Quantifizierung der Schallquellen erfolgt durch Mikrofonmessungen im Aeroakustikwindkanal. Die Fluid-Struktur-Wechselwirkungen auf überströmten Fahrzeugoberflächen werden nach dem Ansatz von DeJong in die Fahrzeugmodelle implementiert. Für verschiedene überströmte Karosseriefächen werden die gemittelten Wechselladungen als Anregung in das SEA-Modell eingebracht, und deren Einfluss auf das Innengeräusch somit berücksichtigt. Ein Vergleich zwischen SEA-berechneten Innengeräuschpegeln und gemessenen Spektren



sowie eine Schalltransferpfadanalyse von einer lokalen Schallquelle in den Fahrzeuginnenraum werden vorgestellt.

Do. 8:30 Graf Brühl

Lärmausbreitung

### **DEUFRAKO: Vorhersage und Ausbreitung von Rollgeräuschen (P2RN)**

B. Droste

*Bundesanstalt für Straßenwesen*

Bei diesem Projekt kooperieren deutsche und französische Institute und Firmen unter der Leitung des "Laboratoire Central des Ponts et Chaussées" (LCPC) und der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), um neue Konzepte für die Optimierung von Fahrbahnoberflächen hinsichtlich des Reifen-Fahrbahngeräusches zu erstellen. Dabei dient das von Müller BBM, einem Projektpartner, mitentwickelte SPERoN ("Statistical Physical Explanation of Rolling Noise") Modell erstmals als Tool für das Design neuer, lärmarmen Fahrbahnoberflächen. Das Modell wird in einem ersten Schritt mit französischen Fahrbahnbelägen validiert, um in einem zweiten Schritt neue Texturen für lärmarme Straßenbeläge zu entwickeln. Diese Ergebnisse dienen dann als Input für Schallausbreitungsmodelle, die in Frankreich und Deutschland entwickelt wurden, um die Wirkung dieser neuen Fahrbahnbeläge im Fernfeld zu untersuchen. Diese Ergebnisse fließen in ein Ranking mit anderen typischen französischen und deutschen Fahrbahnoberflächen und führen zu einer gemeinsamen Datenbank (DEUFRABASE). Die Betrachtung der Schallausbreitung im Fernfeld ist wichtig hinsichtlich der Umweltbelastung, hier sei beispielsweise die europäische Umweltrichtlinie genannt, wohingegen die Betrachtung des Schallfeldes im Nahfeld für die Einordnung der Fahrbahnbeläge in Straßenbelagsklassen notwendig ist.

Do. 8:55 Graf Brühl

Lärmausbreitung

### **Auswirkung der Kohärenz auf die Schallausbreitung**

W. Bartolomaeus und M. Chudalla

*Bundesanstalt für Straßenwesen*

Das Vorbeifahrtgeräusch von Straßenfahrzeugen wird bei Simulationsprogrammen der Schallausbreitung (z. B. BEM) und zunehmend auch bei Schallausbreitungsprogrammen (z. B. NORD 2000) mit kohärent abstrahlenden Punktschallquellen modelliert. Diese Annahme kann nicht unbedingt als allgemein gültig angenommen werden. Messungen von Vorbeifahrten zeigen vielmehr, dass die in unterschiedliche Richtungen abgestrahlten

„Schallstrahlen“ schon bei einer relativ kleinen Winkeldifferenz bei höheren Frequenzen nur noch einen geringen Kohärenzgrad aufweisen. Es wird diskutiert, welche Folgerungen dies auf die Unterschiede zwischen phasengerechter bzw. energetischer Pegeladdition bei einzelnen Frequenzen, bei Terzen und für den gesamten A-bewerteten Pegel hat.

Do. 9:20 Graf Brühl

Lärmausbreitung

### **Kohärente Abstrahlcharakteristik**

M. Chudalla und W. Bartolomaeus

*Bundesanstalt für Straßenwesen*

In der „Halle für akustische Modelltechnik“ der Bundesanstalt für Straßenwesen werden Messungen an maßstäblich verkleinerten Straßenbauwerken durchgeführt. Aufgrund der verschobenen Frequenzbereiche bei Messungen in unterschiedlichen Maßstäben müssen gegebenenfalls verschiedene Schallerzeuger als jeweilige Modellschallquelle eingesetzt werden. Bei Messungen in unterschiedlichen Maßstäben der selben Messanordnung traten Unstimmigkeiten auf. Bei der weiteren Untersuchung der Messergebnisse brachten Kohärenzbetrachtungen Licht in das Dunkel.

Do. 9:45 Graf Brühl

Lärmausbreitung

### **Nachts mehr Schallleistung? Forschungsprojekt Tag-Nacht-Unterschiede hoher Windenergieanlagen**

O. Bunk

*Kötter Consulting Engineers KG*

Im Zuge einer Ausschreibung des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV) wurden durch KÖTTER Consulting Engineers KG (KCE) die Schallemission und -immission, verursacht durch eine Windenergieanlage (WEA) unter verschiedenen meteorologischen Bedingungen, geprüft. Es sollte untersucht werden, ob es beim Schallleistungspegel, dem Windprofil, der Windscherung und der Turbulenz Unterschiede zwischen Tag und Nacht gibt. Falls es Unterschiede gibt, sollen Vorschläge gemacht werden, wie dennoch eine Emissionsmessung verlässlich durchgeführt werden kann. Zusätzlich zu der bei FGW-konformen Emissionsmessungen üblichen Messung der Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe, sollte die Windgeschwindigkeit, die Turbulenz und die Windrichtung unter Zuhilfenahme eines Sodargerätes in einer Höhe von 30 m bis 150 m in Stufen gemessen werden.

Die Untersuchungen ergaben drei wesentliche Punkte: 1. Die Ursachen für die in einer Nacht über bestimmte Phasen aufgetretenen erhöhten Schallemissionen sollten Gegenstand weiterer Untersuchungen sein. 2. In der Regel wird zur Nachtzeit kein höherer Schallleistungspegel als zur Tageszeit gemessen. Die Schallemission kann also nach Meinung von KCE tags repräsentativ gemessen werden. 3. Wegen Differenzen der Schallleistungspegel im interessierenden Windbereich wurden von KCE Erhöhungen der Messunsicherheiten vorgeschlagen. Diese wurden in Fachgremien diskutiert, aufgrund der seltenen Vorkommnisse innerhalb des Forschungsprojektes fand bislang eine Umsetzung nicht statt.

Do. 10:10 Graf Brühl

Lärmausbreitung

### **Vergleichbarkeit von Emissions- und Immissionsmessungen an Windenergieanlagen**

M. Schultz-von Glahn, K. Betke, R. Matuschek und H. Remmers  
*itap - Institut für technische und angewandte Physik GmbH*

Die Messung der Schallemissionen von Windenergieanlagen (WEA) erfolgt nach den Vorgaben der DIN EN 61400. Demzufolge wird die Schallleistung einer Anlage über eine Immissionsmessung mit Hilfe eines Bodenmikrofons ermittelt. Das Verfahren hat den Vorteil, dass a) Störgeräusche durch Wind minimiert werden und b) der Einfluss des Bodens auf die Schallausbreitung eliminiert wird.

Die Messung der Schallimmissionen einer WEA wird üblicherweise mit einem Mikrofon auf der Höhe des maßgeblichen Immissionsortes gemäß TA-Lärm durchgeführt (in Höhen  $> 2$  m). Bei dieser Anordnung wird der Einfluss der Bodens auf die Schallausbreitung zwischen Quelle und Empfänger wirksam.

Bei Immissionsmessungen an einem Ersatzmessort muss für die Ermittlung der Beurteilungspegel am Immissionsort eine Ausbreitungsberechnung nach ISO 9613-2 durchgeführt werden. Wenn diese Berechnung auf der Basis eines nach DIN EN 61400 gemessenen Schallleistungspegels durchgeführt wird, kommt es zu systematischen Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Immissionspegeln. Diese Abweichungen treten ebenfalls auf, wenn Immissionsprognosen für Windparks erstellt werden.

Do. 14:00 Graf Brühl

Lärmausbreitung

**Windenergieanlage ./ ISO 9613-2 - Ein physikalischer Vergleich?**B. Vogelsang<sup>a</sup> und K.-W. Hirsch<sup>b</sup><sup>a</sup>Niedersächsisches Umweltministerium; <sup>b</sup>Institut für Lärmschutz, Düsseldorf

Windenergieanlagen bedürfen einer Genehmigung, die erst aufgrund einer Lärmprognose erteilt werden kann. Deshalb muss die Immission zwangsläufig mithilfe eines Schallausbreitungsmodells berechnet werden. In dem vorliegenden Streit geht es darum, dass nach überwiegender Meinung die ISO 9613-2 für Windenergieanlagen als Vorschrift für die Schallausbreitungsberechnung nicht anwendbar sei, obwohl sich die ISO 9613-2 als robustes Modell zur Berechnung der Schallausbreitung bewährt hat. Zwar schließt die ISO 9613-2 explizit die Anwendung für Fluglärm und Sprengungen aus und jedoch ist sie für die "meisten Fälle von bodennahen Schallquellen anwendbar". Es ist zunächst physikalisch unklar, warum die Norm für Windenergieanlagen nicht anwendbar sein soll. Systematische Messungen, die die Nicht-Anwendbarkeit belegen könnten, liegen nicht vor. Es gibt allerdings Hinweise, dass bei Gegenwind höhere Pegel auftreten können als bei Mitwind. Dies wäre ein krasser Widerspruch zur Norm.

Ausgehend von der Annahme der Einführung - in erster Näherung - des Zustandes der Atmosphäre über einen konstanten Windgradienten, soll im Vortrag mithilfe eines Kreisstrahlenmodells (s. ISO 1996-2) der Frage nachgegangen werden, welchen Einfluss die Ausdehnung der Quelle auf die Ausprägung des sogenannten "Bodendip" hat und wie zu erklären ist, dass bei Gegenwind höhere Pegel auftreten können als bei Mitwind.

Do. 14:25 Graf Brühl

Lärmausbreitung

**Einfluss der vertikalen Struktur der atmosphärischen Grenzschicht auf die Schallausbreitung von Schallquellen in unterschiedlichen Höhen**

M. Wilsdorf und A. Ziemann

*Universität Leipzig, Institut für Meteorologie*

Die Eigenschaften der Ausbreitung von Schallwellen in der Atmosphäre hängen wesentlich von den meteorologischen Größen Temperatur und Windvektor ab. Vertikale Gradienten dieser Größen bewirken eine Brechung des Schalls und beeinflussen damit die entfernungsabhängige Dämpfung von Schallpegeln. Darüber

hinaus hat die Höhe einer Schallquelle aufgrund der zum Teil beträchtlichen vertikalen Variabilität der meteorologischen Größen einen großen Einfluss auf die Schallimmission an einem Ort. Mit Hilfe des Schallstrahlenmodells SMART (Sound propagation Model of the Atmosphere using Ray-Tracing) werden Schallpegeldämpfungen berechnet, wobei in diesen Berechnungen die Auswirkungen der meteorologischen Verhältnisse auf die Schallausbreitung in der Atmosphäre berücksichtigt werden. Um frühere Untersuchungsergebnisse zu verallgemeinern, wird der Einfluss der tages- und jahreszeitlich variierenden vertikalen Struktur der atmosphärischen Grenzschicht auf die Schallausbreitung von Schallquellen in unterschiedlichen Höhen untersucht. Besonderer Wert wird dabei auf solche Situationen gelegt, welche zu einer verstärkten Schallimmission infolge von Schallstrahlenrefraktion führen können (z.B. Temperaturinversionen) und bei denen in größerer Höhe ( $> 65$  m) Windgeschwindigkeiten von wenigstens 8 m/s vorliegen (interessant beispielsweise für den Immissionsschutz). Die den Ausbreitungsrechnungen zugrunde liegenden meteorologischen Eingangsdaten werden mit einem stationären numerischen Modell der atmosphärischen Grenzschicht simuliert.

Do. 14:50 Graf Brühl

Lärmausbreitung

## **Zur Berechnung des Geschosknalls von Flugkörpern auf ballistischen Flugbahnen**

J. Zangers<sup>a</sup> und K.-W. Hirsch<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Institut für Lärmschutz, Düsseldorf;* <sup>b</sup>*Cervus Consult*

Die EN ISO 17201-2 beschreibt ein energiebasiertes Verfahren (im Rahmen der Strahlenakustik), mit dem der Schallexpositionspegel von Geschosknallen kleinkalibriger ( $< 20$  mm) Handfeuerwaffen abgeschätzt werden kann. Im wesentlichen gliedert sich dieses Verfahren in drei Schritte:

- (1) Bestimmung des Quellpunktes auf (dem überschalligen Teil) der Flugbahn bei gegebenen Immissionspunkt.
- (2) Berechnung des Energieverlustes des Geschosses auf dem Quellpunkt-Flugbahnsegment.
- (3) Berechnung der "Streuläche", in die diese Energie abgestrahlt wird.

Dabei wird zunächst von geraden Flugbahnen ausgegangen, darüber hinaus aber festgestellt, dass dieses Verfahren auch für

ballistische Kurven gültig ist, wenn sie durch eine Folge von Geradestücken angenähert werden können. Eine detaillierte Analyse der angegebenen Gleichungen ergibt folgende implizite Vereinfachungen:

- a) Die Erdanziehung wird vernachlässigt.
- b) Der Cw-Wert des Geschosses wird als konstant vorausgesetzt.
- c) Das Geschoss wird (im überschalligen Teil der Flugbahn) kontinuierlich verzögert.

Durch diese Annahmen ist die Anwendbarkeit des Verfahrens auf allgemeine ballistische Flugbahnen nur eingeschränkt möglich. Es wird ein Verfahren vorgestellt, das es erlaubt die Punkte (1) - (3), ohne die Einschränkungen a) - c) zu berechnen.

Do. 15:15 Graf Brühl

Lärmausbreitung

### **Schießlärmüberwachung**

D. Knauß

*deBAKOM GmbH*

Bei der Prognose von Schießlärm ergibt sich unter anderem das Problem, der Einhaltung der Immissionsrichtwerte. Hierzu wird beispielsweise eine mögliche Öffnungszeit anhand der prognostizierten täglichen Schusszahlen anhand der in der VDI 3745 angegebenen max. Schusszahlen ermittelt. Dies führt in der Regel zu einer eingeschränkten Nutzung. Alternativ hierzu kann anhand von permanenten Schallmessungen auf der Schießanlage und aus Messungen bestimmten Transferfunktionen der Beurteilungspegel an den Immissionsorten direkt bestimmt werden. Die Transferfunktionen zwischen den Referenzpunkten und den Immissionsorten werden dabei messtechnisch unter Berücksichtigung des meteorologischen Einflusses auf die Schallausbreitung durch Langzeitmessungen bestimmt. Dieses Verfahren ermöglicht einen flexiblen Schießbetrieb und eine objektive Überprüfung der Pegel. Erste Erfahrungen dieser permanenten Schießlärmüberwachung sollen hier vorgestellt werden.

Do. 15:40 Graf Brühl

EU-Lärminderungsplanung

### **Umgebungslärmrichtlinie - Ergebnisse der Lärmkartierung in Deutschland**

M. Hintzsche

*Umweltbundesamt*

Die Umgebungslärmrichtlinie sieht die Entwicklung eines Konzeptes vor, um schädliche Auswirkungen durch Umgebungslärm zu verhindern, ihnen vorzubeugen oder sie zu mindern. Hierzu

wurden in einem ersten Schritt in großen Ballungsräumen und in der Umgebung von Hauptverkehrswegen die Belastungen erfasst und die Bevölkerung über Umgebungslärm und seine Auswirkungen informiert. Die Ergebnisse der Lärmkartierung stellen die Grundlage für die Aufstellung von Aktionsplänen dar. Diese haben das Ziel, den Umgebungslärm zu verhindern und zu mindern und die Umweltqualität in den Fällen zu erhalten, in denen sie zufrieden stellend ist.

Die Ergebnisse der 1. Stufe der Lärmkartierung in Deutschland werden zusammengefasst und bezüglich der Information der Öffentlichkeit und als Grundlage für die Aktionsplanung bewertet.

Do. 16:05 Graf Brühl

EU-Lärminderungsplanung

### **Aktionsplanung - ein integrativer Planungsprozess**

G. Kohnen

*IBK Ingenieur- und Beratungsbüro Kohnen*

Mit der Lärmkartierung liegt ein umfangreiches Karten- und Zahlenwerk vor, das die Lärmbelastung der Hauptlärmquellen und Analysen zu Betroffenheiten beinhaltet. Auf dieser Basis sind für die kartierten Gebiete von den Gemeinden als zuständige Behörden Lärmaktionspläne zu erarbeiten. Diese beinhalten gemäß EU-Umgebungslärmrichtlinie Regelungen zu Lärmproblemen und Lärmauswirkungen einschließlich der Maßnahmen zur Lärminderung sowie zum Schutz ruhiger Gebiete. Die Lärmaktionspläne sind aufzustellen für Orte im Umfeld der Hauptverkehrsquellen und für Ballungsräume.

Die Aktionsplanung steht in Interaktion mit räumlichen Planungen und raumbezogenen Fachplanungen. Diese Wechselwirkungen führen zu einem komplexen Planungsprozess und erfordern eine interdisziplinäre und integrative Vorgehensweise. Der Ansatz die Aktionsplanung als solitäre Aufgabe und 'notwendiges Übel' zu behandeln, sollte überwunden werden. Stattdessen sollte die Aktionsplanung als ein Baustein zu einer strategischen kommunalen Planung genutzt werden. Diese Betrachtungsweise ist nicht neu, wird jedoch bislang nur selten konsequent umgesetzt. Ein erfolgreicher Ansatz erfordert eine intensive Kommunikation sowohl der Fachdisziplinen, wie z.B. der Stadt-, Umwelt- und Verkehrsplanung, als auch der Akteure, wie z.B. Öffentlichkeit, Behörden, Planungsträger, Gutachter und politische Gremien.

Es werden Perspektiven aufgezeigt wie es gelingt, die Aktionsplanung in einem integrativen Planungsprozess mit den räumlichen Planungen zu vernetzen, strategische Ziele zu definieren und diese in die räumliche Planung zu implementieren.

Do. 8:30 Semper

Signalverarbeitung

**Ein körperschallbasiertes Überwachungssystem für die Ultrapräzisionsfertigung**J.O.A. Köhler<sup>a</sup>, C. Schäfer<sup>b</sup> und A. Merz<sup>b</sup><sup>a</sup>*Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen;* <sup>b</sup>*Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT*

In einem größeren Projekt zur akustischen Überwachung von Ultrapräzisionsfertigungsprozessen, wie z.B. Drehen, Schleifen oder Bohren, werden Acoustic Emission (AE) Sensoren eingesetzt um Anschnittmomente und Crashes zu erkennen und um den Werkzeugverschleiß zu überwachen. Die AE-Sensoren werden dazu direkt auf dem Werkzeughalter montiert. Die Übertragungsfunktion vom Werkzeug zum Sensor wird zunächst charakterisiert und es werden geeignete Algorithmen vorgestellt, die für diese Anwendung entwickelt wurden. Die gesamte Algorithmik soll später in einem Prototyp auf einem FPGA integriert werden.

Do. 8:55 Semper

Signalverarbeitung

**Korrelationsanalyse von Körperschallsignalen im Fahrzeug-crash**L. Oestreicher*Institut für Angewandte Forschung, FH Ingolstadt*

Fahrzeugzulieferfirmen und -hersteller untersuchen den Einsatz von Körperschallsensoren in Steuergeräten zur Airbagauslösung. Mit Körperschall als zusätzlicher Information kann die Unterscheidung zwischen verschiedenen Crasharten optimiert werden. In diesem Zusammenhang müssen Körperschallquellen im Fahrzeugcrash gefunden und Ausbreitungspfade für Körperschall im Fahrzeugcrash identifiziert und charakterisiert werden. Hilfreich erweisen sich bei der Bestimmung von Übertragungswegen und deren Eigenschaften Methoden der Korrelations- und Spektralanalyse. Ein Korrelationsverfahren in Verbindung mit Waveletanalyse wurde im herkömmlichen Frequenzbereich der Crashsensorik bereits erfolgreich eingesetzt (Z. Cheng, Detroit, 2002). Eine Erweiterung des Verfahrens auf hochfrequente Körperschallsignale aus Crashversuchen wird vorgestellt. Es werden alternative Verfahren diskutiert und ein Beispiel für eine Anwendung gezeigt.



Do. 9:20 Semper

Signalverarbeitung

**Ermittlung bioakustisch relevanter Klangmuster zur Modulation von metabolischen und zentralnervösen Funktionen**P. Friedrich, T. Flurschütz, C. Georg und B. Wolf*Heinz-Nixdorf-Lehrstuhl für Medizin. Elektronik, TU München*

Aus der funktionalen rezeptiven Musiktherapie sowie aktuellen wissenschaftlichen Publikationen ist bekannt, dass akustische Signale metabolische und zentralnervöse Funktionen modulieren können. Somit rufen Klänge bestimmte physiologische Wirkungen beim Menschen hervor. Ein oft beschriebener Effekt ist die blutdrucksenkende Wirkung von speziellen Musikstücken und iterativen Klangmustern, der von individuellen akustischen Präferenzen abhängig ist. Nach Decker-Voigt handelt es sich dabei um trophotrope Musik. Basierend auf diesem Wissen entwickelt und erprobt der Heinz Nixdorf-Lehrstuhl für Medizinische Elektronik eine akustische Biofeedbacktherapie als Interventionsmöglichkeit bei essentieller Hypertonie. Die Erprobung erfolgt in Form einer telemedizinischen Applikation mittels eines virtual labs. Diese Art einer nichtmedikamentösen Therapie kann eine Alternative zu den klassischen pharmazeutischen Behandlungsformen darstellen. Zur Ermöglichung einer personalisierten und individualisierten Therapie, müssen jedoch die Wirkbestandteile in der eingesetzten trophotropen Musik bekannt sein. Um diese zu ermitteln, werden signaltheoretische Ansätze verfolgt sowie Verfahren der Mustererkennung und Merkmalsextraktion auf die Klänge angewendet. Zur Darstellung der diese Signale bestimmenden physikalischen Parameter werden interaktive Filtersysteme benutzt, um die bioakustisch relevanten Muster zu isolieren. Die verschiedenen eingesetzten Verfahren werden vorgestellt und die Möglichkeiten und Grenzen der jeweiligen Methoden diskutiert. Erste Ergebnisse aus der Ermittlung blutdrucksenkender akustischer Marker sowie den daraus entwickelten überoptimalen Sequenzen wurden bezüglich ihrer Wirkung getestet und deren Resultate präsentiert.

Do. 9:45 Semper

Signalverarbeitung

**Room Impulse Response Shaping for Estimations of Room Impulse Responses**S. Goetze<sup>a</sup>, M. Kallinger<sup>b</sup>, A. Mertins<sup>c</sup> und K.-D. Kammeyer<sup>a</sup><sup>a</sup>*Universität Bremen*; <sup>b</sup>*Fraunhofer Institute for Integrated Circuits IIS*; <sup>c</sup>*Universität zu Lübeck*

Modern hands-free telecommunication systems have to reduce different acoustic disturbances of the desired speech signal, amongst them echoes of the far-end speaker due to the acoustic coupling between loudspeaker and microphone and room reverberation for the near-end listener caused by reflections at the room boundaries. Common systems for listening room compensation (LRC) try to design an equalization filter which is the inverse of the room impulse response to achieve spectral flatness of the concatenated overall system of equalizer and room transfer function. Such designs need reliable knowledge of the room impulse response (RIR) which is not available in real systems. Furthermore, it can be shown that shaping approaches which preserve the masking effects of room impulse responses lead to perceptually better results especially in case of estimation errors. In this contribution a system for room impulse response shaping is analyzed depending on the influences of realistic RIR estimates, which are obtained by an acoustic echo canceller (AEC).

Do. 10:10 Semper

Signalverarbeitung

**Effiziente Verfahren zur Störgeräuschkunterdrückung in Magnetresonanztomographen bei Sprachaufnahmen**M. Kob<sup>a</sup>, G. Behler<sup>b</sup> und R. Schnitker<sup>a</sup><sup>a</sup>*RWTH Aachen - Universitätsklinikum*; <sup>b</sup>*Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen*

Die simultane Erfassung von Sprache und der Physiologie der Stimm- und Sprechorgane oder der Hirnfunktion (fMRT) aufgrund von post hoc aus dem Sprachsignal erhobenen Events im Magnetresonanztomograph ist für die Beurteilung der zeitlichen und inhaltlichen Zusammenhänge zwischen dem Stimm- / Sprachsignal und den (f)MRT-Daten von großer Bedeutung. Ein Problem bei der Aufnahme sind besonders bei 3 Tesla MRT's die während des Scans auftretenden, sehr lauten Störgeräusche, die dem Sprachsignal bei einer Aufnahme im Gerät mit vergleichbarem

oder sogar höherem Schallpegel überlagert sind. Eine Besonderheit des Scannergeräuschs ist seine mit hoher Reproduzierbarkeit auftretende Periodizität über mehrere Minuten hinweg. Da das Sprachsignal diese Eigenschaft nicht aufweist, kann dieser Unterschied für eine effiziente Reduktion des Störanteils genutzt werden. In diesem Beitrag werden verschiedene Verfahren verglichen, die den Störanteil der Sprachaufnahme reduzieren sollen.

Do. 14:00    Semper

Signalverarbeitung

### **Music Signal Decomposition Based on Sequential Identification and Subtraction of Components**

V. Matousek und S. Albrecht

*Westböhmsche Universität Pilsen*

The article deals with a novel approach in audio signal decomposition, with possible application on music. A mixed signal is built up from the audio components. Consecutive segments of the components present in the mixed signal are identified with the components contained in a set. Once a component is identified, it is removed from the mixed signal. There is an original observed audio signal (a song) being a composition of anything - from the tone A of the piano to the drum loop in a popular song (the audio component). Then we are given a set of audio components. We expect that it is possible to combine the observed signal from the audio components in the set or their derivatives. The derivatives may be created by the convolved components, or by the components having cut off an arbitrarily long part of their beginning / end. We can examine the two tasks:

1. To recognize the components which the original signal is combined from, find their positions in time, or find their possible transformations leading to the derivatives being presented in the original signal.
2. To investigate the conditions while the set of samples is large enough with respect to the transformations and the observed signal may be recovered.

Both tasks are very complex, therefore this paper is aimed at the first one, in particular on identification of the components and finding their gains and start times. The approach is designed so as to provide a possible extension to utilize the application of transformations. The crux consists in assignment of the similarity rate between a component segment and a mixed signal segment, and also the algorithms concerning the hidden Markov modeling and matching pursuit. The results of the proposal are discussed in this

article. The idea comes from music composing software tools called "trackers". They serve for making music by putting the sounds into the tracks. This concept of music signal decomposition is a reverse process. The practical utilization of such a musical analysis task consists in the discovered MIDI-like representation of resulting signal. Thus, it allows a content based information retrieval. Most of the current decomposition tools are based on a blind source "separation" without any prior knowledge about the sources. For the sake of this, they can operate only with harmonic sounds or sounds which differ much in their properties (e.g. drums vs. a piano). Furthermore, we obtain sounds of separated signals having some overlaps between each other. The proposal is based on an "identification". It deals with an arbitrary sound with no limits. The user helps the algorithm for better accuracy and credibility when he specifies the components in the setwell. A resulting signal is recombined from the "clear" sounds in the set.

