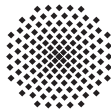


# DAGA 2007

19.-22. März 2007 in Stuttgart

## Programmheft



**Universität Stuttgart**

**Lehrstuhl für Bauphysik**



**Fraunhofer** Institut  
Bauphysik



### **33. Deutsche Jahrestagung für Akustik - DAGA 2007**

Homepage: <http://www.daga2007.de>

E-Mail: [daga2007@lbp.uni-stuttgart.de](mailto:daga2007@lbp.uni-stuttgart.de)

#### **Impressum:**

DAGA 2007 - Programmheft

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)711 - 685-67219

Fax +49 (0)711 - 685-67139

Print: Druckhaus Galrev, Berlin

Type setting:  $\text{\LaTeX}$  2<sub>ε</sub>

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zeitpläne</b>	4
<b>Grußwort der Tagungsleitung</b>	14
<b>Hinweise zur Tagung</b>	17
<b>Eröffnung und Produkt-Forum</b>	40
<b>Plenarvorträge</b>	40
<b>Vorkolloquien Montag</b>	45
Maschinenakustik	45
Numerische Akustik	54
Akustik von Bauteilen und Bauwerken aus Folien und Membranen	59
Akustische Eigenschaften von Sandwich-Bauteilen	64
<b>Fachvorträge und Poster am Dienstag</b>	69
Numerische Methoden in der Aeroakustik	69
Numerische Methoden in der Akustik I	76
Numerische Methoden in der Akustik I (Poster)	84
Sprache im KFZ I	84
Schienenfahrzeuge	91
Schienenfahrzeuge (Poster)	99
Leiser Straßenverkehr	101
Lärm I	107
Lehre der Akustik	109
Analyse und Synthese von Stimme und Sprache	115
Schallschutz mit Holz- und Leichtbau	123
Physik der Musikinstrumente I	129
Physik der Musikinstrumente I (Poster)	135
Körperschall in Gebäuden I	136
Körperschall in Gebäuden I (Poster)	142
Binaurales Hören I	143
Kavitation und Blasen	149
<b>Fachvorträge und Poster am Mittwoch</b>	157
Thermo- und Strömungsakustik I	157
Numerische Methoden in der Akustik II	169
Modalanalyse	177
Sprache im KFZ II	180
Raumakustik I	188
KFZ-Geräusche	190
KFZ-Antriebsgeräusche I	198
Lärm II	201

Lärm II (Poster) . . . . .	204
Soundscape und EU-Directive . . . . .	206
Lärmschutz I . . . . .	210
Raumakustik und Beschallung in Mehrzweckräumen . . . . .	212
Raumakustik und Beschallung in Mehrzweckräumen (Poster)	215
Beiträge zur Geschichte der Akustik . . . . .	216
Beiträge zur Geschichte der Akustik (Poster) . . . . .	223
Analyse und Klassifikation von akustischen Signalen . . . . .	223
Analyse und Klassifikation von akustischen Signalen (Poster)	234
Erhöhter baulicher Schallschutz . . . . .	237
Geräuschbeurteilung . . . . .	241
Messtechnik . . . . .	242
Messtechnik (Poster) . . . . .	246
Physik der Musikinstrumente II . . . . .	250
Bauakustik I . . . . .	258
Bauakustik I (Poster) . . . . .	262
Körperschall in Gebäuden II . . . . .	263
Virtuelle Akustik . . . . .	266
Signalverarbeitung . . . . .	271
Signalverarbeitung (Poster) . . . . .	273
Binaurales Hören II . . . . .	274
Psychoakustik I . . . . .	281
Hydroakustik . . . . .	285
Hydroakustik (Poster) . . . . .	288
Sprache und Audio in intelligenten Umgebungen . . . . .	289
Sprache und Audio in intelligenten Umgebungen (Poster) .	296
<b>Fachvorträge und Poster am Donnerstag</b> . . . . .	299
Thermo- und Strömungsakustik II . . . . .	299
Music Processing . . . . .	302
Statistische Energieanalyse . . . . .	307
Raumakustik II . . . . .	314
Raumakustik II (Poster) . . . . .	322
KFZ-Antriebsgeräusche II . . . . .	324
Fluglärm . . . . .	328
Lärmschutz II . . . . .	333
Lärmwirkung . . . . .	341
Lärmwirkung (Poster) . . . . .	345
Tieffrequenter Schall . . . . .	348
Ultraschall . . . . .	351
Ultraschall (Poster) . . . . .	353
Fahrzeugaeroakustik . . . . .	355

Messung, Schallquellenortung und Visualisierung im Luftschallfeld . . . . .	360
Messung, Schallquellenortung und Visualisierung im Luftschallfeld (Poster) . . . . .	368
Bauakustik II . . . . .	369
Technische Akustik . . . . .	372
Technische Akustik (Poster) . . . . .	376
Aktive Schwingungs- und Lärmbekämpfung . . . . .	378
Aktive Schwingungs- und Lärmbekämpfung (Poster) . . . . .	386
Psychoakustik II . . . . .	386
Psychoakustik II (Poster) . . . . .	393
Audiologie . . . . .	394
Audiologie (Poster) . . . . .	400
Unsichere Parameter in der Körperschall- und Luftschallsimulation . . . . .	401
<b>Der Tagungsort</b> . . . . .	411
Anfahrt . . . . .	411
Lagepläne . . . . .	411
<b>Verzeichnis der Autoren</b> . . . . .	416

**Montag, 19. März 2007**

Raum	57.01	57.02
	<b>Vorkolloquium: Maschinenakustik</b>	<b>Vorkolloquium: Numerische Akustik</b>
12:30		Gaul et al.: Boundary Element Methods (54)
13:00	Hübner: Maschinenakustik - gestern, heute und Aufgaben der Zukunft (45)	Wilken et al.: Noise radiation on ship vibration (55)
13:15	Wittstock: Schalleistung quer angeströmter Kreiszylinder (46)	
13:30	Hupfeld: Schalleistungen am rotierenden Kreiszylinder (47)	Engleder et al.: Stabilisierte Randelemente-Methoden (55)
13:45	Pantle: Numerical Noise Prediction Methods (48)	
14:00	Gerlach: Weiterentwicklung der DFEM für 3-dimensionale Körperschallquellen (49)	Stephenson et al.: Stream of particles - energetic approach to diffraction (56)
14:15	Kraus: Verkürzung der DFEM-Rechenzeit (49)	
14:30	Kaffeepause	Kaffeepause
15:00	Hübner et al.: Darstellung und Berechnung mit Hilfe der Wellentheorie (50)	Nolte: Lösung von Streuphänomenen (57)
15:15	Wittstock: Messunsicherheitsermittlung bei Emissionsmessungen (51)	
15:30	Gerlach: Akustik-Normen aus der Sicht des industriellen Einsatzes (52)	Anderssohn et al.: Wandadmittanzen in Innenräumen (57)
15:45	Heisel et al.: Schallemission von Holz- bearbeitungsmaschinen (52)	
16:00	Kurtz: Maschinenakustik - Eine europäische Forderung (53)	Schanz et al.: Poroelastic plate theory (58)

17:00 Uhr, Raum 47.01: **DEGA-Mitgliederversammlung**19:30 Uhr: **Exkursion 1 (Stiftskirche Stuttgart)**

57.04	57.05
<b>Vorkolloquium: Bauteile und Bauwerke aus Folien und Membranen</b>	<b>Vorkolloquium: Akustische Eigenschaften von Sandwich-Bauteilen</b>
Sedlbauer: Akustik und ganzheitliche Bauphysik (59)	Maysenhölder: Berechnung der Schalldämmung (64)
Lehnert: Akustische Besonderheiten von ETFE Foliensystemen (60)	Frommann et al.: Naturfaserverstärkter Kunststoff (65)
Hodann et al.: Fluoropolymer-Folien für Architekturkonstruktionen (60)	Guigou-Carter et al.: Acoustic performance of multi-layered structures (66)
Kaffeepause	Kaffeepause
Naßhan et al.: Regengeräusche bei Membrandächern (61)	Weber: Stahl-Polyurethan-Sandwichelemente (66)
Schock: Anwendungsgebiete aufblasbarer Schallschutzelemente (62)	Petersson: Vibro-acoustic influence of a thin fluid layer (67)
Leistner et al.: Lärmschutzelemente (63)	Kropp et al.: Spatially varying interlayer stiffness (67)

**Dienstag, 20. März**

9:00 Raum 53.01: <b>Eröffnungsfeier</b>						
Raum 53.01: <b>Verleihung Lothar-Cremer-Preis und Helmholtz-Medaille</b>						
Raum 53.01: <b>Plenarvorträge der Preisträger</b>						
11:45 <b>Kaffeepause</b>						
12:15 Raum 53.01: <b>Produkt-Forum (40)</b>						
anschl. <b>Mittagspause</b>						
Raum	38.02	38.03	47.01	47.02	47.03	47.05
	<b>Aeroakustik (Numerik)</b>	<b>Numerische Methoden I</b>	<b>Sprache im KFZ I</b>	<b>Schienenfahrzeuge</b>	<b>Leiser Straßenverkehr</b>	<b>Lehre</b>
14:00	Richter: Stabilisierte DG-Methoden (69)	Kaltenbacher: Hierarchische FEM (76)	Swerdlow: Speaker Localization (84)	Fehndrich: Rollgeräuschbedämpfung (91)	Beckenbauer: Absorb. Fahrbahnbeläge (101)	Dau: Akustik-ausbildung DTU (109)
14:25	Utzmann: Domain Decompositions (70)	Aretz: mutual coupling in FEM (77)	Fingscheidt: Quality Assessment, Hands-free (85)	Venghaus: Schwing.-dämpfer an Schienen (92)	Manhart: poröse Asphalt-schichten (102)	Jekosch: Komm.-akustik in Lehre (110)
14:50	Gassner: High Order Simulation (70)	Flemisch: Elasto-Akustik-Koppl. (78)	Hempel: (nicht-)sprachl. Systemausg. (86)	Volz: Kurven-quietschen (92)	Männel: Reaktive Absorber (102)	Röseler: Master-online Bauphysik (110)
15:15	Eschricht: Coaxial Jet Noise (71)	Clasen: Längsdämmung FEM SBFEM (79)	Kolossa: Miss.-Feature Spracherk. (86)	Salz: Tonalität Schienenfahrz. (93)	Ressel: Offeneporige Asphaltte (103)	Becker-Schweitzer: Training Schwing.-technik (111)
15:40	Ewert: Umströmungs-lärmsimul. (72)	Guggenberger: FSI CMS MAMs (80)	Warsitz: Sprache/ Pause-Detek-tion (87)	Thoß: Emission von Schienenfahrz. (94)	Ripke: Reifen-Fb.-Kontakt (104)	Simmer: DSP-Praktikum (112)
16:05	Pause	Ringwelski: Active Noise Reduction (80)	Pause	Pause	Pause	Pause
16:30	Noack: Turbulent Jet Noise (73)	Pause	Schuller: In-Car Emotion Recog. (88)	Boucher: Interior sound quality (95)	Schmidt: Emission LKW-Reifen (105)	Blauert: Zeitmanagem. Doktoranden (112)
16:55	Grahs: Aeroakustik Seitenspiegel (73)	Franck: Energy FEM, room acoustics (81)	Schuster : Sprachdialog Webinhalte (88)	Oertli: Lärmbekämpf. Güterverkehr (95)	Von Estorff: Reifen-Fb.-Geräusche (106)	Hansen: Wissenschaft, Grundschule (113)
17:20	Saueressig: Leiser Verkehr "Frequenz" (74)	De Langhe: Energy Finite Element (82)	Astrov: Mandarin Digit Recognition (89)	Kalivoda: Monitoring Schienenver-kehr (96)	Braun: Fahrbahn-übergänge (107)	Eggenschwi-ler: Raumakust. Spaziergang (114)
					<b>Lärm I</b>	
17:45	Sachau: Inverse Schall-quellenortung (74)	De Langhe: -Energy Boundary Element (82)	Haulick: Innenraum-komm.-systeme (89)	Möhler: Tun-nelgeräusche (97)	Knauß: Schallausbrei-tungsmodell (108)	Lips: Modelle für Unterricht (114)
18:10	Bachner: Schalldämp-fersysteme (75)	Zotter: Abstrahlungs-synthese VGG (83)	Grimm: In-Car Emotion Recognition (90)	Fürst: Schall-leistungspegel (98)	Ingold: Lärm-datenbank Schweiz (108)	

19:00 Uhr: **Empfang in der Staatsgalerie Stuttgart**



57.01	57.02	57.03	57.04	57.05	57.06
<b>Analyse v. Sprache</b>	<b>Holz- u. Leichtbau</b>	<b>Musikinstrumente I</b>	<b>Körperschall I</b>	<b>Binaurales Hören I</b>	<b>Kavitation</b>
Kob: EGG Larynxposition (115)	Meistring: Leichtbauwerkstoffe (123)	Adachi: Flue organ pipe (129)	Fischer: Körperschall in Gebäuden (137)	Vorländer: Kunstköpfe Klassenräume (143)	Koch: Akust. Kavitationsanzeiger (150)
Wältermann: Klangfarbe u. Qualität (116)	Metzen: Prognose Leichtbau (124)	Angster: Lautheit Orgelpfeifen (130)	Lievens: Mobility Human Body (137)	Beutelmann: Binaurale Sprachverständl. (144)	Sobotta: Kavitations-rauschpegel (150)
Meyer: Phoneme Confusions (117)	Schoenwald: Prediction of Sound Isolation (124)	Hoge: Schalleistung Orgelpfeifen (131)	Fichtel: neues Hammerwerk (138)	Thiefeld: Spatial Release Masking (145)	Mettin: Surfactants on bubble (151)
Mühlhaus: Sprachwahrnehmungsexp. (118)	Nentwich: Doppelschalen (125)	Sakamoto: Transient sound organ pipe (131)	Scheck: Characteris. of Stairs (138)	Buchholz: Simult. Reflection Masking (145)	Strobel: Ultraschallreinigung (152)
Schwarz: statistische Phonemanalyse (119)	Schmelzer: abgehangte Unterdecken (125)	Dubovski: Auslassventile Orgel (132)	Naßhan: Re-gengeräusche (139)	Menzer: Hörereignis-Lokalisiertheit (146)	Lauterborn: Membranreinigung (153)
Pause	Pause	Pause	Pause	Pause	Pause
Becker: Init. Sprechermodele (120)	Hessinger: Dämmung Holzdecken (126)	Pitsch: Verstimmung Orgelpfeifen (133)	Seidel: Regen-geräuschmessungen (139)	Merimaa: Localization of incoherent noise (146)	Nowak: Kleine Ultraschallwandler (153)
Schnell: stimmhafte Anregung (120)	Rabold: FEM, Holzdecken (127)	Bergweiler: Synchron. pipes (133)	Mayr: Equivalent Receiver Mobility (140)	Dietz: Binaurale Phasendifferenzen (147)	Otto: Sonochemolumineszenz (154)
Fürtjes: Erzeugung Stimmsignale (121)	Saß: Stoßstellendämmung (128)	Bamberger: Wirbelschall Querflöte (134)	Bietz: Körperschallmessungen (140)	Kohlrausch: ITD binaural model (148)	Schanz: Laser-Blasen, Chemie (154)
Kröger: speech production model (122)	Nusser: Verlustfaktoren Leichtbau (128)	Hansen: Handglocken (134)	Balci: Schallübertragung Stoßstellen (141)	Laback: Fine structure ITD (148)	Claussen: Bjerkneskräfte und Diffusion (155)
Barbisch: hybrid unit selection (122)	Weber: Biegeweiche Platten (129)	Fleischer: Klang einer Kirchenglocke (135)	Teller: Dämmung Rohrschellen (141)	Fels: Gehörgangsimp. bei Kindern (149)	Koch: Blasen-translation (156)

**Mittwoch, 21. März**

Raum	38.02	38.03	47.01	47.02	47.03	47.05
	<b>Thermo- und Ström. I</b>	<b>Numerische Methoden II</b>	<b>Sprache im KFZ II</b>	<b>KFZ-Geräusche</b>	<b>Lärm II</b>	<b>Raumak. u. Beschallung</b>
08:30	Pantle: CAA Noise Calculations (157)	Waubke: Lärmschutzwände mit BEM (169)	Klasmeyer: Erkennungsra- tenvergleich (180)	König: Naturfaserv- werkstoffe (190)	Hirsch: Lärmkarten (201)	Witew: Frequenzabh. Räumlichkeit (212)
08:55	Escobar: Computation flow-induced noise (158)	Fischer: Fast Multipole BEM (170)	Hohenner: SNR-based Evaluation (181)	Hansen: TL-Messung Leichtbauteile (191)	Liepert: Qualitätssich. Software (202)	Völker: Elektroakust. Konzepte (213)
09:20	Schulze: Geräusche Kreislumpen (158)	Kreuzer: BEM/FMM Kopfmodell (170)	Schulz: Sprachbed. Entertainment (182)	Geißler: PKW: Stirnwände (192)	Zangers: 3D-Ersatzq. Schießstände (202)	Behler: Gehäuse-schwingungen (213)
09:45	Flores Santiago: Flow-induced noise (159)	Gaul: Fluidschall in Leitungen (171)	Seitz: Testszenarios ASR (183)	Pies: Hydraulikleitungen (192)	Buchta: Zulässige Ex- positionspegel (203)	Schmitz: Beschallung Tunnel (214)
10:10	Jakob: Pneumatic Transducers (160)	Strauch: Modale Horn-simulation (172)	Vicinus: Schätzung Sprachübertr. (183)	Sentpali: Biegeschlaffe Bauteile (193)	Hettig: Koro-nageräusche (204)	Leckschat: WFS Flächen-strahler (214)

11:00 Raum 47.01: **Plenarvortrag W. Kellermann: „Natürliche“ akustische Mensch/Maschine-Schnittstellen - eine Herausforderung für die digitale Signalverarbeitung (40)**

11:45 Raum 47.01: **Plenarvortrag J. Hellbrück: Wahrnehmung und Wirkung von Schall - Akustik zwischen Physik und Psychologie (41)**

12:30 **Mittagspause**

Raum	38.02	38.03	47.01	47.02	47.03	47.05
					<b>Soundscape und EU-Dir.</b>	<b>Geschichte</b>
14:00	Wilde: Vorderkantenschall LBM (160)	Ranjbar: Vergleich Optim.-verfahren (173)	Gierlich : Vorhersage Sprachqual. (184)	Vasel: Transfer Path Analysis (194)	Hintzsche: Umgebungs-lärmrichtlinie (206)	Hoffmann: Stimm-Mechaniken (216)
14:25	Piscoya: Schallabstrahlung Flammen (161)	Von Karstedt: Iteratives Raytracing (173)	Kollmeier: KFZ und Hörgeräte (185)	Nielsen: NVH Vehical Simulator (195)	Probst: Quiet City Transport (206)	Schiema: Stimmungs-messung (216)
14:50	Bake: Studie Entropieschall (162)	Gündel: Flugzeug, Poröse Absorber (174)	Dobler: Freisprechlösung im Kfz (186)	Kerber: Fahrzeugau- ßengeräusche (195)	Guidati: Fahrzeugau- ßengeräusch (207)	Corinth: Tonfrequenz-spektrometer (217)
15:15	Richter: Stable Impedance Model (163)	Reichl: Schallausbr. Kanalsysteme (175)	Kettler: ungewollte Sprachver-ständl. (186)	Liebing: Objektivierung Türgeräusch (196)	Güttes: Soundscape Berlin (208)	Von Gablenz: Gustav Th. Fechner (218)

57.01	57.02	57.03	57.04	57.05	57.06
<b>Analyse und Klassifik.</b>	<b>Erhöhter Schallschutz</b>	<b>Musikinstrumente II</b>	<b>Körperschall II</b>	<b>Binaurales Hören II</b>	<b>Hydroakustik</b>
Korl: Sz.-analyse Hörgeräte (223)	Burkhardt: erhöhter Schallschutz (237)	Tronchin: IAR and modal analysis (250)	Drechsler: Trittschall leichter Treppen (263)	Rohdenburg: Binaurale Störg.-reduktion (274)	Schmidtke: Anregung Schiffe (285)
Vlasenko: Emotional Speech Recogn. (224)	Alphei: Abstufung Schall d.-maße (238)	Grothe: Formanten Fagott (251)	Alber: Fluid-structure interaction (264)	Goupell: CI Frequency Mappings (275)	Nissen: Unterwasserkommunikation (285)
Lugger: Stimmcharakterisierung (225)	Hils: Normtrittschall-Pegel (238)	Hille: Künstliche Lippen Fagott (251)	Schnelle: Nutzergeräusche (265)	Dau: Binaural pitch perception (275)	Burgschweiger: Detektion von Minen (286)
Katz: Speaker Recognition (226)	Kurz: Schallschutzpass Teil 1 (239)	Ziegenhals: Tragfähigkeit (252)	Ackermann: ovale Wickelfalzhöhre (266)	Nitschmann: Binaurale Selektivität (276)	Brunner: Fluid Structure Coupling (287)
Wokurek: Glottale Öffnungsgrade (226)	Kurz: Schallschutzpass Teil 2 (239)	Otcenasek: Vibrations of Violin (253)	Teuber: Körperschall U-Bahntunnel (266)	Epp: CMR und BMLD (277)	Hommm: Propellereigenschaften (288)

57.01	57.02	57.03	57.04	57.05	57.06
			<b>Virtuelle Akustik</b>		<b>Sprache und Audio</b>
Kemp: 'Streaming audio' Analyse (227)	Donner : Überarbeitung VDI 2719 (240)	Oehler: Digitale Impulsformung (253)	Völk: Augmented-Reality Akustik (267)	Seeber: Panning equalization (277)	Mengistu: Spoken Dialog System (289)
Rettenbacher: Segmentierung von Werbespots (227)	Hilz: Schallschutz im Büro (240)	Mores: Klangkopplung Instrumente (254)	Schröder: Nachhallschätzer (267)	Störig: Wahrn. Doppler-Signale (278)	Metze: Speech Recognition (290)
	<b>Geräuschbeurteilung</b>				
Müller: Hören Sehen Verstehen (228)	Lechner : ÖAL-Richtlinie Nr.3 (241)	Heinz: Musik-Schallbilder (255)	Lentz: Near-Field HRTFs (268)	König: Kopfhörer, Surround-Sound (279)	Appell: Hearing at Home (290)
Dencks: Modellbas. Signalanalyse (229)	Talasz: ÖAL-Richtlinie Nr.3 (242)	Sontacchi: Klangmodellierung VGG (256)	Spors: Secondary Source Selection (269)	Makarski: Binaurale Messungen (280)	Schmalenströer: Projekt Amigo (291)

**Mittwoch, 21. März**

Raum	38.02	38.03	47.01	47.02	47.03	47.05
	<b>Thermo- und Ström. I</b>	<b>Numerische Methoden II</b>	<b>Sprache im KFZ II</b>	<b>KFZ-Geräusche</b>	<b>Soundscape und EU-Dir.</b>	<b>Geschichte</b>
15:40	Enghardt: Brennkammer Holografie (164)	Ertl: Distribution transformer noise (176)	Opfer: Richtlautsprecher für Dialog (187)	Foken: Geräusche Heckklappen (196)	Rumberg: Lärmminde- rung Städtebau (208)	Künzel: August Kundt (219)
16:05	Pause	Pause	Täsch: Reflexi- onsmuster Innenraum (187)	Zöller: Sound Vibration Perception (197)	Schulte- Fortkamp: EU-Directive und Lärm (209)	Pause
		<b>Modalanalyse</b>				
16:30	Busse: Durchströmte Liner (165)	He: Modalanalyse Blechbauteile (177)	Pause	Pause	Pause	Kohlrausch: Meyers Beiträge zu Psychoakustik (219)
			<b>Raum- akustik I</b>	<b>KFZ-Antr.- geräusche I</b>	<b>Lärmschutz I</b>	
16:55	Heuwinkel: Dissipation perfor. Liner (166)	Kronast: Fz.-entwicklg. Modalanalyse (177)	Lorenz- Kierakiewitz: Zuhörerakustik Konzertsäle (188)	Manschitz: Akzeptanz Dieselge- räusch (198)	Hintzsche: Outdoor- Richtlinie Ausblick (210)	Guicking: Erwin Meyer (220)
17:20	Jüschke: Ström.- widerstand (167)	Vasel: Akustische Modalanalyse (178)	Rottiers: poröses Aluminium (189)	Filz: Zusatzab- sorber Motorkapsel (199)	Kelm: Belastung Po- lizeifahrzeuge (210)	Mellert: Akustik in Oldenburg (221)
17:45	Boonen: Calibration ac. impedance (167)	Anstätt: Lager- bedingungen EMA (178)	Merkel: Sanierung Freifeldräume (189)	Letens: Ab- gasmündungs- geräusch (199)	Giering: Strateg. Lärmkartie- rung (211)	Zenetti: Geschichte der Lehre (221)
18:10	Konle: Faser Optisches Mikrofon (168)	Czolbe: Dickwandige Strukturen (179)	Rathsam: Reflected Response Comp. (190)	Junge: Expansion Chamber (200)	Vogelsang: neue AzB (211)	Költzsch: Preisaufgaben (222)

18:00 Uhr: **Exkursion 2 (DaimlerChrysler AG)**18:30 Uhr: **Exkursion 3 (FKFS)**18:30 Uhr: **Exkursion 4 (Fraunhofer-IBP)**

57.01	57.02	57.03	57.04	57.05	57.06
<b>Analyse und Klassifik.</b>	<b>Geräusch-beurteilung</b>	<b>Musikinstru-mente II</b>	<b>Virtuelle Akustik</b>	<b>Psycho-akustik I</b>	<b>Sprache und Audio</b>
Mieczko: Nonlinear contrast agent (230)	Kühner: Sigma- Regelung (242)	Haverkamp: Musik und Bewegung (257)	Goertz: Lautspr. Wellenfeldsyn- these (270)	Pause	Weinzierl: Measurement with Fabian"(292)
Pause	Pause	Pause	Moldrzyk: Wellenfeldsyn- these Hörsaal (270)	Fastl: Auf- schreckende Geräusche (281)	Pause
	<b>Messtechnik</b>	<b>Bauakustik I</b>			
Buck: Optimaler Beamformer (231)	Wittstock: Mo- dellhallraum (242)	Schneider: Schalldäm- mung Mauerwerk (258)	Behrens: Raumakusti- sche Konzeption (271)	Sokoll: Fibonacci- Folgen (281)	Ahrens: Telefonkonfe- renzsystem (292)
Scheuing: Klassif. Korre- lationsextrema (231)	Heinz: Rekonstruktion akust. Bilder (243)	Meier: Schall- dämmung Gebäude (258)	Pause	Löschke: Tonales Volumen (282)	Raake: Audio- Konferenz- schaltungen (293)
			<b>Signal- verarbeitung.</b>		
Siller: Schallquellen- lokalisierung (232)	Friedrich: Magnetfeld- empfindl. Mic (244)	Ruff: Flankendämm. Gipswand (259)	Eichler: Fractional delay filter (271)	Weber: Rauigkeit, Schärfe (282)	Weiss: Spoken Interaction (294)
Büssow: Wavelets Impulsantwort (233)	Hillenbrand: Piezoelektret- Mikrofone (244)	Kling: Bauakust. Dämpfung (260)	Kochan: aktive Schall- reduktion (272)	Hansen: dependence tonal content (283)	Dimopoulos: Smart Home (295)
Graf: Achszahlbe- stimmung (233)	Gross: Registr. Atemge- räusche (245)	Wittstock: Unsicherheit Einzahlwerte (261)	Ing: Contactless dependance (273)	Uppenkamp: fMRT von Maskierung (284)	Möller: Modell. Benutzerver- halten (295)

**Donnerstag, 22. März**

Raum	38.02	38.03	47.01	47.02	47.03	47.05
	<b>Thermo- und Ström. II</b>	<b>SEA</b>	<b>Raumakustik II</b>	<b>KFZ-Antr.-geräusche II</b>	<b>Lärmschutz II</b>	<b>Lärmwirkung</b>
08:30	Hahn: Intensität aeroak. Quellen (299)	Sarradj: SEA Werkzeugmaschine (307)	Schröder: Mehrpersonenbüros (314)	Heck: Schallabstrahlung Motor (324)	Myck: Lärmgrenzwerte Flugzeuge (333)	Paulsen: Belastung Musiklehrer (342)
08:55	Hofmann: Klimarohre Kraftmess. (300)	Peiffer: SEA Doppelwand Simulation (307)	Donner: Überarbeitung VDI 2569 (315)	Flores Santiago: Virtual Car sound (325)	Strasser: Eff. Dämmwertminderung (334)	Schulz: Freizeitlärm Hörvermögen (342)
09:20	Ahlefeldt: Klimaanlage (300)	Tewes: Flugzeug Doppelwand (308)	Becker: Klassenraumakustik Studie (316)	Arndt: Verbrennungsgeräusch (326)	Fend: Trendsportanlagen (335)	Deutsch: NOIDES: Lärmbewertg. (343)
09:45	Geyer: Umströmung poröser Profile (301)	Redmann: Turb. Grenzschiicht Flugz. (309)	Zander: Mineralfaserakustikdecken (316)	Voehringer: Körperschall-Zielwerte (327)	Buchta: Photovoltaik Schießstände (335)	Baumann: Hörschw.-verschiebung (344)
10:10	Wolfram: Tonale Geräuschanteile (302)	Baurès: Coupled FE-SEA (309)	Völker: Raumakustik, Beschallung (317)	Popp: Geräuschdiagnose Service (327)	Langner: Temporeduzierung (336)	Wittstock: Lebenszyklusanalysen (344)

11:00 Raum 47.01: **Plenarvortrag H. Hanselka: Lärmreduktion durch Adaptive Systeme (42)**

11:45 Raum 47.01: **Plenarvortrag R. von Sivers: Akustikingenieure im Spannungsfeld der Gesamtfahrzeugentwicklung (43)**

12:30 **Mittagspause**

	<b>Music Processing</b>			<b>Fluglärm</b>		<b>Tieffreq. Schall</b>
14:00	Kurth: Symbol. Audio Matching (302)	Bartosch: hybrid SEA, optimisation (310)	Babuke: Reflexionsarme Räume (317)	Buss: Lärm in Flugzeugkabinen (328)	Haltenorth: Schallschirme aus Folien (336)	Genuit: Tieffrequente Geräusche (348)
14:25	Kaprykowski: Musical Alignment (303)	Brandl: SEA Optimierung Trim (311)	Pörschmann: Messtechn. Raumanalyse (318)	Freese: Realer und Simulator-Flug (329)	Albrecht: Ökobilanz Mini-SSW (337)	Martinez: impulsh. tieffr. Geräusche (348)
14:50	Mueller: Audioanalyse, Musikstruktur (304)	Büßow: Path Sensitivity (312)	Dietrich: Raumakust. Parameter (319)	Bellmann: Flugzeugkabinenakustik (329)	Menk: Hypothek Lärmreduktion (338)	Maschke: DIN 45680 aktuell (349)
15:15	Skowronek: music mood classification (305)	Callsen: Open-SourceSEA (312)	Albrecht: Modalanalyse mit Kugelarray (320)	Krebs: Daten Fluglärmbe-rechn. (330)	Von Heesen: Drehklangarme Ventilatoren (339)	Krahé: Tieffreq. Gehörmodelle (349)
15:40	Eichner: HMM-basierte Klassifikation (305)	De Langhe: Mid-frequency Analysis (313)	Behler: Dodekaeder-Lautsprecher (321)	Balmer: Fluglärmber.-verfahren (331)	Prasetyo: Diffuse Noise Field (340)	Donner: Tieffreq. Geräusche (350)
16:05	Nsabimana: Transients Detection (306)	Eggner: Hybrid SEA (314)	Zhou: Senkrechter Schalleinfall (321)	Schrecken-berg: Flughafen Frankfurt (332)	Arps: Schallschutz an Flughäfen (341)	Fuchs: Tiefe Freq. Bauakustik (350)

**16:30 Uhr: Abschlussveranstaltung im Foyer Gebäude 47**

57.01	57.02	57.03	57.04	57.05	57.06
<b>Ultraschall</b>	<b>Messung, Ortung</b>	<b>Bauakustik II</b>	<b>Aktive Lärmbek.</b>	<b>Psychoakustik II</b>	<b>Audiologie</b>
Wilkins: Membranhydrophone (351)	Schmitz: Schallfeldkartierung Array (361)	Sommerfeld: Modellmessg. Dämmung (369)	Becker: Structural Vibration Control (378)	Verhey: Lautheit Pulsfolgen (387)	Sukowski: Sprachverständl.-tests (394)
Fischer: Akust. Interferometrie (352)	Joest: Vergleich Lokalisation (362)	Liegl: Schallschutzvorbauten (370)	Bös: Active vibration control (378)	Ernst: Verdeckungs-experimente (387)	Jürgens: Modell. Sprachverständl. (395)
Olszewski: Lineare und nichtlineare Akustik (352)	Henze: Schallquellen-lokalisierung (362)	Maschke: Gekipptes Fenster (370)	Pietrzko: Messg. Abstrahlmoden (379)	Rennies: Einhüllenden-statistik (388)	Holube: Testsignal Sprache (396)
<b>Fahrzeug-aeroakustik</b>					
Helfer: Umströmung Fahrzeug (356)	Hundec: SONAH Conformal Mapping (363)	Hettler: Resonatoren Leichtbau (371)	Brink: Reduction of transmission noise (379)	Schlittmeier: Sprachverständlichkeit Büro (389)	Hudde: Funktion des Mittelohrs (396)
Algermissen: Aeroakustik Mercedes CL (356)	Saemann: Nasality measurements (363)	Bollmann: Installations-schächte (372)	Böhme: Aktive akustische Barriere (380)	Menzel: Audio-visuelle Interaktionen (390)	Baumgart: FSI Innenohr (397)
			Kletschkowski: Schlafräume (381, 10:35)		

		<b>Techn. Akustik</b>			
Ocker: Exp. Aeroakustik PKW (357)	Döbler: Dreidim. Beamforming (364)	Fehse: Körperschall Leistg.-reduz. (373)	Bay: Aktiv-Schalldämpfer (382)	Bockhoff: Soundscapes u. Malerei (390)	Friedrich: Biofeedb.-therapie (398)
Augustin: Aeroakustik Klimageräte (357)	Opfer: Beamform. mehrfach (365)	Tschakert: Versteifte Platten (373)	Niepenberg: 2D-ANC-System (382)	Altinsoy: audiotaktile Interaktion (391)	Schmidt: Mikrofonsonde Audiometrie (399)
					<b>Unsichere Parameter</b>
Riegel: Innengeräusch Turb. Strömng. (358)	Quickert: Messg. Stanzmaschine (365)	Fingerhuth: Abstrahlung elektr. Motor (374)	Norambuena: Sound Absorption Control (383)	Kaufmann: Cross-modality matching (392)	Gauger: Brem-senquietschen (401)
Miehling: Windkanal vs. Straße (359)	Bahr: Interferom. Feldmessung (366)	Dutrè: Noise radiation optimization (374)	Foudhaili: ANC im Kopfhörer (383)	Bodden: Gurtwarngeräusche (392)	Maess: Fuzzy Boundary Elements (402)
Oswald: Numerische Akustik (360)	Kletschkowski: Intensitätssonde Freifeld (367)	Guimaraes: Diagnose Wälzlager (375)	Schirmacher: ANC-Systeme in PKW (384)		Marburg: Polynomial Chaos (402)
Blumrich: Schiebedachwummern (360)	Fedtko: Pressure coeff. Microph. (368)	Krämer: Luft/Wasser Wärmepumpen (376)	Lemke: Drehklang Turbomaschinen (385)		Weichert: Parameter Lenksysteme (403)

## Grußwort der Tagungsleitung

Liebe Kolleginnen und Kollegen, sehr geehrte Damen und Herren,

wir freuen uns, Sie zur 33. Jahrestagung für Akustik DAGA 2007 in Stuttgart begrüßen zu dürfen. Zum dritten Mal nach 1972 und 1985 ist die DAGA zu Gast am Akustikstandort Stuttgart. Sie wird von der Universität Stuttgart und vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik ausgerichtet. Auch zur DAGA 2007 sind neben den Mitgliedern der DEGA alle Interessenten aus der Lehre, Forschung und Praxis herzlich eingeladen, die ihre Aktivitäten auf dem Gebiet der Akustik präsentieren, sich über die neuesten Entwicklungen in der Akustik informieren oder sich über ihre Arbeit, Gedanken und Erfahrungen auf dem Gebiet der Akustik austauschen möchten. Darüber hinaus soll die Tagung den künftigen Akustikern, d.h. den heutigen Studentinnen und Studenten, die Vielseitigkeit und Bedeutung der Akustik in der Praxis und im Alltag näher bringen und ihnen die breiten Tätigkeitsfelder aufzeigen. Schall und Schwingungen, Lärm und Klang stellen schon heute bei vielen praktischen Fragen das Entscheidungskriterium dar. Künftige Akustiker werden viele Fragen beantworten und viele Probleme lösen müssen. Der Grundstein des dafür erforderlichen Wissens muss heute gelegt werden.