Do. 14:25 Semper

Signalverarbeitung

### **Hierarchical multi-class class classification of sound data**

J.-H. Bach und J. Anemüller

*Universität Oldenburg, Medizinische Physik*

The automatic identification of acoustic objects, particularly speech, in adverse backgrounds can pose a difficult problem. In this work, the subproblem of speech detection in two different backgrounds is tackled using a hierarchical decision tree: The root node provides a coarse classification of the noise background, while the next nodes are optimised to detect speech in one particular background each. The features employed are amplitude modulation spectra of the signals (Kollmeier & Koch, 1993). They represent the modulation content of a signal as a two-dimensional (modulation-frequency vs centre frequency) spectral pattern. The best features for classification at each node are selected independently node-specific) using a sequential floating forward search algorithm. The actual statistical learner is an open source support vector machine (Chang & Lin, 2001, <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm>). The performance of speech detection in two types of realistic backgrounds, namely pedestrian zone noise and road traffic noise, is presented and compared to non-hierarchical approaches; furthermore, discrimination of male vs female speakers in the same background is evaluated.

Do. 14:50 Semper

Virtuelle Akustik

**Berücksichtigung der Kopfposition bei der Erzeugung eines virtuellen Kopfhörers mittels Wellenfeldsynthese**R. Franke<sup>a,b,c</sup>, G. Theile<sup>a</sup>, K. Laumann<sup>a,d</sup> und D. Leckschat<sup>b</sup><sup>a</sup>*Institut für Rundfunktechnik GmbH*; <sup>b</sup>*Fachhochschule Düsseldorf*; <sup>c</sup>*Jetzt: Ruetz Technologies*; <sup>d</sup>*AG Technische Akustik, MMK, TU München*

Das auf der DAGA 2006 unter dem Namen "Binaural Sky" vorgestellte Audiowiedergabesystem erzeugt unter dem Einsatz von Wellenfeldsynthese und Auswertung der Kopforientierung fokussierte Schallquellen mit konstanter Position im kopfbezogenen Koordinatensystem [Menzel et al.: "Binaurale Raumsynthese mittels Wellenfeldsynthese - Realisierung und Evaluierung"]. In Kombination mit einer inversen HRTF-Filterung zur Übersprechkompensation, dienen diese Quellen als Transaural-Schallquellen bei der Synthese eines virtuellen Kopfhörers.

Es wird eine Methode präsentiert, welche dem Hörer im Vergleich zum ursprünglichen System eine angemessene Bewegungsfreiheit einräumt, indem nicht nur rotatorische, sondern auch translatorische Bewegungen des Kopfes bei der Erzeugung des virtuellen Kopfhörers berücksichtigt werden. Das Prinzip besteht in der dynamischen Positionsanpassung der fokussierten Schallquellen an den Standpunkt des Hörers, wobei die vorberechneten FIR-Filter für die Übersprechkompensation unverändert bleiben. Die Methode wurde in das bereits bestehende System integriert und anhand von Messreihen evaluiert.

Do. 15:15 Semper

Virtuelle Akustik

**Zur binauralen Simulation verteilter Schallquellen**

A. Lindau, M. Klemmer und S. Weinzierl

*TU Berlin, Fachgebiet Audiokommunikation*

Die binaurale Simulation räumlich verteilter Schallquellen (Orchester, Kammermusikensembles, Chöre) erfordert im Idealfall eine große Anzahl binauraler Datensätze für die einzelnen Schallquellen. In Hörversuchen wurde daher ermittelt, für welche räumliche Konfiguration der Quellen eine Binauralsynthese mittels für jede Quellposition separat aufgenommenen Datensätzen binauraler Raumimpulsantworten erforderlich ist. Als Stimulus dienten nachhallfreie Aufnahmen eines Streichquartetts im reflexionsarmen Raum der TU Berlin. Untersucht wurde, ab welchem Öffnungswinkel Hörer in der Lage sind, die vier Instrumente als räumlich verteilte Quellen wahrzunehmen. Mit dem

Messsystem FABIAN wurden in einem Konzertsaal-ähnlichen Raum für zwei Hörpositionen - innerhalb des Hallabstands und außerhalb des Hallabstands - komplette Datensätze mit Raumimpulsantworten für eine dynamische Binauralsynthese und für verschiedene Öffnungswinkel zwischen den Einzelquellen aufgenommen. In einem 3AFC-Versuch mit modifizierter "Best PEST"-Adaptionsregel wurden Schwellen für die eben wahrnehmbare Separation der Quellen ermittelt. Sie liefern Anhaltspunkte für den für eine plausible Simulation erforderlichen Aufwand bei der Aufnahme der binauralen Datensätze und bei deren Auralisation.

Do. 15:40 Semper

Virtuelle Akustik

### **Multimodale Darstellung natürlicher Schallquellen in virtuellen Umgebungen**

D. Schröder<sup>a</sup>, S. Reuter<sup>a</sup>, G. Behler<sup>a</sup> und I. Assenmacher<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen;* <sup>b</sup>*VR-Gruppe am Rechen- und Kommunik.-zentrum, RWTH Aachen*

In interaktiven, virtuellen Umgebungen ist eine realistische Repräsentation von natürlichen Schallquellen (z.B. Musikern) notwendig um beim Nutzer eine Akzeptanz der dargebotenen Szenerie hervorzurufen. Um den präsentierten Szenarien eine gewisse Natürlichkeit zu verleihen, z.B. bei der Teilnahme an einer musikalischen Darbietung in einem virtuellen Konzertsaal, müssen zumindest die beiden dominantesten Sinne, das heißt Hören und Sehen, adäquat stimuliert werden. Während bei der visuellen Komponente eine synchrone Bewegung des Musikers zur gespielten Musik gefordert ist, benötigt man für die akustische Komponente die Verknüpfung der Richtcharakteristiken der Schallquellen mit der raumakustischen Echtzeitsimulation. Speziell im Fall des Spielens von Musikinstrumenten, bei denen die akustische Richtcharakteristik stark über den Frequenzbereich variiert und der Betrachter eine gewisse Bewegungscharakteristik vom Musiker erwartet, wird die Glaubwürdigkeit der Simulation natürlicher Schallquellen durch einen solchen multimodalen Ansatz stark erhöht.

Dieser Beitrag beschreibt den Messaufbau für die Extraktion der Quellenrichtcharakteristiken aus einem live eingespielten Musikstück, die Dateninterpolation aufgrund der begrenzten Anzahl von Messkanälen (32 Messkanäle im Vergleich zu 2416 benötigten Messkanälen bei einer 5 Grad Messauflösung), das Markerbasierte Motion Capturing der Musiker und die anschließende Synchronisation von akustischen und visuellen Komponenten.

Do. 16:05 Semper

Virtuelle Akustik

**Optimierung der segmentierten Echtzeitfaltung**F. Wefers*Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen*

Ein weitverbreitetes Auralisierungs-Verfahren in der virtuellen Akustik basiert auf Beschreibung der Schallübertragungspfade durch Impulsantworten. Virtuelle Szenen werden auralisiert indem die Klänge einer virtuellen Szene mit Impulsantworten gefaltet werden. Ziel ist es realistische, interaktive Simulationen zu schaffen. Dies erfordert die Faltung vieler Quellsignale mit langen Raumimpulsantworten bei möglichst geringer Ein-zu-Ausgabe-Latenz. Für diese Aufgabe wird üblicherweise die segmentierte Faltung eingesetzt. In diesem Verfahren werden Impulsantworten unterteilt (segmentiert). Die Segmentierung hat starken Einfluß auf den Rechenaufwand und die Realisierbarkeit/Stabilität der Faltung in Echtzeit. Um komplexe virtuelle Szenen simulieren zu können, muss der Rechenaufwand möglichst gering gehalten werden. In diesem Beitrag wird ein Verfahren zur Optimierung der Filtersegmentierung auf Basis von Praxisdaten vorgestellt. Bisherige Untersuchungen zu optimalen Segmentierungen basieren auf theoretischen Komplexitätsbetrachtungen. Auf realen Systemen ergeben sich allerdings deutliche Abweichungen von diesen Annahmen. Am Institut für Technische Akustik (ITA) wurde ein Optimierungswerkzeug entwickelt, welcher ausgehend von konkreten Messdaten eines Zielsystems, optimale Segmentierungen für verschiedene Bewertungskriterien berechnet. Durch diesen Ansatz können Maschinen-spezifische Eigenschaften ausgenutzt werden und der Berechnungsaufwand der Faltung kann deutlich gesenkt werden. Im Vortrag werden das Verfahren und die gewonnenen Erkenntnisse vorgestellt.

Do. 8:30 Altmarkt

Klassenraumakustik

**Container-Klassenräume: Ein Beitrag aus der Beratungspraxis**B. Becker<sup>a</sup> und E.C. Christensen<sup>b</sup><sup>a</sup>*Deutsche Rockwool Mineralwoll GmbH & Co. OHG*; <sup>b</sup>*Rockwool International A/S*

Seit geraumer Zeit werden wegen rückläufiger Schülerzahlen in den Städten und Kommunen Schulen in wachsender Zahl geschlossen. Da als Konsequenz dieser Schließungen mehr Schüler in den verbliebenen Schulen unterrichtet werden, sind zunehmend Container als Klassenräume auf dem Schulgelände die Lösung des Problems.

Diese Container-Klassenräume verfügen über kein raumakustisches Konzept. Die Ergebnisse der hier vorgestellten Untersuchung behandeln die praxisgerechte Sanierung eines Muster-Container-Klassenraumes. In dieser Untersuchung werden die positiven Resultate der optischen, akustischen und baulichen Sanierung durch objektive Messungen dokumentiert.

Die Erfahrungen der genannten Sanierung wurden im Nachgang für alle Container-Klassenräume umgesetzt. Es sollten neben den geforderten Brandschutzanforderungen auch die Anforderungen an den alltäglichen schwierigen, weil lauten, Schulalltag und darüber hinaus die raumakustischen Anforderungen (Empfehlung der Nachhallzeit DIN 18041:2004) erfüllt werden.

Dieser Beitrag beschreibt den Projektverlauf von den ersten Kontakten zur Schule und den Behörden, der Erstellung eines Muster-Container-Klassenraumes und der anschließenden Umsetzung für alle Container-Klassenräume für die gesamte Schule. Ziel des Projektes war es zu zeigen, dass die praxisgerechte Sanierung auch mit geringen Abhanghöhen mit erheblichen Verbesserungen der Raumakustik weit über die gesetzlichen Mindestanforderungen hinaus auch mit einem maßvollem finanziellen Aufwand möglich ist.

Es werden Berechnungs- und Messergebnisse für die Nachhallzeiten vor und nach der Sanierung vorgestellt.

Do. 8:55 Altmarkt

Klassenraumakustik

### **Akustische Ergonomie - Theorie und Wirklichkeit einer optimalen Klassenraumakustik**

R. Machner<sup>a</sup> und G. Tiesler<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Saint-Gobain Ecophon GmbH; <sup>b</sup> ISF / Universität Bremen

Wissenschaftliche Untersuchungen haben gezeigt, in welchem Maß eine optimierte Klassenraumakustik die kognitive Leistungsfähigkeit von Schülern beeinflusst sowie für "moderne" Unterrichtsmethoden zwingend notwendig ist (Klatte, Wegner & Hellbrück, 2006; Oberdörster & Tiesler, 2006). Doch welche Parameter beschreiben einen durch gute Akustik unterstützenden Klassenraum hinreichend? Eine der DIN 18041 entsprechende Nachhallzeit garantiert nicht zwangsläufig einen akustisch optimalen Klassenraum. Die Daten der Studie zur "akustischen Ergonomie der Schule" des Instituts für Interdisziplinäre Schulforschung der Universität Bremen liefern bei genauerer Betrachtung eindeutige Hinweise auf Faktoren, die einen bestmöglichen Zustand beeinflussen. Bei bereits geringer Modifikation bestimmter Parameter in der Raumakustik kam es zu unerwartet hohen Auswirkungen



auf Geräuschpegel und Leistungsfähigkeit. Die Vorausbestimmung der akustischen Qualität durch Berechnung der Nachhallzeit nach Sabine funktioniert als Planungstool demnach nur stark eingeschränkt. Die Variation der Klassenraumbesetzung durch Schüler z.B. brachte bei Messungen nicht den theoretisch erwarteten Erfolg einer Nachhallzeitreduktion. Entgegen der Theorie konnte keine lineare Verbesserung der Nachhallzeit in Abhängigkeit der Personen bestätigt werden. Die gemessenen Werte zeigten sich nahezu unabhängig von der Anzahl der Personen im Raum. Die vorliegenden Hinweise der oft fehlerhaften theoretischen Nachhallschätzung sowie der angenommenen Raumdiffusität soll in diesem Beitrag anhand verschiedener Beispiele gelungener Klassenraumkonzepte aus der Praxis diskutiert werden.

Do. 9:20 Altmarkt

Klassenraumakustik

### **Lärmstress im Klassenraum - Ergonomie der Schule**

G. Tiesler<sup>a</sup> und R. Machner<sup>b</sup>

<sup>a</sup>ISF / Universität Bremen; <sup>b</sup>Saint-Gobain Ecophon GmbH

Im Rahmen des Forschungsvorhabens "Raumakustische Ergonomie der Schule" wird die Wirkung des durch Unterricht entstehenden "Lärms" als natürlichen Arbeitsgeräusches auf die Lehrkräfte untersucht. Welche Wirkung hat dieser "leise Lärm", darf hier von einem Stressor gesprochen werden? Zumindest im Klassenraum sind in der Regel keine Schutzmaßnahmen im Sinne der UVV "Lärm" notwendig. Die physiologisch messbare Beanspruchungsreaktion wird hier vor dem Hintergrund unterschiedlicher pädagogischer Arbeitsformen, der Redeanteilen von Lehrer und Schülern, sowie den raumakustischen Bedingungen untersucht. Als Beanspruchungsindikator dient die kontinuierlich über den Unterrichtstag aufgezeichnete Herzfrequenz der Lehrkräfte, insgesamt ca. 175 Unterrichtsstunden. An einer Grundschule wurden die Untersuchungen in vier Klassen mit einer Nachhallzeit  $> 0,5$  s und vier Klassen mit  $RT < 0,5$  s durchgeführt. An einer zweiten Grundschule konnte die Veränderung der Nachhallzeit von 0,8 s auf 0,4 s durch Sanierung der Raumakustik untersucht werden. Ergänzt wird der Datensatz aus Schallpegel LA,1s und Herzfrequenz der Lehrkraft durch kontinuierlich aufgezeichnete Unterrichtsbeobachtungen. Hieraus ergibt sich die Möglichkeit die Beanspruchung der Lehrkraft durch den Unterrichtsprozess in der zeitlichen Folge zu analysieren, dies aber hier speziell in Abhängigkeit von den raumakustischen Arbeitsbedingungen.

Do. 9:45 Altmarkt

Klassenraumakustik

**Die Auswirkung unterschiedlicher Decken- und Wandkonzepte auf die Klassenraumakustik**

A. Uygun

*OWA Odenwald Faserplattenwerk GmbH*

Die Überarbeitung der DIN 18041 hat erfreulicherweise auch bei Nichtakustikern zu einer Sensibilisierung im Themengebiet "Raumakustik" geführt. Eine spezielle Aufmerksamkeit erfährt insbesondere die "Klassenraumakustik". Obwohl durch die DIN 18041 für Klassenräume ganz klare Soll-Nachhallzeitanforderungen  $T_{soll}$  [s] festgelegt werden, lässt sich bei der alltäglichen Abwicklung solcher Aufgabenstellungen immer wieder ein sehr pauschaler Lösungsansatz beobachten. Bei der Pauschalmethode wird nach dem Motto: "Mehr bringt mehr!" oder "Je höher die Absorption, desto besser!" verfahren. Diese Vorgehensweise ist aus akustischer aber auch wirtschaftlicher Sicht äußerst bedenklich. Damit die planenden Architekten, Behörden und Fachplaner ihre Lösungskonzepte auf der Basis von objektiven Fakten entwickeln können, wurden durch das Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) eine objektivierende Praxisstudie durchgeführt. Diese Praxisuntersuchung sollte beleuchten, wie sich unterschiedliche Decken- und Wandkonzepte hinsichtlich Nachhallzeit, Deutlichkeit und Sprachverständlichkeit auswirken. Im Rahmen dieser Studie wurde eine Vielzahl von Lösungsvarianten messtechnisch überprüft. Neben unterschiedlich stark wirksamen Akustikdeckenkonzepten wurden auch Klassenraumkonzepte mit einem Rückwandabsorber getestet. Die Untersuchung hat aber auch bekannte Deckenkonzepte, mit 2/3 absorbierend und 1/3 reflektierend, analysiert. Des weiteren wurden im Deckenbereich streifenförmige und schachbrettartige Lösungskonzepte betrachtet. Aus den Untersuchungen konnte eine Vielzahl von Erkenntnissen gewonnen werden, die für akustische Laien und für fachlich versierte Personen gleichermaßen interessant sein dürften.

Do. 10:10 Altmarkt

Klassenraumakustik

**Möglichkeiten und Grenzen der raumakustischen Gestaltung von Schulräumen gemäß DIN 18041 (2004)**

C. Nocke und C. Hilge

*Akustikbüro Oldenburg*

Bedingt durch die Ergebnisse diverser internationaler Vergleichs- und Neufassung der DIN 18041 im Jahr 2004 hat die Raumakustik von Klassenzimmern in letzter Zeit einen zunehmenden Stellenwert in der öffentlichen Diskussion erhalten. Neben Herstellern von Akustikprodukten haben auch Schulträger und andere öffentliche Institutionen die Problematik erkannt und handeln entsprechend.

In diesem Beitrag wird über Erfahrungen im Umgang mit den Anforderungen der neuen DIN 18041 bei Neuplanungen und Sanierungen von Schulen berichtet. Neben einer Absenkung der empfohlenen Nachhallzeit in Klassenräumen wurde mit der Neufassung der DIN 18041 eine klare Vorgabe zur Frequenzabhängigkeit der Nachhallzeit eingeführt. Auch weitere Raumtypen in Schulen sind bei raumakustischen Planungen zu berücksichtigen. Die normierten Anforderungen als auch deren Anwendbarkeit werden anhand von Beispielen aus der Beratungspraxis hinterfragt und diskutiert. Ein Schwerpunkt wird hierbei auf die Verwendung des bewerteten Schallabsorptionsgrads  $\alpha_w$  bzw. der Schallabsorberklasse nach DIN EN ISO 11654 gelegt.

Do. 14:00 Altmarkt

Psychoakustik II

**Kopf- und Handzeigermethode bei der Lokalisation von Schallquellen**

P. Majdak, B. Laback und M. Goupell

*Inst. für Schallforschung, Österr. Akademie der Wissenschaften*

Studien über die räumliche Lokalisation von Schallquellen erfordern Messmethoden, die die auditorische Leistung möglichst genau widerspiegeln. Die optimale Methode sollte die Untersuchung von Positionen im gesamten 3D-Raum bei möglichst hoher Genauigkeit ermöglichen, kurze Trainingsphasen benötigen und hohen Komfort für die Versuchspersonen bieten.

In dieser Studie wurde der Einfluss von zwei Positionsangabemethoden (Kopf- und Handzeiger) sowie der Einfluss der visuellen Umgebung (Test in Dunkelheit und mit visueller Umgebung) auf die Lokalisationsfähigkeit unter naiver und trainierter Bedingung untersucht. Zur Untersuchung der Lokalisationsfähigkeit wurde

eine virtuelle Testumgebung implementiert. Die akustischen Stimuli wurden mit individuellen Außenohrübertragungsfunktionen spatialisiert. Bei der mittels einer Videobrille präsentierten visuellen Umgebung wird die Versuchsperson im Zentrum einer Hohlkugel platziert. Die Versuchspersonen absolvierten ein prozedurales Training, einen visuellen Test, einen akustischen Test und ein abschließendes akustisches Training. Die Bedingungen mit visueller Umgebung führen zu signifikant geringeren Fehlern. Das Training zeigt einen signifikanten Lerneffekt. Die Lokalisationsfehler mit trainierten Versuchspersonen sind vergleichbar mit Literaturdaten (Middlebrooks, J. Acoust. Soc. Am., 1999, 106: 1493-510). Obwohl die Unterschiede zwischen den Zeigermethoden gering sind, liefert die Handzeigermethode genauere Angaben. Diese Studie wurde unterstützt durch den österreichischen Wissenschaftsfond FWF (P18401-B15).

Do. 14:25 Altmarkt

Psychoakustik II

### **Individuelle Wahrnehmungsstrategien bei der Lokalisation von Schallen**

K. Hobohm und C. Bradter

*Hochschule für Film und Fernsehen Potsdam*

Zur Untersuchung des Einflusses von Kopfbewegungen auf die Schallquellenlokalisation führten wir einen Test mit 25 Versuchspersonen durch. Ein kurzes Sprachbeispiel und eine Klick-Sequenz wurden den Versuchspersonen als reale und als virtuelle Schallquellen aus unterschiedlichen Richtungen vorgespielt. Während sie die Richtungen feststellen sollten, aus denen sie den Schall zu hören glaubten, wurden ihre Kopfbewegungen mit einem Headtracker aufgezeichnet. Die zeitliche Auflösung betrug dabei 20ms, die Positionsauflösung lag bei ca. 0.1 - 0.5 mm. Jede Versuchsperson beurteilte 100 Schalle aus 50 unterschiedlichen Richtungen. Die Daten des Headtrackers wurden nach unterschiedlichen Kriterien systematisiert und mit den Lokalisationsfähigkeiten in Verbindung gesetzt. Dabei interessierten vor allem die Beispiele, die schwierig zu lokalisieren waren. Eindeutige Verbindungen zwischen den Kopfbewegungen und dem Lokalisationserfolg waren jedoch nicht zu beobachten. Es ergab sich aber eine Tendenz bei virtuellen Schallquellen. Wurden die Ohren während der Schallwiedergabe gegenläufig zueinander bewegt, wurden virtuelle Schallquellen eher wahrgenommen als wenn die Ohren parallel zueinander bewegt wurden.

Do. 14:50 Altmarkt

Psychoakustik II

**Interaural Grouping and the Precedence Effect**B. Seeber*MRC Institute of Hearing Research, Nottingham, UK*

The precedence effect describes our ability to suppress detrimental effects of reflections on localization of sound sources in rooms. We recently demonstrated for bilateral cochlear implant patients and for cochlear implant simulations that precedence can break down such that the echo is audible in addition to the leading sound. This triggered our interest in the effects of parameters that can facilitate grouping. Studies on auditory scene analysis showed that spectral relationships, particularly harmonic relationships, common onsets, offsets, and interaural binaural cues as well as coherent amplitude and frequency modulation help group components into auditory objects. We will present first results of a study that takes the view that lead and lag are grouped into one object in the precedence effect when the delay is shorter than the echo threshold. We will facilitate interaural fusion by enhancing parameters known to be relevant for monaural grouping of spectral components.

Do. 15:15 Altmarkt

Psychoakustik II

**Zur Wahrnehmung überlagerter Signalreflexionen**K. Roman, H.-J. Maempel und S. Weinzierl*TU Berlin, Fachgebiet Audiokommunikation*

Durch die Superposition identischer, zeitlich gegeneinander verzögerter Signale, wie sie durch Systeme mit akustischen oder elektrischen Laufzeiten verursacht werden, entstehen je nach Signaltyp, Pegeldifferenz und Zeitdifferenz unterschiedliche Klangeindrücke. Sie reichen von kammfilterartigen Verfärbungen über Raumeindrücke, Residualtonhöhen bis zur Wahrnehmung separater Hörereignisse oberhalb der Echoschwelle. In einem Hörversuch nach dem 3AFC-Verfahren wurden zunächst Schwellwerte für die eben wahrnehmbare Pegeldifferenz zwischen Primärsignal und Reflexion für verschiedene Stimuli (Snaredrum, Sprache, Piano) und Zeitdifferenzen (0,1 bis 60 ms) ermittelt. In einem zweiten Versuch beurteilten die Versuchspersonen für verschiedene Verzögerungszeiten und Pegeldifferenzen im überschwelligem Bereich die Ausprägung der genannten klanglichen Merkmale. Auf diese Weise ergibt sich eine Kartierung der Wirkung von Signalreflexionen im Hinblick auf dominante Eindrucksqualitäten.

Do. 15:40 Altmarkt

Psychoakustik II

**Evaluierung eines virtuellen Kopfhörers bezüglich Lateralisation**M. Scherr<sup>a,b</sup>, K. Laumann<sup>a,c</sup>, G. Theile<sup>a</sup> und G. Krump<sup>b</sup><sup>a</sup>*Institut für Rundfunktechnik GmbH*; <sup>b</sup>*Fachhochschule Deggendorf*; <sup>c</sup>*AG Technische Akustik, MMK, TU München*

Auf der DAGA 2006 wurde von Menzel et al. ein Verfahren zur Binauralen Raumsynthese mittels Wellenfeldsynthese vorgestellt. Kernstück des auch als "Binaural Sky" bekannten Verfahrens ist ein so genannter "virtueller Kopfhörer", der nach Prinzipien der Wellenfeldsynthese fokussierte Quellen erzeugt, die durch die kontinuierliche Ermittlung der aktuellen Kopfbewegung eine stabile Position relativ zu den Ohren des Hörers einhalten. Zusammen mit einer geeigneten Kompensation des Übersprechens basierend auf einer Filterung mit invertierten kopfbezogenen Übertragungsfunktionen (HRTFs) lassen sich die Systemeigenschaften eines realen Kopfhörers nachbilden. Zur Evaluierung dieses "virtuellen Kopfhörers" ist es notwendig, seine Eigenschaften mit denen eines realen Kopfhörers hinsichtlich verschiedener Beurteilungsattribute zu vergleichen. Ein charakteristisches Phänomen der Kopfhörerwiedergabe ist die Im-Kopf-Lokalisation und entsprechende Gesetzmäßigkeiten der Lateralisation. In Hörversuchen wurde die Position der im Kopf erzeugten Phantomschallquelle beurteilt. Untersucht wurden dabei neben der seitlichen Verschiebung auch die Auslenkungen nach vorne bzw. hinten sowie in der Vertikalen. Die Daten zeigen Abweichungen bei der Wiedergabe mit dem realen Kopfhörer im Vergleich zum "virtuellen Kopfhörer". Die Ergebnisse werden dargelegt und diskutiert.