Die letzten Jahre zeigten, dass die DAGA immer mehr an Bedeutung und Beliebtheit gewinnt. Sie ist damit fester und namhafter Bestandteil der internationalen Tagungslandschaft. Dies zeigt sich auch in diesem Jahr mit über 480 Beiträgen und 28 strukturierten Sitzungen. Noch nie wurden bei einer DAGA in Deutschland so viele Beiträge angemeldet, so dass der steigende Trend von parallelen Vortragssitzungen mit 6 im Jahr 1987 und 10 im Jahr 2006 mit erstmalig 12 Parallelsitzungen und über 60 Posterpräsentationen in Stuttgart seinen vorläufigen Höhepunkt erreicht.

Die Gastgeberstadt Stuttgart hat ein besonderes Profil. Automobilstadt, Medienstadt, Kulturstadt, Sportstadt - das sind nur einige der zahlreichen Facetten der Landeshauptstadt von Baden-Württemberg. Deutschlandweit ist Stuttgart zugleich die am dichtesten besiedelte Stadt von wissenschaftlichen, akademischen und forschenden Einrichtungen. Die Universität



Stuttgart, 1876 als Polytechnikum gegründet, seit 1890 Technische Hochschule und seit 1976 Universität, ist der bewährte und für mehr als 21.000 Studierende auch begehrte Kern des Wissenschaftsstandortes. Sie blickt heute auf eine 177-jährige Geschichte mit wissenschaftlichen Meilensteinen von internationaler Bedeutung. Lehre und Forschung in der Akustik haben an der Universität Stuttgart eine lange Tradition, etabliert durch Stuttgarter Akustiker wie Richard Feldtkeller und viele andere. In 6 der 10 Fakultäten der heutigen Universität ist die Akustik fest verankert. Ein starker Partner und direkter Nachbar der Universität ist die Fraunhofer-Gesellschaft mit sechs Instituten. In dieser Partnerschaft hat das Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) einen hohen Stellenwert, auch geprägt durch eine traditionsreiche und lebendige Akustik.

Neben dem Lehrstuhl für Bauphysik und dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik hat der wissenschaftliche Beirat wesentlich bei der Programmgestaltung der DAGA 2007 mitgewirkt. Vertreter der Fakultäten Architektur und Stadtplanung, Bauingenieur- und Umweltingenieurwissenschaften, Informatik, Elektrotechnik und Informationstechnik, Luft- und Raumfahrttechnik und Geodäsie sowie Maschinenbau der Universität Stuttgart sowie der Stuttgarter Hochschule für Technik engagierten sich mit Rat und Tat.

Auf der Stuttgarter DAGA werden wohlbekannte Bräuche mit einigen Neuerungen angereichert.

- Angesichts der umfangreichen akustischen Aktivitäten in Stuttgart finden erstmalig am Vortag der offiziellen Eröffnung 4 Vorkolloquien zu Stuttgarter Schwerpunktthemen statt. Im Rahmen von 30 Vorträgen werden dabei die Themen „Akustik von Bauteilen und Bauwerken aus Folien und Membranen“, „Akustische Eigenschaften von Sandwich-Bauteilen“, „Maschinenakustik“ und „Numerische Akustik“ vertieft.
- Auch die vier Plenarvorträge wurden so ausgewählt, dass die Vielfalt der Stuttgarter Tagung zum Ausdruck kommt. Sie werden wie üblich am Mittwoch und Donnerstag jeweils von 11 bis 13 Uhr gehalten.
- Wissenschaftlich interessante Exkursionen umrahmen auch die DAGA 2007, wobei sie alle nach den Vortragsveranstaltungen stattfinden werden. Die erste Exkursion führt am Montag nach der Mitgliederversammlung in die Stuttgarter Stiftskirche.

Dort erwartet die Teilnehmer neben der Führung durch die Kirche und einer Präsentation der Mühleisen-Orgel auch ein Orgel-Konzert. Für den Mittwoch ist ein dreifacher Exkursionsabend vorgesehen. Die DaimlerChrysler AG lädt zur Besichtigung ihrer Akustikprüfstände im nahe gelegenen Sindelfingen mit anschließendem Stehempfang ein. Gleichfalls finden Exkursionen zur Fahrzeugakustik des Forschungsinstituts für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart (FKFS) sowie in die Akustik-Labors des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik (IBP) statt. Beide Institutionen, die vom Tagungsort bequem in 10 Minuten zu Fuß erreichbar sind, werden mit Besichtigung und Bewirtung für einen gelungenen Tagesausklang sorgen.

- Die Eröffnung der DAGA am Dienstag steht wiederum ganz im Zeichen der Preisträger. Ab 19 Uhr findet an diesem Tag der traditionelle DEGA-Empfang statt. Dazu sind alle DAGA-Teilnehmer in die Stuttgarter Staatsgalerie eingeladen! Die Leitung des Kunsthauses öffnet dazu auch ihre Pforten für kostenlose Führungen durch die Galerie. Ein Genuss in mehrfacher Hinsicht, der durch die DAGA-Jam-Session, die Künstler des Uni-Chörle sowie der Musik- und Kunsthochschule Stuttgart auch musikalisch vieles zu bieten haben wird.

Das Schwabenländle ist nicht nur sparsam sondern auch teuer. Da dies auch für die Mobilität mit dem öffentlichen Personennahverkehr gilt, erhält jeder Tagungsteilnehmer bei der Registrierung im Tagungsbüro, das schon ab Sonntagabend geöffnet sein wird, ein kostenloses DAGA 2007-Ticket. Dieser Fahrausweis ist für den Zeitraum vom 18. bis 23. März in und um Stuttgart gültig.

Das Stuttgarter DAGA-Team hat sich vorgenommen, auch die DAGA 2007 wissenschaftlich wie organisatorisch vielseitig, reibungslos und angenehm zu gestalten. Viele Kollegen haben sich bereits bis heute sehr dafür engagiert, wofür Ihnen an dieser Stelle im Namen der Tagungsleitung ganz herzlich gedankt sei. Unseren Gästen wünschen wir eine gute Anreise nach Stuttgart sowie eine erkenntnis- und erlebnisreiche Tagung.

Für die Tagungsleitung

Schew-Ram Mehra

Philip Leistner

## Hinweise zur Tagung

Die

### **33. Deutsche Jahrestagung für Akustik DAGA 2007**

findet vom

**19. bis 22. März 2007**

in

**Stuttgart**

statt.

Tagungsorte sind die Gebäude Audimax, „Naturwissenschaftliches Zentrum (NWZ)“ und „Elektrotechnische Institute (ETI)“ sowie das Informatikgebäude auf dem Campus der Universität in Stuttgart-Vaihingen. Am 19. März 2007 finden Vorkolloquien statt. Die DEGA-Mitgliederversammlung ist wieder für den Montagabend vorgesehen. Tagungssprachen sind Deutsch und Englisch.

### **Veranstalter**

- Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Bauphysik (LBP)
- Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP)
- Deutsche Gesellschaft für Akustik (DEGA)

### **Mitveranstalter**

- Informationstechnische Gesellschaft (ITG) im VDE
- Verein Deutscher Ingenieure (VDI)
- Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG)

### **Tagungsleitung**

- Prof. Dr.-Ing. Schew-Ram Mehra, Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Bauphysik
- Dr.-Ing. Philip Leistner, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart

### **Wissenschaftlicher Beirat**

- Prof. Dr.-Ing. Michael Bargende, Institut für Verbrennungsmotoren und Kraftwesen, Universität Stuttgart
- Prof. Dr.-Ing. Hanno Ertel, Institut für Baustofflehre, Bauphysik, Technischen Ausbau und Entwerfen, Universität Stuttgart
- Prof. Dr.-Ing. Heinz-Martin Fischer, Hochschule für Technik Stuttgart

- Prof. Dr.-Ing. habil. Lothar Gaul, Institut für Angewandte und Experimentelle Mechanik, Universität Stuttgart
- Prof. Dr. rer. nat. Gerhard Hübner, Institut für Thermische Strömungsmaschinen und Maschinenlaboratorium, Universität Stuttgart
- apl. Prof. Dr. rer. nat. Waldemar Maysenhölder, Lehrstuhl für Bauphysik, Universität Stuttgart
- Prof. Dr. rer. nat. Claus-Dieter Munz, Institut für Aerodynamik und Gasdynamik, Universität Stuttgart
- Prof. Dr.-Ing. Wolfram Ressel, Institut für Straßen- und Verkehrswesen, Universität Stuttgart
- Prof. Dr.-Ing. Jochen Wiedemann, Institut für Verbrennungsmotoren und Kraftwesen, Universität Stuttgart
- Prof. Dr.-Ing. Bin Yang, Institut für Systemtheorie und Bildtechnik, Universität Stuttgart

### **Organisation**

- Allgemein: Prof. Dr.-Ing. Schew-Ram Mehra,  
Dr.-Ing. Philip Leistner,  
Dipl.-Ing. Eva Veres
- Ausstellung: Ing. Ines Schimkowski
- Technik: Dipl.-Ing. Holger Röseler,  
Dipl.-Phys. Klaus Naßhan

### **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, Audiologische Akustik, Audiotechnik, Bauakustik, Bioakustik, Elektroakustik, Fahrzeugakustik, Geräuschbeurteilung, Hydroakustik, Körperschall, Lärmbreitung, Lärmschutz, Lärmwirkungen, Lehre der Akustik, Maschinenakustik, Medizinische Akustik, Messtechnik, 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 19. März 2007 finden zum Auftakt der DAGA 2007 Vorkolloquien statt, die ausgewählte Themen von Stuttgarter Einrichtungen, die auf dem Gebiet der Akustik tätig sind, zum Inhalt haben. Im Einzelnen konzentrieren sich die Vorkolloquien auf die Themen:

## • Maschinenakustik

(organisiert von Prof. Hübner, ab S. 45)

Der von Maschinen und Fahrzeugen erzeugte Lärm verursacht Berufskrankheiten mit dem höchsten Stellenwert in der Bundesrepublik, Wertminderungen von Grundstücken und Wohngebäuden sowie Verringerungen der Arbeitsproduktivität. Dem treten bereits seit längerem Verordnungen der Bundesrepublik sowie der EU, wie die „Physikalische-Agenzien-Richtlinie-Lärm“, 2003/10/EG und die Maschinenrichtlinie in ihrer früheren und neusten Fassung 2006/42/EG entgegen, ohne dass allerdings hierdurch bisher eine grundlegende Tendenzwende erreicht werden konnte. Andererseits gibt diese Situation aber auch der Industrie die Chance, leise Produkte zu entwickeln, für die besonders dann ein großer Markt existiert, falls die bessere Qualität mit keinen oder nur mit sehr geringen Mehrpreisen angeboten werden kann.



Hilfreich für solche Akquisitionen ist dabei auch der inzwischen erreichte hohe Stand der Geräuschemissions-Messtechnik, durch die der Maschinenlärm unter fast allen Umgebungsbedingungen mit wohl definierten Unsicherheiten gemessen und so auch eindeutig nachprüfbar geworden ist. Für die Entwicklung leiserer Maschinen und Fahrzeuge unter Kostengesichtspunkten besteht das Ziel, bereits aus der Konstruktionszeichnung die Geräuschemission bestimmen zu können. Grundlage dieser Aufgabe ist zusammen mit der Maschinengeräusch-Messtechnik die Maschinenakustik.

Das Kolloquium vermittelt einen Überblick über den Wissensstand der Vorausbestimmung der Geräuschemission von Bauelementen der Maschinen- und Fahrzeugtechnik. Diese Übersicht wird ferner durch Schwerpunkt-Vorträge vertieft, die den neuesten Stand bei der Bestimmung relevanter aerodynamischer Geräusche, die Schallabstrahlung schwingender Festkörper, die Körperschallausbreitung in typischen Maschinenbauelementen sowie die Messung und die Messunsicherheiten beschreiben. Ergänzend hierzu wird über die neuesten Entwicklungen auf dem diesbezüglichen Verordnungswege berichtet.

- **Numerische Akustik**

(organisiert von Prof. Gaul, ab S. 54)

Das Vorkolloquium umfasst moderne, numerisch effiziente Rand- und Gebietsdiskretisierungen der Akustik. Die Fast Multipole Randelementmethode (FBEM) reduziert die Problemgröße von der Ordnung  $N^2$  auf die fast lineare Ordnung  $N \log 2$ . Sie wird zur Lösung von Innen- und Außenraumproblemen vorgestellt. Die Funktionenräume nicht eindeutig lösbarer Außenraumprobleme werden zur Konstruktion effizienter numerischer Näherungsverfahren mit verschiedenen Regularisierungen untersucht.

Die hybride Randelementmethode (HBEM) ergibt auf der Grundlage eines Variationsprinzips symmetrische Massen- und Steifigkeitsmatrizen. Zur verbesserten Modellierung von Schiffschwingungen wird die Interaktion der Struktur mit der Hydroakustik des umgebenen kompressiblen Wassers durch FEM-FBEM-Kopplung behandelt. Die Struktur-Akustik-Kopplung wird auf nichtkonformen FEM-BEM Netzen mit der Mortar-Technik erfasst.

Schallabsorbierende Beläge werden als poroelastische Platten mit Finiten Elementen abgebildet, oder ihre Wandadmittanzen werden aus Schalldruckmessungen und der Lösung eines inversen Problems bestimmt. Zur Lösung akustischer Probleme aus dem Hochfrequenzbereich wird ein energetisches Diffraktionsverfahren zur Raumakustik vorgestellt. Methoden zur Lösung von Streuproblemen runden das Vorkolloquium ab.

- **Akustik von Bauteilen und Bauwerken aus Folien und Membranen**

(organisiert von Dr. Leistner und Prof. Mehra, ab S. 59)

Membranbauteile oder -bauwerke haben zahlreiche Vorzüge und eröffnen neue technische und architektonische Möglichkeiten. Ihre akustischen Eigenschaften unterscheiden sich jedoch von herkömmlichen Bauweisen. Geringe Schalldämmung, Regengeräusche und der Raumklang zählen dazu. Leichtigkeit und Flexibilität sind aber auch der Ausgangspunkt aufblasbarer Schallschirme für temporäre Lärmschutzaufgaben besonders bei Baustellen oder Open-Air-Veranstaltungen.

- **Akustische Eigenschaften von Sandwich-Bauteilen**

(organisiert von Prof. Maysenhölder, ab S. 64)

Schichtstrukturen können sich akustisch ähnlich verhalten wie homogene Platten - oder aber ganz anders. Wie Schalldämmung, Körperschallanregung oder Schwingungsdämpfung von

den zahlreichen Parametern abhängen, die ein Sandwich-Bauteil mit oft inhomogenen, anisotropen viskoelastischen Schichten charakterisieren, wird zunächst allgemein diskutiert und anschließend im Einzelnen anhand von Messergebnissen und rechnerischen Modellierungen vertieft.

### **Plenarvorträge**

Auch im Rahmen der DAGA 2007 finden vier Übersichtsvorträge zu aktuellen Themen der Akustik statt, die jeweils am 21. und 22. März vormittags von eingeladenen Vortragenden gehalten werden:

- Prof. Dr.-Ing. Walter Kellermann, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg: „Natürliche“ akustische Mensch/Maschine-Schnittstellen - eine Herausforderung für die digitale Signalverarbeitung (S. 40)
- Prof. Dr. Jürgen Hellbrück, Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt: Wahrnehmung und Wirkung von Schall - Akustik zwischen Physik und Psychologie (S. 41)
- Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka, Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit, Darmstadt: Lärmreduktion durch Adaptive Systeme (S. 42)
- Dipl.-Ing. Rolf von Sivers, Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG, Weissach: Akustikingenieure im Spannungsfeld der Gesamtfahrzeugentwicklung (S. 43)

Darüber hinaus finden zwei Plenarvorträge der Preisträger des Lothar-Cremer-Preises sowie der Helmholtz-Medaille während der Eröffnungsfeier statt.

### **Strukturierte Sitzungen**

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

- **Aktive Schwingungs- und Lärmbekämpfung** (Dr. Jakob, TU Berlin, Dr. Schirmacher, Müller-BBM GmbH), ab S. 378

- **Analyse und Klassifikation von akustischen Signalen**

(Prof. Yang, Universität Stuttgart), ab S. 223

Im alltäglichen Leben begegnen wir einem breiten Spektrum von akustischen Signalen (Sprache, Audio, Naturklänge, akustisches Maschinengeräusch usw.), die verschiedenste Information über die akustischen Quellen und deren Ursachen beherbergen. Das Ziel dieser strukturierten Sitzung ist zu zeigen, wie man mit modernen Signalverarbeitungsmethoden solche Signale analysiert, deren Merkmale extrahiert und ihre Identität klassifiziert.