Do. 8:30 Raum 1

Akustische Messtechnik II

**Methodenvergleich zur Ermittlung von Übertragungskoeffizienten: Linear kraftbasiert und mittels Hauptkomponentenanalyse**M. Lohrmann und T. Hohenberger*Müller-BBM VibroAkustik Systeme GmbH*

Im Rahmen von Transferpfadanalysen (TPA) spielt die korrekte Ermittlung von Übertragungskoeffizienten eine elementare Rolle. Verschiedene Methoden konnten sich hierzu etablieren, die auf der Annahme eines linearen Übertragungsverhaltens basieren. Im Fall einer Körperschall-TPA fungieren Kräfte als wesentliche Betrachtungsgröße. Typischerweise werden die Kräfte nicht direkt gemessen sondern indirekt aus Betriebs-Beschleunigungen und Impedanz-Messungen ermittelt. Aus diesen Kräften werden die endgültigen Pfadbeiträge bestimmt. Die Zusammenhänge zwischen simultan erfassten Messdaten lassen sich auch durch statistische Verfahren ermitteln. Somit stellt die Hauptkomponentenanalyse (engl. Principal Component Analysis, PCA) eine weitere Möglichkeit der Zerlegung in Beiträge von Einzelpfaden dar. Bei der Anwendung der Methode auf Betriebsmessungen ist auch die Lastabhängigkeit der Übertragungskoeffizienten berücksichtigt.

Do. 8:55 Raum 1

Akustische Messtechnik II

**A full bandwidth sphere calibrator for a sound pressure and particle velocity sensor**A. Koers und H.-E. de Bree*Microflown Technologies*

In literature it is shown that it is possible to calibrate a sound pressure and particle velocity sensor in the free field at higher frequencies using a spherical loudspeaker. Thus the acoustic impedance can be calculated at a certain distance of the aforementioned spherical loudspeaker. If the sound pressure is measured with a reference microphone the particle velocity can be calculated. At lower frequencies this setup does not work.

The pressure microphone is calibrated by comparing its response with the reference microphone. This method works full bandwidth.

In this paper the method is extended for lower frequencies and particle velocity sensors by placing the reference microphone in the loudspeaker (in stead of in front of it). At low frequencies the sound pressure in the sphere is proportional to the loudspeaker

deviation. If the deviation is known, the particle velocity in front of the loudspeaker can be derived.

Do. 9:20 Raum 1

Akustische Messtechnik II

### **Polyphasen-Ansätze im Zeitbereichs-Beamforming**

M. Kern und H. Opfer

*Volkswagen AG*

Die Akustische Kamera, ein auf dem Prinzip des Beamformings basierendes Mikrofonarray mit integrierter Kamera, ortet Schallquellen, indem Richtungen und Pegel des einfallenden Schalls ausgewertet und visualisiert werden. Die Schwächen dieser Arraymesstechnik können die nachfolgende Interpretation der Messergebnisse erschweren. In dieser Studie werden Ansätze untersucht, inwieweit eine "räumliche Polyphasenfilterbank" die Analysequalität im Zeitbereichs-Beamforming steigern kann.

Do. 9:45 Raum 1

Akustische Messtechnik II

### **On the calibration of a particle velocity sensor for high noise levels**

H.-E. de Bree und E. Tijs

*Microflown Technologies*

Above 140 dB, acoustics become non linear. For testing it then becomes relevant to measure simultaneously sound pressure and particle velocity of the sound field. The standard Microflown sensor works up to 135 dB PVL (re. 50nm/s). For aerospace applications, a particle velocity probe is developed that is able to measure the particle velocity up to 170dB PVL (re. 50nm/s), requiring of course proper calibration.

A special calibrator was developed to measure the response of this probe at those high levels. The calibrator consists of two monopole sound sources that are placed closely in front of each other.

In a first stage, the setup is calibrated by switching on only one of the two sources at a time and measuring consecutively the sound pressure at some distance. With these measurements the volume velocities of the two sources are determined.

In a second stage, the two sources are switched on in anti phase to generate a known high particle velocity level between the sources. In that case, the sound pressure between the sources is almost zero and the particle velocity is high. Alternatively, if the sources are switches in phase, the particle velocity is zero and the sound pressure is high.



Do. 10:10 Raum 1

Akustische Messtechnik II

**On the robustness of the PU surface impedance measurement technique**H.-E. de Bree<sup>a</sup>, M. Nosko<sup>b</sup> und E. Tijs<sup>a</sup><sup>a</sup>*Microflow Technologies;* <sup>b</sup>*Institute of materials and machine mechanics, SAS, Bratislava*

The PU in situ surface impedance technique allows free field non destructive acoustic testing to be done on small samples without the need for an anechoic room or Kundt's tube. Thus, due to its ease, it can be expected that the number of people using this method outside the traditional laboratory settings will increase. This makes the robustness of both the calibration and the actual measurement for relatively untrained people in real life testing situations an issue.

In this paper the robustness of the method is tested in various realistic acoustic and climatological conditions. For the sake of comparison, a type of polyurethane foam is compared using the Kundt's tube and PU free field method, showing Kundt's tube values to differ from real values.

In a series of measurements it is shown why this deviation occurs and why the in situ surface impedance method performs well.

Do. 14:00 Raum 1

Akustische Messtechnik II

**A single broad banded 3D beamforming sound probe**H.-E. de Bree<sup>a</sup>, T. Basten<sup>b</sup> und D. Yntema<sup>c</sup><sup>a</sup>*Microflow Technologies;* <sup>b</sup>*TNO Science and Industry, Delft (NL);* <sup>c</sup>*University of Twente, Enschede (NL)*

Traditional beam forming arrays have acoustic limitations regarding low frequency sensitivity, dynamic range and mirror sources. The high number of data channels is often a practical and/or financial problem.

In this paper a 3D sound probe is used that measures the 3D acoustic particle velocity vector and the sound pressure in one single acoustic point. It will be demonstrated that with one single 3D sound probe the aforementioned limitations can be overcome. With relatively straightforward signal processing techniques, the acoustic data obtained can be transformed in such a way that the 3D probe behaves like a beamforming system. Such a compact system is broad banded, has a high dynamic range, is not affected by mirror sources.

The theory will be explained and experimental results presented.

Do. 14:25 Raum 1

Akustische Messtechnik II

**Bestimmung der Einfügungsdämpfung an verkürzten Lärmschutzwänden**C. Schulze<sup>a</sup> und J. Hübelt<sup>b</sup><sup>a</sup>*Gesellschaft für Akustikforschung Dresden mbH*; <sup>b</sup>*Hochschule für Technik und Wirtschaft Mittweida*

Die In-situ-Bestimmung der Einfügungsdämpfung von Prototypen neuartiger Lärmschutzwände (Lsw) und deren Varianten im Originalmaßstab erfolgt bisher durch Messung mit einem Einzelmikrofon. Diese Methode erfordert den Aufbau der zu prüfenden Wand am Einsatzort über eine Länge von typischerweise 200 m. Damit sind erhebliche Kosten sowie gegebenenfalls Beeinträchtigungen des laufenden Verkehrs verbunden. Ziel der vorliegenden Untersuchungen ist die Entwicklung und Erprobung eines neuartigen kostengünstigen Messverfahrens zur In-situ-Bestimmung der spektralen Einfügungsdämpfung einer Lsw. Dabei soll die Einfügungsdämpfung der Lsw mit einer Länge von 200 m durch Messung mit einem Mikrofonarray-Messsystem an einer stark verkürzten Wand von ca. 20 m Länge bestimmt werden. Bei erfolgreichem Einsatz des Verfahrens kann der beschriebene Aufwand auf etwa 10 % reduziert werden. Es wurden Messungen zur Bestimmung der spektralen winkelabhängigen Einfügungsdämpfung einer Referenz-Lärmschutzwand im Raum Sachsen durchgeführt. Dabei wurden zeitgleich das Einzelmikrofon- und das neuartige Mikrofonarray-Verfahren mit optimiertem Linienarray angewendet. Messtechnische Untersuchungen erfolgten zum einen mit Hilfe einer stationären Punktschallquelle, zum anderen bei kontrollierter Vorbeifahrt eines PKWs mit konstanter Geschwindigkeit. Die Ergebnisse der Messverfahren wurden gegenübergestellt und die Unterschiede beider Verfahren in Abhängigkeit von der Frequenz und dem Schalleinfallswinkel analysiert.

Do. 14:50 Raum 1

Maschinenakustik

**Experimentelle Untersuchung der Hydroakustik in Kfz-Leitungssystemen**J. Herrmann<sup>a</sup>, L. Gaul<sup>a</sup>, K. Bendel<sup>b</sup> und H.-G. Horst<sup>b</sup><sup>a</sup>*Institut für Angewandte und Exp. Mechanik, Universität Stuttgart*; <sup>b</sup>*Robert Bosch GmbH, Corporate Sector Research*

In fluidbefüllten Leitungen im Fahrzeugbau wird aufgrund von Pumpenförderung und Ventilbetätigungen Hydroschall erzeugt,

der wiederum die Leitungsstruktur sowie angekoppelte Strukturelemente zu Schwingungen anregt. Um unerwünschte Schallemissionen zu minimieren, wird zunächst ein genaues Verständnis über das Systemverhalten und mögliche Übertragungspfade im fluidmechanischen System angestrebt. Dazu wird ein Kfz-Leitungsprüfstand mit einer innovativen Pulsationsquelle vorgestellt und auf das akustische Übertragungsverhalten eines Leitungssystems eingegangen. Die experimentellen Ergebnisse werden mit Simulationen verglichen, die die Fluid-Struktur-Kopplung mit einbeziehen. Dabei kommen Techniken zur Modellreduktion und Substrukturkopplung zum Einsatz, um dreidimensionale Leitungsbewegungen mit Hilfe der Finiten Elemente Methode effizient zu beschreiben. Von besonderem Interesse ist die Auswirkung von Druckpulsationen auf die Leitungsstruktur und Anbauteile. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse sollen auf die Verbesserung der Leitungsanordnung und Aufhängung in der Praxis im Hinblick auf Schwingungs- und Geräuschreduktion angewendet werden.

Do. 15:15 Raum 1

Maschinenakustik

## **Maßnahmen zur akustischen Optimierung von Serverschränken**

L. Kurtze

*TU Darmstadt, FG Systemzuverlässigk. und Maschinenakustik*  
Durch moderne, leistungsstarke Computersysteme muss in Serverschränken immer mehr Wärme abgeführt werden. Die Geräuschentwicklung der dafür notwendigen Belüftungssysteme nimmt entsprechend zu. Aber auch die in den Schränken eingebauten Server werden tendenziell lauter. In einem Gemeinschaftsprojekt der Arbeitsgruppe "Maschinenakustik" an der TU Darmstadt und der Rittal GmbH & Co. KG in Herborn werden Serverschränke auf akustische Schwachstellen hin untersucht. Daraus resultierend wurden sowohl passive als auch aktive Verbesserungsmaßnahmen entwickelt. Die tonalen Frequenzanteile zwischen 100 Hz und 1000 Hz sind besonders störend. Sie werden vor allem von der Lüfterdrehfrequenz und deren Vielfachen verursacht. Im Rahmen eines Advanced Design Projects wurde von Studenten die Lüfterwanne optimiert und ein Absorptionsschalldämpfer entworfen. Dabei konnte der Schallleistungspegel um 8,4 dB(A) reduziert werden. Aufgrund der von den eingebauten Servern verursachten Geräusche ist die Erhöhung der Luftschalldämmung des Serverschranks ein weiteres, wichtiges

Thema. Auch diesbezüglich wurden passive Optimierungsmaßnahmen durchgeführt. Um die Schwingungen der Glasscheibe in der Schranktür zu reduzieren, wird bei einem Prototyp ein aktives System getestet. Dabei kommen Piezoaktoren zum Einsatz, die am Rand der Scheibe befestigt sind. In der Präsentation werden die Vor- und Nachteile der jeweiligen passiven und aktiven Verfahren gegenübergestellt.

Do. 15:40 Raum 1

Maschinenakustik

### **Geräuschemission von Formatkreissägen**

U. Heisel und L. Groß

*Institut für Werkzeugmaschinen, Universität Stuttgart*

Formatkreissägemaschinen gehören zu den geräuschintensivsten Holzbearbeitungsmaschinen. Ausgehend von einer konturnahen Schallintensitätsmessung wurden Schallquellen auf der Oberfläche der untersuchten Formatkreissäge lokalisiert. Dabei zeigte sich der Bereich des Sägeblatts als besonders geräuschintensiv. Auf diesen Messungen aufbauend wurden verschiedene Parameter an der untersuchten Maschine variiert und deren Einfluss auf die Geräuschemission der gesamten Maschine bestimmt. Bei der Variation eines Parameters wurden sämtliche anderen Parameter konstant gehalten. Untersucht wurden unter anderem der Einfluss der Drehzahl, des Sägeblattdurchmessers und der Zähnezahl jeweils im Leerlauf und beim Sägen sowie der Materialdicke und des Materials an sich während der Bearbeitung auf die Geräuschemission der untersuchten Formatkreissägemaschine. Für die umfangreichen Versuchsreihen wurde der arbeitsplatzbezogene Emissionsschalldruckpegel mit Hilfe eines Stativs am Arbeitsplatz nach ISO 7960 gemessen. Als Maß für den Einfluss des untersuchten Parameters auf die Geräuschemission wurde die Schwankungsbreite des arbeitsplatzbezogenen Emissionsschalldruckpegels in dB(A) gewählt.

Do. 16:05 Raum 1

Maschinenakustik

### **Vorausberechnung der Schwingungsanregung von dynamischen Systemen in Abhängigkeit der Struktureigenschaften**

T. Back

*TU Darmstadt, FG Systemzuverlässigk. und Maschinenakustik*

Ein Verfahren zur Vorausberechnung des übertragenen Körperschalls am Aufstellort einer Maschine bei Einzelpunktbefestigung ermöglicht bereits im Entwicklungsstadium durch Variation der Abkoppelemente bzw. durch eine Veränderung der Impedanz

des späteren Aufstellortes eine Optimierung hinsichtlich der zu erwarteten Schnelle vorzunehmen.

Zunächst wird das Verfahren auf Basis der Eingangsimpedanzen mathematisch hergeleitet und an einer Beispielstruktur angewendet und überprüft. Anschließend wird untersucht, wie sich der Schwingungspegel in Abhängigkeit der Struktureigenschaften verändert. Dazu wird die Eingangsimpedanz an der Koppelstelle in ihre mechanischen Eigenschaften getrennt und kann anschließend entsprechend verändert werden.

Mit den Erkenntnissen dieser Arbeit können die immer häufiger auftretenden akustischen Forderungen in Lastenheften von Industrieanlagen, die die Übertragung von Körperschall einschränken, in Abhängigkeit der späteren Aufstellbedingungen bereits vor der Installation am späteren Einsatzort überprüft werden.

Do. 8:30    Raum 2

Geschichte der Akustik

### **Mikrofone: Von 'Quasi'-Digital über Analog und zu Voll-Digital?**

W. Niehoff

*Sennheiser electronic GmbH & Co. KG*

Es wird der Entwicklungsweg der Mikrofone vom definierten Wackelkontakt (Philip Reis 1861) über die Wandlerprinzipien

- Kohlekontakt
- Elektromagnetisch
- Elektrodynamisch
- Kondensator
- HF-Kondensator
- Piezo
- Elektret
- MEMS
- Optisch
- Thermisch
- Digital?

bis zu den modernen Studiomikrofonen beschrieben. Die Leistungsfähigkeit einiger Wandlerprinzipien wird über Skalierungen verdeutlicht.

Do. 8:55 Raum 2

Geschichte der Akustik

**Der Lautstärkemesser von HEINRICH BARKHAUSEN**R. Dietzel*TU Dresden, Inst. für Akustik und Sprachkommunikation*

HEINRICH BARKHAUSEN (1881 - 1956) hat 1911 an der Technischen Hochschule Dresden das erste Institut für Schwachstromtechnik (heute als Informationstechnik bezeichnet) in Deutschland gegründet. Mit bahnbrechenden experimentellen und theoretischen Arbeiten über die Wirkungsweise und Eigenschaften von Elektronenröhren hat er wesentlich zum Siegeszug der Elektronik beigetragen. Frühzeitig führte er auch akustische Untersuchungen durch.

Auf der Tagung der Naturforscher und Ärzte 1926 stellte H. BARKHAUSEN einen "neuen Schallmesser für die Praxis" nach folgendem Messverfahren vor: Die Versuchsperson hört mit dem einen Ohr das zu messende Geräusch und mit dem anderen Ohr in einem fest angedrückten Telefonhörer den Vergleichs-Ton (Normal-Schall) mit einer einstellbaren Lautstärke. Werden das Geräusch und der Vergleichs-Ton als gleich laut beurteilt, lässt sich an der Skala des logarithmisch abgestuften Spannungsteilers die Lautstärke in phon ablesen.

H. BARKHAUSEN erkannte die vielseitigen Einsatzmöglichkeiten seines Messverfahrens und führte damit sofort zahlreiche grundlegende Experimente durch, die richtungsweisend für die akustische Messtechnik wurden. Als "Einheit" für die gemessene Lautstärke schlug er das phon vor. Das erste entsprechende Messgerät wurde 1927 als "Geräuschmesser für die Praxis (Phonometer) nach BARKHAUSEN" von Siemens & Halske, Berlin, produziert.

Gemeinsam mit mehreren Schülern hat BARKHAUSEN weitere systematische Untersuchungen zur Lautstärke-Empfindung und -Messung durchgeführt und veröffentlicht.

Do. 9:20 Raum 2

Geschichte der Akustik

**MAREYsche Kapseln in der experimentellen Phonetik - ihr Übertragungsverhalten aus heutiger Sicht**D. Mehnert, R. Dietzel, D. Richter und J. Landgraf*TU Dresden, Inst. für Akustik und Sprachkommunikation*

Im Institut für Akustik und Sprachkommunikation der TU Dresden befindet sich eine umfangreiche Sammlung historischer phonetischer Geräte, von der bereits zur DAGA 04, 06 und 07 ausgewählte Objekte vorgestellt wurden. In dieser Sammlung befinden sich akustisch-mechanische Wandler (sog. MAREYsche

Kapseln) unterschiedlicher Ausführungsformen. Diese Wandler-Kapseln dienten in der experimentellen Phonetik zur Umwandlung akustischer und physiologischer (Sprach-Schall, Atembewegungen, oe) in mechanische Größen, die dann über Zeigersysteme auf bewegtem Rußpapier (auf einer Kymographentrommel) aufgezeichnet wurden. Aus der Vielzahl der vorhandenen, seinerzeit benutzten und vielseitig erprobten Wandler-Kapseln sollen an einigen ausgewählten Exemplaren systematische Untersuchungen zum Übertragungsverhalten angestellt werden. Dazu wird in einem Versuchsaufbau mit einer Modellkapsel und einer Schallfluss-Quelle zur Anregung das frequenzabhängige Übertragungsverhalten ermittelt und mit einer baugleichen Originalkapsel verglichen. Schließlich werden Aussagen zur Leistungsfähigkeit einiger MAREYscher Kapseln gemacht.

Do. 9:45    Raum 2

Geschichte der Akustik

### **Zur Geschichte der elektrischen Tonabnahmesysteme für Musikinstrumente**

H. Schiema<sup>a</sup> und M. Eisenmann<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Institut für Musikinstrumentenbau, Zwota;* <sup>b</sup>*AER GmbH*

Die Geschichte der elektrischen Tonabnehmer reicht bis in die 20er Jahre des letzten Jahrhunderts zurück. Der erste elektrische Tonabnehmer wurde durch Lloyd Loar 1923 bei "Gibson" in eine Solidbody-Geige eingebaut. Die ersten Hersteller begannen nun Tonabnehmer in Gitarren zu integrieren. 1931 wurde der Prototyp der "Rickenbacker Frying Pan" Gitarre vorgestellt, in der erstmals ein magnetischer Tonabnehmer integriert war, der sogenannte "Horseshoe Pickup". Die Geburtsstunde der elektrischen Gitarre war geendet. In den folgenden Jahren wurden zahlreiche Gitarrenmodelle mit Tonabnehmern vorgestellt. 1934 wurde durch Laurens Hammond das Patent für die Hammond-Orgel unter der Bezeichnung: "Electric Musical Instrument" eingereicht. Beim Hammond-Orgel-Prinzip wird die Tonerzeugung über rotierende Zahnräder in Verbindung mit magnetischen Tonabnehmern realisiert. Wo in der Vergangenheit durch den Einsatz von Tonabnehmern der Sound stark geprägt wurde, ist man heute auf der Suche nach Tonabnahme und Verstärkersystemen, welche den Klang des Instrumentes möglichst naturgetreu abbilden. So werden in modernen Streich- und Zupfinstrumenten meist Kombinationen aus Kontakt- bzw. Stegeinbautonabnehmern und Miniaturmikrofonen integriert.

Do. 10:10 Raum 2

Geschichte der Akustik

**Etappen der Lärmbekämpfung in Deutschland**J. Scheuren*Müller-BBM GmbH*

Die Technische Akustik verdankt ihre erfolgreiche Entwicklung zu einer wichtigen Disziplin moderner Technologie ganz wesentlich der technischen und gesellschaftlichen Weiterentwicklung von Lärmbekämpfung und Lärminderung. Denn diese hat mit der umweltkompatiblen Gestaltung vieler technischer Prozesse nicht nur einen erheblichen, weil notwendigen, Beitrag zur fortschreitenden Industrialisierung und Technisierung unseres Lebens geleistet, sie hat mit dieser Herausforderung zugleich auch das heute erreichte hohe Niveau akustischer Methoden und Werkzeuge eingefordert.

Im Einzelnen war diese Entwicklung von Anfang an durch das Spannungsfeld zwischen den unterschiedlichen Interessen von Betreibern und Betroffenen, den daraus resultierenden Vorschriften, Verordnungen und Richtlinien sowie der Entwicklung technischer Möglichkeiten zur Erkennung und Minderung relevanten Lärms gekennzeichnet.

Ausgehend von frühen Zeugnissen der Lärmbelastung wird die Entwicklung der Lärmbekämpfung und Lärminderung in ihren wesentlichen Etappen mit dem Ziel nachgezeichnet, dieses Wechselspiel von Anforderungen und technischen Lösungen an Beispielen aufzuzeigen.

Do. 14:00 Raum 2

Geschichte der Akustik

**Die gemeinsamen Beiträge von Johannes Kessel und Ernst Mach zur Entwicklung der Hörakustik**R. Hoffmann<sup>a</sup> und L.-P. Löbe<sup>b</sup><sup>a</sup>*TU Dresden, Inst. für Akustik und Sprachkommunikation;*<sup>b</sup>*Reha-Zentrum Borkum, Klinik Borkum Riff*

In einem früheren DAGA-Beitrag wurde bereits auf die Bedeutung des Otologen Johannes Kessel (1839 - 1907) für die Entwicklung der audiologischen Akustik hingewiesen. Kessel, der ab 1886 als Professor in Jena wirkte und 1890 die dortige Universitäts-Ohrenklinik gründete, wird in der Medizin als Vater der funktionellen Mittelohrchirurgie gewürdigt. Bei genauerer Betrachtung der Entwicklung Kessels fällt eine Periode der offenbar fruchtbaren Zusammenarbeit mit dem bedeutenden Physiker Ernst Mach in Prag in den 1870er Jahren auf, über die jedoch



außer einer Anzahl gemeinsamer Publikationen nur wenige Details bekannt sind. Als Vorstufe zu einer umfassenden Würdigung des Werkes von Johannes Kessel dokumentiert der vorliegende Beitrag die Bemühungen der Autoren, trotz der wenig ergiebigen Quellenlage möglichst viele Einzelheiten über das Zusammenwirken von Kessel und Mach zusammenzutragen.

Do. 14:25    Raum 2

Geschichte der Akustik

## **Ferdinand Trendelenburgs Arbeiten zu Klängen und Geräuschen**

A. Kohlrausch

*Philips Research Europe, Eindhoven (NL)*

Der Titel dieses Beitrages verweist auf das Buch "Klänge und Geräusche", das Ferdinand Trendelenburg 1935 beim Springer-Verlag veröffentlichte. Er war damals Abteilungsleiter im Forschungslaboratorium der Siemenswerke sowie a.o. Professor an der Universität Berlin. Trendelenburg hatte im Jahre 1922 bei Hans Reich am Institut für angewandte Elektrizitätslehre der Universität Göttingen promoviert. An diesem Institut, aus dem im Jahre 1947 das Dritte Physikalische Institut hervorging, hatte im Jahre 1906 auch Heinrich Barkhausen seine Doktorarbeit angefertigt. In seiner Forschungstätigkeit bei Siemens hatte Trendelenburg die modernen Möglichkeiten der objektiven Klanganalyse vor allem auf die Untersuchung von Sprachlauten sowie von medizinisch wichtigen Geräuschen am menschlichen Körper (Herz-, Lungen-, Muskelgeräusche) angewendet. Neben Grundlagenuntersuchungen zu Formanttheorien lieferten seine Arbeiten wichtige Beiträge zur Lösung technischer Probleme auf den Gebieten der "Fernübertragung der natürlichen Klänge" sowie der Klangaufzeichnung zwecks späterer Reproduktion. Er folgerete schon im Jahre 1924, dass für naturgetreue Wiedergabe der Sprache eine gleichmäßige Empfindlichkeit für Schwingungen zwischen 50 und 5000 Hz gefordert werden muss, während die Technik für die Nachrichtenübertragung nur die Forderung stellte, dass der Bereich von 700 bis 2100 Hz einigermaßen gleichmäßig wiedergegeben wird. Diese Klangeinengung wird, so Trendelenburg, aufgrund der langjährigen Erfahrung nicht mehr bemerkt, macht sich aber besonders im fremdsprachlichen Fernspreverkehr nachteilig bemerkbar.

Do. 14:50 Raum 2

Geschichte der Akustik

**Ernst Lübcke - ein Wegbereiter der Maschinenakustik und Geräuschnormung**G. Hübner*Institut für Angewandte und Exp. Mechanik, Universität Stuttgart*

Ernst Lübcke, 1890 in Wolfenbüttel geboren, an der Universität Göttingen studiert und dort zum Dr.-phil. in Physik promoviert, hat sich als ein vielseitiger, wissenschaftlicher Industrie-Akustiker ausgezeichnet. Hauptamtlich arbeitete er mit nur wenigen Unterbrechungen bei der Siemens AG in Berlin, zuerst während der 20er Jahre im betreffenden Forschungslaboratorium gleichzeitig mit Erwin Meyer und danach im Siemens-Dynamowerk. Die Firma gestattete ihm dabei nicht nur zahlreiche externe Tätigkeiten sondern förderte diese auch nachhaltig. Tätig war Lübcke so als Hochschullehrer in den dreißiger Jahren an der Carolo-Wilhelmina in Braunschweig und nach dem zweiten Weltkrieg kurze Zeit an der Universität Rostock und schließlich als Honorarprofessor ab 1953 am Akustik-Institut von Lothar Cremer der Technischen Universität Berlin. In dieser Zeit veröffentlichte er zahlreiche Arbeiten. Einer der ersten zugänglichen Veröffentlichungen des Jahres 1921 folgten Publikationen zur Psychologie des Hörens, die "Lübcke-Bewertungskurven", ferner Beiträge zum ersten "Lautstärkemesser" und zur Geräuschkinderung insbesondere zur primären Minderung von Maschinengeräuschen, wobei das gemeinsam mit E. Meyer und L. Cremer 1940 verfasste Buch "Schallabwehr im Bau- und Maschinenwesen" als Geburtsstunde der Maschinenakustik zu werten ist. Im Beitrag werden Einzelheiten seiner Veröffentlichungen, seine zahlreich organisierten VDI-Fortbildungsveranstaltungen und seine weit reichende Pioniertätigkeiten auf dem Normungsgebiet näher ausgeführt sowie mehrere ihm zu Teil gewordene Ehrungen mitgeteilt.

Do. 15:15 Raum 2

Geschichte der Akustik

**'... den Schall thätlich, active, zu empfangen ...'****Der Preisträger der Preußischen Akademie:****Urban Nathanael Beltz, Berlin 1763**P. Költzsch*Technische Universität Dresden*

Im Jahre 1760/1762 stellte die Königlich Preußische Akademie der Wissenschaften zu Berlin eine Preisaufgabe, die die Erklärung des Gehörs und des Hörvorganges zum Gegenstand hatte. 1763 wurde als Preisträger der Stadtphysikus aus Neustadt-Eberswalde, Dr. med Urban Nathanael Beltz, bekannt gegeben: "Abhandlung vom Schalle, wie er entstehet, fortgehet, ins Ohr wirkt, und wie der Empfang des Schalles, kraft der innerlichen Structur des Ohrs hervorgebracht wird, und wie das Hören geschieht". Berlin, Verlag Haude & Spener 1764. In seiner Arbeit hat Beltz in prophetischer Weise auf das "aktive Gehör" hingewiesen: "Es ist demnach nicht genug zum Empfange des Schalles, dass das Ohr durchs Anstossen vom Schalle berühret werde, und sich dabey nur leidentlich, passive, verhalte, sondern es muß auch selbst eine Kraft besitzen, seine eigene elastische Mit- und Nachwirkung dabey auszuüben, oder den Schall zugleich thätlich, active, zu empfangen." Über diesen Dr. Beltz ist in der Fachliteratur fast nichts zu finden. Das war der Anlass, sich mit diesem Akademiepreisträger von 1763 näher zu befassen. Die bisher bekannten Lebensdaten von Beltz werden aufgeführt. Die Preisschrift wird besprochen und im wissenschaftlichen Umfeld des 18. Jahrhunderts eingeschätzt. Abschließend wird die Entwicklung der Wissenschaft vom Gehör in der Nach-Beltz-Ära bis zur Cochlear-Verstärkertheorie kurz dargestellt.

Do. 8:30 Raum 3

Audiologische Akustik

**Neue Kunstköpfe**M. Vorländer und J. Fels*Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen*

Standardisierte Kunstköpfe sind ein unverzichtbares Werkzeug zur Charakterisierung der binauralen Übertragung aus dem Schallfeld in den Gehörgang bzw. an das Trommelfell. Auf Grundlage der Kopfgeometrie in IEC TR 959, ursprünglich für Untersuchungen an Hörgeräten konzipiert, wurden in den letzten Jahren zahlreiche andere Anwendungen entwickelt, wie beispielsweise in der Raumakustik, dem Produkt Sound-Design und der Telekommunikation. Nun ist seit einiger Zeit bekannt, dass

- a) Standard-Kunstköpfe speziellen Abhörköpfen in Bezug auf die Qualität des räumlichen Hörens unterlegen sind, und
- b) die Köpfe nicht mit den Abmessungen einer mittleren Population im Einklang sind (die Standard-Köpfe sind zu klein).

In diesem Beitrag wird von einer Bestandsaufnahme ausgehend eine Planung entwickelt, mit welcher eine neue internationale Kunstkopf-Norm geschaffen werden kann. Dies umfasst eine bessere Abbildung einer Population von Erwachsenen, aber auch neue Ansätze wie Kinder-Kunstköpfe zur Messung und Anpassung von Hörgeräten und zur Messung der Akustik von Klassenräumen.

Do. 8:55    Raum 3

Audiologische Akustik

### **Einfluss des Otoplastikprofils auf den objektiven Okklusionseffekt**

M. Blau<sup>a</sup>, T. Sankowsky<sup>a</sup>, H. Oberdanner<sup>b</sup> und A. Stirnemann<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*FH Oldenburg/O/W, Institut für Hörtechnik und Audiologie;*

<sup>b</sup>*Phonak AG*

Okklusion, d.h. die Gesamtheit der durch das Verschließen des Gehörgangs durch eine Otoplastik verursachten (unangenehmen) Empfindungen, ist eine der häufigsten Beschwerden von Hörgeräteträgern. Die akustische Komponente dieser Empfindungen geht mit einem erhöhten Schalldruck im verschlossenen Gehörgang einher, dem objektiven Okklusionseffekt. Der Okklusionseffekt kann durch eine ausreichend große Belüftungsbohrung unterdrückt werden. Alternativ stellt sich die Frage, ob ein ähnlicher Effekt auch durch eine besondere Formgebung der Otoplastik erzielt werden kann.

Diese Fragestellung wurde in einer Studie mit 10 normalhörenden Versuchspersonen untersucht, bei der geschlossene und belüftete Otoplastiken mit unterschiedlichem Oberflächenprofil hinsichtlich des gemessenen objektiven Okklusionseffekts beurteilt wurden.

Sowohl bei geschlossenen als auch bei belüfteten Otoplastiken wurde der objektive Okklusionseffekt im betrachteten Frequenzbereich (80Hz...560Hz) signifikant durch das Oberflächenprofil der Otoplastik beeinflusst. Otoplastiken mit einer inneren Abdichtung erzeugen im Mittel einen bis etwa 6dB geringeren Okklusionseffekt als Otoplastiken mit einer äußeren Abdichtung. Konsistent mit dieser Beobachtung erzeugte die Otoplastik mit einer inneren Abdichtung einen im Mittel um 1 bis 2 Skalenstufen geringeren subjektiven Okklusionseffekt als die Otoplastik mit der

äußeren Abdichtung. Hinsichtlich des Tragekomforts wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Otoplastiken festgestellt.

Die Verwendung von Otoplastiken mit einer inneren Abdichtung könnte somit kleinere Belüftungsbohrungen und damit eine bessere Feedback-Unterdrückung ermöglichen.

Do. 9:20 Raum 3

Audiologische Akustik

### **Ein eindimensionales Hörgerätemodell zur Evaluation akustischer Zusatzelemente in der Otoplastik**

S. Schmidt und H. Hudde

*Ruhr-Universität Bochum, Inst. für Kommunikationsakustik*

Die Schallübertragung von einem Hörgeräträger zum Trommelfell des Patienten ist, da der Gehörgang durch die Otoplastik oder das IC-Gerät selbst abgeschlossen wird, von zahlreichen Resonanzüberhöhungen geprägt. Zudem bewirkt die Otoplastik einen Verschlusseffekt, der sich durch eine wesentliche Erhöhung des Körperschallanteils im Restgehörgang bemerkbar macht. Bei geringeren Hörschäden kann man diesem Nachteil durch eine Ventbohrung oder ggf. eine offene Versorgung, bei der sich nur das Ende des Schallschlauches im Gehörgang befindet, begegnen. Diese Maßnahme steigert jedoch andererseits die Rückkopplungsneigung des Systems, da auch mehr Nutzschall zurück zum Mikrofon gelangen kann. Mit den Mitteln der Digitalen Signalverarbeitung kann in vielen Fällen sowohl der Frequenzgang des Hörgeräts als auch seine Rückkopplungsneigung so beeinflusst werden, dass die genannten Nachteile nicht störend in Erscheinung treten. Um die Verstärker- und Hörerleistung gerade bei schweren Hörschäden zu optimieren, ist es jedoch angebracht, zu untersuchen, inwieweit einfache akustische Elemente, die am Gehörgang wirksam werden (z.B. durch Einbau in die Otoplastik) zur Unterstützung der Hörgeräteelektronik beitragen können. Zur Beurteilung des Systems wurde ein Hörgerätemodell entworfen, das die Mikrofon- und Hörereigenschaften, die akustischen Übertragungswege (Schlauch, Gehörgang, Vent) samt Rückkopplungspfad sowie die neuen Elemente selbst enthält. Im Beitrag wird das Modell mit einigen Verifikationsergebnissen und Beispielen für vorteilhafte akustische Zusatzelemente vorgestellt.

Do. 9:45 Raum 3

Audiologische Akustik

**Anwendung eines internationalen Sprach-Testsignals zur Charakterisierung von Hörgeräten**I. Holube, M. Hansen, S. Fredelake und M. Kappellmann*FH Oldenburg/O/W, Institut für Hörtechik und Audiologie*

Die Hörgerätesignalverarbeitung hat sich in den letzten 10 Jahren maßgeblich weiter entwickelt. Ein wichtiger Aspekt dabei ist die signalabhängige Veränderung der frequenz- und pegelabhängigen Verstärkung, so dass in der Hörgerätemesstechnik bei Verwendung von standardisierten Messsignalen wie Sinustönen und Rauschsignalen nicht auf die Signalverarbeitung von Hörgeräten bei Sprache geschlossen werden kann. Aus diesem Grund müssen in der Messtechnik Sprache oder sprachähnliche Signale eingesetzt werden. Während der DAGA 2007 wurde ein internationales Sprach-Testsignal (ISTS) basierend auf sechs weiblichen Sprecherinnen vorgestellt. Das ISTS wurde inzwischen in der Hörgerätemesstechnik zur Charakterisierung von simulierten Hörgerätealgorithmen und von kommerziellen Hörgeräten eingesetzt. Mit dem ISTS wurde die Gesamtverstärkung von Hörgeräten bei verschiedenen Eingangspegeln ermittelt. Außerdem wurde mit einer Perzentilpegelanalyse die Verstärkung für leise und für laute Sprachanteile beim gleichen Gesamtsprachpegel berechnet. Die Perzentilpegelanalyse ermöglicht des Weiteren die Charakterisierung der frequenzabhängigen und pegelabhängigen Kompression der Hörgeräte-Signalverarbeitung. Dabei ergeben sich große Unterschiede zum mit Sinustönen bestimmten statischen Kompressionsverhältnis nach DIN ISO 60118. Im Rahmen dieses Beitrags werden sowohl die Perzentilpegelanalyse als auch weitere Messgrößen zur Charakterisierung von Hörgeräten vorgestellt und miteinander verglichen.

Do. 10:10 Raum 3

Audiologische Akustik

**Oldenburger Satztest in diffusen Störschallfeldern unterschiedlicher Modulationscharakteristika**T. Rader<sup>a</sup>, C. Schmiegelow<sup>a</sup>, U. Baumann<sup>a</sup> und H. Fastl<sup>b</sup><sup>a</sup>Audiolog. Akustik, ZHNO, Klinikum der Univ. Frankfurt; <sup>b</sup>AG Technische Akustik, MMK, TU München

Der Oldenburger Satztest (OLSA) ist ein nützliches Werkzeug zur Ermittlung der Sprachverständlichkeitsschwelle im Störgeräusch (Wagener 1999). Der kommerziell erhältliche OLSA ermöglicht nur eine 2-kanalige Ausgabe der Signale. Eine

Mehrkanalausgabe ist jedoch wünschenswert, um realistischere Störgeräusch-Szenarien zu gewährleisten. Der OLSA bietet die Möglichkeit eines geschlossenen Antwortmodus, bei dem der Proband die verstandenen Wörter aus einer Vielzahl von gegebenen Antwortmöglichkeiten selbstständig auswählt.

Zur Bestimmung von Referenzdaten mit einer Mehrkanal-Lautsprecheranordnung wurden zwanzig normalhörige erwachsene Probanden mit dem OLSA unter verschiedenen Störgeräuschbedingungen untersucht. Das Sprachsignal wurde frontal in einer Hörkabine über Lautsprecher zur Bestimmung der Sprachverständlichkeitsschwelle mit adaptiv gesteuertem Schallpegel und zur Bestimmung der Steigung der Diskriminationsfunktion mit zwei fest eingestellten Sprachpegeln dargeboten. Die diffuse Störgeräuschdarbietung erfolgte über vier getrennte, akustische Kanäle, wobei die Lautsprecher für das Störgeräusch in den Raumecken der Hörkabine angeordnet waren. Die Darbietung der verschiedenen Störgeräusche erfolgte unkorreliert über die Eck-Lautsprecher.

Es wurden die Sprachverständlichkeitsschwelle und die Steigung der Diskriminationsfunktionen im OLSA für das stark modulierte sprachsimulierende Rauschen nach Fastl und das im OLSA verwendete, modulationsarme Rauschen mit statistischen Verfahren untersucht und verglichen. Das diffuse Störschallfeld ermöglicht eine originalgetreuere Abbildung realer Geräuschsituationen und zeigt wesentlich deutlicher die Wirkung der binauralen Interaktion bei Trennung von Stör- und Nutzschallen aus verschiedenen Richtungen.

Do. 14:00 Raum 3

Audiologische Akustik

### **Messung von Isophonen mit Bezug auf den Schalldruck am Trommelfell**

S. Schmidt und H. Hudde

*Ruhr-Universität Bochum, Inst. für Kommunikationsakustik*

Der menschliche Gehörgang kann als einseitig schallhart abgeschlossene akustische Leitung angenähert werden. Schalldrucksignale in seinem Innern und an der Pinna sind durch Resonanzspitzen und -täler geprägt. Als Bezugsgröße für audiologische und psychoakustische Messungen bietet sich der Schalldruck am Trommelfell an, der einerseits einen bestmöglich glatten Frequenzgang aufweist und andererseits gut lokalisiert werden kann, was bei Sondenmessungen im Gehörgang nicht immer der Fall ist. Um audiometrische Messungen auf den Trommelfellschalldruck beziehen zu können, muss dieser möglichst

präzise geschätzt werden, denn eine direkte Messung ist nicht praktikabel. Dazu ist es notwendig, eine Mikrofonsonde hinreichend nah an das Trommelfell heran zu führen, da ein im Abstand gemessenes Signal erheblich von der gesuchten Größe abweichen kann (vgl. Schmidt, Hudde, DAGA 2006). Wie gezeigt wurde, enthält das Gehörgangssignal jedoch bereits ausreichende Informationen über die Sondenposition, die darüber hinaus während des Einschlebens sehr einfach zu ermitteln ist (vgl. Schmidt, Hudde, DAGA 2007). In diesem Beitrag werden die Ergebnisse einer messtechnischen Anwendung des Verfahrens dokumentiert. Neben Simulationen und Experimenten zur Verifikation des Transformationsverfahrens werden Isophonemessungen mit Bezug auf den Schalldruck am Trommelfell vorgestellt.

Do. 14:25    Raum 3

Audiologische Akustik

### **Hörschwellen und AEP-Schwellen von Clicks und phasenkorrigierten Chirp-Signalen für verschiedene Audiometrie Hörer**

J. Hensel<sup>a</sup>, M. Cebulla<sup>b</sup>, C. Elberling<sup>c</sup>, T. Fedtke<sup>a</sup>, K.-V. Jenderka<sup>a</sup>, W. Köpke<sup>d</sup> und E. Stürzebecher<sup>e</sup>

<sup>a</sup>Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig; <sup>b</sup>Univ.-klinikum Würzburg; <sup>c</sup>Oticon A/S, Snekkersten (DK); <sup>d</sup>MAICO Diagnostics; <sup>e</sup>WDH, Petershagen

Bekannt ist, dass Clicks für Tests des Innenohrs und der höheren Verarbeitungsebenen wegen der Frequenzdispersion auf der Basilarmembran nicht optimale Signale sind. Chirps mit ansteigender Momentanfrequenz dagegen können alle Orte der Basilarmembran gleichzeitig so anregen, dass die Nervenimpulse synchronisiert werden und eine wesentlich größere Summenantwort ergeben. Daraus folgen höhere Potentiale und daher größere Störabstände bei der Messung von frühen akustisch evozierten Potentialen (FAEP).

Es wurden Chirps und Clicks mit gleichem Energieinhalt, d. h. gleichem elektrischen Amplitudenspektrum definiert. Die Clicks entsprechen im Zeitbereich der Norm IEC 60645-3:2007. Für die Chirps wurden alle Frequenzlinien des Spektrums mit einer aus einem Basilarmembranmodell folgenden frequenzabhängigen Phasenvorverzerrung versehen [Elberling et al., JASA 122 (2007), S. 2772-2785], so dass eine aufwärts gleitende Momentanfrequenz entsteht.

Messungen an einer Gruppe von 25 normal hörenden jungen Erwachsenen zeigten, dass die Hörschwellen bei beiden Signaltypen und verschiedenen Audiometrie-Kopfhörern gleich sind. Es



würde also genügen, die audiometrischen Geräte nur für einen Typ der Signale zu kalibrieren, sofern man für die Gleichheit der elektrischen Amplitudenspektren sorgt.

In Vorversuchen mit Pegelserien von BERA-Ableitungen zeigten sich beim Vergleich der beiden Signaltypen mit gleichem Hearing Level Vorteile der Chirps hinsichtlich Stärke und Rauschabstand der Potentiale. Über die Ergebnisse der vollständigen Gruppe wird berichtet.

Do. 14:50    Raum 3

Audiologische Akustik

### **Strukturmechanik des cochleären Stereozilienbündels**

M. Fleischer<sup>a</sup>, J. Baumgart<sup>b</sup>, Y. Yarin<sup>c</sup> und H.-J. Hardtke<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *TU Dresden, Institut für Festkörpermechanik;* <sup>b</sup> *TU Dresden, Institut für Luft- und Raumfahrttechnik;* <sup>c</sup> *TU Dresden, HNO-Klinik*

Stereozilien sind dünne, schlanke Strukturen welche sich auf den Haarzellen befinden. Ihr Verhalten ist entscheidend für den Hörvorgang, da hier der mechanoelektrische Transduktionsprozess stattfindet. Sie sind in Bündeln angeordnet deren Geometrie, Form und mechanische Eigenschaften sich stark unterscheiden können. Jedes Einzelstereozilium zeigt im Inneren eine hochkomplexe, jedoch periodische Anordnung von Actinfasern die durch verschiedene Proteine miteinander verbunden sind. Diese Struktur besitzt Vorzugsrichtungen und zeigt somit die Notwendigkeit der Einführung anisotroper Materialgesetze zur Beschreibung der mechanischen Eigenschaften. Um alle Koeffizienten des Elastizitätstensors zu bestimmen wird die numerische Homogenisierung mit Hilfe der Finiten-Elemente-Methode genutzt. Dabei werden von einem repräsentativen Volumenelement, das alle Informationen bezüglich der Periodizität der Mikrostruktur enthält, die benötigten Größen abgeleitet. Im Ergebnis kann gezeigt werden, daß Einzelstereozilien durch ein orthotropes Materialgesetz charakterisiert werden können. Weiterhin zeigen sie eine, für biologische Materialien typische, geringe Schubnachgiebigkeit. Die mit diesem Materialgesetz behafteten Bündelmodelle zeigen eine gute Übereinstimmung mit Messungen die im Tierexperiment (Ratte) durchgeführt worden.

Do. 15:15 Raum 3

Audiologische Akustik

**Objektive Qualitätsbewertung mehrkanaliger Störgeräuschreduktionsalgorithmen für Hörgeräte mit Hilfe von psychoakustischen Maßen**

T. Rohdenburg, V. Hohmann und B. Kollmeier

*Universität Oldenburg, Medizinische Physik*

Moderne Hörgeräte nutzen Mikrofonarrays zur mehrkanaligen Störgeräuschreduktion. Eine häufig verwendete Methode ist das Beamforming, das die räumliche Verteilung natürlicher Schallquellen über deren Korrelationseigenschaften zwischen den Mikrofonensoren ausnutzt und dafür Informationen über die Nutzsignalrichtung und die relativen Mikrofonpositionen benötigt. Gegenüber einkanaligen Einhüllendenfiltern führen Beamformer prinzipiell zu einer geringeren Nutzsignalverzerrung bei einer hohen Störgeräuschreduktion. Für am Kopf getragene Mikrofonarrays (in Hörgeräten oder anderen Kommunikationsgeräten) spielen zusätzlich Kopfabstimmungs- und Beugungseffekte eine Rolle, die im Beamformer-Entwurf berücksichtigt werden müssen.

Das menschliche Gehör nutzt Unterschiede der Audiosignale zwischen linkem und rechtem Ohr zur Objektrennung (Cocktailpartyeffekt), weshalb es wünschenswert ist, diese binaurale Information auch nach der Störgeräuschreduktion zu erhalten. Es existieren verschiedene Ansätze, die binauralen Signaleigenschaften zu erhalten bzw. zu rekonstruieren. In dieser Studie werden unterschiedliche Beamformertypen mit anderen mehrkanaligen Störgeräuschreduktionsverfahren verglichen sowie binaurale vs. bilaterale Verarbeitungen mit Hilfe von psychoakustischen Modellen bewertet.

Do. 15:40 Raum 3

Audiologische Akustik

**Übertragungsfunktion der Basilarmembran**

E. Rasumow und M. Hansen

*FH Oldenburg/O/W, Institut für Hörtechnik und Audiologie*

Die erste Stufe der peripheren Verarbeitung im auditorischen System ist die spektrale Zerlegung des Schallsignals durch die Bandpassfilterung der Basilarmembran (BM). Innerhalb auditorischer Modelle wird oft nur die Betragsübertragungsfunktion verwendet, jedoch ist für einige Experimente auch der Phasengang dieser Bandpassfilter von Interesse, da deren Dispersion Einfluss auf die Einhüllende des Signals nimmt. Dieser Beitrag behandelt die Schätzung der vollständigen Übertragungsfunktion eines auditorischen Filters bei 2 kHz sowie seine Verwendung innerhalb

des Perzeptionsmodells nach Dau et al. (1996). Die Betragsübertragungsfunktion wurde mithilfe des Notched-Noise-Experiments nach Patterson & Nimmo-Smith (1980) ermittelt, wobei ein optimierter Filterfunktions-Ansatz gefunden wurde. Zur Schätzung des Phasengangs wurde ein von Oxenham & Dau (2001) vorgeschlagenes Maskierungsexperiment mit variabler Phasenkrümmung eines harmonischen Tonkomplex-Maskierers durchgeführt. Durch die daraus erhaltene Phasengangs-Krümmung des BM-Filters wurde mithilfe weiterer Annahmen ein möglicher Phasengang rekonstruiert. Aus der geschätzten Betrags- und Phasengangs-Übertragungsfunktion wurde ein FIR-Filter synthetisiert. Dieses Filter wurde als peripheres Filter im Perzeptionsmodell mit drei Standard-Filtern verglichen. Dabei ergaben die eigens geschätzten Übertragungsfunktionen sehr gute Simulationsergebnisse für die Notched-Noise-Experimente. Eine Simulation der Phasengangs-Experimente gelang jedoch nur bei Verwendung einer flachen Betrags-Übertragungsfunktion. Das gemessene BM-Verhalten kann demnach nicht allein durch ein lineares Filter beschrieben werden, sondern erfordert möglicherweise die Berücksichtigung der Nichtlinearität des auditorischen Systems.

Do. 8:30 Raum 4

Mustererkennung im Soundscape

## **Soundscape - Ansatz zu einer Begriffsklärung**

B.W. Hohmann

*Schweiz. Unfallversicherungsanstalt SUVA*

Der Begriff "Soundscape" wird uneinheitlich verwendet. Einigkeit scheint darin zu bestehen, dass der Mensch Geräuschsituationen nicht in dB(A) wahrnimmt (und auch nicht in sone, acum oder asper), sondern Quellen zuordnet, wobei oft zwischen "natürlich" und "technisch" unterschieden wird. Darauf, auf dem notice-event-Modell, aber auch auf Ideen von Murray Schaffer basiert der folgende Ansatz:

Mit Soundscape bezeichnet man die akustische Umgebung, beschrieben im Hinblick auf die Wahrnehmung durch den Menschen. Soundscapes sind mehrschichtig: Über einem unspezifischen Grundgeräusch liegen Geräusche aus erkennbaren Quellen. Diese können "historisch" geordnet werden: von natürlich (älter als der Mensch) über vortechnisch ( $\approx 1000$  Jahre, z.B. Handwerkzeuge) und technisch ( $\approx 100$  Jahre; z.B. Maschinen und Motoren) bis neu ( $\approx 10$  Jahre, d.h. jünger als das Individuum, z.B. Handy-Töne). In einer weiteren Schicht können akustische Signale auftreten, die unsere Aufmerksamkeit wecken sollen (z.B.

Alarmsignale). Über allem kann dann die Sprache liegen, auf deren Empfang der Mensch konditioniert ist.

Soundscapes spielen sich in einem Raum ab, der Quellen und Zuhörer verbindet und das Schallsignal beeinflusst (Absorption, Reflexion). Der Raum prägt die Erwartungen an Soundscapes (was wäre ein Stadtpark ohne Vögel?). Aber für die Wertung durch den Zuhörer sind auch dessen eigene Situation und seine Bedürfnisse von Bedeutung.

Do. 8:55    Raum 4

Mustererkennung im Soundscape

### **Subjektive Schallbewertung von Geräuschen in Aufzügen - eine qualitative Fallstudie**

C. Arndt

*TU Berlin, Inst. f. Strömungsmechanik und Technische Akustik*

Aufzüge bieten geschlossene Räume, in denen Versuchspersonen gut reproduzierbare Versuchsbedingungen geboten werden. Es ist ein eng umrissenes Setting, an das die meisten Versuchspersonen persönliche Erfahrungen und Erwartungen knüpfen können. Im Versuch wurde die subjektive Schallbewertung durch Aufzeichnung und Analyse der Äußerungen der Versuchspersonen während der Fahrt und mittels eines semantischen Differenzials nach der jeweiligen Richtungsfahrt ermittelt. Interessant ist die Korrelation von subjektiver Schallbewertung mit der psychoakustischen Analyse der akustischen Daten der Aufzugsfahrt. Es wird betrachtet, wie groß der Anteil subjektiver Faktoren an der Bewertung ist, welche akustischen und nicht-akustischen Kriterien Einfluss auf den Gesamteindruck haben (z. B. visuelle und physiologische Kriterien). Dafür ist insbesondere die vergleichende Untersuchung zweier unterschiedlicher Aufzüge aufschlussreich. Außerdem wird anhand der Unterscheidung zwischen Auf- und Abwärtsfahrt betrachtet, in wieweit die psychoakustischen Parameter von der Fahrtrichtung abhängen und sich diese Abhängigkeit in der subjektiven Bewertung wiederfindet. Im Einzelnen wird folgenden Fragestellungen nachgegangen: Welche Kriterien beeinflussen Versuchspersonen bei der Beurteilung von Geräuschen in Aufzügen? Lassen sich Faktoren erkennen, die zu Angenehmheit, Wohlfühl, Stimmigkeit und Sicherheitsgefühl beitragen? Wie stark hängen die subjektiven Bewertungen mit den psychoakustischen Parametern zusammen?