- **Analyse und Synthese von Stimme und Sprache**

(Prof. Kröger, Dr. Kob, Universitätsklinikum Aachen), ab S. 115

- **Beiträge zur Geschichte der Akustik**

(Prof. Költzsch, TU Dresden), ab S. 216

Einerseits waren schon immer auf den DAGAs Vorträge mit historischem Inhalt eingereicht und dann fachbezogen auf sehr unterschiedliche Sektionen (leider) verteilt worden, andererseits wird durch laufende DEGA-Projekte derzeit umfangreiches Material erarbeitet. Dabei zeigt sich durchaus eine Tendenz, dass sich solche Querschnittsgebiete in zunehmendem Maße eigenständig darstellen. Das hängt in entscheidendem Maße von der Qualität des fachlichen Inhalts ab, u.a. von der interessanten Darstellungsart, von der fachlichen Aussage, von historischen Bezügen, vom Beitrag für die Entwicklung des Fachgebietes, vom Bildmaterial, von eventuell erzählbaren „Geschichten“ zu historisch interessanten Personen.

Somit umfasst die Sitzung: Beiträge zu einigen großen Akustikern, einen Beitrag zu akustischen Preisaufgaben wissenschaftlicher Akademien und den Preisträgern, Beiträge zu historischen Aspekten der Kirchenakustik, der Sammlung phonetischer Geräte und der Stimmungsmesstechnik im Musikinstrumentenbau, Beiträge zur Historie und Entwicklung der Akustik an zwei deutschen Universitäten u.a.m.

- **Binaurales Hören** (Prof. Kohlrausch, Philips Research Laboratories Eindhoven), ab S. 143 bzw. 274

In dieser Sitzung finden sich Beiträge, die sich mit räumlichen/dichotischen Schallfeldern beschäftigen und in denen die Wahrnehmung (oder auch die physiologischen Grundlagen für die Wahrnehmung) durch den Menschen bzw. durch andere Lebewesen zentral steht. Beispiele sind klassische Kopfhörerexperimente (BMLD, Untersuchung von ITD, ILD etc.), Fragen der virtuellen Akustik (HRTFs, Übersprechkompensation), Sprachver-



ständigkeit in (räumlichen) Störgeräuschen, Wahrnehmung des Abstandes, physiologische Fragen (Jeffress Delay line, Hörbereich und binaurale Cues) und natürlich der breite Bereich der Modellbildung. Schon im Programm der DAGA 2006 wurde bereits eine entsprechende Sitzung mit demselben Titel organisiert.

- **Erhöhter baulicher Schallschutz** (Prof. Schmitz, TAC Technische Akustik, Korschbroich), ab S. 237

- **Fahrzeugaeroakustik**

(Dr. Blumrich, FKFS, Stuttgart), ab S. 356

Die Fahrzeugakustik allgemein nimmt in der Entwicklung von Kraftfahrzeugen deutlich an Bedeutung zu. Hierin spielt die Aeroakustik, besonders bei mittleren und höheren Geschwindigkeiten, eine wichtige Rolle. In dieser strukturierten Sitzung sollen aktuelle Themen und Entwicklungen in der Fahrzeugaeroakustik umfassend diskutiert werden. Dies beinhaltet sowohl das Außen- als auch das Innengeräusch,

-erzeugt durch sowohl die äußere Umströmung des Fahrzeuges als auch Durchströmung von z. B. Klimaanlage,

-untersucht mit sowohl experimentellen als auch numerischen Verfahren. Es sollen die Anwendung der Verfahren und fahrzeugbezogene Methodenentwicklung bzw. Verifizierungsexperimente diskutiert werden.

- **Hydroakustik** (Dr. Nolte, FWG Kiel), ab S. 285

Hydroakustik ist primär die Wissenschaft, die sich mit der Schallausbreitung im Ozean beschäftigt. Hier sind u.a. große Entfernungen zu berücksichtigen, so dass Schallstrahlenmodelle Anwendung finden. Auch die Fluid-Struktur-Wechselwirkung von schwingenden Strukturen im Wasser soll Berücksichtigung erfahren, so dass die in den strukturdynamischen Betrachtungsweisen üblichen problembeschreibenden partiellen Feldgleichungen zu Grunde gelegt werden, als auch, wie oben beschrieben, Ray Tracing Methoden. Umweltbedingte Einflüsse werden auch behandelt.

- **Kavitation und Blasen**

(Prof. Lauterborn, Universität Göttingen), ab S. 150

Unter Kavitation versteht man das Aufreißen von Flüssigkeiten unter Schalleinwirkung. Dabei bilden sich Blasen, die im Schallfeld zu schwingen beginnen und dadurch eine Reihe von Phänomenen auslösen. Dazu zählen Stoßwellenabstrahlung, Flüssigkeitsstrahlbildung, Lichtaussendung (Sonolumineszenz) und

chemische Reaktionen. Anwendung findet die Kavitation vor allem in der Ultraschallreinigung. Auch in der Stoßwellenlithotripsie spielen Blasen wahrscheinlich eine Rolle. Die Sitzung soll alle Wissenschaftler und Anwender zum Austausch ihrer Ergebnisse und Gedanken zusammenführen, die auf dem Gebiet der Kavitation und Blasen arbeiten, um die anstehenden Probleme zu diskutieren.

### • **Kfz-Antriebsgeräusche**

(Dr. Philipp, FKFS, Stuttgart), ab S. 198 bzw. 324

Die Antriebsstranggeräusche von Kraftfahrzeugen sind im besonders lärmsensitiven innerstädtischen Fahrbetrieb dominant für das Außengeräusch von Kraftfahrzeugen. Fahrzeuglenker und Insassen erwarten vom Antriebsstrang ein der Fahrzeugklasse und der Fahrsituation angemessenes Geräuschbild und Informationen über den Betriebszustand des Fahrzeugs. In dieser strukturierten Sitzung werden Beiträge

- zur Geräuscentstehung durch Verbrennung, Mechanik und Nebenaggregate
  - zu Geräuschen von Abgasanlagen
  - zur Schallabstrahlung, Körperschallausbreitung und zu Kapselmaßnahmen
  - zu psychoakustischen Analysen
- vorgelegt.

### • **Kfz-Geräusche** (Dr. Helfer, FKFS, Stuttgart), ab S. 190

Die Fahrzeugakustik behandelt sowohl die Innengeräusche als auch die Außengeräusche von Kfz. Dabei geht es nicht nur darum, die einzelnen Geräuscentstehungsmechanismen zu identifizieren und die Schallpegel zu reduzieren, sondern auch darum, ein adäquates akustisches Klima im Fahrzeug zu schaffen. Psychoakustische Mess- und Auswertemethoden sind daher neben den traditionellen Mess- und Analysetechniken von besonderer Bedeutung.

### • **Körperschall in Gebäuden**

(Prof. Fischer, HfT Stuttgart), ab S. 137 bzw. 263

In der Bauakustik zählt die Behandlung von Körperschallproblemen zu den großen Aufgabengebieten und Herausforderungen. Das zu betrachtende Gebiet umfasst unter anderem die Geräusche haustechnischer Anlagen und reicht über den Trittschall bis zu den sog. Nutzergeräuschen. Die aktuellen Entwicklungen in Forschung und Normung verdeutlichen, dass intensiv

an der Behebung der vorhandenen Lücken gearbeitet wird. Dabei geht es insbesondere um die Charakterisierung von Körperschallquellen, die Prognose der Körperschallausbreitung in Gebäuden und die Beurteilung der verursachten Geräuscheinwirkung. Die Strukturierte Sitzung „Körperschall in Gebäuden“ will den aktuellen Stand und die Vielfalt der Aktivitäten zu dieser Thematik darstellen.

• **Lehre der Akustik** (Prof. Blau, FH Oldenburg), ab S. 109

Wie sollte akustisches Wissen vermittelt werden? Welche Konzepte gibt es zur besonders effektiven Vermittlung von akustischem Wissen an akustische Laien? Welche Experimente und Klangbeispiele sind besonders gut zur Vermittlung von akustischen Sachverhalten geeignet? Welche neuen Werkzeuge (Software, Messtechnik, etc.) sind zur Vermittlung akustischen Wissens verfügbar? Welche neuen Studiengänge/Vorlesungen/Lehrangebote auf dem Gebiet der Akustik gibt es? Wie begeistert man junge Menschen für ein Studium der Akustik? Diese und andere Fragen sollen im Mittelpunkt der strukturierten Sitzung „Lehre in der Akustik“ stehen. Hierbei soll explizit nicht nur die akademische Lehre angesprochen werden, sondern auch das Vermitteln akustischer Denkweise an Architekten, Maschinenbauer, Schüler, etc.

• **Leiser Straßenverkehr** (Prof. Ressel, Dipl.-Ing. Stefan Alber, Universität Stuttgart), ab S. 101

Am Emissionsort selbst kann die Lärmentstehung durch innovative Maßnahmen an der Fahrbahn (Material, Textur etc.) vermindert werden. Flüsterasphalte, Waschbetone und Texturverbesserungen oder Materialveränderungen herkömmlicher Straßenbeläge sind Beispiele hierfür. Auch der Reifen als „Gegenpart“ der Fahrbahnoberfläche ist ein wichtiger möglicher Ansatzpunkt zur Emissionssenkung. Weiterhin kann die Ausbreitung des Schalls (Transmission) durch verschiedene Maßnahmen wie Lärmschutzwände oder -wälle verhindert werden.

In der strukturierten Sitzung sollen diese Themen in all ihren Aspekten behandelt werden. Die Beiträge beziehen sich sowohl auf Erfahrungsberichte aus aktuellen Untersuchungen als auch auf weitergehende Analysen, beispielsweise zur Wirtschaftlichkeit und Effizienz von Maßnahmen, auf aktuelle Regel- und Gesetzeswerke sowie auf Modellrechnungen der Schallentstehung und -ausbreitung.

- **Messung, Schallquellenortung und Visualisierung im Luftschallfeld**

(Dr. Gerlach, Robert Bosch GmbH, Stuttgart), ab S. 361

In den letzten Jahren wurde für eine große Anzahl von Anwendern vielkanalige Hardware zur Messwerterfassung verfügbar. In der Luftschallmesstechnik werden daher neben Mikrofonmessungen an einer oder an wenigen Positionen zunehmend Verfahren angewandt, die auf Messungen an vielen Positionen beruhen. Diese Session fasst Beiträge zur Messung im Luftschallfeld mit Mikrofonen für einfache und komplexe Verfahren der Schallquellenortung und Schallvisualisierung wie z.B. Schallfeldkartierung, Nahfeldholografie, Beamformung und akustische Kamera zusammen. Neue Methoden werden vorgestellt, und es wird über interessante Anwendungsbeispiele berichtet.

- **Modalanalyse** (Dr. Helfer, FKFS, Stuttgart), ab S. 177

Die Modalanalyse umfasst die experimentelle oder numerische Charakterisierung des dynamischen Verhaltens schwingungsfähiger Systeme mit Hilfe ihrer Eigenschwingungsgrößen. Werden Eigenschwingungen im Betrieb angeregt, so können diese zu bedeutenden Schallabstrahlungen führen. Treten solche Schallabstrahlungen auf, so ist es von großem Interesse für die Akustik-Entwickler, die zugehörige Eigenschwingungsform zu kennen. Mit dieser Kenntnis können Maßnahmen eingeleitet werden, die das Schwingungsverhalten der Struktur akustisch günstig beeinflussen. Die Modalanalyse stellt somit eines von vielen Werkzeugen dar, um Geräuschminderungen zu erzielen.

- **Music Processing** (Priv. Doz. Dr. Kurth, Prof. Clausen, Dr. Müller, Universität Bonn, Dr. Schuller, TU München, Prof. Kohlrausch, Philips Research Laboratories Eindhoven), ab S. 302

Die automatische Verarbeitung von digitalen Musikdaten und Musiksignalen („Music Processing“) hat sich in den letzten Jahren zu einem wichtigen interdisziplinären Forschungsschwerpunkt entwickelt. Das rasante Wachstum im Bereich Music Processing wurde dabei insbesondere durch die erfolgreichen Entwicklungen auf den Gebieten Audiokompression (in den 90er Jahren) und Music Information Retrieval (in den letzten 6 Jahren) begünstigt. Zu den wichtigen Themen des Music Processing zählen aktuell das Music Information Retrieval, die automatische Musikanalyse, Verfahren der algorithmischen Komposition, Music Recommendation, Music Summarization, Digitale Musikbibliotheken, Musik- und Audio-Content-Management, Musikkategorisierung, der PC

als Tonstudio, Klangsynthese und Notationsprogramme, um nur einige zu nennen. Das Ziel dieser Sitzung ist es, wie in den vergangenen beiden Jahren auch, deutsche und europäische Forschungsaktivitäten auf diesem noch relativ jungen Gebiet näher zusammenzubringen, um Synergiepotenzial der zum Teil sehr unterschiedlichen Forschungsansätze herauszuarbeiten.

- **Numerische Methoden in der Aeroakustik**

(Prof. Munz, Dipl.-Ing. Gregor Gassner, Dipl.-Ing. Jens Utzmann, Universität Stuttgart), ab S. 69

In dieser strukturierten Sitzung werden Vorträge aus dem Bereich der numerischen Simulation von Strömungslärm zusammengefasst. Dabei geht es sowohl um die numerischen Verfahren als auch um Anwendungen auf aktuelle Strömungsprobleme. Bei den Methoden umfasst dies zum Einen die numerische Strömungssimulation mit der direkten Simulation der Lärmentstehung, bei denen über eine Oberflächenkopplung die Ausbreitung ins Fernfeld simuliert wird. Zum Anderen wird auch der hybride Ansatz mit Quelltermberechnung aus der Strömungssimulation behandelt, bei der über eine Volumenkopplung ein akustisches Ausbreitungsmodell die Ausbreitung ins Fernfeld übernimmt.

Neben der Methodenentwicklung sollen auch Vorträge über die numerische Simulation des Strömungslärms bei industriellen Anwendungen, wie zum Beispiel Strahlärm, Lärm rotierender Systeme und Umströmungslärm an Hindernissen mit in die strukturierte Sitzung aufgenommen werden.

- **Numerische Methoden in der Akustik**

(Prof. Langer, TU Braunschweig, Priv. Doz. Dr. Kaltenbacher, Universität Erlangen), ab S. 76 bzw. 169

Die strukturierte Sitzung bietet ein Forum für Beiträge zu den numerischen Methoden in der Akustik, wobei die Methoden und weniger die Anwendung der Verfahren im Mittelpunkt stehen. Die Beiträge beziehen sich auf verschiedenste numerischen Verfahren zur Lösung von akustischen Problemstellungen, wie z.B. Finite-Elemente-Methode, Randelemente-Methode, Verfahren höherer Ordnung, Methode der Fundamentallösungen, Finite Differenzen Verfahren usw. Zusätzlich werden hybride (gekoppelte) Ansätze und Struktur-Akustik-Interaktion diskutiert, und einige Beiträge beschäftigen sich mit der Approximation von Randbedingungen (freie Abstrahlung, semi-transparenten Randbedingungen, etc.) oder der Genauigkeit und der Effizienz von numerischen Verfahren sowie ähnlichen Themen.

- **Physik der Musikinstrumente** (Dr. Angster, Fraunhofer-Institut für Bauphysik Stuttgart), ab S. 129 bzw. 250

Musikinstrumentenbauer haben oft eine langjährige Erfahrung in ihrer handwerklichen Arbeit. Sie erlernen die Herstellung von speziellen Instrumenten entweder in familiären Betrieben oder in speziellen Berufsschulen für Instrumentenbau, wo hauptsächlich das handwerkliche Wissen vermittelt wird, die dahinter stehenden akustischen Phänomene aber nicht erläutert werden. Auch Musikern fehlen oft die akustischen Grundlagen, die dabei hilfreich sein könnten, die Funktionsweise des eigenen Instruments besser zu verstehen und damit auch besser spielen zu können. Die Beiträge befassen sich sowohl mit Ergebnissen der Grundlagenforschung als auch der angewandten Forschung zum Thema Physik der Musikinstrumente.

- **Raumakustik und Beschallung in Mehrzweckräumen**

(Prof. Völker, IAB Oberursel), ab S. 212

Die Beschallungstechnik ist auf die Raumakustik in großen und kleinen Räumen ausgerichtet und umgekehrt. Die Nutzung der Räume zwingt zu akustischen Maßnahmen, die häufig durch das Beschallungskonzept unterstützt werden. Richtcharakteristik der Lautsprecher, Berücksichtigung erwünschter und unerwünschter Schallreflexionen, Entfernung zu den Hörern einschließlich der zugehörigen Steuerungstechnik sind wesentliche Bestandteile. Die Raumakustik muss stimmen, wenn Sprachverständlichkeit und Qualität musikalischer Darbietungen gefordert werden. Dabei ist die Lautsprecheranlage nicht in allen Fällen erwünscht, z. B. für Theater, Chorgesang, Duo mit Klavier und Geige oder Orchesterkonzert. Beiträge befassen sich sowohl mit Beschallung als auch mit Raumakustik. Sie beziehen einzelne Produkte ein und geben Aufschluss über die Akustik des Raumes.