Do. 9:20 Raum 4

Mustererkennung im Soundscape

**Analyse und Bewertung von Verkehrsrgeräuschen**J. Güttes*TU Berlin, Inst. f. Strömungsmechanik und Technische Akustik*

Die Arbeit die hier vorgestellt wird, untersuchte ein Wohngebiet im zentrumsnahen Berliner Stadtteil Friedrichshain. Es wurde eine umfassende Analyse des Soundscapes durchgeführt, in dem die Anwohner einen Großteil ihrer Freizeit und damit auch ihrer Zeit für Erholung und Entspannung verbringen. Bei den Messungen konnte festgestellt werden, dass vor allem der tieffrequente Bereich unter 200Hz einen Großteil, bei geschlossenen Fenstern sogar den Hauptteil der Immission in die Wohnungen ausmacht und in ihnen stehende Wellen und durch Vibrationen Sekundärgeräusche anregt. Außerdem wurden bedingt durch den Straßenbelag und die Verkehrssituation auch Effekte durch die Impulshaftigkeit und die Zeitstruktur der anregenden Signale festgestellt. Mit dem Fokus auf diesen Bereich wurden verschiedene Mess-, Analyse- und Bewertungsmethoden gegeneinander verglichen und eine Befragung der Anwohner durchgeführt, die durch Korrelation mit den Messergebnissen, die Vor- und Nachteile der Methoden aufdecken sollte. In diesem Zusammenhang soll auch die Reichwerte von A-bewerteten Messungen diskutiert werden. Es werden Möglichkeiten aufgezeigt, wie die komplexe Bewertung von Verkehrsrgeräuschen näher an der Wahrnehmung und den Bedürfnissen der Betroffenen angesiedelt werden kann.

Do. 9:45 Raum 4

Mustererkennung im Soundscape

**Möglichkeiten zur (akustischen) Beschreibung von Geräuschmustern und die Bedeutung für die Bewertung von Umweltgeräuschen**A. Fiebig*HEAD acoustics GmbH*

Die Beurteilung von Schallereignissen hinsichtlich spezieller Bewertungskriterien wie Lästigkeit, Unangehmheit, Angenehmheit, hängt von verschiedenen Eigenschaften des Geräusches ab. Hörversuche, in denen die Lästigkeit von Fahrzeugaußengeräuschen beurteilt wurde, zeigten die Relevanz verschiedener Geräuschcharakteristika für die Geräuschbewertung neben dem Schalldruckpegel oder der Lautheit. Eine wesentliche Geräuscheigenschaft, die signifikanten Einfluss auf die Urteile hat, ist das Merkmal der Musterhaftigkeit. Muster, die im Zeit- wie auch Frequenzbereich vorliegen können, lassen sich aus

akustisch-analytischer Sicht unterschiedlich bestimmen und interpretieren. Vom einfachen Zählen der Einzelevents, die definierte Schwellwerte überschreiten, über Perzentilangaben, um zeitabhängige Wahrnehmungseffekte zu berücksichtigen, über die Bestimmung von auffälligen Modulationen oder über Angaben zu Fluktuationen im Kurzzeitbereich sind verschiedene Parameter zur Beschreibung der Musterhaftigkeit eines Geräusches anwendbar. Zur Identifikation wahrnehmungsrelevanter Muster werden Modelle zur Signalverarbeitung des menschlichen Gehörs herangezogen. Der vorliegende Beitrag thematisiert die Möglichkeiten der Schallanalyse hinsichtlich von Geräuschemustern, die für die Bewertung von Geräuschen relevant sind. Dabei sollen Ergebnisse aus Hörversuchen hinsichtlich der dargestellten Fragestellung vorgestellt werden.

Do. 10:10    Raum 4

Mustererkennung im Soundscape

### **Muster in Soundscapes - Neue Experten partizipieren an der Gestaltung**

B. Schulte-Fortkamp

*TU Berlin, Inst. f. Strömungsmechanik und Technische Akustik*

Städte lassen sich an ihrem Gang erkennen wie Menschen (Musil), ihre akustischen, optischen, sozialen, und ökonomischen Strukturen bilden sich in Soundscapes ab. In einem Berliner Projekt, dessen Ziel die Umgestaltung eines schwierigen Ortes zum Freiraum für alle ist, spielen Soundscapes und Klang eine wesentliche Rolle. Akustische Gestaltungen, die auf der Expertise von Anwohnerinnen und Anwohner basieren, greifen Ideen und Wünsche der Betroffenen auf. Die Beteiligung der neuen Experten aus allen Altersgruppen involviert die angrenzenden Wohnquartiere und bindet an den neuen Freiraum. Durch interdisziplinäre Konzepte soll der Freiraum für alle zu einem generationsübergreifenden Aufenthaltsort werden. Ziele und Umsetzung des Projektes werden vorgestellt, die Bedeutung des integrierenden Soundscape Ansatzes wird diskutiert. Barbara Willecke wird das Projekt vorstellen.

Das Soundscape-Projekt ist ein integrierter Bestandteil des Modellvorhabens "Nauener Platz - Umgestaltung für Jung und Alt", das im Rahmen des Forschungsprogramms "Experimenteller Wohnungs- und Städtebau (ExWoSt)" des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), betreut durch das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) gefördert wird. Es ist dem ExWoSt - Forschungsfeld: "Innovationen für

familien- und altengerechte Stadtquartiere" zugeordnet. Projektträger ist der Bezirk Mitte von Berlin.

Do. 14:00 Raum 4

Physikalische Akustik

### **Nonclassical Nonlinear Acoustics of Solids: Fundamentals and Applications**

I. Solodov und G. Busse

*Universität Stuttgart, IKT-ZFP*

Nonlinearity in the stress-strain relation modifies the characteristics of finite amplitude acoustic waves in solids so that their velocity, attenuation, reflection, etc. become amplitude dependent. An originally sinusoidal wave in a classical nonlinear medium transforms into the saw-tooth or N-type wave with multiple higher harmonics. Classical nonlinear acoustics dealt with single-crystalline and homogeneous isotropic solids whose nonlinearity is associated with lattice anharmonicity. However, even for high-amplitude waves (strain  $\sim 10^{-3}$ ), the inter-molecular forces are only weakly nonlinear and consequently the variety of nonlinear phenomena as well as the field of their applications were quite limited. Over recent years, some new types of anomalously high nonlinearity have been found in solids containing microstructure or defects. In such nonclassical media, nonlinearity is caused by the interaction of acoustic waves with multiple internal interfaces. In this paper, the local dynamics of such highly nonlinear planar elements activated by an acoustic wave is analyzed. It is shown that nonclassical nonlinear acoustics expands to a diversity of new nonlinear phenomena including subharmonic generation, acoustic bistability, and combination frequency decay which bring chaotic dynamics in acoustic wave propagation. The new acoustic applications in nonlinear defect-selective imaging will also be demonstrated.

Do. 14:25 Raum 4

Physikalische Akustik

### **Luftschall- und Wasserschall-Reflexion und -Transmission an einem Festkörper-Halbraum**

G. Wittek

*Bureau für Wasserschall und Schiffsakustik (BWSSA), Heikendorf*

Untersucht wird die Wasserschall- und Luftschall-Reflexion (allgemein die Reflexion von Fluidschall) an einem Festkörper-Halbraum und ferner die Transmission des Schalls in diesen

Halbraum hinein. (Beispiel: Wasserschall-Reflexion am Meeresboden). Behandelt wird der allgemeine Fall beliebiger Schalleinfallswinkel.

In einem elastischen Festkörper existieren zwei Wellentypen: neben der Dehnwelle (der gewöhnlichen Schallwelle) tritt bei schrägem Schalleinfall zusätzlich die Scherwelle auf. Deshalb ist die allgemeine Behandlung der Schallreflexion an der Grenzfläche zu einem Festkörper-Halbraum und die Berechnung der Schalltransmission durch diese Grenzfläche hindurch unter Einbeziehung des Schrägeinfalls komplizierter als beim Übergang zu einem Fluid-Halbraum. Entsprechend wird in Lehrbüchern meist nur der senkrechte Schalleinfall behandelt, bei dem die Scherwelle nicht angeregt wird.

Ausgehend von der elastischen Grundgleichung für die Schallausbreitung in Festkörpern und dem HOOKEsche Gesetz werden explizite Formeln für den Reflexionsgrad und den Transmissionsgrad abgeleitet. Diese sind, wie auch beim Schallübergang zu einem Fluid-Halbraum, Frequenz-unabhängig.

Besonders betrachtet werden die Sonderfälle der Totalreflexion bezüglich der Dehn- und der Scherwellen. Wir stoßen auf akustisch angeregte SCHOLTE- (bzw. STONELEY-) Wellen.

Do. 14:50    Raum 4

Physikalische Akustik

### **Refraktovibrometrie zur Messung und Visualisierung akustischer Phänomene in transparenten Medien**

L. Zipser

*Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH)*

Vorge stellt wird die "Refraktovibrometrie" als ein neuartiges Verfahren zur Messung und Visualisierung zahlreicher, an sich unsichtbarer akustischer Phänomene, wie Schallwellen und Wirbel in Luft und Wasser oder Körperschall in transparenten Festkörpern. Dieses patentierte Verfahren, nutzt als Messeffekt dynamische Änderungen der optischen Brechzahl  $n$ , die durch akustische Phänomene verursacht werden. Mit einem Scanning Laser-Doppler Vibrometer (SLDV) lassen sich solche Änderungen rückwirkungsfrei erfassen und als bewegte Animationen anschaulich darstellen. Damit ermöglicht die Refraktovibrometrie eine authentische Darstellung bisher unsichtbarer physikalischer Vorgänge in transparenten Medien und erleichtert deren Verständnis. Im Beitrag werden die theoretischen Grundlagen sowie die erforderliche Gerätetechnik für die Refraktovibrometrie



vorgestellt. Darüber hinaus werden zahlreiche informative Bilder/Videos refraktovibrometrischer Messungen in Gasen, Flüssigkeiten und Festkörpern im Audio- und Ultraschallbereich gezeigt.

Die Refraktovibrometrie ist, besonders in Kombination mit der klassischen Vibrometrie, nicht nur in der Grundlagenforschung sondern auch bei der ingenieurgemäßen Entwicklung und Optimierung akustischer Systeme sowie in der Lehre vorteilhaft einsetzbar.

Do. 15:15 Raum 4

Physikalische Akustik

### **Kontaktresonanzspektroskopie mit dem Rasterkraftmikroskop**

S. Hirsekorn<sup>a</sup>, U. Rabe<sup>a</sup>, D. Rupp<sup>b</sup> und W. Arnold<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Fraunhofer IZFP Saarbrücken; <sup>b</sup>Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Materialforschung II

Kraftsensoren von Rasterkraftmikroskopen sind mikroskopische Federbalken mit einer Sensorspitze am freien Ende. Messgröße ist ihre Auslenkung durch an der Spitze angreifende Kräfte. In der Ultraschallkraftmikroskopie werden die Federbalken bei Kontakt mit einer Probenoberfläche zu Schwingungen im Ultraschallfrequenzbereich angeregt. Die Wechselwirkungskräfte zwischen Sensorspitze und Probe sind eine nichtlineare Funktion der Entfernung. Lineare Näherungen sind auf kleine Bereiche der Kraftkurve überdeckende Abstandsvariationen beschränkt, wie z.B. bei hohen statischen Auflagekräften und kleinen Schwingungsamplituden von Blattfeder und Probenoberfläche. Der Kontakt zwischen Sensorspitze und Probe ist dann durch lineare Federn und Dämpfungstöpfe darstellbar. Die quantitative Auswertung gemessener Kontaktresonanzfrequenzen des Kraftmikroskopfederbalkens liefert die Kontaktsteifigkeit und, bei Kenntnis von Geometrie und Materialeigenschaften der Sensorspitze, den lokalen Indentationsmodul der Probenoberfläche. Bei größeren Schwingungsamplituden wird die Nichtlinearität der Kraftkurve durch höhere Harmonische der Anregungsfrequenz in der Blattfederschwingung sichtbar. Aus der Differentialgleichung für Balkenbiegeschwingungen und Beschreibung der Blattfeder als Balken konstanten Querschnitts wurde eine frequenzabhängige Übertragungsfunktion für Ultraschallschwingungen der Probe auf die Blattfeder abgeleitet, die die Berechnung der Kontakt- und Adhäsionskräfte als Funktion der Zeit aus bei Probenkontakt gemessenen Blattfederschwingungsspektren erlaubt. Die Kombination eines Kraftmikroskops mit einem Mach-Zehnder-Interferometer

ermöglichte in-situ Messungen von Blattfeder- und Probenoberflächenschwingungen und damit die Rekonstruktion der Wechselwirkungskräfte zwischen Sensorspitze und Probe als Funktion des Abstands.

Do. 15:40 Raum 4

Physikalische Akustik

### **Detection of subsurface structures by use of the atomic force acoustic microscopy technique**

M. Kopycinska-Müller<sup>a</sup>, A. Striegler<sup>a</sup>, B. Bendjus<sup>b</sup>, B. Köhler<sup>b</sup> und N. Meyendorf<sup>b</sup>

<sup>a</sup>TU Dresden, IAVT / Fraunhofer IZFP; <sup>b</sup>Fraunhofer IZFP Dresden

Atomic force acoustic microscopy (AFAM) method is a dynamic enhancement of atomic force microscopy (AFM) technique that is capable of detection and evaluation of elastic properties of materials. The AFAM technique is a contact based method and as such provides information on the samples elastic properties from a certain sample volume compressed under an AFM tip. Therefore, it is possible to use this technique to detect subsurface defects. Calculations based on theoretical models for contact mechanics indicate that it is possible to detect subsurface structures at depths equal three to five times of the tip-sample contact radius, depending on the mismatch in the elastic modulus of the surface and the defect. Thus, in standard AFAM measurements we can detect defects buried at 50 nm to 150 nm. A set of nine square membranes 3,7 x 3,7  $\mu\text{m}$  large, with thicknesses increasing in 30 nm steps from 30 nm to 270 nm was dry etched in silicon. AFAM images obtained on this sample showed all the membranes. The estimated tip-sample contact radius was approximately 10 nm, which indicates that mechanisms other than contact mechanics were involved in the imaging process.

Do. 16:05 Raum 4

Physikalische Akustik

### **Messung der Schallausbreitung auf einer Hochdruck-Gasleitung**

R. Schirmacher<sup>a</sup> und R. Baars<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Müller-BBM GmbH; <sup>b</sup>M+P

Bei einem zweistufigen Hochdruck-Gaskompressor mit Zwischenkühler wird vom Kühler ein Ton bei der Kompressor-Drehfrequenz von ca. 160 Hz abgestrahlt. Zur Auslegung von Schallminderungsmaßnahmen war der Mechanismus der Schallausbreitung zwischen Kompressor und Kühler auf Stahlleitungen DN 400 mit 24 mm Wandstärke und 160 Bar Gas-Innendruck

durch Messungen aufzuklären. Durch nicht-invasive Messungen konnte dabei die Dominanz des Fluidschalls (Erdgas) über den Körperschall gezeigt werden, der in anschließenden Druckmessungen eindrucksvoll bestätigt wurde. Der Vortrag stellt die der Messung zugrundeliegenden Konzepte (Wellentrennung ausbreitungsfähiger Moden, modale Impedanzen, modale Intensitäten) sowie Ergebnisse vor.

Do. 8:30 Raum 5

Strömungsakustik

### **Geräuscherzeugung an Gestricken in vereinfachter Darstellung nach L. Cremer**

U. Kurze

*München*

Am Ende von Rohrleitungen hinter Ventilen werden Drosselschalldämpfer in Form von porösen Werkstoffen oder Gestricken, die um ein perforiertes Rohr gewickelt sind, eingesetzt. Dadurch entfallen weitgehend die Entspannungsgeräusche am Ventil, jedoch entstehen im porösen Werkstoff andere Geräusche. Anstelle einer strengen Berücksichtigung des Spannungstensors, der den Impulsstrom im porösen Werkstoff bestimmt, kann im Sinne der Harmonischen Analyse nach L. Cremer der Strömungswiderstand des Werkstoffs in einen Anteil zerlegt werden, der unabhängig von der Strömungsgeschwindigkeit ist, und in einen zweiten Anteil, der die parametrische Anregung und Dämpfung der Strömungsgeräusche im Material beschreibt. Das Rechenmodell wird mit Messergebnissen verglichen.

Do. 8:55 Raum 5

Strömungsakustik

### **Numerische und experimentelle Untersuchungen der Schallabstrahlung bei strömungsinduzierten Strukturschwingungen**

T. Uffinger<sup>a</sup>, S. Müller<sup>a</sup>, F. Schäfer<sup>a</sup>, S. Becker<sup>a</sup>, C. Hahn<sup>b</sup>, G. Link<sup>b</sup> und M. Kaltenbacher<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Lehrstuhl für Strömungsmechanik, Universität Erlangen-Nürnberg;* <sup>b</sup>*Lehrstuhl für Sensorik, Univ. Erlangen-Nürnberg*

Neben der Wirtschaftlichkeit nimmt der Fahrzeugkomfort heute eine sehr wichtige Rolle in der Akzeptanz und im Kaufverhalten der Bevölkerung ein. Markant ist hier im Fahrzeuginnern ein lästiges tieffrequentes Geräusch, das resultierend aus der Unterströmung des Fahrzeuges im Unterbodenbereich über Vibrationen der Bodenbleche in das Fahrzeuginnere übertragen wird.

Gegenstand der Untersuchungen ist es, die Ursachen zu verstehen und sie so zu beeinflussen, dass die strömungsbedingten Schallentstehungsprozesse in ihrer Interaktion mit der Struktur gezielt beeinflusst werden können. Die Strömung im Unterbodenbereich erweist sich als sehr komplex. In der Arbeit wird daher ein vereinfachtes Modell benutzt, in denen charakteristische Anströmbedingungen definiert wurden und deren Wirkungen auf das Schwingungsverhalten und die akustische Antwort untersucht wurden. Benutzt wurde eine Grenzschichtströmung über einer ebenen Platte. Die sich hinter einem Zylinder ausbreitende Wirbelstrasse überstreicht somit eine Bodenplatte, in die eine weichere Struktur eingebettet ist. Es wird die akustische Wirkung der durch die Strömung induzierten Strukturschwingung betrachtet aber auch den durch die Turbulenz induzierten Lärm. Die Ergebnisse dieser experimentellen und numerischen Untersuchungen zeigen einen direkten Vergleich beider Methodiken sowie grundlegende Erkenntnisse darüber, wie sich die Turbulenzstruktur sich auf das Schwingungsverhalten einer elastischen Struktur auswirkt und wie damit die Schallentstehung und Schallabstrahlung aufgrund des Strömungsfeldes der Strukturvibration beeinflusst wird.

Do. 9:20    Raum 5

Strömungsakustik

### **Modenanalyse breitbandiger Schallfelder in Strömungskanälen**

A. Holewa, L. Enghardt und U. Tapken

*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Berlin*

In dem von modernen und zukünftigen Flugtriebwerken abgestrahlten Lärmspektrum stellen die breitbandigen Schallfeldkomponenten einen zunehmend wichtigeren Bestandteil dar. Zur Bestimmung der von einer Triebwerkskomponente - wie etwa dem Fan im Triebwerkseinlauf - angeregten komplexen dominanten Schallfeldstrukturen und zur Quantifizierung der insgesamt abgestrahlten Schallleistung entwickelt das DLR derzeit ein neues Verfahren zur Analyse der Schallmoden in den angeschlossenen Strömungskanälen. In einer experimentellen Untersuchung konnte bereits gezeigt werden, dass die Beschreibung breitbandiger Schallfelder in Strömungskanälen als Überlagerung vieler modaler Freiheitsgrade möglich und sinnvoll ist. Für diesen Nachweis wurde ein Analyseverfahren entwickelt, welches auf der Verwendung sämtlicher Kreuzspektren eines feststehenden Mikrofonarrays beruht. In der praktischen Anwendung sind feststehende Mikrofonarrays aufgrund der großen Anzahl benötigter

Mikrofone bei hohen charakteristischen Frequenzen jedoch ungeeignet. Deshalb wird der Versuch unternommen, das Schallfeld mit einer drehbaren Mikrofonsektion schrittweise zu erfassen und die Analysemethode entsprechend anzupassen. Es ergeben sich im Vergleich zur feststehenden Mikrofonanordnung mehrere Fragestellungen: Da nur diejenigen Kreuzspektren in die Analyse eingehen können, deren Zeitsignale synchron aufgezeichnet wurden, geht eine unvollständige Kreuzspektralmatrix in den Lösungsalgorithmus ein. Die Methode geht von einem statistisch konstanten Mittelwert des Schallfelds aus; die zeitliche Schwankung dieses Mittelwerts bestimmt die Fehleranfälligkeit des Verfahrens. Der Informationsgehalt der gewonnenen Messdaten hängt stark von den gewählten Traversierungsschritten ab.

Do. 9:45    Raum 5

Strömungsakustik

### **Aktive Schalldämpfer in Strömungskanälen**

K. Bay und P. Leistner

*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

#### **Aktive Schalldämpfer in Strömungskanälen**

In Strömungskanälen wird die Dämpfung aktiver Schalldämpfer oft durch turbulente Anströmung und den damit verbundenen Strömungsgeräuschen am Mikrofon beeinträchtigt. Durch Einsatz mehrerer Mikrofone in unmittelbarer Umgebung des Lautsprechers (Mikrofon-Korona) und Verknüpfen der elektrischen Signale können strömungsinduzierte Geräusche reduziert werden. Die Wirkung aktiver Schalldämpfer wird dadurch verbessert. Im Vortrag werden Aufbau und Wirkprinzip aktiver Resonatoren mit Mikrofon-Array vorgestellt. Der Einfluss der Strömungsgeräusche am Mikrofon wird am Beispiel von Untersuchungen im Modellkanal sowie an einer Lüftereinheit anhand von Messwerten diskutiert.

Do. 10:10 Raum 5

Strömungsakustik

**Untersuchungen zur Vibroakustik und Lärmreduzierung von Flugzeugabwassersystemen**W. Hufenbach<sup>a</sup>, O. Täger<sup>a</sup>, M. Dannemann<sup>a</sup>, F. Kolbe<sup>a</sup>, J. Pfennig<sup>b</sup> und R. Klug<sup>b</sup><sup>a</sup>*Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik, TU Dresden;* <sup>b</sup>*AOA avionics dresden GmbH*

An Bord von Flugzeugen stellen die Abwassersysteme eine sensible Schnittstelle zwischen Passagier und Flugzeug dar. Zuverlässig arbeitende Toiletten sind für das Wohlbefinden der Passagiere und der Besatzung unerlässlich. Darüber hinaus sind insbesondere auf Langstreckenflügen die Anforderungen an den Geräuschkomfort in der Kabine deutlich gestiegen. Die bisher durchgeführten Maßnahmen zur Lärmreduzierung wie etwa Verbesserungen an den Triebwerken haben den Geräuschpegel im Flugzeuginnenraum erheblich gesenkt. Infolge dessen treten u.a. die Geräusche der Flugzeugabwassersysteme störend in den Vordergrund. Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen wurde daher ein Flugzeugabwassersystem mit vakuumunterstützter Spülung in Serienausführung hinsichtlich des vibroakustischen Verhaltens analysiert. Auf Basis der Intensitätsmethode wurde eine Schallkartierung des Systems durchgeführt. Dazu ist ein spezieller Prüfstand konzipiert und technisch umgesetzt worden, der die Geräuscentstehung durch die Vakuumspülung praxisgerecht abbildet. Die Messungen haben gezeigt, dass der Schall maßgeblich durch das Ventil beeinflusst und durch die Toilettenschüssel nach oben abgestrahlt wird. Da jedoch das Ventil den Abwassertransport sicherstellen muss, wurden Maßnahmen zur Anpassung des Systemunterdrucks entwickelt und erfolgreich getestet. Darüber hinaus ist als weitere Maßnahmen zur Geräuschreduzierung eine automatisch schließende Toilettenabdeckung konzipiert und deren Auswirkung auf die Schallabstrahlung untersucht worden.

Do. 14:00 Raum 5

Strömungsakustik

**Verfahren zur Analyse azimuthaler Schallfeldstrukturen**R. Bauers<sup>a</sup>, U. Tapken<sup>a</sup> und F. Arnold<sup>b</sup><sup>a</sup>*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Berlin;* <sup>b</sup>*Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG*

Bei modernen und zukünftigen Flugzeug-Strahltriebwerken gewinnen die aus den Düsen abgestrahlten Geräuschkomponenten, z.B. das nach hinten abgestrahlte Fangeräusch, mit wachsenden Nebenstromverhältnissen an Bedeutung. Im von der EU

geförderten Projekt TURNEX wird daher die Schallabstrahlung aus dem Neben- und Hauptstromkanal ins Freifeld untersucht. Ein Ziel des Projekts besteht in einem verbesserten physikalischen Verständnis des Schalldurchgangs durch das Düsen-system und die Strahlscherschichten. Im akustischen Strahlprüfstand von QinetiQ (GB) wurden dazu Modellexperimente mit maßstabsgetreuen Triebwerksdüsen durchgeführt (Koordinierung Rolls-Royce Deutschland). Zur Untersuchung der Abstrahlcharakteristik und der Kohärenz des modalen Schallfelds nahm das DLR Messungen in den Strömungskanälen und im Fernfeld vor. Das Fernfeld wurde mit einem entlang der Düsenachse traversierbaren und mit 80 Mikrofonen bestückten Ring abgetastet. Um die azimuthale Modenstruktur mit Hilfe einer räumlichen diskreten Fouriertransformation (DFT) aufzulösen, müssen alle Mikrofone äquidistant im Ring und im gleichen Abstand zur Quelle angeordnet sein. Konstruktionsbedingt ergaben sich leichte Differenzen in den Mikrofonpositionen, die die Phasen der Signale und damit das modale Spektrum beeinflussten. Daneben kam es zu Ausfällen von einzelnen Mikrofonen. Der Vortrag zeigt die Ergebnisse von Parameterstudien an synthetischen sowie gemessenen Daten, die unter anderem den Einfluss der Mikrofonfehlstellen und Phasenverschiebungen auf die azimuthale Modenanalyse quantifizieren. Abschließend werden alternative Analyseverfahren zur räumlichen DFT betrachtet.

Do. 14:25    Raum 5

Strömungsakustik

### **Fallstudie Heizkesselgeräusche für eine 1MW Heizzentrale**

W. Schirmer

*Schirmer Beratende Ingenieure*

Im Kellergeschoss eines in ruhiger Lage stehenden Wohnhauses befindet sich die Heizzentrale für ca. 190 Wohnungen. Im 2. DG des gleichen Hauses werden die zulässigen Werte für haustechnische Anlagen um 4 dB(A) überschritten. Nach DIN 45680 ist das Geräusch als tieffrequent einzustufen. Im Vortrag wird mitgeteilt, mit welchem Messkonzept die Ursache für die Überschreitung gefunden wurde und welche Abhilfemaßnahmen daraus abgeleitet wurden. Mit einem 220 mm langen Mikrofon-Sondenvorsatz wurde in den Abgasrohren NW 350 bei ca. 140°C Abgastemperatur der Schallleistungspegel der Kessel sowie die Durchgangs-Dämpfung der Rohrschalldämpfer und der Kaminrohre gemessen und mit Erwartungswerten verglichen.