- **Schallschutz mit Holz- und Leichtbau**

(Prof. Scholl, PTB Braunschweig), ab S. 123

- **Soundscape und EU-Directive** (Prof. Schulte-Fortkamp, TU Berlin, Dr. Genuit, HEAD acoustics GmbH), ab S. 206

- **Sprache im KFZ** (Dr. Klasmeyer, IAV GmbH, Dr. Gierlich, HEAD acoustics GmbH), ab S. 84 bzw. 180

Die Schwerpunkte der strukturierten Sitzung sind

1. Freisprecher, deren Komponenten sowie die Evaluierung der Übertragungsqualität und Sprachverständlichkeit von Komponenten und Systemen

2. Sprachbediensysteme, deren Komponenten und die Qualität der Spracherkennung, Sprachausgabe (empfundene Qualität) und Dialogstruktur (Nutzerorientierung, Nutzerakzeptanz)
3. Systeme zur Kommunikation innerhalb von Fahrzeugen, deren Komponenten und die erzielbare Verbesserung der Sprachverständlichkeit im Fahrzeug
4. Systeme zur Sprachkommunikation zwischen Fahrzeugen, Anforderungen, Realisierungen und Qualitätsbeurteilung

- **Sprache und Audio in intelligenten Umgebungen**

(Dr. Möller, Dr. Raake, Deutsche Telekom Laboratories Berlin),  
ab S. 289

Der Austausch von Informationen zwischen dem Menschen und seiner Umwelt hat durch die Einführung digitaler Welten eine neue Qualität erreicht. So kann ein Benutzer in so genannten „intelligenten Umgebungen“ mit seiner Umwelt interagieren, z.B. um Aufgaben zu erledigen, um Dienste abzurufen oder um zu kommunizieren. Die Interaktion bedient sich dabei häufig des akustischen Kanals. Spezielle Fälle einer intelligenten Umgebung sind die „virtual environments“ (Ziel: Plausibilität und/oder Immersion) sowie die „augmented environments“ (Ziel: zusätzlicher Nutzen). In der strukturierten Sitzung sollen Methoden der Interaktion und Kommunikation in intelligenten Umgebungen näher diskutiert werden. Dabei stehen neben den Prinzipien der Generierung und Gestaltung solcher Umgebungen auch der Nutzen und dessen Evaluierung im Mittelpunkt. Die strukturierte Sitzung soll dabei als Podium zum Austausch von Ideen und Forschungsansätzen sowie Forum für Diskussionen dienen.

- **Statistische Energieanalyse**

(Prof. von Estorff, TU Hamburg-Harburg, Dr. Peiffer, EADS München, Prof. Sarradj, BTU Cottbus), ab S. 307

Seit vielen Jahren ist bekannt, dass numerische Methoden, basierend auf Elementmodellen, bei der Untersuchung von Fragestellungen der Akustik sehr erfolgreich eingesetzt werden können. Ihre Anwendung ist jedoch auf den unteren Frequenzbereich beschränkt, in welchem die Modendichte der betrachteten Systeme noch moderat ist. Sollen hingegen akustische Berechnungen für höhere Frequenzen durchgeführt werden, stellt die hohe Anzahl der Moden und deren Sensitivität gegenüber kleinen Änderungen der Eingangsparameter ein Problem dar. Eine Alternative bieten Leistungsbilanzverfahren wie die Statistische

Energieanalyse (SEA). Mit Hilfe der SEA lässt sich der Energieaustausch zwischen allen wichtigen Subsystemen ermitteln und es können akustische Prognosen sowohl hinsichtlich des Luftschalls als auch mit Blick auf den Körperschall durchgeführt werden. Die Strukturierte Sitzung richtet sich an alle, die Interesse an der SEA und ihren Einsatzmöglichkeiten haben. Es werden nicht nur Beiträge präsentiert, in denen über aktuelle Forschungs- und Entwicklungsaufgaben berichtet wird, sondern auch solche, in denen interessante Anwendungen - Luftschall und Körperschall - der SEA dargestellt und diskutiert werden.

- **Thermo- und Strömungsakustik**

(Prof. Ochmann, Dr. Piscoya, TFH Berlin), ab S. 157 bzw. 299  
Aerodynamische Geräusche haben in den vergangenen Jahrzehnten zunehmende Beachtung erhalten. Zahlreiche Messtechniken und numerische Methoden sind zur Charakterisierung und Vorhersage derartiger Geräusche entwickelt worden. Einige dieser Verfahren konnten auch auf Probleme der Thermoakustik angewandt werden. Dennoch sind die Mechanismen der Schallentstehung dieser meistens nichtlinearen Vorgänge noch nicht vollständig verstanden worden, und viele praktische und industrierelevante Probleme entziehen sich noch einer zufrieden stellenden Lösung. Diese Sitzung dient daher dazu, Erfahrungen und Kenntnisse über neue Entwicklungen und Anwendungen in der Thermo- und Strömungsakustik auszutauschen. Behandelt werden sowohl theoretische und numerische Aspekte als auch messtechnische und anwendungsnahe Fragestellungen.

- **Tieffrequenter Schall** (Dr. Genuit, HEAD acoustics GmbH, Prof. Krahé, Universität Wuppertal), ab S. 348

Tieffrequenter Schall erfordert in vielen Bereichen der Akustik durch sein spezifisches Verhalten bzw. seine spezifische Wirkung eine besondere Beachtung, Behandlung oder auch Bewertung. In dieser strukturierten Sitzung werden alle Themen angesprochen, die auf diese Besonderheiten eingehen.

- **Unsichere Parameter in der Körperschall- und Luftschallsimulation** (Prof. Hanss, Universität Stuttgart, Prof. Marburg, TU Dresden), ab S. 401

Die Sitzung umfasst Beiträge zur Behandlung von unsicheren Parametern in Simulationsmodellen. In diesem Bereich haben



sich in erster Linie zwei Betrachtungsweisen herausgebildet: eine possibilistische und eine probabilistische. Erstere zielt im Wesentlichen auf die Prädiktion von Worst-Case-Szenarien und bedient sich häufig der Methoden der Intervallmathematik und neuerlich der Fuzzy-Theorie. Probabilistische Methoden hingegen gehen von einem stochastischen Ansatz aus, der die unsicheren Parameter als Zufallszahlen mit bestimmten Verteilungen repräsentiert. Die Vorträge beschäftigen sich mit den Auswirkungen unsicherer Variablen wie auch mit der Identifikation derselben.

### 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 Overhead-Projektor, einem Laptop und einem Beamer mit einer Standardauflösung von 1024 x 768 Pixeln ausgestattet. Falls Sie eine Bildschirmpräsentation bevorzugen (PowerPoint, PDF), beachten Sie bitte folgende Hinweise:

Zur Vermeidung von Inkompatibilitäten kann der Vortrag gerne über einen **eigenen Laptop** präsentiert werden. Dies ist insbesondere dann zu empfehlen, wenn spezielle Schriftarten, Audio- oder Videokomponenten enthalten sind. Für Bildschirmpräsentationen **ohne eigenen Laptop** steht ein Laptop mit Microsoft PowerPoint und Adobe Acrobat Reader (Windows XP, Office XP) zur Verfügung. Es wird dringend empfohlen, sich die umfangreichen technischen Hinweise zur Umgehung der üblichen Probleme bei Bildschirmpräsentationen auf unserer Homepage unter 'Hinweise für Vortragende' durchzulesen. Bei Verwendung eines eigenen Laptops ist der Vortragende dafür verantwortlich,

dass sein Laptop zu Beginn der Redezeit mit aktiviertem VGA-Ausgang bereit ist.

Falls Sie die vorhandenen Laptops nutzen wollen und Ihre Daten erst zur Tagung mitbringen, beachten Sie bitte folgende Hinweise: Bringen Sie Ihre Daten bitte auf einer CD-ROM oder einem USB-Stick mit. 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 1. März 2007 per E-Mail an [daga2007@lbp.uni-stuttgart.de](mailto:daga2007@lbp.uni-stuttgart.de) eingereicht werden. Weiterhin steht ein Vorbereitungsraum für den Test Ihrer Präsentation zur Verfügung.

Das Abspielen von Audio-Beispielen ist im Rahmen eines Vortrags in jedem Hörsaal mit guter Monoqualität möglich. Sofern ein eigener Laptop für den Vortrag eingesetzt wird, kann dieser mit Hilfe eines 3,5 mm Klinckensteckers (Standard-Audioverbindung für PCs) mit der Audioanlage verbunden werden.

## **Poster**

Die Poster werden thematisch jeweils einer Vortragssitzung zugeordnet und in einem zentralen Bereich des Tagungsortes präsentiert. Sie bleiben jeweils einen Tag hängen. Im Tagungsband wird einer Poster-Präsentation der gleiche Umfang eingeräumt wie einem mündlichen Beitrag. In allen Vortragsessions wird auf die jeweils zugeordneten Poster hingewiesen. Die zu einer Vortragssession thematisch zugehörigen Poster werden hierbei zeitgleich ausgestellt. Eine separate Kurzpräsentation der Poster durch ihre Autoren entfällt damit. Die Autoren sollten während der Ausstellungszeit an ihren Postern anwesend sein. 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, Graphiken der Ergebnisse
- Schlussfolgerungen, Bewertungen, zukünftige Aufgaben

### Informationen zur Abgabe der Manuskripte

Nachstehend finden Sie alle Informationen über die Abfassung und Abgabe des Tagungsbeitrages zur DAGA 2007. 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

[www.daga2007.de](http://www.daga2007.de)

unter 'Autoren → Richtlinien für Autoren' 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

[www.daga2007.de](http://www.daga2007.de)

zur Verfügung gestellte Web-Interface. Die Abgabe der Beiträge soll bis **spätestens zum 22.03.2007** (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 auch die Files per Diskette oder CD-ROM während der DAGA 2007 im Tagungsbüro abgeben.

Der Tagungsband wird in Form einer CD-ROM im Sommer 2007 an die Tagungsteilnehmer versendet. Eine CD pro Tagungsteilnehmer ist in der Tagungsgebühr enthalten (siehe Seite 38).

### **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: Ing. Ines Schimkowski

Tel.: +49 (0)711 - 970 - 3316

Fax: +49 (0)711 - 970 - 3406

E-Mail: [Ines.Schimkowski@ibp.fraunhofer.de](mailto:Ines.Schimkowski@ibp.fraunhofer.de)

Die Ausstellung findet vom 20. bis zum 22. März 2007 auf dem Campus der Universität in Stuttgart-Vaihingen im Hörsaalgebäude ETI statt. Nähere Informationen stehen unter [www.daga2007.de](http://www.daga2007.de) zur Verfügung.

Bis zum 31.12.2006 haben sich folgende Firmen zur Tagungsbegleitenden Ausstellung angemeldet:

- 01dB GmbH
- Akustik Technologie Göttingen
- Braunstein + Berndt GmbH
- Brüel & Kjaer GmbH
- BSW GmbH Berleburger Schaumstoffwerk
- DataKustik GmbH
- deBAKOM GmbH
- Eurofoam Deutschland GmbH Schaumstoffe
- GFal Bereich Signalverarbeitung, Akustische Kamera
- G.R.A.S. Sound & Vibration A/S
- HEAD acoustics GmbH
- Institut für Maschinenwesen, TU Clausthal, zusammen mit Laboratoire Ondes et Acoustique (LOA)
- ISINGER + Merz Gesellschaft mbH
- LMS Deutschland GmbH
- Microflown Technologies BV
- Müller-BBM VibroAkustik Systeme GmbH
- Nießing Anlagenbau GmbH
- Norsonic-Tippkemper GmbH
- Polytec GmbH

- RENZ GmbH
- Rieter Automotive Management AG
- Schalltechnik Süd & Nord GmbH
- Sennheiser electronic GmbH & Co. KG
- SINUS Messtechnik GmbH
- Sonogamma
- SPEKTRA Schwingungstechnik und Akustik 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 20. März 2007 um 12:15 Uhr im Audimax (53.01) statt. In einer jeweils zweiminütigen Präsentation haben die Aussteller der tagungsbegleitenden Ausstellung die Möglichkeit, auf ihre Produkte und Ideen hinzuweisen.

### **DEGA-Mitgliederversammlung**

Am Montag, den 19. März 2007, findet um 17:00 Uhr die DEGA-Mitgliederversammlung im Raum 47.01 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 dem nächsten Sprachrohr 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.

### **Exkursionen**

Im Rahmen der DAGA 2007 werden am Akustik-Standort Stuttgart einige interessante und einzigartige Exkursionen stattfinden. Alle Exkursionen beginnen abends nach den Vortragssitzungen (Exkursion 1 bereits am Montag, 19. März) und sind für die Teilnehmer kostenfrei. Da jedoch die Anzahl möglicher Teilnehmer begrenzt ist, wird um eine frühzeitige, verbindliche Anmeldung über die Webseite der DAGA 2007 gebeten.



### **Exkursion 1: Stiftskirche, Stuttgart**

Geführte Besichtigung der Kirche mit Präsentation der Mühleisen-Orgel, der Innovationen an der Orgel sowie der neu gestalteten Raumakustik. Im Anschluss findet ein kurzes Orgelkonzert zur Demonstration statt. Montag, 19. März 2007, 19.30 bis ca. 21.00 Uhr, ca. 250 Teilnehmer, Individuelle Anfahrt (ca. 15 Minuten)

mit Tagungsticket kostenfrei, mit Imbiss!

### **Exkursion 2: Akustikprüfstände der DaimlerChrysler AG, Sindelfingen**



Geführte Besichtigung der zahlreichen Geräusch- und Strukturakustikprüfstände des PKW-Entwicklungszentrums (MTC). Mittwoch, 21. März 2007, 18.00 bis 20.00 Uhr, max. 30 Teilnehmer, kostenfrei

er Bus-Transfer ab Tagungsort, mit Imbiss!

### **Exkursion 3: Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart (FKFS), Campus der Universität Stuttgart in Vaihingen**



Geführte Besichtigung der Fahrzeugakustik-Einrichtungen und -Prüfstände, wie Straßensimulator, Geräuschmessanhänger, Motorakustik-Prüfstände, numerische Aeroakustik. Das besondere Highlight der Exkursion stellt der 1:1-Aeroakustik-Fahrzeugwindkanal dar. Mittwoch, 21. März 2007, ab 18.30 Uhr, max. 100 Teilnehmer, Individueller Zugang, ca. 10 Minuten Fußweg vom Tagungsort, mit Bewirtung!

### **Exkursion 4: Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), Stuttgart-Vaihingen**



Geführte Besichtigung der mehr als 20 Akustik-Labors - von Freifeldraum bis Hallraum, von Windkanal bis Regen-geräuschprüfstand - sowie Präsentation neuester Forschungsergebnisse. Mittwoch, 21. März 2007, ab 18.30 Uhr, max. 200 Teilnehmer, Individueller Zugang, ca. 10 Minuten Fußweg, Hocketse mit Bewirtung!

## Anmeldung zur Teilnahme an der Tagung

Die Anmeldung zur Teilnahme soll vorzugsweise im Internet unter [www.daga2007.de](http://www.daga2007.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 427 verwenden.

## Late Poster

Bitte beachten Sie, dass die Anmeldung eines mündlichen Vortrags leider nicht mehr möglich ist, da die Anmeldefrist am 1.11.2006 abgelaufen ist. Wie im letzten Jahr besteht aber wieder die Möglichkeit, ein „Late Poster“ anzumelden, und zwar bis zum 12. März 2007. Dies beinhaltet - wie für Vorträge und Poster auch - einen zweiseitigen Beitrag im Tagungsband. Die Anmeldung und Koordination läuft per E-Mail über [daga2007@lbp.uni-stuttgart.de](mailto:daga2007@lbp.uni-stuttgart.de).

## Teilnahmegebühren

Gruppe	Mitglieder <sup>(1)</sup>	studierend	Rentner <sup>(2)</sup>	€ früh <sup>(3)</sup>	€ spät <sup>(4)</sup>
1 <sup>(5)</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>(6)</sup>	nein	ja	nein	70,-	80,-
6	nein	ja	nein	60,-	70,-
7	ja	ja	nein	30,-	40,-

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

(2): Die Teilnahmegebühren für „Rentner“ gelten auch für Erwerbslose. Teilnehmer aus dieser Kategorie, die nicht Mitglied<sup>(1)</sup> sind, zählen zu Gruppe 2.

(3): Gebühr bis einschl. 31. Jan. 2007

(4): Gebühr ab dem 1. Feb. 2007

(5): *Paketangebot*: Tagungsteilnahme *plus* Neu-Mitgliedschaft in der DEGA im Jahr 2007

(6): *Paketangebot*: Tagungsteilnahme *plus* Neu-Mitgliedschaft als Studierende(r) in der DEGA im Jahr 2007

Die Teilnahmegebühren entnehmen Sie bitte der Tabelle. Das Paketangebot für Nicht DEGA-Mitglieder umfasst neben der Tagungsteilnahme die volle persönliche Mitgliedschaft in der DEGA inklusive des Mitgliedsbeitrags für das Jahr 2007. Dieses Paketangebot ist auf Grund der geringen Differenz zur regulären Teilnahmegebühr sehr attraktiv. Nach Ablauf des Jahres 2007 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.

### **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 2007. 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.

### **Zahlungsweise**

Zahlungen innerhalb Deutschlands sollten vorzugsweise per Lastschrifteinzug durchgeführt werden und aus dem Ausland per Kreditkarte. Bei der online-Anmeldung über [www.daga2007.de](http://www.daga2007.de) können Sie die entsprechenden Angaben machen.

Falls keine Zahlung per Internet veranlasst werden soll, kann auch eine Zahlungsermächtigung von obiger Webseite heruntergeladen werden. Bitte füllen Sie diese aus und senden sie unterschrieben an die DEGA-Geschäftsstelle (siehe Impressum, Umschlagseite). Ebenso kann der Betrag auf folgendes Konto überwiesen werden:

Konto-Inhaberin: DEGA e.V.  
Oldenburgische Landesbank  
BLZ: 280 200 50

Konto-Nr.: 108 372 01 07

(IBAN: DE28 2802 0050 1083 7201 07, BIC: OLBODEH2)

### **Hinweise zur Gastronomie**

*Mensa und Cafeterien:* Die Tagungsteilnehmer haben die Möglichkeit, in der Mensa, in unmittelbarer Nähe des Tagungsortes zu essen, Öffnungszeiten sind 11.15 Uhr bis 14.00 Uhr. Darüber



hinaus bieten auch die drei Cafeterien auf dem Campus zwischen 7.45 Uhr und 16.00 Uhr kalte und warme Speisen an. Die Bezahlung erfolgt in Bar.