Do. 14:50    Raum 5

Strömungsakustik

**Sprengungen - Abschätzung einer Gefährdung für Meeres-säuger**E. Schmidtke und S. Ludwig*Forschungsanstalt der Bundeswehr für Wasserschall und Geophysik*

Meeresbewohner werden fast alle in der einen oder anderen Weise durch Unterwasserschall beeinflusst. Leise und ungewohnte Geräusche können neugierige Meeressäuger anlocken, laute Geräusche können sie erschrecken oder vertreiben, Schockwellen können die Tiere verletzen. Die Einsatzgruppenversorger (EGV) der Deutschen Marine sind zum Eigenschutz mit mittelkalibrigen Rohr Waffen (27 mm) ausgerüstet, die auch Sprengmunition verschießen können.

Detoniert diese Munition beim Auftreffen auf die Wasseroberfläche, sendet die durch die Explosion entstehende Gasblase eine Schockwelle unter Wasser aus. In diesem Beitrag werden Experimente vorgestellt, mit denen diese Schockwelle untersucht wurde. Ziel der Untersuchungen ist, die Gefährdung der Meeressäuger beim Einsatz von Sprengmunition und auch von nicht sprengender Munition abschätzen zu können. Auch für die Abschätzung von Sicherheitsabständen bei den möglichen Sprengungen von Munitionsaltlasten vor der deutschen Ostseeküste (Sprengladungen von mehreren zehn Kilogramm) sind die Erkenntnisse aus den durchgeführten Experimenten von enormem Wert.

Do. 15:15    Raum 5

Lehre der Akustik

**"Maschinenakustik" für BSc- und MSc-Studiengang an der TU Darmstadt nach der neuen Studienordnung**R. Storm*TU Darmstadt, FG Systemzuverlässigk. und Maschinenakustik*

Mit der Einführung der neuen Bachelor- und Master-Studiengänge an der TU Darmstadt ergeben sich im Rahmen der neuen Studienordnung für die Studenten der Fachrichtung "Mechanical and Process Engineering" interessante Fächerkombinationen mit zukunftsweisenden Schwerpunktbildungen. Die "Maschinenakustik" wurde zu einem Kernlehrfach aufgewertet, womit der Grundstock für eine Vielzahl neuer Lehrangebote gelegt ist. Die Studenten reagieren mit stark zunehmenden Hörerzahlen darauf. In den letzten 5 Jahren wuchs die Hörerzahl pro Jahrgang um ca. 3 dB/Jahr von durchschnittlich 7 auf aktuell 55 Studenten. Zentrale Vorlesungen sind die beiden



langjährigen, zweisemestrigen Vorlesungen "Maschinenakustik-Grundlagen" und "Maschinenakustik-Anwendungen", im Umfang von jeweils 2V+1Ü Semesterwochenstunden. In den letzten 4 Jahren kamen als Wahlpflichtveranstaltungen neu hinzu: eine industriennahe Akustikausbildung im studentischen Team, ein externes Fachpraktikum sowie ein Tutorium mit Schwerpunkt "Akustische Messtechnik". Durch die Integration der "Maschinenakustik" 2005 im neuen Fachgebiet "Systemzuverlässigkeit & Maschinenakustik" (Prof. Hanselka) entstehen aktuell weitere Spezialvorlesungen mit den Schwerpunkten Active Noise Control, Active Vibration Control und Active Structural Acoustic Control. Zusammen mit anderen Fachgebieten der TUD werden auch Vertiefungen in den Bereichen "Umweltschutzgerechte Produktentwicklung", "Sounddesign/Soundquality" (Psychologie) und "Akustische Maschinendiagnose" ab 2009/2010 geplant, womit auf entsprechende Anregungen aus der Industrie reagiert wird. Der Beitrag enthält erste Erfahrungen und beschreibt die Schwierigkeiten bei der Umsetzung der neuen Ausbildungsziele.

Do. 15:40    Raum 5

Lehre der Akustik

### **Neugestaltung eines vorlesungsbegleitenden Praktikums im Fach Tonstudioteknik unter Einbeziehung der didaktischen Möglichkeiten des E-Learning**

D. Leckschat, J. Link und M. Schucker

*Fachhochschule Düsseldorf*

Auch an der Fachhochschule Düsseldorf werden Diplomstudiengänge auf das Bachelor-/Mastersystem umgestellt. Damit verbunden sind regelmäßig Kürzungen im Curriculum, zusammen mit einer Erhöhung der Studierendenzahl. Im Fach "Tonstudioteknik" des Studiengangs Medientechnik wurde die Umstellung zum Anlass genommen, ein völlig neu konzipiertes und ausgestaltetes Praktikum anzubieten. Die Umstrukturierung war Anlass für mehrere Modernisierungsschritte: 1. Anpassung an die Zielgruppe. Dazu wurde eine Erhebung bei Studierenden über Vorkenntnisse, Interessen und Erfahrungen mit bisherigen Lehrveranstaltungen durchgeführt und ausgewertet. 2. Anpassung an aktuelle Technologie. Dazu wurde ein Labor mit neuen Arbeitsplätzen für Musik- und Audibearbeitung ausgestattet. 3. Didaktische Neuausrichtung. Nicht zuletzt durch die Notwendigkeit steigender Studierendenzahlen motiviert, wurde eine E-Learning-Komponente in die Lehrveranstaltung integriert. Sie dient dem Selbststudium, beinhaltet Lernkontrollen, ermöglicht die technische Gehörbildung in zeitlicher und räumlicher

Unabhängigkeit und dient auch der Vorbereitung von insgesamt drei Vorkolloquien. Die eigentlichen Praktikumstermine umfassen Stoff von der Mikrofonaufnahmetechnik über die Musikmischung (die den größten Anteil hat) bis zur Datenreduktion. Es wird exemplarisch Material eines eigens komponierten Rock-/Popsongs mit den einschlägigen Tools der professionellen Tontechnik bearbeitet, bis hin zum Mastering. Viele Versuche enthalten ein "Basis"-Aufgabenpaket und eine "Advanced"-Erweiterung. Der erste Jahrgang, der dieses Praktikum durchlaufen hat, hat durchweg eine hohe bis sehr hohe Zufriedenheit bekundet.

Do. 16:05    Raum 5

Lehre der Akustik

### **Quo vadis VDI-Richtlinien?**

W. Lips

*Schweiz. Unfallversicherungsanstalt SUVA*

Seit Jahrzehnten sind die VDI-Richtlinien für den praktisch arbeitenden Akustik-Ingenieur eine wertvolle Arbeitshilfe. Doch immer häufiger stellt man beim Aufschlagen eines der vier prallvoll gefüllten Handbücher erstaunt fest, dass teilweise seit Jahrzehnten völlig veraltete Richtlinien immer noch gültig sind. Neue VDI-Richtlinien oder überarbeitete Fassungen erscheinen nur spärlich - wenn überhaupt, Gründrucke (Entwürfe) erleben teilweise das Stadium der Verabschiedung zur endgültigen Richtlinie nicht.

Der NALS im VDI und DIN hätte eigentlich die in der heutigen wirtschaftlichen Situation nicht ganz einfache Aufgaben zu lösen, neben dem eigentlichen Normenwesen im Bereich der internationalen Normen auch das umfangreiche Werk der VDI-Richtlinien zu bewirtschaften. Es leuchtet ein, dass es immer schwieriger wird, ausgewiesene Fachleute für diese Aufgabe zu begeistern, zumal der Aufwand im Normalfall nicht entschädigt wird. Aber es ist bedauerlich, dass somit ein grosses Erfahrungspotenzial verloren geht, von dem wir Akustiker eigentlich alle profitieren könnten. Mit einem Zukunftsszenario zur Umsetzung von konkreten Vorschlägen soll ein Versuch, Bewegung in die heute Situation zu bringen, beschrieben werden.

## Poster

Poster (Di.-Do.)

Akustische Messtechnik

### **Verzerrungsmessungen mit digitalen akustischen Sensoren**

M. Domke<sup>a</sup> und P. Holstein<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Ingenieurbüro Akustik & Audiotechnik, Granschütz; <sup>b</sup>isw - Abteilung Technologieforschung, Halle

Bei Verzerrungsmessungen wird ein schallabstrahlendes Objekt (zum Beispiel ein Lautsprecher) mit einer Sinusschwingung angeregt und das abgestrahlte Schallsignal zur Analyse mit einem Messmikrofon aufgezeichnet. Das verwendete Messmikrofon muss dabei in Verbindung mit dem Messgerät sowohl den hohen Pegel der anregenden Sinusschwingung als auch den niedrigen Pegel der Verzerrungsprodukte übertragen können. Der Dynamikumfang von Messmikrofonen ist dazu im Allgemeinen ausreichend. Eine Verringerung der Messdynamik kann jedoch durch zwischen Messmikrofon und (digitalem) Messgerät befindliche analoge Signalverarbeitungsstufen (Vorverstärker, Filter, usw.) sowie durch die AD-Umsetzung im Messgerät erfolgen. Im Vortrag wird beschrieben, wie durch Verwendung eines Messmikrofons mit integriertem AD-Umsetzer der Dynamikbereich der Mikrofonkapsel für Verzerrungsmessungen vorteilhaft ausgenutzt werden kann. Weiterhin erfolgt ein Ausblick auf weitere Verbesserungen durch die Integration digitaler Signalverarbeitungsalgorithmen in akustische Sensoren.

Poster (Di.-Do.)

Akustische Messtechnik

### **Study of the acoustic and thermodynamic properties of 2-methyl-2,4-pentanediol by means of high-pressure speed of sound measurements**

M. Cempa, M. Dzida und E. Zorebski

*Institute of Chemistry, University of Silesia, Katowice*

The phase speed of an ultrasound wave depends on the elastic properties of the materials. Therefore, the acoustic method has found wide acceptance as a satisfactory and relatively simple tool of obtaining thermodynamic data for liquids. In the last decades, interest in the speed of sound measurements of compressed liquids has been constantly growing, nevertheless, reports are still rather scarce. Constant acoustic path methods have dominated the speed of sound measurements under elevated pressures. Also the measuring set constructed in our laboratory [M. Zorebski et al., DAGA'98, 532 (1998); A. Žak et al., Rev.Sci.Instrum., 71(4),

1756 (2000); M.Dzida et al. J.Phys.IV, 137, 203 (2006)] operate on this principle. The pulse echo overlap method with a single transducer and an acoustic reflector has been applied. In this work, the thermodynamic quantities such as isentropic and isothermal compressibilities as well as expansibility for 2-methyl-2,4-pentanediol at pressures up to 101 MPa and for temperatures from (293.15 to 318.15) K were calculated using the phase speed of sound measured under elevated pressures (together with the densities and heat capacities at atmospheric pressure). The effects of pressure and temperature on the thermodynamic quantities are discussed.

Poster (Di.-Do.)

Akustische Messtechnik

### **Akustische Laufzeitomographie: Ein Verfahren zur Bestimmung flächengemittelter Temperatur- und Strömungsinformationen in der Atmosphäre mittels akustischer Signale**

M. Barth, A. Schleichardt, M. Wilsdorf und A. Raabe

*Universität Leipzig, Institut für Meteorologie*

Die Schallgeschwindigkeit in der Atmosphäre hängt im Wesentlichen von den meteorologischen Parametern Temperatur und Wind entlang des Ausbreitungsweges akustischer Signale ab. Diese Abhängigkeit kann genutzt werden, um aus Messungen der Laufzeit bei bekanntem Ausbreitungsweg der Signale (Positionen der Sender und Empfänger) Rückschlüsse auf diese Parameter zu ziehen. Der Einsatz tomographischer Techniken erlaubt es, aus Laufzeitdaten, die entlang verschiedener Ausbreitungswege durch ein Untersuchungsgebiet erfasst wurden, Flächenmittelwerte der meteorologischen Parameter im Untersuchungsgebiet zu bestimmen. In der vorliegenden Arbeit werden Ergebnisse von Simulationen mit bekannten Verteilungen von Temperatur und Strömung sowie Messergebnisse innerhalb eines Untersuchungsgebietes von ca. 100 m Länge, 12 m Breite und 2,50 m Höhe vorgestellt. Ein Vergleich der Messergebnisse mit Punktmessungen anderer meteorologischer Messgeräte, die in verschiedenen Höhen im Untersuchungsgebiet aufgestellt wurden, zeigt eine qualitative Übereinstimmung der Ergebnisse. Der Vergleich verdeutlicht aber auch, dass eine quantitative Übereinstimmung wegen der unterschiedlichen räumlichen Ausdehnung des Einflussgebietes auf die Messung mit dem jeweiligen System nur begrenzt gegeben ist. Das Verfahren der akustischen Tomographie eignet sich daher insbesondere für Untersuchungen, bei denen räumliche Mittelwerte der meteorologischen Parameter Temperatur und Strömung von Bedeutung sind.

Poster (Di.-Do.)

Bauakustik

**Messung von Installationsgeräuschen im Prüfstand**

S. Öhler, L. Weber und J. Mohr

*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

Trotz ihrer vergleichsweise geringen Lautstärke werden die Geräusche haustechnischer Anlagen - insbesondere von Wasserinstallationen - als äußerst störend empfunden. Sie unterliegen deshalb strengen bauaufsichtlichen Schallschutzanforderungen und dürfen in schutzbedürftigen Räumen einen Pegel von 30 dB(A) nicht überschreiten. Um die Einhaltung der Anforderungen sicherzustellen, lassen viele Sanitärhersteller ihre Produkte akustisch überprüfen. Dies erfolgt zumeist durch Messungen in einem speziellen bauakustischen Prüfstand, der eine Reihe technischer Besonderheiten aufweist: Haus in Haus Bauweise, mehrgeschossiger Aufbau, geregelte Wasserversorgungsanlage.

Da die rechnerische Prognose von Installationsgeräuschen bislang nur stark eingeschränkt möglich ist, hat der Installationsgeräuschprüfstand die Funktion eines Musterbaus, der die baulichen Verhältnisse in einem typischen mehrgeschossigen Wohngebäude widerspiegelt. Für abweichende Bausituationen kann eine Umrechnung der gemessenen Werte auf Grundlage validierter Berechnungsmodelle (u. a. EN 12354) erfolgen.

Der Beitrag beschäftigt sich mit Aufbau und Eigenschaften des im Fraunhofer-Institut für Bauphysik vorhandenen Prüfstands für Installationsgeräusche. Neben den technischen und akustischen Merkmalen des Prüfstands wird insbesondere die Übertragbarkeit der Messergebnisse auf verschiedenartige Wohnbauten diskutiert.

Poster (Di.-Do.)

KFZ-Akustik

**Objektivierung der Türgeräusche von Kraftfahrzeugen**R. Liebing<sup>a</sup> und R. Weber<sup>b</sup><sup>a</sup>BMW Group; <sup>b</sup>Univ. Oldenburg, Institut für Physik - Akustik

Die Bedeutung von Geräuschen bei der Entwicklung eines Kraftfahrzeuges hat in den letzten Jahren immens zugenommen. So gehört zum hochwertigen Eindruck eines Automobils heutzutage auch eine dem Fahrzeugtyp entsprechende Akustik. Insbesondere zeitlich veränderliche Funktionsgeräusche werden neben

stationären Schallen wie z.B. Windgeräuschen regelrecht designt. Dabei spielt die richtige Vorgabe des Zielgeräusches (target sound) eine wesentliche Rolle. Gerade bei instationären Geräuschen wie z.B. den Türgeräuschen ist dieser target sound jedoch schwer zu beschreiben und noch schwieriger objektiv zu messen. Deshalb geht dieser Vortrag auf den Prozess der Objektivierung von Türgeräuschen ein. Neben dem Einfangen des subjektiven Geräuscheindruckes von einer großen Anzahl von Probanden werden auch Analyseverfahren vorgestellt, die dieses stark instationäre Geräusch beschreibbar machen und so eine objektive Analyse auf Basis der subjektiven Beurteilung der Testpersonen ermöglichen.

Poster (Di.-Do.)

Körperschall

### **Randbedingungen der Körperschallausbreitung im Fahrzeug zur Crasherkenennung**

M. Luegmair

*Institut für Angewandte Forschung, FH Ingolstadt*

Als Erweiterung zur heute üblichen Crashsensorik wird als zusätzliche Information das Körperschallsignal der Fahrzeugkarosserie ausgewertet. Hierbei erfolgt die Messung innerhalb des Airbagsteuergerätes im Fahrzeuginnenraum. Entsprechend entscheidend ist das Übertragungsverhalten der Fahrzeugstruktur die als Signalleiter fungiert. Die messtechnische Erfassung der Körperschallausbreitung ist erst möglich wenn reale Prototypen zur Verfügung stehen. Dies ist erst relativ spät im Fahrzeugentwicklungsprozess der Fall. Deshalb müssen Simulations- und Berechnungsverfahren bereitgestellt werden die eine Bewertung bzw. Vorhersage des Übertragungsverhaltens auch im rein virtuellen Prototypenstadium ermöglichen. Zur Auswahl der geeigneten Simulations- bzw. Berechnungsverfahren ist es nötig die Randbedingungen während des Crashvorganges zu bestimmen. Da üblicherweise bei den Simulationsverfahren der Rechen- und Modellierungsaufwand stark steigt wenn Nicht-Linearitäten auftreten, ist es von besonderer Bedeutung jenen Teil der Fahrzeugstruktur zu identifizieren der mit linearen Modellen beschrieben werden kann.

Poster (Di.-Do.)

Lärmausbreitung

# **Experimentelle Untersuchungen zur Entwicklung eines Messverfahrens für die Schallabsorption von profilierten Lärmschutzwänden**

D. Pazos, L. Weber, P. Leistner und K. Sedlbauer

*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

Zur Entwicklung eines Messverfahrens, das die Bestimmung des Schallabsorptionsgrades von Lärmschutzwänden mit profilierter Oberfläche in situ ermöglicht, wurden Modellmessungen an verkleinerten Wänden im reflexionsarmen Raum des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik durchgeführt. Der erste Schritt hierbei bestand in einer Validierung des verwendeten Versuchsaufbaus. Es wurde unter anderem untersucht, unter welchen Voraussetzungen sich das von dem verwendeten Lautsprecher erzeugte Schallfeld im Bereich der untersuchten Wände mit hinreichender Genauigkeit als ebene Welle betrachten lässt. Die Messungen erfolgten mit zwei Mikrofonen gleichzeitig, wobei sowohl Phase als auch Betrag des Schallpegels an verschiedenen Positionen im Raum bestimmt wurden.

Die durchgeführten Messungen dienen dazu, die mit dem theoretischen Modell von Holford-Urusovskii berechnete Feldverteilung vor periodisch profilierten Oberflächen messtechnisch zu verifizieren. Hierzu werden Messungen an unterschiedlich profilierten Wänden mit reflektierender und absorbierender Oberfläche vorgenommen. Ein weiteres wichtiges Ziel besteht darin, aus den im Nahfeld vor der Wandoberfläche gemessenen Werten rechnerisch auf die Pegelverteilung im Fernfeld zu schließen. Zur Unterstützung dieses Ziels erfolgen die Messungen sowohl im Nah- als auch im Fernfeld vor der untersuchten Wand.

Poster (Di.-Do.)

Lärmwirkungen

# **Genexpressionsanalysen von Zellen nach Beschallung mit einem Infrapulsgenerator**

S. Siegmann<sup>a</sup>, K. Siegmund<sup>a</sup>, B. Prisack<sup>b</sup>, H. Bojar<sup>b</sup> und E. Borsch-Galetke<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Univ.-klinikum Düsseldorf, Inst. für Arbeits- und Sozialmedizin;*

<sup>b</sup> *Univ.-klinikum Düsseldorf, Institut für Onkologische Chemie*

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wurden Versuche mit Testzellen in einem Infrapulsgenerator (IPG) durchgeführt. Die Auswertung der Impulssignale erfolgte mit "Messsystemen zur Messung und Auswertung von Waffenlärm". Hierbei wurde der

Kunstkopf auf den Entfernungspunkten postiert. Die Schalldruckpegel des Freifeldmikrofons variierten in Abhängigkeit zur Entfernung mit Freifeldpegeln zwischen 155 dB (3 m) und 145 dB (12 m). Es wurde sehr homogen etwa die Hälfte der über 22.000 Gene auf einem Affymetrix-Genchip detektiert. Die Lymphocyten "Kontrolle" gegen "Belastung" nach Belastung zeigen in diesem Versuch je nach Nähe zur Pulsquelle eine Aufregulierung zwischen 0,7% und 1,6%. Zur Signifikanzanalyse der Microarraydaten wurde die SAM-Methode eingesetzt. Wird diese Methode auf die Versuchsreihe angewendet, so ergibt sich eine Rate als falsch detektierter Gene von über 50%. Wählt man hier die Gene mit den 100 größten Scores aus, so sind davon 51 Gene allein auf die zufällige Varianz der Expression zurückzuführen. Auch wurden nur 2 Gene im Durchschnitt wenigstens um den Faktor zwei verändert. Von einer genschädigenden Wirkung der o.a. Schallbelastung durch einen Infrapulsgenerator ist nicht auszugehen. Moderne Analysemethoden liefern nach Belieben ohne Probleme Unmengen von Daten. Die Kunst liegt darin, die richtigen rauszufiltern und daraus die richtigen Schlussfolgerungen zu ziehen.

Poster (Di.-Do.)

Maschinenakustik

### **Neuartiger Prüfstand zur akustischen Untersuchung von Wälz- und Gleitlagern**

R. Kruk, D. Thoden und S.-G. Backhaus

*TU Clausthal, Institut für Maschinenwesen*

Am Institut für Maschinenwesen der Technischen Universität Clausthal wurde eine neuartige Messstrategie zur Bestimmung des dynamischen Übertragungsverhaltens von Wälz- und Gleitlagern entwickelt. Hierzu wurde ein Prüfstand aufgebaut, mit dem ein weites Parameterfeld abgedeckt werden kann, und ein Auswerteverfahren erdacht, mit dem die frequenzabhängigen Steifigkeiten und Dämpfungen bestimmt werden können. Neben verschiedenen Lagergrößen (bis 100 mm Wellendurchmesser) und -typen können die Parameter Drehzahl (bis 5000 min<sup>-1</sup>), Belastung (radial bis 80 kN, axial bis 40 kN), Temperatur (-40 °C bis 120 °C), Anregungsfrequenz (bis 9 kHz), Ölart, Einspannsteifigkeit und Lagerverkipfung variiert werden. Durch getrennte Fundamente und die sehr massive Prüfstandshauptwelle ist das Prüflager frei von Antriebseinflüssen. Durch den Einbau des Prüflagers am freien Wellenende ist der Lagerwechsel innerhalb eines Arbeitstages möglich. Die Signalübertragung von der Welle



erfolgt über eine Hochleistungstelemetry, alle Messsignale werden von einem 32-Kanal-Signalanalysator erfasst und verarbeitet. Durch den Einsatz der Vierpoltheorie kann das Prüflager getrennt betrachtet werden, wodurch sich vergleichbare Ergebnisse auch für unterschiedliche Einbau- und Betriebssituationen erzielen lassen. Mit dem sofort verfügbaren System sind neben den Übertragungsmessungen bis in den unteren Ultraschallbereich auch Eigengeräuschuntersuchungen möglich.

Poster (Di.-Do.)

Musikalische Akustik

### **Untersuchungen zum Active Sound Design an einem Holzblasinstrument**

F. Konkel<sup>a</sup>, A. Jakob<sup>a</sup>, F. Heintze<sup>b</sup> und M. Möser<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *TU Berlin, Inst. f. Strömungsmechanik und Technische Akustik;*

<sup>b</sup> *Staatskapelle Berlin*

Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde die Beeinflussbarkeit von Holzblasinstrumenten mit Methoden des active noise control am Beispiel eines Fagotts untersucht. Dazu wurde im ersten Schritt eine akustische Untersuchung des Instrumentes durchgeführt und die Abstrahleigenschaften mit Hilfe einer akustischen Kamera untersucht. Anschließend wurde mit einem analogen Versuchsaufbau die generelle Beeinflussbarkeit des Klangs und mögliche Schalleinleitungsorte untersucht. Darauf aufbauend wurde ein Konzept zur Beeinflussung mit einem digitalen System entwickelt, bei dem Zielspektren vorgegeben werden, der Klang durch eine entwickelte Ordnungsanalyse ausgewertet wird und die Klangbeeinflussung durch entsprechende digitale Filter eingestellt werden kann.

Im hier vorgestellten Beitrag werden der Versuchsaufbau und Ergebnisse der analogen Beeinflussbarkeit vorgestellt. Das Instrument wird auf einen konstanten Ton gestimmt und das Doppelrohrblatt durch einen mechanischen Anbläser angeregt. Als Referenzsignal für die Beeinflussungskette werden ein Mikrofonsignal und ein Beschleunigungssignal am S-Bogen geprüft. Dabei werden drei unterschiedliche Schalleinleitungsorte untersucht: Einleitung in das 180°-Stiefelrohr, Einleitung in ein halboffenes Schalloch sowie durch das Schallstück des Instrumentes. Es zeigt sich, dass eine Beeinflussung an verschiedenen Einleitungspunkten realisierbar ist. Die deutlichsten Ergebnisse ergeben sich durch die Verwendung des Beschleunigungssensors am S-Bogen und der Einleitung in das 180°-Stiefelrohr.

Poster (Di.-Do.)

Musikalische Akustik

**Trajectory of aloud voice in the Voice range profile, differences between supported (grounded) and habitual voice in voice professionals**M. Fric*HAMU Praha*

For purpose of description differences of grounded and habitual voice in voice professional (N=10) we compared acoustical parameters of voice range profiles (VRP, phonetograms). Pitch position [midi/tone] and RMS [dB] for habitual condition (non-grounded voice) and in condition of grounded voice were measured. We examined respondents for different tasks (reading of standard text in normal loudness and aloud, shouting \*halo\* and shouting Czech word [ma:ma]). Our results show that voice professionals use the voice in the same way in the tasks of gradually raising voice loudness. VRP positions move in the specific line in the whole speaking phonetograms - in so called \*loudness axis\*, both in habitual and grounded voice. There were observed only difference in the beginning point of VRP, which is higher and louder in grounded than in habitual voice.

Poster (Di.-Do.)

Musikalische Akustik

**The contributions of tone spectral components of separate principal chorus stops to the spectra of plena of St. Michaëlskerk organ**P. Dlask*HAMU Praha*

Sounds of the tones of separate principal chorus stops (plena stops) and sounds of the plena were recorded by MARC documentation method (Schnitger's organ in St. Michaëlschurch, Zwolle, the Netherlands). Spectral component levels and frequencies of the plena stops sounds were graphically grouped and linked to the spectral component of plena sounds. The contributions of each partial component to the global spectral components of plena were matched and the changes of the plena sound constitution with pitch were studied. The results for the plena of the 1st manual are presented.

Poster (Di.-Do.)

Psychoakustik

# **Ein Algorithmus zur Vorhersage des Irrelevant Sound Effects**

T. Weissgerber<sup>a</sup>, S. Schlittmeier<sup>b</sup>, S. Kerber<sup>a,c</sup>, H. Fastl<sup>a</sup> und J. Hellbrück<sup>b</sup>

<sup>a</sup>AG Technische Akustik, MMK, TU München; <sup>b</sup>Arbeits-, Umwelt- und Gesundheitspsychologie, KU Eichstätt; <sup>c</sup>jetzt: MRC Institute of Hearing Research

Die verbale Arbeitsgedächtnisleistung wird durch bestimmte Hintergrundschalle signifikant gestört. Beispielsweise kann eine Ziffernfolge unter Sprache oder Staccato-Musik wesentlich schlechter behalten werden als in Ruhe, wohingegen beispielsweise Legato-Musik kaum stört. Da die Hintergrundschalle für die Ziffernfolge keine Relevanz haben, wird dieser Effekt häufig als Irrelevant Sound Effect (ISE) bezeichnet. Zum ISE liegen zahlreiche Daten aus kognitionspsychologischen Experimenten vor.

Im Poster wird - basierend auf der instrumentellen Messung der Hörempfindung Schwankungsstärke - ein Algorithmus vorgestellt, der die Ergebnisse der Experimente zum ISE, also die durch Hintergrundschalle verminderte Behaltensleistung, nachbildet. Als Datenbasis dienten die Leistungsdaten zu etwa 50 Hintergrundschallen, die in kognitionspsychologischen Experimenten an der KU Eichstätt-Ingolstadt gemessen wurden. In über 90% der Fälle kann der Algorithmus diese Ergebnisse im Rahmen der Wahrscheinlichen Schwankungen nachvollziehen.

In einem live-Experiment können sich Besucher des Posters die Versuchsanordnung zum Irrelevant Sound Effect in wenigen Minuten erläutern lassen oder bei etwas mehr Zeit (15 Min) den ISE selbst erleben.

Poster (Di.-Do.)

Psychoakustik

# **Do background noises disturb listeners?**

V. Zuta

*Frankfurt Institute for Advanced Studies (FIAS)*

Main applications for noise reduction are hands-free car kits and headsets (in cars) as well as other speech and voice-entry systems with disadvantageous SNR (Signal to Noise Ratio). Usually the complex disturbing background noise is attenuated as much as possible. But therewith components of the speech signal are suppressed or become inaudible as well. Up to now there is no systematically study to find the limits when a noise gets disturbing for a listener. The pilot study shows that a moderate filter (6

dB) can definitely lead to a better acceptance. A noise that is noticeable and even judged as being loud does not compulsively disturb the speech intelligibility. A noise is judged as less disturbing as long as the components of the speech signal still exist. Even more: The noise level of strongly filtered audio signals (18 dB) with missing speech information was judged as more disturbing as it was the case for less filtered signals. Although the noise was reduced, the felt disturbance does not always get along with the physically measurable disturbance. This study shows how the perception of noise and the conditional disturbance affects the intelligibility and acceptance of speech signals for humans.

Poster (Di.-Do.)

Psychoakustik

### **Untersuchung der Tonotopie im auditorischen Kortex mit funktioneller Magnetresonanztomographie**

D. Wendt und S. Uppenkamp

*Universität Oldenburg, Medizinische Physik*

Die Tonotopie bzw. "Periodotopie" bezeichnet die Zuordnung von Frequenzen bzw. Modulationsfrequenzen zu bestimmten Orten innerhalb der einzelnen Stufen der Hörbahn. In verschiedenen Studien zur Untersuchung tonotoper Karten im auditorischen Kortex des Menschen mit funktioneller Magnetresonanztomographie wurde eine tonotope Organisation nachgewiesen. Die Ergebnisse in der Literatur sind allerdings hinsichtlich Größe und Richtung des Frequenzgradienten nicht eindeutig. In dieser Studie wurden Aktivierungskarten des auditorischen Kortex im Hinblick auf Tonotopie und Periodotopie analysiert. Als Stimuli wurden neben reinen Sinustönen auch amplitudenmodulierte Töne mit periodisch wiederholter, exponentiell abklingender Einhüllender (damped sinusoids, Patterson, 1994, JASA 96, 1409-1418) dargeboten. Diesen Stimuli kann gleichzeitig eine spektrale und zeitlich kodierte Tonhöhe zugeordnet werden. So können zeitliche und spektrale Merkmale unabhängig voneinander variiert werden. Für die reinen Töne wie auch für den Träger der modulierten Töne wurden Frequenzen von 250Hz, 1kHz oder 4kHz verwendet. Die Modulationsfrequenz variiert zwischen 125Hz, 50Hz und 20Hz. Die Stimuli wurden als kurze Melodien dargeboten. Die Ergebnisse zeigen einen tonotopen Gradienten von hohen zu tiefen Frequenzen entlang des Gyrus temporalis transversus, von posterior-medial in antero-lateraler Richtung. Bei der Periodotopie deutet sich ebenfalls ein Gradient an, mit einer Verschiebung des Aktivierungsschwerpunktes in lateraler Richtung

für niedrigere Modulationsfrequenzen. Hier sind die interindividuellen Unterschiede jedoch vergleichsweise groß.

Poster (Di.-Do.)

Psychoakustik

### **Repräsentation von psychoakustischer Maskierung bei modulierten und unmodulierten Störgeräuschen im auditorischen Kortex**

S. Uppenkamp<sup>a</sup>, S.M.A. Ernst<sup>b</sup> und J.L. Verhey<sup>b</sup>

<sup>a</sup> *Universität Oldenburg, Medizinische Physik*; <sup>b</sup> *Universität Oldenburg, AG Neurosensorik*

In einem Beitrag zur DAGA 2007 (Uppenkamp und Ernst, Fortschritte der Akustik - DAGA 2007, S. 569-570) wurde mit funktioneller Magnetresonanztomographie (fMRT) gezeigt, daß globale Pegeländerungen und Änderungen des Signal-Rauschverhältnisses bei konstantem Gesamtpege für einen Testton in maskierendem Rauschen im auditorischen Kortex in räumlich getrennten Regionen repräsentiert sind. Dieser bisherige Hinweis auf unterschiedliche Kodierungsmechanismen für die generelle Lautstärke und für die Hörbarkeit von periodischen Signalen wurde in der nun vorgestellten Studie im Detail weiter untersucht. Als Maskierer wurde neben unmoduliertem Rauschen auch irregulär rechteckförmig amplitudenmoduliertes Rauschen mit einer mittleren Modulationsfrequenz von 40 Hz verwendet. Aus der Psychoakustik ist für vergleichbare Signale bekannt, daß die Mithörschwelle eines Tones für einen solchen komodulierten Rauschmaskierer um bis zu 20 dB besser ist als für unmodulierte Maskierer (comodulation masking release, CMR). Der Vergleich der gemessenen Aktivierungskarten für modulierte und unmodulierte Störgeräusche zeigt, daß die Aktivierung in den Arealen, in denen die Hörbarkeit des Testtones repräsentiert ist, bei gleichem Signal-Rauschverhältnis für modulierte Störgeräusche stärker ist. Dieses Ergebnis wird als physiologisches Korrelat des psychoakustischen CMR-Effektes im Kortex interpretiert.

Poster (Di.-Do.)

Psychoakustik

**Untersuchungen zum Einfluss der Harmonizität auf die Bindung von Frequenzkomponenten mit kohärenten Pegelschwankungen**

J.L. Verhey und W. Zineddin

*Universität Oldenburg, AG Neurosensorik*

Im akustischen Alltag sind wir häufig von einer Vielzahl von Schallquellen umgeben, der Spektren sich überlagern. Die Aufgabe des auditorischen Systems ist es in diesen Situationen, die Signale der Schallquellen zu trennen, um zum Beispiel einem Gespräch an einer belebten Straße zu folgen. Man geht heutzutage davon aus, dass hierzu häufige Eigenschaften natürlicher Signale wie die harmonische Relation oder kohärente Pegelschwankungen ihrer Frequenzkomponenten (Komodulation) genutzt werden. Während die Verarbeitungsmechanismen für nur eine der Eigenschaften (Komodulation oder Harmonizität) schon häufig untersucht wurden, ist wenig darüber bekannt, wie das auditorische System die Kombination der beiden Eigenschaften nutzt. Hierzu werden in diesem Beitrag eigene Messungen vorgestellt, bei denen die Stärke der Bindung von Einzelkomponenten in einer Mischung aus Schmalbandrauschen untersucht wird. Es zeigt sich, ähnlich zu Tonkomplexen, dass die Bindung auch bei Schmalbandrauschen am stärksten ist, wenn die Mittenfrequenzen der Rauschenbänder Teil einer harmonischen Reihe sind. Dieser Effekt ist besonders ausgeprägt, wenn alle Schmalbandrauschen die gleichen Pegelschwankungen aufweisen, also komoduliert sind. Aufbauend auf diesen Messungen wird bei Verdeckungsexperimente mit einer Mischung von Schmalbandrauschen untersucht, ob eine Kombination von Harmonizität und Komodulation auch Auswirkungen auf die Verdeckungsleistung hat.

Poster (Di.-Do.)

Raumakustik

**Volumetric intensity probe in room acoustics**A. Schlesinger<sup>a</sup>, J.T. Fricke<sup>b</sup>, P.N. Klink<sup>b</sup>, A. Siegel<sup>b</sup> und D. De Vries<sup>a</sup><sup>a</sup> *TU Delft, Faculty of Applied Physics*; <sup>b</sup> *TU Ilmenau, Fak. für Elektrotechnik und Informationstechnik*

A sound intensity probe is an excellent means in many fields of acoustics to track acoustical energy flow. In room acoustics this method is rarely applied in practise but is none the less

appealing, e.g., to examine the timing and localization of scattered and diffracted reflections. Unfavourable are common single point measurements, which tend to lack a correct qualitative assessment in the "early", i.e., anisotropic sound field. The reason is attributed to the interference pattern in the scope of early reflections. Our work uses a scalable spherical array by which sound pressure is recorded on the surface of a sphere, using efficient spatial sampling. Based on near-field acoustical holography the sound-pressure is reconstructed on an equally spaced square grid. By calculating the pressure-gradient for each point of the lattice, the intensity vector is reconstructed inside a large volume. In a preliminary approach we simulated and measured the sound field of different rooms using the proposed volumetric intensity probe. The results show the feasibility of the method, exemplified in an application to enhance the insight into the staggering of early reflexions in room acoustics.

Poster (Di.-Do.)

Raumakustik

**Simulation of underground stations - a case study**E. Nowicka<sup>a</sup> und D. Schröder<sup>b</sup><sup>a</sup>*Building Research Institute, Dep. of Acoustics, Warszawa;*<sup>b</sup>*Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen*

Underground stations are usually of non-diffuse and non-Sabine nature, which implies that the simulation of sound propagation in such enclosures cannot be solved by simple equations. However, simulations based on deterministic image sources and stochastic ray - tracing is well suitable for modeling the room acoustical parameters in long enclosures. In this contribution the measurement results of a real underground station in Warsaw are compared to the room acoustical simulation results of a respective 3D-model. The sound field in the underground station is calculated by using two different applications, ODEON and RAVEN, where the problem of material data and particularly the stairs' sound scattering is discussed.

Poster (Di.-Do.)

Signalverarbeitung

**A Real-Time Full-Duplex Environment for Microphone Array Application Development**M. Eichler und A. Lacroix*J.W.Goethe-Univ. Frankfurt/M., Inst. für Angewandte Physik*

Microphone arrays are widely used in applications such as beam-forming, sound field analysis, sound source localization, speaker

tracking, noise cancellation and others. Prototyping such applications requires a suitable hardware and software environment capable of multi-channel, real-time, full-duplex processing of audio data. In our institute, an environment has been developed which runs on a Microsoft Windows XP platform, allowing for real-time evaluation of microphone array filter algorithms. New algorithms can be added to the system by implementing them as a satellite DLL, using a generic C++ programming interface which provides access to any number of input and output channels. Multiple filters can be active at the same time. While receiving signals from a microphone array or virtually playing recorded multi-channel data to the algorithm in real time, parameters can be modified and output signals can be made audible or analyzed using oscilloscope and spectrum analyzer functions. In this paper, the underlying concept of the software is presented along with some application examples.

Poster (Di.-Do.)

Signalverarbeitung

### **Vergleich und Optimierung von akustischen Merkmalsystemen für die automatische Erkennung von Umgebungssituationen**

U. Kordon und T. Hutschenreuther

*TU Dresden, Inst. für Akustik und Sprachkommunikation*

Verfahren zur akustischen Context-Erkennung haben in den vergangenen Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Das wissenschaftliche Interesse war dabei bisher vor allem auf die Auswahl und Optimierung geeigneter Klassifikationsansätze gerichtet. Für die dabei benötigten Objektbeschreibungen wird größtenteils auf Merkmalsysteme zurückgegriffen, die sich in ähnlichen Erkennungsaufgaben zwar als ausreichend tragfähig erwiesen haben, wobei aber eine Einschätzung der Leistungsfähigkeit alternativer Verfahren unter vergleichbaren Bedingungen auf Grund der unterschiedlichen Randbedingungen kaum möglich ist. Der Beitrag befasst sich deshalb mit einem Vergleich verschiedener akustischer Merkmalsysteme und der Optimierung der entsprechenden Analysebedingungen unter ansonsten äquivalenten Bedingungen.



Poster (Di.-Do.)

Signalverarbeitung

**Approximation of Piano Music with Exponential Damped Sinusoids**M. Spiertz*Institut für Nachrichtentechnik - RWTH Aachen*

A piano tone can be modeled as a short attack phase and a long decay of the string vibrations. This structure motivates an approximation by a sum of exponential damped sinusoids (EDS). EDS can be described by a small number of parameters.

The EDS are extracted by a Matching Pursuit (MP) algorithm. In opposite to existing MP algorithms the dictionary is adapted to the signal properties at each iteration. The spectrogram is used for selecting frequency-bins with high energy and estimating the corresponding decays and onsets to initialize the dictionary. Finally a least-squares optimizer is applied to the parameters to find the best fitting dictionary element.

The algorithm is applied to single piano tones as well as to piano music. It can be shown that a large amount of signal energy can be expressed by EDS and therefore by a small set of parameters. This compact signal approximation can be useful in typical audio processing tasks, such as music transcription or parameter-based audio coding.

Poster (Di.-Do.)

Signalverarbeitung

**Vergleich akustischer Quellenortungsverfahren für Sprachsignale in Räumen**T. Fehér und M. Lippmann*TU Dresden, Inst. für Akustik und Sprachkommunikation*

In diesem Beitrag werden 3 verschiedene akustische Quellenortungsverfahren für mehrkanalige Mikrofonanordnungen in realen Räumen mit einander verglichen. Die verwendeten Verfahren sind Generalized Cross Correlation (GCC), Steered Response Power (SRP) und Multiple Signal Classification (MUSIC). Es werden verschiedene Szenarien simuliert und im Anschluss ein Vergleich der Algorithmen mit realen Signalen vorgenommen. Die Anordnung der Mikrofone ist bei Simulation und Messung gleich, um eine gute Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Als Quellsignale kommen aufgezeichnete Sprachsignale zum Einsatz. Für die Messung wurden dieselben Sprachsignale mit gemessenen Raumimpulsantworten gefaltet.

Poster (Di.-Do.)

Signalverarbeitung

**Mikrofon mit entfernungsabhängiger Selektivität**D. Richter*TU Dresden, Inst. für Akustik und Sprachkommunikation*

Von einer punktförmigen Schallquelle (in Näherung auch Sprecher oder Sänger) nimmt der Schalldruck mit der Entfernung mit  $1/r$  ab. Die Schallschnelle dagegen verringert sich mit  $1/r^2$  solange, bis der Schalldruckpegel gleich dem Schallschnellepegel ist. Wird mit einem Mikrofon gleichzeitig zum Schalldruck die Schallschnelle aufgenommen, kann aus einem Vergleich von Schallschnellepegel mit dem Schalldruckpegel eine Abschätzung des Abstandes des Mikrofons zur Schallquelle erfolgen. Bei mehreren Schallquellen können mit digitaler Signalverarbeitung die Mikrofonsignale in ihre spektralen Anteile zerlegt werden und diese entsprechend der ermittelten Entfernung zur Schallquelle bewertet werden. Die Mikrofonsignale von Schallquellen im Nahbereich des Mikrofons können damit von Schallquellen aus größere Entfernung getrennt werden.

Poster (Di.-Do.)

Sprachverarbeitung

**Modellbasierte Sprachsegmentierung**T. Herbig, O. Gaupp und F. Gerl*Harman/Becker Automotive Systems*

Der Einsatz automatischer Spracherkennung in einer stark gestörten Umgebung erfordert eine robuste Segmentierung der aufgenommenen Äußerungen in Sprache des Benutzers und überlagerter Hintergrundgeräusche. Die Bestimmung von Anfang und Ende einer Äußerung reduziert im Training die Empfindlichkeit des Spracherkenners gegenüber der Charakteristik der Störung und ermöglicht zur Laufzeit eine höhere Erkennungsrate. Viele bestehende Verfahren basieren auf einer Bewertung des zeitlichen Verlaufs der Signalenergie sowie der Sprachgrundfrequenz. Ein typisches Szenario stellt die Bedienung eines Spracherkenners in einer verhallten Umgebung mit einem Benutzer im Vordergrund des Systems umgeben von interferierenden Sprechern im Hintergrund dar. Mit den bestehenden Verfahren können derartige Störungen bei geringem Signal-zu-Rausch Abstand nicht mehr zuverlässig vom aktuellen Benutzer unterschieden werden, da diese nicht über a priori Wissen über den Benutzer beziehungsweise den akustischen Hintergrund verfügen. Es wird ein Algorithmus zur Segmentierung basierend auf einer statistischen Modellierung von Sprache unterschiedlicher Benutzer

sowie Störungen im Hintergrund vorgestellt. Realisiert wird dieses Verfahren durch Gaußsche Mischverteilungen (GMMs), die für verschiedene Umgebungen trainiert und zur Laufzeit auf den akustischen Hintergrund adaptiert werden. Durch geeignete Normierung der Likelihood sowie einer Nachverarbeitung wird eine zuverlässige Segmentierung mit geringer Verzögerung erreicht.

Poster (Di.-Do.)

Virtuelle Akustik

### **Efficient Asynchronous Resampling of Audio Signals for Spatial Sound Rendering of Mirror Image Sources**

C. Borß

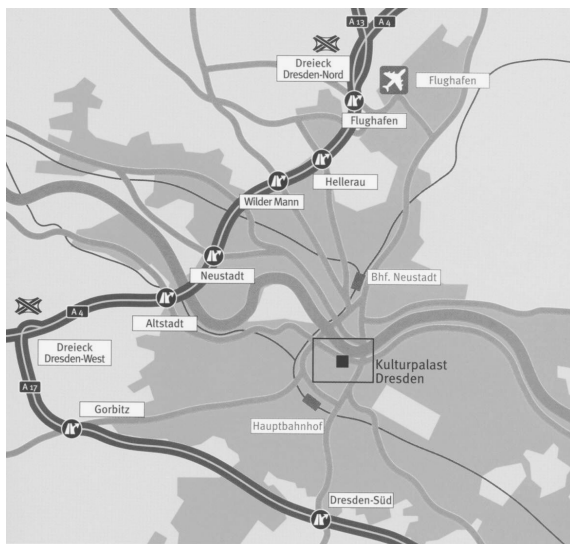
*Ruhr-Universität Bochum, Inst. für Kommunikationsakustik*

Mirror image models are widely used for auditory virtual environments (AVEs) to render early reflections. Among other things the simulation of this early reverberation takes the sound propagation delay of the mirror image sources into account. For a moving receiver or moving sound sources the propagation delays are a function of time. An asynchronous sample-frequency converter can be used to implement this variable propagation delay and thus can also take the Doppler shift into account. Although the Doppler shift may be below perception threshold for slow movements, an asynchronous resampling of all mirror image signals is necessary to avoid processing artifacts. Such artifacts emerge when a block-based signal processing model is used and the propagation delay is determined only once per block.

The parallel structure of the mirror image signal processing model can be exploited to reduce the computational complexity of the asynchronous sample-frequency converter. We propose a hybrid converter which transforms in a first stage the input signal into a parameter space in which a second stage can compute sub-sample values with few operations. The proposed converter which was implemented for a newly developed AVE generator yields low signal distortion with low computational complexity.

## Lagepläne

### Anreise zum Kulturpalast Dresden



(Detailkarte: siehe nächste Seite)

#### Anreise mit der Bahn:

- Hauptbahnhof Dresden (Entfernung des Tagungsortes ca. 1 km), Straßenbahn 3, 7, 8 und 11 in Richtung Zentrum
- Bahnhof Dresden-Neustadt (Entfernung ca. 2 km), Straßenbahnlinie 11 Richtung Zentrum

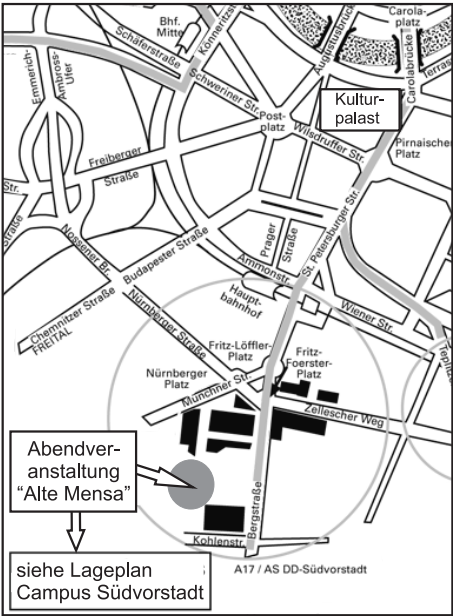
#### Anreise per Flugzeug:

- Flughafen Dresden-Klotzsche (Entfernung ca. 9 km), Verkehrsanbindung: Bus/Shuttle, Taxi
- Moderne S-Bahn-Züge verbinden den Flughafen direkt mit der Innenstadt, eine Fahrt dauert 30 Minuten

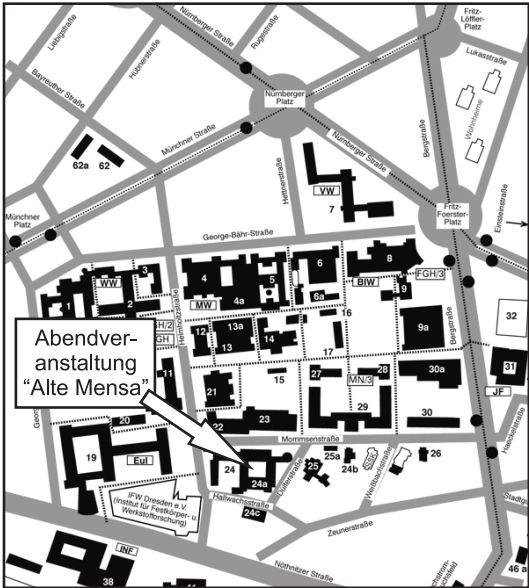
#### Anreise per PKW:

- Autobahnabfahrt A 4, Dresden-Hellerau (Entfernung ca. 8 km), weiter über die E 55, weiter über die B 6
- Autobahnabfahrt A 4, Dresden-Altstadt (Entfernung ca. 5 km), weiter über die B6
- Autobahnabfahrt A 17, Dresden-Süd (Entfernung ca. 8 km)
- Die Anfahrt erfolgt über: Pirnaischer Platz, Wilsdruffer Straße, vor dem Kulturpalast rechts in Galeriestraße abbiegen

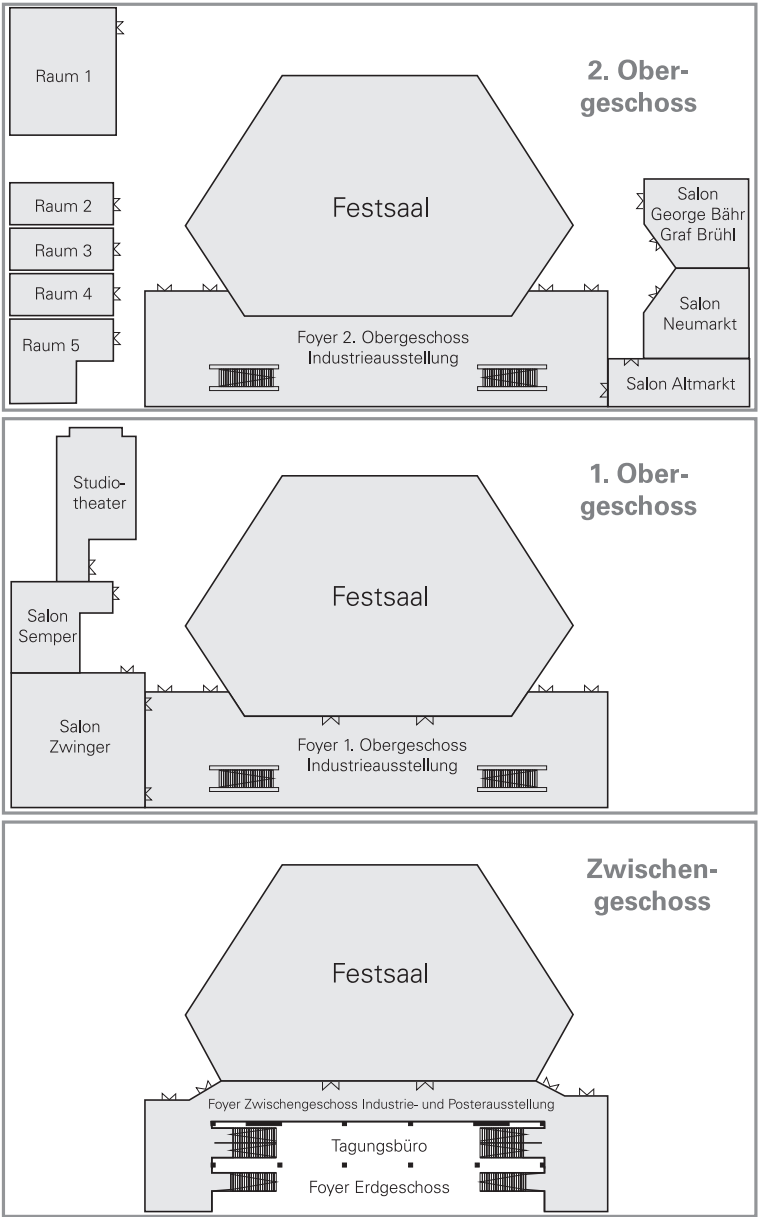
Lage des Kulturpalastes und Anfahrt zur „Alten Mensa“