*Restaurants in Nähe des Tagungsortes:*

- Ristorante Pizzeria Bologna da Toni, Pfaffenwaldring 62, 70569 Stuttgart
- da Franco Trattoria, Adolf-Engster-Weg 10, 70569 Stuttgart
- Römerhof, Robert-Leicht-Straße 93, 70563 Stuttgart
- China Restaurant Bao Jing, Möhringer Landstraße 15, 70563 Stuttgart

*Weitere Restaurants und Bars:* Eine große Auswahl an Restaurants und Bars gibt es im Zentrum Stuttgarts, z.B. in der Calwer Straße oder in der Theodor-Heuss-Straße. Vom Tagungsort aus erreicht man das Zentrum in ca. 10 Minuten mit der S-Bahn. Der beste Ausgangspunkt für den Abend ist die Haltestelle Stadtmitte. Ratgeber zum Thema Bars und Restaurants gibt es im Internet unter anderem unter:

[www.stuttgart-tourist.de](http://www.stuttgart-tourist.de) → Übernachten & Gastronomie

[www.stgt.com](http://www.stgt.com) → Gastronomie

[www.stuttgarter-zeitung.de](http://www.stuttgarter-zeitung.de) → Gastronomie

**Wichtige Termine zur DAGA 2007**

- 31. Januar 2007: Letzter Termin für die Anmeldung mit den günstigeren („frühen“) Teilnahmegebühren.
- 19. März 2007: Vorkolloquien, DEGA-Mitgliederversammlung.
- 19. März - 22. März 2007: DAGA 2007-Tagung, Abgabe der druckfertigen Tagungsbeiträge möglichst in elektronischer Form als pdf-Datei (über das bereitgestellte Web-Interface).
- Sommer 2007: Versand der CD-ROM sowie der geordneten (kostenpflichtigen) gedruckten Tagungsbände.

## Eröffnungsveranstaltung und Produkt-Forum

Di. 9:00    AudiMax 53.01    Eröffnung der DAGA 2007

---

- Begrüßungen
- Verleihung des Lothar-Cremer-Preises und anschließender Plenarvortrag des Preisträgers
- Verleihung der Helmholtz-Medaille und anschließender Plenarvortrag des Preisträgers

Di. 12:15    AudiMax 53.01    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

Mi. 11:00    Raum 47.01    Plenarvortrag 1

---

### **"Natürliche" akustische Mensch/Maschine-Schnittstellen - eine Herausforderung für die digitale Signalverarbeitung**

W. Kellermann

*Lehrstuhl für Multimediakommunikation und Signalverarbeitung, Universität Erlangen-Nürnberg*

"Natürliche" akustische Mensch/Maschine-Schnittstellen für zukünftige Multimedia- und Kommunikationsendgeräte sollten dem Benutzer idealerweise das Tragen technischen Geräts ersparen und gleichzeitig möglichst große Bewegungsfreiheit lassen. Daraus ergeben sich an die digitale Signalverarbeitung verschiedene Forderungen, die teilweise nur mit erheblichem Rechenaufwand zu erfüllen sind, zum Teil auch bis vor Kurzem selbst theoretisch noch gar nicht erfüllbar schienen. Von den beiden grundsätzlichen Aufgaben, der Schallwiedergabe und der Schallaufnahme, betrachten wir vor Allem die Aufnahme-seite. Bei typischen Anwendungen in störbehafteten und halligen Umgebungen sind dabei Wunschquellen zu extrahieren und zusätzlich zu enthalten, Lautsprecherechos zu kompensieren und schließlich punktförmige und diffuse Störquellen zu unterdrücken. Hinzu kommt

häufig die Aufgabe, die augenblickliche Position der Wunschquellen zu bestimmen. Basierend auf einer grundsätzlichen Problemanalyse wird der Stand der Technik anhand von Beispielen illustriert und es werden die offenen Probleme diskutiert. Während akustische Echokompensation nicht nur für Fünfkanal-Wiedergabesysteme echtzeitfähig ist, sondern auch bereits für Wellenfeldsysteme möglich ist, stellt die Extraktion von Wunschquellen aus geräuschbehafteten Umgebungen und bei mehreren aktiven Quellen ein nur teilweise gelöstes Problem dar. Mehrkanalige Algorithmen für Beamforming und zur Blinden Quellentrennung haben in jüngerer Vergangenheit teilweise Produktreife erreicht und werden für immer neue Anwendungen diskutiert. Blinde Enthaltung von Sprachsignalen schien bis vor Kurzem noch unrealistisch, aber ihre schiere Notwendigkeit, insbesondere bei Spracherkennung aus der Distanz, hat hier zu erheblichen Forschungsanstrengungen mit einigen ermutigenden Ergebnissen geführt. Abschließend werden auch Verfahren gezeigt, mit denen die gleichzeitige Lokalisierung mehrerer Quellen möglich ist.

Mi. 11:45    Raum 47.01

Plenarvortrag 2

## **Wahrnehmung und Wirkung von Schall - Akustik zwischen Physik und Psychologie**

J. Hellbrück

*Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt*

Man kann sich kaum zwei gegensätzlichere Fachdisziplinen vorstellen als Physik und Psychologie. In der Akustik ergänzen sich die beiden Wissenschaften jedoch in fruchtbarer Weise. Dies trifft bekanntermaßen für die Psychoakustik zu, aber auch - und dies ist weniger bekannt - für Forschungs- und Anwendungsgebiete, in denen Wirkungen von Schall auf Verhalten und kognitive Funktionen des Menschen untersucht werden. Natürlich liegen Schallwirkungen, insbesondere Belästigungsreaktionen auf Lärm, auch nicht-akustische Varianzquellen zugrunde, wie etwa die Einstellung gegenüber der Schallquelle. In diesem Vortrag stehen jedoch Schallwirkungen im Vordergrund, die einen relativ engen Zusammenhang mit physikalischen Eigenschaften des Schalls aufweisen. Es geht in erster Linie um Wirkungen auf kognitive Funktionen, wie Aufmerksamkeit, Kurzzeitgedächtnis und Schlussfolgerungsprozesse. Eine Einordnung dieser Schallwirkungen erfolgt im Rahmen kognitionpsychologischer Modelle. Dabei wird Bezug auf experimentelle Ergebnisse der Grundlagenforschung genommen. Ausgehend von den theoretischen

Grundlagen werden ingenieurwissenschaftliche Anwendungen beschrieben. Hierbei werden beispielhaft Untersuchungsergebnisse zu Wirkungen von Verkehrslärm sowie zu Auswirkungen von Büroakustik und Klassenraumakustik auf kognitive Leistungen in Arbeits- und Lernumwelten skizziert. Vor dem Hintergrund wahrnehmungs- und kognitionspsychologischer Rahmenmodelle und Konzepte werden auch akustische Warn- und Informationssignale diskutiert, die unter dynamischen Umweltbedingungen zum Einsatz kommen können, etwa beim Führen eines Kraftfahrzeugs. Wahrnehmbarkeit, inhärente und gelernte Bedeutung der Signale, wahrgenommene Dringlichkeit und Handlungslenkung spielen hier eine Rolle. Abschließend wird das ergonomische Potenzial einer zukunftsweisenden ingenieurpsychologischen Akustik ausgelotet, die gleichermaßen physikalisch wie psychologisch begründet ist.

Do. 11:00 Raum 47.01

Plenarvortrag 3

## **Lärmreduktion durch Adaptive Systeme**

H. Hanselka

*Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit, Darmstadt*

In den letzten 10 - 15 Jahren haben grundlegende Forschungsarbeiten über adaptive Systeme auf Basis multifunktionaler Materialsysteme zunehmend das Interesse der Industrie geweckt, diese Ergebnisse auf eine vielfältige Anzahl von Problemstellungen anzuwenden. Ein Schwerpunkt der Forschungsarbeiten und der betrachteten Problemstellungen liegt dabei auf der Lärm- und Schwingungsreduktion im allgemeinen Maschinenbau, insbesondere jedoch in Fahrzeugen jeglicher Art, bei Werkzeugmaschinen, im Bauwesen oder der Luft- und Raumfahrt. Die miteinander gekoppelten Phänomene Schwingung und Lärm begrenzen dabei die Entwicklung und Umsetzung innovativer und effizienter Leichtbaustrukturen. Unter Berücksichtigung, dass Lärm zu den wesentlichen Umweltverschmutzungen gezählt wird, wird die Lärmabstrahlung von technischen Strukturen (neben der Sicherheit, Energieeffizienz, ...) in den nächsten Jahren ein bedeutendes Auslegungskriterium sein.

Die miteinander gekoppelten Phänomene Schwingung und Lärm (Vibroakustik) begrenzen die Entwicklung und Umsetzung innovativer und effizienter Leichtbaustrukturen. Dabei können mit Hilfe aktiver Verbindungselemente, z.B. einer aktiven Lagerung, die Körperschallübertragungswege gezielt unterbrochen und damit Sekundärerregungen verhindert werden. Der optimale Einsatzort

dieser Maßnahmen, die auch additiv zu passiven Maßnahmen eingesetzt werden können, bestimmt sich dabei aus dem Aufbau des vorliegenden Systems. Neben der Körperschallübertragung wird bei adaptiven Systemen auch der direkt abgestrahlte Luftschall betrachtet. Luftschall kann zum Einen aufgrund primär- oder sekundär erregten Körperschall abgestrahlt werden, zum Anderen kann eine einseitige Luftschallerregung Ursache für den luftschallabstrahlenden Körperschall der Struktur sein. Die Maßnahmen zur Beeinflussung dieser Effekte zielen in beiden Fällen auf eine Minderung des Körperschalls ab. So lassen sich zur Minderung der abgestrahlten Schalleistung schwingender Strukturen, z.B. mittels speziell verschalteter piezokeramischer Elemente, die schallerzeugenden Verformungen bedämpfen, schmalbandig tilgen oder aktiv wegregeln. Der optimale Einsatzort dieser Maßnahme bestimmt sich aus den Schwingungsformen des vorliegenden Systems.

Bis heute sind eine Vielzahl von multifunktionalen, aktiven Materialsystemen wie Faserverbunde mit integrierten Piezokeramiken oder Formgedächtnislegierungen entwickelt, charakterisiert und in adaptiven Systemen eingesetzt worden. Das hohe Potential adaptiver Systeme auf Basis dieser aktiven Materialsysteme konnte dabei in Form einzelner Prototypen nachgewiesen werden. Im Rahmen dieses Beitrages werden hiervon ausgewählte Beispiele vorgestellt und diskutiert.

Do. 11:45    Raum 47.01

Plenarvortrag 4

## **Akustikingenieure im Spannungsfeld der Gesamtfahrzeugentwicklung**

R. Von Sivers

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

In den vergangenen 20 Jahren sind durch die gestiegenen Kundenwünsche nach verbessertem Schwingungs- und Geräuschkomfort, einen interessanten Soundeindruck vom Fahrzeug sowohl innen als auch außen, bis hin zur perfekten akustischen Qualität, sowie aufgrund der weltweiten schärferen Verkehrsgeräuschgrenzwerte sind die Aufgaben der Akustikingenieure deutlich gewachsen. Heute ist die Erreichung der schwingungstechnisch-akustischen Gesamtfahrzeugziele oberstes Gebot. Der Akustikingenieur ist in den Fahrzeugentwicklungsprozess dazu über die Baureihe eng und eigenverantwortlich eingebunden, um neben dem akustischen Fahrzeugverhalten und hinsichtlich Gewicht, Kosten, Package und Prozesssicherheit

die gesteckten Entwicklungsziele zu erreichen. Im Entwicklungsalltag wird der Akustiker so zum Allrounder mit tieferem Physikwissen, EDV- und Meßsystemkenntnissen, Prozessverständnis, Teamplayerfähigkeiten und Gesamtfahrzeug-Beurteiler mit Mechanik-Knowhow. Bei dieser Herausforderung helfen ihm die verbesserten, vielkanaligen Computersysteme zur Identifizierung schwingungstechnischer Phänomene und Abhängigkeiten. Die genauer werdenden CAX-Möglichkeiten und Vorhersagen erlauben dabei heute schon Konzeptbewertungen im immer höheren Frequenzbereich im frühen Entwicklungsprozess. Durch diese CAX-Vorhersagen und begleitende Prinzipuntersuchungen im Vorfeld an so genannten Aggregateträgern beeinflusst der Akustikingenieur Karosseriestrukturentwürfe, packagerelevante Außenkonturen und viele Lagerungskonzepte von Achsen, Aggregaten und Schalldämpferanlagen mit. Sein Engagement trägt entscheidend mit dazu bei, ob der Kunde mit dem erworbenen Fahrzeug "nur" von Ort A nach Ort B fährt, oder seine fünf Sinne ihm positiv Reizvolles signalisieren. Die Ohren, das Gespür, die Augen, ja der ganze Körper fährt schließlich mit - der Akustikingenieur ist gefordert.

## Vorkolloquium: Maschinenakustik

(Zusammenfassung: siehe S. 19)

Mo. 13:00    Raum 57.01

Vorkolloquium Maschinenakustik

### **Maschinenakustik - gestern, heute und Aufgaben der Zukunft**

G. Hübner

*Institut für therm. Strömungsmaschinen, Universität Stuttgart*

Das weltweit wohl erste Kompendium, in dem maschinenakustische Fragen explizit angesprochen wurden, erschien bereits 1940, herausgegeben von E. Lübcke unter Beteiligung von Erwin Meyer und Lothar Cremer, den späteren Lehrstuhlinhabern des 3. Physikalischen Instituts der Universität Göttingen und der TU Berlin. Seitdem ist Forschung und Lehre dieser Thematik zugunsten anderer Zweige der Technischen Akustik in den Hintergrund getreten, insbesondere gegenüber der Bau- und Raumakustik. Erst durch Aktivitäten einzelner Firmen, insbesondere der Siemens AG, und ab 1980 in der Universität Stuttgart rückte die Maschinenakustik durch Einzelveröffentlichungen und Vorlesungen wieder stärker ins Blickfeld. Anlass dazu war, dass der von Maschinen und Fahrzeugen erzeugte Lärm Berufskrankheiten mit dem höchsten Stellenwert in der Bundesrepublik verursacht, Wertminderungen von Grundstücken und Wohngebäuden sowie Verringerungen der Arbeitsproduktivität zur Folge haben. Dem treten bereits seit längerem auch Verordnungen der Bundesrepublik sowie der EU, wie die 'Physikalische-Agenzien-Richtlinie-Lärm', 2003/10/EG und die Maschinenrichtlinie in ihrer früheren und neusten Fassung 2006/42/EG entgegen, ohne dass allerdings hierdurch bisher eine grundlegende Tendenzwende erreicht werden konnte. Andererseits gibt diese Situation aber auch der Industrie die Chance, leise Produkte zu entwickeln, für die besonders dann ein großer Markt existiert, falls die bessere Qualität mit keinen oder nur mit sehr geringen Mehrpreisen angeboten werden kann. Hilfreich für Akquisitionen ist dabei aber auch der inzwischen erreichte hohe Stand der Geräuschemissions-Messtechnik, durch den der Maschinenlärm unter fast allen Umgebungsbedingungen mit wohl definierten Unsicherheiten gemessen und so auch eindeutig nachprüfbar geworden ist. Für

die Entwicklung leiserer Maschinen und Fahrzeuge unter Kosten Gesichtspunkten besteht das Ziel, bereits aus der Konstruktionszeichnung die Geräuschemission bestimmen zu können. Grundlage dieser Aufgabe ist zusammen mit der Maschinengeräusch-Messtechnik die **Maschinenakustik**.

Das Kolloquium vermittelt einen Überblick über den Wissensstand der Vorausbestimmung der Geräuschemission von Bauelementen der Maschinen- und Fahrzeugtechnik. Diese Übersicht wird ferner durch Schwerpunkt-Vorträge vertieft, die den neuesten Stand bei der Bestimmung relevanter aerodynamischer Geräusche, die Schallabstrahlung schwingender Festkörper, die Körperschallausbreitung in typischen Maschinenbauelementen sowie die Messung und die Messunsicherheiten beschreiben. Ergänzend hierzu wird über die neusten Entwicklungen auf dem diesbezüglichen Verordnungswege berichtet.

Mo. 13:15    Raum 57.01    Vorkolloquium Maschinenakustik

### **Zur Schalleistung quer angeströmter Kreiszylinder in einem weiten Bereich von Ähnlichkeitskennzahlen**

V. Wittstock

*Physikalisch-Technische Bundesanstalt*

Die Abhängigkeit aerodynamisch erzeugter Schalleistungen von makroskopischen Strömungsparametern wurde in einem speziellen Messraum experimentell untersucht. Dieser Raum ist ein kleiner Hallraum, in dem der statische Druck zwischen 1 und 100 kPa variiert werden kann. Als Schallquellen dienen Kreiszylinder verschiedener Längen und Durchmesser, die zwischen zwei Scheiben in einer Rundlaufanordnung rotieren. Die untersuchten Machzahlen überdecken dabei eine Spanne von 0,05 bis 0,3 und die Reynoldszahlen lagen zwischen 50 und 105. Die Anströmgeschwindigkeit der Zylinder und der Turbulenzgrad der Anströmung wurde mit Splitfilmsonden gemessen. Die nach dem Hallraumverfahren bestimmten Terzschalleistungen wurden in eine spektrale Leistungsdichte als Funktion der Strouhalzahl überführt. Durch eine Normierung des Einflusses der Machzahl, des Zylinderdurchmessers, der Zylinderlänge, der Anströmturbulenz und der Luftdichte wurde ein universelles Schalleistungsdichtespektrum ermittelt, das ein deutliches Maximum bei einer Strouhalzahl von 0,2 besitzt. Dieses Spektrum beschreibt alle Messergebnisse mit einer Streuung von ca. 5 dB. Diese recht große Streuung ist einerseits durch die Unsicherheit der akustischen Messungen, andererseits aber auch durch die vereinfachende



Beschreibung der Strömung durch makroskopische Parameter erklärbar.