Lageplan Campus Südvorstadt



Lageplan der Tagungsräume im Kulturpalast



# Verzeichnis der Autoren

Abbühl, F. ....	73, 164	Bauer, P. ....	201
Abesser, J. ....	177	Bauers, R. ....	324
Adachi, S. ....	102	Baumann, S. ....	171, 172
Ahnert, W. ..	48, 89, 152, 192	Baumann, U. ....	308
Ahrens, J. ....	107, 109	Baumgart, J. ....	105, 311
Alberts, O. ....	195	Baumgartner, W.-D. ....	87
Albrecht, S. ....	281	Baures, L. ....	260
Ali, I. ....	232, 232	Bay, K. ....	323
Altinsoy, E. ....	37, 184, 184	Becker, B. ....	285
Anderssohn, R. ....	65, 159	Becker, F.J. ....	224
Anemüller, J. ....	282	Becker, S. ....	232, 232, 321
Angster, J. ....	100, 101, 102, 102	Becker, T. ....	80
Appelt, D. ....	174	Becker-Schweitzer, J. ....	125
Aretz, M. ....	64	Bednar, T. ....	248
Armbruster, R. ....	254	Beer, D. ....	90
Arndt, C. ....	314	Behler, G. ....	91, 280, 284
Arndt, R. ....	258	Behrendt, R. ....	57
Arnold, F. ....	324	Behrens, T. ....	48
Arnold, W. ....	319	Beitelschmidt, M. ....	56
Assenmacher, I. ....	284	Beitz, T. ....	125
Auspitzer, T. ....	59	Bellmann, M. ....	185
Baars, R. ....	320	Bendel, K. ....	296
Bach, J.-H. ....	282	Bendjus, B. ....	320
Bacher, S. ....	138	Berton, A. ....	43
Bachner, B.K. ....	196	Bethke, C. ....	133, 134
Back, T. ....	298	Betke, K. ....	273
Backhaus, S.-G. ....	334	Bietz, H. ....	135, 253
Bader, R. ....	210	Blau, M. ....	306
Bahr, L. ....	206	Blauert, J. ....	33
Ballagh, K. ....	51	Bless, M. ....	59
Bansal, M. ....	152	Bockhorn, H. ....	115
Bard, D. ....	153, 154	Bodden, M. ....	45, 45
Bardossy, G. ....	114	Böck, M. ....	235
Barth, M. ....	330	Böhme, S. ....	145
Bartolomaeus, W. ...	271, 272	Bös, J. ....	141
Basten, T. ....	295	Bojar, H. ....	333
Bastian, J. ....	70	Bollmann, W. ....	253
Bastuck, C. ....	176, 177	Boone, M.M. ....	74
Bauer, M. ....	229	Bopp, U. ....	97

Bork, I. ....	48	Dahlinger, S. ....	124
Borß, C. ....	345	Damm, D. ....	175
Borsch-Galetke, E. ....	333	Dannemann, M. .	59, 120, 324
Bossy, E. ....	62	Dantscher, S. ....	99
Bossy, L. ....	62	Dau, T. ....	86, 215, 218
Braasch, J. ....	38	De Bree, H.-E. .	293, 294, 295, 295
Bradter, C. ....	81, 290	De Langhe, K. ....	158
Brand, J.-F. ....	118	De Vries, D. ...	109, 110, 188, 340
Braun, E. ....	168, 169	Deutsch, W. ....	70
Brecht, D. ....	266	Dierke, J. ....	71
Brennberger, M. ....	270	Dietrich, P. ....	51
Brick, H. ....	159	Dietz, M. ....	216
Bruderer, M. ....	170	Dietzel, R. ....	300, 300
Brühl, S. ....	154	Dittmar, C. .	176, 177, 177, 178
Brunner, D. ....	156, 157	Diask, P. ....	336
Bruns, T. ....	207	Döbler, D. ....	55
Buchholz, J.M. ....	85	Dolezal, F. ....	248
Buchschmid, M. ....	119	Doll, T. ....	146
Bütikofer, R. ....	136	Domke, M. ....	329
Bunk, O. ....	272	Drepper, F.R. ....	77
Buogo, S. ....	225	Droste, B. ....	271
Burgschweiger, R. ....	264	Dubovski, Z. ....	100
Buss, S. ....	125	Dyrbusch, S. ....	193
Busse, G. ....	317	Dzida, M. ....	329
Busse, S. ....	237	Eberle, M. ....	270
Cabos, C. ....	157	Eckel, J. ....	173
Callsen, S. ....	268	Ehrlich, J. ....	265
Cassereau, D. ....	62	Eichenlaub, C. ....	260, 261
Cebulla, M. ....	310	Eichler, M. ....	341
Cempa, M. ....	329	Eisele, G. ....	47
Chalupper, J. ....	217	Eisenmann, M. ....	301
Chen, Z. ....	160	Elberling, C. ....	310
Chiu, M.-C. ....	69	Engel, G. ....	132
Christensen, E.C. ....	285	Engelhard, R. ....	172
Chudalla, M. ....	271, 272	Enghardt, L. ...	112, 116, 142, 237, 238, 322
Ciba, S. ....	202	Enzner, G. ....	245
Clasen, D. ....	63	Epp, B. ....	214
Clausen, M. ....	174, 175	Ernst, S.M.A. ....	82, 339
Corinth, G. ....	103	Ertl, M. ....	65
Corteel, E. ....	108	Ewert, R. ....	71
Cosandey, L. ....	163		
Côté, N. ....	197, 199, 202		
Cugnet, M.-F. ....	62		



Ewert, Sebastian	174	Gabbert, U.	66
Ewert, Stephan	215, 216	Gabi, M.	114
Eyben, F.	173	Gädicke, W.	129
Faccinelli, E.	187	Gaul, L.	156, 157, 296
Fallen, M.	118, 127, 127	Gaupp, O.	344
Fastl, H.	111, 150, 187, 187, 308, 337	Gautier-Turbin, V.	199
Fedtke, T.	203, 310	Geier, M.	107
Fehér, T.	343	Geiser, B.	201
Fehse, K.-R.	56	Genender, P.	47
Feistel, S.	89, 152, 192	Georg, C.	279
Feldmann, U.	104	Gerbige, C.	259
Fels, J.	305	Gerhard, H.-M.	147, 256
Fichtel, C.	252	Gerl, F.	344
Fiebig, A.	315	Gerretsen, E.	250
Figula, U.	209	Getzmann, S.	180, 181
Finder, E.	192	Geyer, T.	234
Fingerhut, H.-P.	150	Gibbs, B.	96, 138
Fingerhuth, S.	85	Gierlich, H.W.	131
Fingscheidt, T.	130, 201	Giesler, J.	236
Finsterhölzl, H.	148	Gillard, M.	136
Fischer, A.	238	Ginn, K.B.	47
Fischer, F.	167	Glink, A.	111
Fischer, H.-M.	96, 138, 251, 251, 252	Glugla, M.	147
Fischer, R.-L.	129, 180	Goebel, J.	30, 33
Fleischer, H.	104	Goertz, A.	92, 92, 93
Fleischer, M.	311	Goetze, S.	280
Flückiger, B.	32	Goossens, S.	195
Flurschütz, T.	279	Goupell, M.	87, 87, 289
Foken, W.	121	Grabinger, J.	232
Franke, R.	283	Groß, E.	72
Fredelake, S.	308	Groß, L.	298
Freed, A.	211	Groth, M.	131
Fremerey, C.	175	Grothe, T.	105
Fric, M.	336	Gruber, C.	244
Fricke, J.T.	340	Gruhler, G.	183
Friebe, S.	59	Gruhne, M.	178
Friedrich, H.	222	Grundmann, R.	105, 106
Friedrich, P.	279	Grützmaker, V.	125
Fröb, T.	171	Gündel, A.	144
Fuchs, H.V.	166	Güttes, J.	315
Fuß, S.	61	Guillemard, M.	179
		Habisreuther, P.	115
		Häb-Umbach, R.	247

Häusler, S. ....	144	Hoge, K. ....	104
Haferburg, B. ....	240	Hohenberger, T. ....	293
Hahn, C. ....	232, 232, 321	Hohmann, B.W. ....	313
Haindl, K. ....	235	Hohmann, V. ....	31, 216, 312
Hammelmann, F. ....	168, 169	Holewa, A. ....	322
Hansen, M. ....	308, 312	Holstein, P. ....	329
Hardtke, H.-J. ...	65, 152, 311	Holsteins, F. ....	221, 224
Hasford, B. ....	111	Holtz, F. ....	138
Haverkamp, M. ....	186	Holtzhausen, S. ....	120
Heeg, S. ....	191	Holub, J. ....	76
Heinrichs, R. ....	45, 45	Holube, I. ....	308
Heintze, F. ....	335	Horst, H.-G. ....	296
Heise, S. ....	83	Huber, B. ....	161
Heisel, U. ....	298	Hudde, H. ....	214, 307, 309
Hellbrück, J. ....	337	Hübelt, J. ....	296
Hensel, J. ....	310	Hübner, G. ....	304
Henze, W. ....	54	Hüppe, A. ....	60
Herbig, T. ....	344	Hufenbach, W. ..	59, 120, 324
Herr, M. ....	233	Humer, C. ....	140
Herrenkind, M. ....	240	Hundek, C. ....	54
Herrmann, J. ....	296	Hutschenreuther, T. ....	342
Hervella-Nieto, L.M. ....	61	Iffland, B. ....	59
Hess, W. ....	243	Ingold, K. ....	163
Hessinger, J. ....	138	Irrgang, S. ....	193
Hettel, M. ....	115	Jäckel, R. ....	75
Heute, U. ....	79, 244	Jakob, A. ....	335
Heuwinkel, C. ....	237	Jalics, K. ....	258
Hilge, C. ....	289	Janardhanan, D. ....	244
Hillenbrand, J. ....	190	Janssen, E. ....	141
Hiltbrunner, D. ....	73	Jekosch, U. ....	33
Hilz, G. ....	255	Jenderka, K.-V. ...	205, 218, 310
Hintzsche, M. ....	276	Jepsen, M.L. ....	218
Hinze, F. ....	223	Jezerkowsky, M. ....	100
Hirsch, C. ....	117	Joiko, K. ....	165
Hirsch, K.-W. ..	168, 169, 274, 275	Jung, C. ....	222
Hirschfeld, D. ....	244	Jung, O. ....	125
Hirsekorn, S. ....	319	Junge, M. ....	156, 157
Hobohm, K. ....	81, 290	Kalivoda, M. ....	257
Höldrich, R. ....	141	Kallinger, M. ....	280
Hoever, C. ....	95	Kaltenbacher, M. ....	60, 206, 232, 232, 321
Hof, C. ....	207	Kameier, F. ....	228
Hoffmann, R. ....	302	Kammer, H.-J. ....	118

Kammeyer, K.-D. ....	280	Krüger, J. ....	121
Kappelmann, M. ....	308	Krüger, L. ....	260
Kauba, M. ....	141	Kruk, R. ....	334
Kerber, S. ....	150, 337	Krump, G. ....	292
Kerketsos, P. ....	85	Kuhl, S. ....	97
Kern, M. ....	294	Kuhn-Rahloff, C. ....	108
Kettler, F. ....	193, 194, 200	Kunadt, A. ....	41
Kitzenmaier, P. ....	248	Kuntz, A. ....	108
Klasmeyer, G. ....	240	Kurth, F. ....	174, 175
Klemmer, M. ....	283	Kurtze, L. ....	297
Kletschkowski, T. ...	143, 145, 145, 155	Kurz, R. ....	255
Kling, C. ....	253	Kurz, T. ....	226, 227
Klink, P.N. ....	340	Kurze, U. ....	321
Klippel, W. ....	42, 89, 111	Kuwano, S. ....	187
Klug, R. ....	324	Laback, B. ....	87, 87, 289
Kluiber, F. ....	57	Lacroix, A. ....	79, 341
Knauß, D. ....	276	Lamparter, H. ....	50
Kob, M. ....	280	Landauer, C. ....	194
Koch, C. ....	218	Landes, H. ....	65
Kochan, K. ....	145	Landgraf, J. ....	300
Köhler, B. ....	320	Lang, H. ....	235
Köhler, J.O.A. ....	278	Langer, S. ....	63
Költzsch, P. ....	29, 305	Laumann, K. ....	283, 292
König, F.M. ....	189	Lauterborn, S. ....	221
Köpke, W. ....	310	Lauterborn, W. ...	220, 224, 225, 226, 227
Koers, A. ....	293	Leckschat, D. ....	283, 327
Kohlrausch, A. ....	170, 303	Leistner, P. ....	323, 333
Kohnen, G. ....	277	Lemke, O. ....	142
Kohrs, T. ....	95	Lenz, U. ....	98
Kolbe, F. ....	324	Lerch, R. ....	206, 219
Kollmeier, B. ....	312	Leschka, S. ....	40
Konkel, F. ....	335	Letens, U. ....	124
Koopmans, F. ....	59	Lewald, J. ....	181
Kopycinska-Müller, M. ....	320	Liebing, R. ....	331
Korany, N. ....	132	Liechti, M. ....	73
Kordon, U. ....	342	Lievens, M. ....	137
Krahé, D. ....	213	Lindau, A. ....	283
Kreuter, D. ....	65	Link, G. ....	321
Kreuzer, W. ....	80, 267, 267	Link, J. ....	327
Kröniger, D. ....	227	Lippert, A. ....	221
Kroschel, K. ....	246	Lippert, S. ....	151
Krüger, A. ....	247	Lippmann, M. ....	343

Lips, W. ....	328	Merz, A. ....	278
Löbe, L.-P. ....	302	Mettin, R. 220, 221, 224, 225,	227
Löschke, H. ....	209	Meunier, N. ....	259, 261
Lohrmann, M. ....	293	Meyendorf, N. ....	320
Lorenz-Kierakiewicz, K.-H. 50,	53	Meyer, J. ....	49
Lorenzen, A. ....	162	Michel, U. ....	237
Lott, F. ....	111	Miklós, A. ....	101, 102, 102
Ludwig, S. ....	326	Milz, H.-J. ....	196
Luegmair, M. ....	332	Miranda, L. ....	122
Lüthi-Freuler, N. ....	163	Miron, R. ....	192
Maas, R. ....	222	Möller, M. ....	172
Machmer, T. ....	246	Möller, S. ....	197, 198, 199
Machner, R. ....	286, 287	Moeser, C. ....	154
Madsack, A. ....	78	Möser, M. ....	142, 152, 335
Maempel, H.-J. ....	202, 291	Mohr, J. ....	331
Majdak, P. ....	87, 87, 289	Moldrzyk, C. ....	92, 92, 93
Makarski, M. ....	92, 92, 93	Moosmayr, T. ....	240
Manners, A.P. ....	156, 230	Moreau, A. ....	112
Marburg, S. . 61, 65, 144, 152,	159	Mores, R. ....	81, 211, 212
Markiewicz, M. ....	122	Müller, G. ....	119, 157
Marszalek, T. ....	202	Müller, M. ....	174, 174, 175
Martin, H. ....	250	Müller, O. ....	69
Masiero, B. ....	140	Müller, Stefan ....	321
Matousek, V. ....	241, 281	Müller, Stella ....	211
Matuschek, R. ....	273	Müllner, H. ....	140
Maue, J.H. ....	100	Myck, T. ....	257
Mauer, G. ....	123	Nam, J.-W. ....	230
Mauermann, M. ....	83	Namba, S. ....	187
Mayer, D. ....	141	Nascimento, V. ....	140
Mayr, A.R. ....	138	Naumann, A. ....	182
McKinney, M. ....	169, 170	Neise, W. ....	142
Mees, P. ....	50	Nerche, R. ....	194
Mehnert, D. ....	300	Nestorovic, T. ....	241
Meinecke, C. ....	129	Nettelbeck, C. ....	46
Melchior, F. ....	110, 188	Neumann-Heyme, H. ....	159
Meloni, T. ....	163	Nicolai, M. ....	121
Menk, J. ....	73	Niehoff, W. ....	299
Menzel, D. ....	187	Nielsen, T.G. ....	47
Merchel, S. ....	184, 184	Nightingale, T. ....	250
Merkel, T. ....	192	Nocke, C. ....	131, 289
Mertins, A. ....	280	Noesselt, T. ....	179
		Noisternig, M. ....	91, 141

Nolte, B. ....	264	Pluta, A. ....	225
Nosko, M. ....	295	Pörschmann, C. ....	58
Notbohm, G. ....	66	Pollow, M. ....	91
Nowak, S. ....	176	Pondrom, P. ....	190
Nowak, T. ....	221, 224, 227	Poschen, S. ....	193, 200
Nowicka, E. ....	341	Postema, M. ....	224
Nsabimana, F.X. ....	179	Pott-Pollenske, M. ....	231
Nürnberger, A. ....	171	Prager, J. ....	269
Oberdanner, H. ....	306	Presle, G. ....	257
Ochmann, M. .	116, 159, 264,	Pribil, J. ....	74
	264	Pribilová, A. ....	74
Öhler, S. ....	331	Priebsch, H.-H. ....	258
Oestreicher, L. ....	278	Prisack, B. ....	333
Opfer, H. ....	294	Probst, W. ....	160, 161, 162
Opitz, M. ....	235	Raabe, A. ....	330
Orglmeister, R. ....	248	Raake, A. .	36, 197, 198, 199,
Orrenius, U. ....	56		199, 200, 202
Otcenasek, Z. ....	106	Rabe, U. ....	30, 319
Otten, J. ....	129	Rabenstein, R. ....	108
Otto, A. ....	221	Rabold, A. ....	137, 138
Pankau, J. ....	262	Rader, T. ....	187, 308
Pantle, I. ....	114	Ramirez, J.-P. ....	198
Parizet, E. ....	85	Rank, E. ....	137
Parlitz, U. ....	225	Rasumow, E. ....	312
Paschereit, C.O. ....	116	Rath, M. ....	183
Pauls, M. ....	245	Ratschko, D. ....	203
Paulsen, R. ....	98	Rau, C. ....	50
Pazos, D. ....	333	Rausch, J. ....	125
Peiffer, A. ....	154, 269	Reichl, C. ....	235
Pellegrini, R. ....	108	Reining, F. ....	235
Pestalozzi, H. ....	163	Reiter, U. ....	38, 181
Peter, A. ....	197	Remmers, H. ....	273
Petersson, B.A.T. .	94, 95, 269	Rennies, J. ....	216
Pfaffelhuber, K. ....	126	Reuter, F. ....	220
Pfeifer, C. ....	116	Reuter, S. ....	284
Pfeifer, G. ....	41	Ribeiro, F. ....	140
Pfennig, J. ....	324	Richter, A. ....	62, 106
Pichot, F. ....	47	Richter, C. ....	237
Piechowiak, T. ....	215	Richter, D. ....	300, 344
Pies, K. ....	127, 127	Rieder, H. ....	257
Piorr, D. ....	167	Rigoll, G. ....	173, 240
Piscoya, R. ....	116	Ringwelski, S. ....	66
Pitsch, S. ....	100	Ritterstaedt, U. ....	163

Röhle, I. ....	237, 238	Schönacher, P. ....	57
Rohdenburg, T. ....	312	Schönle, M. ....	130
Rohrer, N. ....	193, 194	Schoenwald, S. ....	250
Roman, K. ....	291	Scholl, W. ....	135, 254
Ruckstuhl, P. ....	131	Schorn, J. ....	149
Rüth, M. ....	45, 45	Schram, C. ....	229
Ruff, A. ....	251	Schröder, D. ....	36, 284, 341
Rupp, D. ....	319	Schucht, C. ....	242
Sabrautzky, C. ....	81	Schucker, M. ....	327
Sachau, D. ....	143, 145, 145, 155	Schuller, B. ....	173, 240
Sandberg, G. ....	153, 154	Schulte-Fortkamp, B. ....	128, 316
Sankowsky, T. ....	306	Schultz-von Glahn, M. ....	273
Sarradj, E. ....	234, 236, 238	Schulz, D. ....	67
Sattelmayer, T. ....	117	Schulz, R.-K. ....	147
Schäfer, C. ....	278	Schulze, C. ....	296
Schäfer, F. ....	321	Schwarz, J. ....	79, 244
Schäfer, I. ....	263	Sedlbauer, K. ....	333
Schanz, D. ....	226	Seeber, B. ....	291
Scheck, J. ....	96, 252	Segaert, P. ....	158, 229
Scheit, C. ....	232	Seidler, H. ....	112
Scherr, M. ....	292	Seipelt, S. ....	157
Scheuren, J. ....	302	Sellerbeck, P. ....	46
Schiema, H. ....	301	Sentpali, S. ....	127, 127
Schirmacher, R. ....	320	Sepahvand, K. ....	152
Schirmer, W. ....	325	Sessler, G. ....	190
Schlaak, H.-J. ....	207	Siegel, A. ....	340
Schlachter, I. ....	167	Siegmann, S. ....	333
Schlechter, J. ....	111	Siegmund, K. ....	333
Schleichardt, A. ....	330	Sielaff, T. ....	88
Schleicher, R. ....	182, 183	Simanowski, K. ....	143
Schleinzer, G. ....	258	Skowronek, J. ....	169
Schlesinger, Anton ...	74, 340	Skvor, J. ....	190
Schlittmeier, S. ....	337	Skvor, Z. ....	190
Schlüter, R. ....	77	Sobotta, R. ....	222
Schmeder, A. ....	91	Solodov, I. ....	317
Schmelzer, M. ....	133	Sommerfeld, M. ....	133
Schmidt, S. ....	307, 309	Sonnerup, J. ....	153, 154
Schmidtke, E. ....	326	Sontacchi, A. ....	211
Schmiegelow, C. ....	308	Sottek, R. ....	123
Schneider, M. ....	251	Spannaus, P. ....	94
Schnell, K. ....	79	Spehr, C. ....	113
Schnelle, F. ....	255	Spiertz, M. ....	343
Schnitker, R. ....	280		

Spors, S. . . . .	107, 107, 109, 200, 202	Urban, W. . . . .	221
Stange-Kölling, S. . . . .	135	Uygun, A. . . . .	288
Starke, E. . . . .	41	Van de Par, S. . . . .	169
Steinbrecher, T. . . . .	93	Van den Boogaart, G. . . . .	187
Steinert, K. . . . .	130	Van Dorp Schuitman, J. . . . .	109
Stiller, J. . . . .	62	Vary, P. . . . .	201
Stirnemann, A. . . . .	306	Vassileva, S. . . . .	197
Stober, S. . . . .	171	Vercammen, M. . . . .	50, 53, 53
Storm, R. . . . .	326	Verhey, J.L. . . . .	82, 83, 214, 216, 339, 340
Strasser, H. . . . .	69	Vich, R. . . . .	76
Strauß, M. . . . .	34, 191	Vicinus, P. . . . .	248
Strelcyk, O. . . . .	86	Völk, F. . . . .	111
Striegler, A. . . . .	320	Vogelsang, B. . . . .	257, 274
Strobel, J. . . . .	219	Vokurka, K. . . . .	225
Stürzebecher, E. . . . .	310	Volkenborn, D. . . . .	147
Stütz, M. . . . .	264	Volz, R. . . . .	262
Suhadi, S. . . . .	130	Von Estorff, O. . . . .	61, 104, 122, 151, 268
Swerdlow, A. . . . .	246	Von Heesen, W. . . . .	235
Täger, O. . . . .	59, 120, 324	Von Karstedt, W.-C. . . . .	104
Täubner, A. . . . .	207	Von Türckheim, F. . . . .	212
Tapken, U. . . . .	116, 322, 324	Vondra, M. . . . .	76
Telsnig, M.-R. . . . .	141	Vorländer, M. . . . .	36, 305
Teuber, W. . . . .	165	Wältermann, M. . . . .	197, 198, 199
Tewes, S. . . . .	154	Wagner, M. . . . .	221
Theile, G. . . . .	35, 283, 292	Walter, F. . . . .	132
Thiele, F. . . . .	237	Warsitz, E. . . . .	247
Thoden, D. . . . .	334	Waubke, H. . . . .	267, 267
Thomann, G. . . . .	72	Weber, L. . . . .	139, 249, 331, 333
Tiesler, G. . . . .	286, 287	Weber, M. . . . .	155
Tijs, E. . . . .	294, 295	Weber, R. . . . .	125, 185, 331
Tilser, W. . . . .	235	Wechsung, I. . . . .	182
Tinter, M. . . . .	261	Wefers, F. . . . .	285
Töpken, S. . . . .	185	Weinzierl, S. . . . .	39, 283, 291
Tomíška, O. . . . .	76	Weißing, H. . . . .	41
Trautmann, U. . . . .	163	Weiss, H. . . . .	79
Treiber, A. . . . .	183	Weissgerber, T. . . . .	337
Trommer, T. . . . .	101, 102	Welti, A. . . . .	68
Tschakert, R. . . . .	94	Wendt, D. . . . .	338
Uffinger, T. . . . .	321	Wenterodt, C. . . . .	61
Uhl, F. . . . .	126	Weser, R. . . . .	223
Uppenkamp, S. . . . .	82, 84, 338, 339	Wessely, B. . . . .	223

Weyermann, F. ....	117	Wschiansky, S. ....	164
Wickern, G. ....	270	Yang, J. ....	156
Wierstorf, H. ....	84	Yarin, Y. ....	311
Wik, T. ....	101	Yntema, D. ....	295
Wild, J. ....	231	Zaleski, O. ....	122
Wilkens, V. ....	204	Zangers, J. ....	275
Williams, R. ....	47	Zechel, G. ....	56
Wilsdorf, M. ....	274, 330	Zeibig, A. ....	56
Wißmann, L.-G. ....	227	Zhang, F. ....	115
Witew, I. ....	51, 52	Zhykhar, A. ....	191
Wittek, G. ....	317	Ziegenhals, G. ....	208
Wittek, H. ....	35	Ziemann, A. ....	274
Wittstock, V. ...	134, 135, 135, 203, 253	Zineddin, W. ....	340
Wöllmer, M. ....	240	Zipser, L. ....	197, 318
Wokurek, W. ....	78	Zölzer, U. ....	179
Wolf, B. ....	279	Zorebski, E. ....	329
Wolff, K. ....	47	Zotter, F. ....	91, 211
Wolff, M. ....	42	Zuta, V. ....	337



**DAGA 2008 - Anmeldung zur Teilnahme** (ohne Vortrag)

Für jede teilnehmende Person bitte jeweils ein Formular verwenden.

Titel, Vorname, Name: \_\_\_\_\_

Anschrift: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

E-Mail: \_\_\_\_\_

**Tagungsgebühr**

Zutreffende Gruppe gemäß Tabelle auf Seite 26 wählen und ankreuzen:

Gruppe: ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7

Früh-/Spätbucher: ☐ früh ☐ spät

Tagungsband zusätzlich gedruckt: ☐ (Aufpreis 50,- €)

Tagungsgebühr: \_\_\_\_\_ €

**Zahlungsweise** (Zutreffendes bitte ankreuzen):

- ☐ Ich ermächtige die DEGA e.V., den von mir zu entrichtenden Beitrag zur DAGA 2008 zu Lasten meines Kontos in Deutschland

Konto-Nummer: \_\_\_\_\_

bei: \_\_\_\_\_ Bankleitzahl: \_\_\_\_\_

mittels Lastschrift einzuziehen.

- ☐ Ich überweise den Beitrag auf das Konto der DEGA e.V.

Nr.: 108 372 01 **08**

Oldenburgische Landesbank, BLZ 280 200 50

Bitte geben Sie auf dem Überweisungsträger unbedingt an, für welche Person die Anmeldung gilt.

- ☐ Ausland: Zahlung per Kreditkarte:

☐ Eurocard/Mastercard

☐ Visa

☐ American Express

Karten-Inhaber: \_\_\_\_\_

Verfallsdatum: \_\_\_\_\_

Karten-Nummer: \_\_\_\_\_

Datum und Unterschrift: \_\_\_\_\_

**Senden Sie bitte das ausgefüllte Formular an:**

DEGA e.V., Geschäftsstelle

Voltastr. 5, Geb. 10-6

13355 Berlin

Fax: +49 (0)30 4606 94-70