Mo. 13:30    Raum 57.01    Vorkolloquium Maschinenakustik

**Experimentelle Untersuchungen zum Einfluss der Gaseigenschaften auf aerodynamisch erzeugte Schalleistungen an rotierenden Kreiszylindern**

J. Hupfeld

*Institut für therm. Strömungsmaschinen, Universität Stuttgart*

Die vorgelegte Arbeit ist ein Beitrag zum Einfluss des Strömungsmediums auf die aeroakustische Schallgenerierung von quer angeströmten Kreiszylindern als Beispiel eines typischen Maschinenbauelements. Diese experimentellen Untersuchungen schließen sich an frühere Untersuchungen an, die von Wittstock für Luft nun aber in Helium bei verschiedenen Konzentrationen durchgeführt wurden. Bei Verwendung von Helium ändert sich unter anderen die Schallgeschwindigkeit und damit die einer Frequenz zugeordneten Wellenlänge auf das Dreifache, so dass neben den geänderten Strömungsverhältnissen insbesondere das neue Verhältnis von Objekt-Abmessungen zu Wellenlänge ein deutlich unterschiedliches Abstrahlverhalten bei gleicher Frequenz erwarten lässt. Ferner erweitert sich durch das geänderte Gas auch der früher untersuchte Wertebereich der maßgebenden Ähnlichkeitskennziffern (Helmholtz-, Reynolds-, Strouhalzahl). Darüber hinaus stellt sich durch die Eigenschaften des Heliums auch eine neue messtechnische Aufgabe. Der für die Schallleistungsbestimmung zur Verfügung stehende, in eine Druckkapsel eingebaute, kleine Hallraum hat ein Volumen von  $3,3 \text{ m}^3$  und besitzt damit eine untere Grenzfrequenz von ca. 400 Hz für Luft, die sich durch das Trägermedium Helium um den Faktor 3 auf 1200 Hz verschiebt. Um die Schallleistung auch bei tieferen Frequenzen messen zu können, wurde deshalb der Hallraum für die Schallleistungsbestimmung im Übergang bis zur Druckkammer, bis zu einem Verhältnis der mittleren Kantenlänge  $L_m$  des Hallraums zur Wellenlänge  $l$  von  $L_m/l < 0,1$  kalibriert. Auf Basis spektral ermittelter Schallleistungspegel der rotierenden Kreiszylinder im Minihallraum und den mittels Hitzdrahttechnik erfassten Strömungswerten konnten durch Parametervariationen (Rotationsgeschwindigkeit, Zylinderzahl, Zylinderlänge, Zylinderdurchmesser, Helium-Luft-Mischungsverhältnis) die Einflüsse der Anströmgeschwindigkeit, der Zylinderzahl, der Zylinderlänge, dem Zylinderdurchmesser und der Schallgeschwindigkeit auf die emittierte

Schalleistung separiert betrachtet und diese durch eine umfassende Gleichung dargestellt werden.

Mo. 13:45    Raum 57.01    Vorkolloquium Maschinenakustik

## **Discussion of Numerical Noise Prediction Methods Applied to Fluid Machinery**

I. Pantle

*Universität Karlsruhe, Fachgebiet Strömungsmaschinen*

Accurate prediction of fluid machinery noise is still a complex issue. Various methods exist, where flow phenomena are interpreted as specific noise sources and thus, noise levels of fluid machinery can be predicted. Any of these methods requires deep and fairly accurate knowledge of the flow. Empirical methods have been developed, identifying mono-, di- and multipole sources in the flow. These lead to fairly good estimations of the sound pressure or sound power levels of such machinery. In recent times empirical estimations were improved by using numerical methods for the determination of the flow characteristics, such as steady or unsteady flow calculations. However, fully numerical prediction methods, i.e. numerical methods for the flow and the noise prediction, are under development for the last decade. Since the so-called direct numerical simulations (DNS), which contain both flow and acoustical movements, are still far too consumptive in terms of computing time and resources to be applied to realistic flows with reasonable Reynolds-numbers and geometries, hybrid methods were introduced. These consist of a flow calculation (Computational Fluid Dynamics/CFD) and an acoustical calculation, specifically adapted to the requirements of acoustical waves. Although fully numerical, the acoustical calculation methods differ, depending on the case and complexity of the intended application. Since the CFD methods can also vary significantly, no standardized way of noise prediction for fluid machinery, aerodynamic and hydraulic, including specific casings and installation situation, has been developed so far.

This contribution aims to point out the specific requirements, possibilities and limitations of several hybrid methods. Focus is laid on a comparison of a hybrid CFD/integral Ffowcs Williams and Hawkings method with numerical field methods such as Computational Aero-Acoustics (CAA), where the wave propagation is resolved by a field calculation based on disturbance equations. Differences in the numerical treatment of inside/outside wave propagation, liquid and gas flows, the numerical accuracy and the

required computing resources will be pointed out in general and shall be discussed in the context of fluid machinery.

Mo. 14:00    Raum 57.01    Vorkolloquium Maschinenakustik

---

**Ein Beitrag zur Weiterentwicklung der DFEM für die Berechnung der Schallleistung von 3-dimensionalen Körperschallquellen**

A. Gerlach

*Robert Bosch GmbH*

Die Direkte Finite Elemente Methode gestattet, die Schallleistung von Körperschallquellen ohne den bei anderen Verfahren üblichen Weg über Feldgrößen zu berechnen. In früheren Arbeiten wurde das Verfahren für 2-dimensionale Schallquellen verifiziert und ein Vorschlag zur Erweiterung auf beliebig gestaltete Körper unterbreitet. Der Beitrag stellt ein Näherungsverfahren zur Erweiterung auf 3-dimensionale Körperschallquellen vor. Dieses wird mit analytischen und messtechnischen Ergebnissen verglichen.

Mo. 14:15    Raum 57.01    Vorkolloquium Maschinenakustik

---

**Verkürzung der DFEM-Rechenzeit für die Schallleistungsbestimmung 3-dimensionaler Körperschallquellen durch Kreissegment-Integration**

M. Kraus

*Institut für therm. Strömungsmaschinen, Universität Stuttgart*

Die Hauptbeurteilungsgröße der Schallemission von Maschinen und technischen Anlagen ist die Schallleistung. Zur Berechnung dieser Kenngröße stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Eines der effektivsten und praktikabelsten ist die Direkte Finite Elemente Methode (DFEM). Der Beitrag informiert über den aktuellen Entwicklungsstand der DFEM. Insbesondere wird eine neue Methodik zur Modellierung von nicht schwingenden Oberflächenbereichen der Umgebung (wie Boden, Wände, benachbarte Maschinenteile, usw.) vorgestellt, die zu erheblichen Rechenzeiterparnissen führt. Im Vergleich mit den Randelement-Methoden (BEM) benötigt die DFEM zur Berechnung der abgestrahlten Schallleistung eine 100 mal kürzere Rechenzeit. Die DFEM bietet sich dadurch insbesondere für Optimierungsrechnungen an, bei denen aufgrund von Parametervariationen eine große Anzahl von Rechnungen durchgeführt werden müssen. Die vorgestellte Methodik sollte in abgewandelter Form auch bei anderen Berechnungsverfahren wie den BEM anwendbar sein.

Mo. 15:00    Raum 57.01

Vorkolloquium Maschinenakustik

**Darstellung und Berechnung von Körperschall in Maschinenbauelementen mit Hilfe der Wellentheorie**G. Hübner<sup>a</sup> und P. Kurtz<sup>b</sup><sup>a</sup>*Institut für therm. Strömungsmaschinen, Universität Stuttgart;*<sup>b</sup>*Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin*

Maschinenbauelemente zeichnen sich durch eine große geometrische Vielfalt aus, gekennzeichnet durch unterschiedlich gekrümmte und gewundene 'Stäbe' variablen Querschnitts sowie 'Schalen' verschiedener, selten ebener Gestalt. Für eine weiterführende Bestimmung des vom Körperschall dieser Elemente abgestrahlten Luftschalls interessiert ferner ein erweiterter Frequenzbereich bis mindest ca. 6 kHz. Die 'klassische Körperschallbeschreibung' verwendet zur Lösung derartiger Körperschallaufgaben partielle Differentialgleichungen, die je nach Bauteilgestalt durch partielle Differentialgleichungen unterschiedlichster Ordnungen beschrieben werden, wie z.B. von 4. Ordnung für die Biegewelle im geraden Stab, von 6. Ordnung für den konstant gekrümmten Kreisbogen und von 12. Ordnung für die Spirale. Als abhängige Variablen gehen in diesen Gleichungen im übrigen nur bestimmte Einzelkomponenten der Gesamtverschiebung ein und durch Vernachlässigung der sogenannten 'Nebeneinflüsse' ist der frequenzmäßige Anwendungsbereich nach oben hin sehr beschnitten. Die klassische Beschreibung von Körperschall in 'Platten' und 'Schalen' zeichnet sich durch die gleichen zuvor beschriebenen Probleme aus. Die für eine ingenieurmäßige Lösung von Körperschallaufgaben des Maschinen- und Fahrzeugbaus entwickelte 'Wellentheorie' fasst dagegen übergreifend die hierfür bisher klassisch behandelten Körperschallvorgänge zusammen, erweitert dieses Feld auf praktisch alle im Maschinenbau vorkommenden Stabgeometrien und beschreibt insbesondere diese gesamte Aufgabenstellung einheitlich durch eine einzige Differentialgleichung mit im übrigen nur 2. Ordnung von Ort und Zeit. Ferner ist der Anwendungsbereich dieser Wellentheoretischen Beschreibung zu höheren Frequenzen hin erweitert durch Berücksichtigung sämtlicher 'Nebeneinflüsse'. Die Verschiedenheit der Stabgeometrien und Werkstoffeigenschaften drückt sich dabei lediglich durch unterschiedliche Koeffizienten-Matrizen der Differentialgleichung aus. Schließlich werden dabei die Verschiebung und Beanspruchung den Bewegungsfreiheitsgraden zugeordnet

durch 6-komponentige Vektoren beschrieben, in denen die klassisch verwendeten Komponenten gleichberechtigt zusammengefasst sind. Analoge einheitliche Beschreibungen werden auch für 'Schalen' verschiedener Gestalt vorgestellt.

Der Beitrag vermittelt die Grundlagen der "Wellentheorie" und stellt quantifiziert Dispersions- und Polarisations-Verhalten sowie die Körperschalleistung beispielhaft für typische Maschinenbauelemente vor.

Mo. 15:15 Raum 57.01

Vorkolloquium Maschinenakustik

### **Zum aktuellen Stand der Messunsicherheitsermittlung bei Schallemissionsmessungen**

V. Wittstock

*Physikalisch-Technische Bundesanstalt*

Die akustischen Emissionen von Schallquellen werden durch die Schallleistung oder durch die Emissions-Schalldruckpegel charakterisiert. Die zugehörigen Rahmenmessverfahren sind in den Normenreihen DIN EN ISO 3740 - 3747, DIN EN ISO 11200 - 11205 sowie DIN EN ISO 9614-1, -2, -3 spezifiziert. Im Rahmen einer Überbearbeitung dieser Normen steht nun die Aufgabe, für diese Messverfahren nachvollziehbare Unsicherheiten anzugeben. Eine Möglichkeit besteht nun darin, ausgehend von der Definition der Messgröße die einzelnen Unsicherheitskomponenten zu ermitteln und zu einem Unsicherheitsbudget zusammenzufassen. Zu einigen Unsicherheitskomponenten gibt es hierzu bereits detaillierte Vorschläge, die im Beitrag vorgestellt werden. Der derzeitige Kenntnisstand ist jedoch bezüglich auftretender Korrelationen wie auch der Modellbildung unvollständig, so dass es nicht möglich ist, ein komplettes Unsicherheitsbudget aufzustellen. Daher wird auch in der nächsten Zukunft von Unsicherheiten Gebrauch gemacht, die als Vergleichs-Standardabweichungen in Ringversuchen ermittelt wurden. Die hierzu vorliegenden Ergebnisse werden im Beitrag zusammengefasst und einer einheitlichen transparenten Auswertung unterzogen. Durch gleichzeitige Betrachtung der Terzwerte wie auch der linearen und Abwerteten Ergebnisse wird zudem die zwischen den Terzwerten auftretende Korrelation ermittelt.

---

Mo. 15:30    Raum 57.01    Vorkolloquium Maschinenakustik

**Akustik-Normen: Anwendung und zukünftige Anforderungen aus der Sicht des industriellen Einsatzes**

A. Gerlach

*Robert Bosch GmbH*

Die Anwendung von Normen auf dem Gebiet der Akustik hat im industriellen Umfeld einen hohen Stellenwert, da Normen einen allgemein anerkannten Stand der Technik beschreiben und vergleichbare Messungen ermöglichen. Bei der Robert Bosch GmbH werden Akustik-Normen v.a. zur Bestimmung der Schallleistung und des Emissionsschalldruckpegels eingesetzt. Obwohl einige Messaufgaben die Anwendung einer Norm nicht zwingend erfordern, ist die Anwendung einer passenden Norm dadurch motiviert, dass darin Messbedingungen definiert sind, eine Vergleichbarkeit sichergestellt ist und die Messunsicherheit benannt werden kann. In diesem Zusammenhang sind Angaben zum Messfehler entsprechend GUM sehr wichtig. Bei der Überarbeitung von Normen gibt es in den letzten Jahren eine Tendenz, die Messbedingungen in Bezug auf mögliche Anwendungsfälle umfassender zu beschreiben. Damit einher geht eine deutliche Zunahme im Umfang der Normentexte. Insbesondere für den 'Gelegenheitsanwender' wird so die Anwendbarkeit einer Norm deutlich erschwert. Der Autor schlägt Möglichkeiten vor, unter Verwendung moderner elektronischer Dokumentformen die Anwendbarkeit von Normen wieder deutlich zu erleichtern. Im Zusammenhang mit der Normungsarbeit wird die abnehmende Bereitschaft zur Mitarbeit von nicht-behördlichen Vertretern bemängelt. Der Autor diskutiert die Zusammenhänge aus Sicht der Industrie und unterbreitet einen Vorschlag, die Situation wieder zu verbessern.

---

Mo. 15:45    Raum 57.01    Vorkolloquium Maschinenakustik

**Einflussgrößen auf die Schallemission von Holzbearbeitungsmaschinen**

U. Heisel und L. Groß

*Institut für Werkzeugmaschinen, Universität Stuttgart*

Im vorliegenden Beitrag werden sowohl die wirkenden Einflussgrößen auf die Schallemission von spanenden Holzbearbeitungsmaschinen als auch die Schallquellen, die mit Hilfe der Schallintensitätsmesstechnik lokalisiert werden, aufgezeigt und bewertet. Als Einflussgrößen werden u.a. der manuelle und automatische Vorschub untersucht, sowie die Eingriffsgröße und der Messerüberstand.

Mo. 16:00    Raum 57.01

Vorkolloquium Maschinenakustik

**Maschinenakustik - Eine europäische Forderung!**P. Kurtz*Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin*

Traditionell wird die Qualität einer Maschine an Parametern festgemacht, die in erster Linie mit der von der Maschine zu leistenden Arbeit verbunden sind. In zunehmendem Maß gewinnen aber auch Qualitätsparameter wie die Ergonomie, und eine geringe Emission an Bedeutung. Dies ist nicht zuletzt auf die Umsetzung von EG-Richtlinien ins nationale Recht zurückzuführen. So stellt die EG-Maschinenrichtlinie an die Konstruktion von Maschinen bzgl. des Sicherheits- und Gesundheitsschutzes wesentliche Anforderungen, wobei die 'Minimierung der Gefahren an der Quelle' und die 'Information über die Restgefahren' im Vordergrund stehen. Konkret bedeutet dies für den Maschinenhersteller, dass Maschinen durch Maßnahmen an der Quelle in Richtung niedrigster Geräuschpegel konstruiert werden müssen und Informationen für den Maschineneinkäufer über die Schallemission der Maschinen zu liefern sind. Dabei sind der Emissionsschalldruckpegel und gegebenenfalls zusätzlich der Schallleistungspegel anzugeben. Auf der anderen Seite hat der Maschinenbenutzer, d.h. der Arbeitgeber, als Verpflichtung aus der EG-Richtlinie 2003/10/EG Physikalische Agentien Lärm diese Angaben zur Minderung des Lärms am Arbeitsplatz zu verwenden. Er ist als Arbeitgeber verpflichtet bei der Beschaffung von Maschinen auf der Basis von Geräuschemissionsangaben möglichst leise Maschinen auszuwählen, um damit die Lärmbelastung der Arbeitnehmer so weit wie möglich zu senken. Dieses in der europäischen Union etablierte Konzept, das sowohl den Maschinenhersteller als auch den Maschinenanwender verpflichtet eine geringe Geräuschemission von Maschinen anzustreben, macht deutlich, dass die Entwicklung leiser Maschinen auf Basis maschinenakustischer Prinzipien nicht nur sinnvoll sondern auch erforderlich ist. Der Vortrag erläutert die Zusammenhänge und beschreibt den Beitrag der Forschung als auch die Unterstützung durch die Normung.

## Vorkolloquium: Numerische Akustik

(Zusammenfassung: siehe S. 20)

Mo. 12:30    Raum 57.02    Vorkolloquium Numerische Akustik

---

### **Boundary Element Methods for Coupled Field Problems**

L. Gaul und M. Fischer

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

Boundary element methods (BEM) are widely used for the simulation of acoustic fields involving infinite domains. The key idea of the multipole method is to approximate the fundamental solution at some distance from the source point by a multipole series expansion. The boundary elements are combined in a cluster tree, allowing the efficient evaluation of the matrix-vector product. The resulting complexity of the algorithm is quasi-linear, and thus, much faster than the traditional BEM. However, the application of the fast multipole BEM for the simulation of acoustic field-structure interaction problems poses new demands on the solver for the coupled systems: direct approaches are not applicable and iterative schemes suffer from ill-conditioning. The presentation gives an introduction to the fast multipole BEM for acoustics and extends its application to the simulation of acoustic-structure interaction. The fast multipole BEM is coupled to a finite element formulation for Kirchhoff plates. The coupling algorithm is of mortar type in which the interface pressure is interpolated as the Lagrange multiplier and thus allows the coupling of non-matching grids. For the iterative solution of the resulting saddle point problem, an approximate Uzawa-type algorithm is proposed. The generalized minimal residual method (GMRES) is used for the outer iterations on the reduced equation for the Lagrange multiplier. The inner FEM and BEM subsystems are approximated with conjugate gradient and GMRES iterations, respectively. The efficiency of the solver is increased by pre-conditioning with an approximate inverse approach.



---

Mo. 13:00    Raum 57.02    Vorkolloquium Numerische Akustik

---

**The effect of underwater noise radiation on ship vibration**

M. Wilken<sup>a</sup>, M. Maess<sup>b</sup>, M. Junge<sup>b</sup>, M. Fischer<sup>b</sup> und C. Cabos<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Germanischer Lloyd AG; <sup>b</sup>Institut für Angewandte und Exp. Mechanik, Universität Stuttgart

The vibration of floating ships is considerably affected by the surrounding sea water. Today, it is current practice to include the so-called hydrodynamic masses in a simulation model by adding them to the structural mass of the vessel. The hydrodynamic masses represent the effect of the inertia of the water on the ship's hull. The compressibility of the water (i.e. underwater noise radiation) is neglected due to high computational effort and low availability of appropriate simulation codes.

A fast multilevel multipole boundary element method program has been developed to solve the Helmholtz equation, which allows the computation of the sound pressure field in the water due to a structural acceleration field on the hull surface. Using the dry hull vibration modes as boundary conditions on the structure, the influence of both underwater noise radiation and inertia of the water on structural vibration can be estimated.

The present work reports on this procedure and the numerical results obtained for a container ship in the low frequency range.

---

Mo. 13:30    Raum 57.02    Vorkolloquium Numerische Akustik

---

**Stabilisierte Randelementmethoden in der Akustik**

S. Engleder und O. Steinbach

*TU Graz, Institut für Numerische Mathematik*

In diesem Vortrag soll ein Überblick gegeben werden über die Verwendung von Randintegralgleichungen und Randelementmethoden zur Lösung von Außenraumproblemen in der Akustik. Die Verwendung klassischer direkter und indirekter Oberflächenpotentiale zur Beschreibung der Lösung der Helmholtz-Gleichung kann zu nicht eindeutig lösbaren Randintegralgleichungen führen, wenn die Wellenzahl mit einem Eigenwert des inneren Laplace-Operators zusammenfällt. Zur Vermeidung dieser 'spurious modes' können kombinierte Randintegralgleichungen nach

Brakhage-Werner bzw. Burton-Miller verwendet werden. Aus mathematischer Sicht stellt sich jedoch die Frage nach der Verwendung der richtigen Funktionenräume, sowohl für die Untersuchung der eindeutigen Lösbarkeit der resultierenden Randintegralgleichungen, als auch für die Konstruktion effizienter numerischer Näherungsverfahren. Hierfür werden verschiedene Regularisierungstechniken vorgestellt und diskutiert. Für die Konstruktion numerischer Näherungslösungen werden verschiedene Randelementformulierungen betrachtet, diskutiert, und anhand numerischer Beispiele verglichen. Abschließend sollen neuere Entwicklungen und offene Probleme angesprochen werden, zum Beispiel die Verwendung schneller Randelementmethoden und die Konstruktion effizienter vorkonditionierter Lösungsverfahren.

Mo. 14:00    Raum 57.02    Vorkolloquium Numerische Akustik

**Can also Sound be handled as Stream of Particles? -  
An improved energetic Approach to Diffraction based on the  
Uncertainty Principle**

U.M. Stephenson<sup>a</sup> und P. Svensson<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*HafenCity Universität Hamburg;* <sup>b</sup>*Norwegian University for  
Science and Technology*

In computational room acoustics as well as noise immission prognosis efficient ray tracing methods or the hybrid method of beam tracing are in use. These are energetic methods made for the optical limiting case of 'small' wavelengths. So, their main deficiency is the lack of simulation of diffraction. To introduce that but preserving the advantage of ray tracing, Stephenson proposed in 1986 a sound particle diffraction model based on Heisenbergs uncertainty principle. This model was now re-evaluated embedded first time in a full sound particle tracing program - now also for more general setups - and applied for the semi-infinite screen. At the first go, it showed an astonishingly well agreement with the exact wave-theoretical result of Svensson's secondary edge source model of 1999 which is based on the exact Biot&Tolstoy solution. A similar very well agreement between such an approach and classical wave theoretical results was also found by others with the numerical computation of light diffraction in optical systems. Moreover, an efficient beam diffraction method was found - which may now be combined with Quantized Pyramidal Beam Tracing, an efficient algorithm for higher order sound diffraction. To be presented in German.

---

Mo. 15:00    Raum 57.02    Vorkolloquium Numerische Akustik

---

### **Methoden zur Lösung von Streuphänomenen**

B. Nolte

*Forschungsanstalt der Bundeswehr für Wasserschall und Geophysik*

Die akustischen Rückstreueigenschaften eines Schallstrahlers im Fluid sind durch die einfallende, d.h. anregende Welle vollständig determiniert. Eine exakte Beschreibung der Lösung des Problems im Sinne der Numerik ist möglich durch geeignete Finite Element so wie Randelementmethoden. Bei der Finite Element Methode sind sogenannte Unendlichkeitsrandbedingungen zu berücksichtigen resp. zu entwickeln. Dirichlet-to-Neumann-Methoden können Anwendung finden sowie in jüngster Zeit PML-Methoden (Perfectly Matched Layers). Bei Anwendung einer Methode ist zu entscheiden, ob die Fluid-Struktur-Interaktion einen nicht zu vernachlässigbaren Anteil liefert, so dass BEM-BEM als auch BEM-FEM Koppelalgorithmen verwendet werden müssen. Der Rechenaufwand steigt hier naturgemäß insbesondere bei hohen Frequenzen stark an. Alternativ können Näherungsverfahren eingesetzt werden, die das Abstrahlverhalten einzelner Strukturabschnitte aufgrund vorgegebener Reflexionseigenschaften zugrundelegen. Diese können experimentell ermittelt werden oder geeigneter, in der Literatur zu findender Theorien entnommen werden. Dieses sogenannte Kirchhoffsche Näherungsverfahren ist bei konkaven Strahlern um Doppel- resp. Mehrfachstreuung zu erweitern, welches zu der Kirchhoffschen Näherung n-ter Ordnung führt.

---

Mo. 15:30    Raum 57.02    Vorkolloquium Numerische Akustik

---

### **Globale Identifikation der Wandadmittanzen in Innenräumen mittels reduzierter modaler Basis**

R. Anderssohn und S. Marburg

*TU Dresden, Institut für Festkörpermechanik*

Um den Einfluss der Schalldämpfung und gekoppelter Schwingungen von Wänden auf die Akustik in Räumen quantifizieren zu können, werden Ansätze zur Identifikation der Wandadmittanz aus Schalldruckmessungen vorgeschlagen. Die Bestimmung des Systemparameters führt auf eine inverse Formulierung des Randwertproblems, und zwar der Helmholtz-Gleichung mit gemischten Randbedingungen. Zwei modale Ansätze mit unterschiedlichen Zielfunktionen werden untersucht. Die Algorithmen werden so formuliert, dass der voraussichtliche messtechnische

Aufwand so gering wie möglich gehalten werden soll. Das erreicht man, indem geeignete Fehlerquadrate über den wenigen Messwerten aufgestellt und minimiert werden. Des Weiteren soll die Diskretisierung des akustischen Randwertproblems mit der Methode der finiten Elemente die regularisierte Lösung des inversen Problems ermöglichen, indem die Information der (hier simulierten) Messwerte auf eine reduzierte Basis von Eigenvektoren gebracht wird. Es entstehen nichtlineare Gleichungssysteme zur Bestimmung der Admittanzen. Es wird ein Optimierungsalgorithmus untersucht, der eine möglichst große Anzahl diskreter Admittanzwerte mit möglicherweise schlechten Startwerten beherrschen soll. Einige repräsentative Ergebnisse werden an simulierten numerischen Beispielen vorgestellt.

Mo. 16:00    Raum 57.02    Vorkolloquium Numerische Akustik

### **A Poroelastic Plate Theory for Sound Absorbing Materials**

M. Schanz und A. Busse

*TU Graz, Institut für Baumechanik*

In many fields of engineering thin porous components are used as sound absorbers, e.g., for noise insulation in cars or walls in buildings. Today these elements are often calculated using a numerical 3-D model. Because of numerical problems which occur using a 3-D model for thin transversely loaded structures a plate theory is advantageous. To take into account the porous structure as well as the damping effect of the porosity of these components a poroelastic plate theory is necessary.

Several possibilities exist to establish plate theories. Generally, methods to derive a plate theory require a priori assumptions motivated by engineering intuition (like the classical Kirchhoff normal hypothesis).

In this contribution, a priori assumptions are not used. A consistent plate theory of first order is derived from the 3-D poroelastic theory using series expansion. For elastic plates this idea was introduced by Kienzler. The simplification to an elastic constitutive equation yields the well known Kirchhoff theory. Similar to the elastic theory no direct coupling between deflection (plate theory) and longitudinal displacement (2-D theory, plain stress) occurs. However, coupling effects due to the boundary condition for the pore pressure is observed in some cases. A variational formulation gives the basis for the Finite Element Method. For the fluid structure interaction of the porous plate with the surrounding air coupling terms in the variational formulation will be presented.

## **Vorkolloquium: Akustik von Bauteilen und Bauwerken aus Folien und Membranen**

(Zusammenfassung: siehe S. 20)

Mo. 13:00    Raum 57.04    Vorkolloquium Folien und Membrane

### **Akustik und ganzheitliche bauphysikalische Behandlung von Membranbauwerken**

K. Sedlbauer

*Fraunhofer-Institut für Bauphysik; Lehrstuhl für Bauphysik, Universität Stuttgart*

Weltweit entstehen zunehmend großvolumige Bauwerke, deren Fassaden und Dächer aus High-Tech-Membranen bestehen. Dieser globale Trend hat dazu geführt, dass Membranen neben Stein, Holz, Metall und Glas mittlerweile als '5. Baustoff' bezeichnet werden. Aber erst herausragende Projekte wie die Allianz-Arena in München, der neue Airport in Bangkok oder das 'Tropical-Island' in Brandenburg haben diese innovative Bauform ins Blickfeld der Öffentlichkeit gerückt - gleichzeitig aber auch Fragen aufgeworfen. Der Beitrag führt aus architektonischer Sicht in den konstruktiven Membranbau ein und stellt dabei die Vielfältigkeit dieser Bauart dar. Anschließend werden der technische Status Quo der verschiedenen Materialien sowie Konstruktionstypen und die sich daraus ergebenden technischen Möglichkeiten beleuchtet. Die spezifischen Eigenheiten und bauphysikalischen Besonderheiten sowie das vorhandene Forschungs- und Entwicklungspotenzial dieser innovativen Bautechnik stehen im Mittelpunkt. Fragestellungen der Akustik werden im Gesamtkontext betrachtet, gemeinsam mit Aspekten des winterlichen und sommerlichen Wärmeschutzes. Derartige Leichtkonstruktionen neigen zu Tauwasser- und in deren Folge zu Schimmelpilzbildung an den raumseitigen Oberflächen der Außenbauteile. Ferner führt solare Einstrahlung infolge geringer Masse häufig zur Überhitzung des Raumes. Geeignete Bewertungs- und Auslegungstools werden genauso angesprochen wie mögliche technische Gegenmaßnahmen. Den Abschluss bildet ein Ausblick auf zukünftige Forschungsschwerpunkte der Fraunhofer-Gesellschaft, die es sich zum Ziel gesetzt hat, in einem großen Verbundforschungsprojekt dem Membranbau die erforderliche Innovationskraft auf den Weg zu geben, um diesen Bautyp zukunftsfähig zu machen.

---

Mo. 13:30    Raum 57.04    Vorkolloquium Folien und Membrane

---

### **Akustische Besonderheiten von ETFE Foliensystemen vorgestellt anhand von realisierten Beispielen**

S. Lehnert

*Foiltec GmbH*

Das Team der Foiltec beschäftigt sich seit mehr als 25 Jahren mit ETFE Folien-Dachsystemen, die unter dem Produktnamen TEXTLON® vertrieben werden. Aufgrund der sehr geringen Masse von ca. 900 g/m<sup>2</sup> haben TEXTLON®-Dächer besondere akustische Eigenschaften, die das Innenraumambiente der überdachten Räume herausragend prägen. Im Regelfall lösen die leichten Foliendächer viele der klassischen akustischen Probleme, doch teilweise erzeugen sie auch Eigenschaften, die bei klassischen Baumaterialien nicht oder weniger ausgeprägt auftauchen. So erzeugen ETFE-Folien, wie alle Membranen, Trommelgeräusche bei Regen.

Foiltec hat in vielen Projekten unterschiedlichste Lösungsansätze entwickelt um den akustischen Besonderheiten von TEXTLON®-Folien gerecht zu werden. So werden Lochfolien und auch "Rain noise suppressor" Systeme eingesetzt, um die kritischen Eigenschaften von Foliensystemen abzumindern, ohne auf die Vorteile von TEXTLON®-Systemen zu verzichten.

---

Mo. 14:00    Raum 57.04    Vorkolloquium Folien und Membrane

---

### **Fluoropolymer-Folien für Architekturkonstruktionen**

R. Hodann und H. Steurer

*NOWOFOL Kunststoffprodukte GmbH & Co. KG*

Der Beitrag konzentriert sich auf die gesamte Palette der Materialeigenschaften von Fluoropolymer-Folien für Architekturkonstruktionen. Insbesondere die ETFE-Folien (Ethylen-Tetra-Fluor-Ethylen) stehen im Vordergrund, da sie im Baubereich derzeit die größte Bedeutung und Verbreitung erreichen. Gerade bei transparenter Ausführung ergeben sich Spielräume für neue architektonische Konzepte. Die mechanischen Eigenschaften (z.B. Zugfestigkeit, Weiterreißfestigkeit) stellen eine wesentliche Kategorie dar, auch mit Bezug zum akustischen Verhalten. Optische Eigenschaften, von Transparenz über Einfärbung bis Bedruckung, lassen sich mittels Materialisierung und Laminierung steuern. Weitere Parameter wie Witterungsstabilität, Flammwidrigkeit und Antiadhesivität / Selbstreinigung werden erläutert und ihre Relation

zu angewandten Leichtbaukonstruktionen bis hin zu Recycling-Fragen behandelt. Zahlreiche Beispiele und Illustrationen verdeutlichen das Potenzial der Materialien, Bauteile und Konstruktionen.

Mo. 15:00    Raum 57.04    Vorkolloquium Folien und Membrane

### **Regengeräusche bei Membrandächern - Berechnung und Messung**

K. Naßhan und J. Seidel

*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

Eine der akustischen Herausforderungen, die sich mit Membrandächern verbinden, sind die bei Regen entstehenden Geräusche. Deren Behandlung bedarf sowohl der theoretischen Modellierung als auch der experimentellen Untersuchung. Ein einfaches Berechnungsmodell auf der Grundlage eines Vorschlags von Jagenas und Peterson /1/ beruht darauf, dass ein Wassertropfen beim Aufprall auf eine Platte mit konstanter Geschwindigkeit spontan zerfließt. Unter diesen Bedingungen ist die zeitliche Änderung der Kraft proportional zur Volumenänderung. Ist dabei die Geschwindigkeits- und Größenverteilung der Regentropfen bekannt, kann die in die Platte eingeleitete Energie und schließlich die abgestrahlte Schallleistung berechnet werden. Dieses Modell wird auf verschiedene natürliche Regen, auf künstlich erzeugten Regen im Labor und idealtypischen Regen nach ISO140-18 /2/ angewandt. Die Form der Regentropfen ist dabei ein Variationsparameter. Unterschiedliche Regenarten führen zu deutlichen Unterschieden in der abgestrahlten Schallleistung. Der Einfluss der Bauteileigenschaften auf die Regengeräusche wird diskutiert. Im Regengeräuschprüfstand des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik können Prüfobjekte und Regenparameter wie z.B. Fallhöhe oder Niederschlagsmenge variiert werden. Zur Illustration dienen Vergleichsmessungen in verschiedenen Konfigurationen. Abschließend werden experimentelle und rechnerische Ergebnisse im Kontext dargestellt und bewertet.

/1/ A. Jagenas und B.A.T. Peterson: The Water Drop as a Structural Acoustic Source. Proc. Internoise 1986, S. 349-352

/2/ Schluss-Entwurf prEN ISO 140-18 Akustik - Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 18: Messung des durch Regenfall auf Bauteile verursachten Schalls im Prüfstand (ISO/FDIS 140-18:2006)

Mo. 15:30    Raum 57.04    Vorkolloquium Folien und Membrane

---

## **Bedarf und Anwendungsgebiete aufblasbarer Schallschutzelemente**

J. Schock

*Amt für Bürgerservice, Sicherheit und Umwelt, Friedrichshafen*

Bei Sportveranstaltungen, Volksfesten, Open-Air-Konzerten usw. steigen die Nutzungswünsche ständig nach mehr, lauter und zeitlich ausgedehnteren Veranstaltungen während gleichzeitig dem größeren Ruhebedürfnis der benachbarten Wohnbevölkerung in der Freizeit Rechnung getragen werden soll. In vielen Fällen übermäßiger Lärmbelastungen durch öffentliche Feste und Veranstaltungen sind die Kommunen vom selbständigen Dorf bis zur Großstadt als Veranstalter, Genehmigungsbehörde oder Eigentümer der Einrichtung zumindest mitverantwortlich. Im Falle erfolgreicher Klagen, muss mit Einschränkungen des Veranstaltungsumfangs gerechnet werden. Zu dieser Thematik gibt es inzwischen ein richtungsweisendes Urteil des Bundesgerichtshofes in Karlsruhe, welche Lärmwerte in der Nachbarschaft bei Festen und Musikkonzerten im Freien anzustreben sind. Nur bei 10 seltenen Ereignissen im Jahr ist ab 22 Uhr (für die lauteste Nachtstunde) ein Dauerschallpegel von 55 dB(A) in der Nachbarschaft erlaubt. An allen anderen Tagen müssen deutlich geringere Grenzwerte eingehalten werden. Eine sächsische Freizeitlärmstudie hat gezeigt, dass schon 300 Besucher eines Freiluftfestes Lärmpegel um 66 dB(A) oder bei noch mehr Besuchern über 70 dB(A) ohne zusätzlichen Musik- oder Rummellärm verursachen können. Für Sportlärm und Baulärm gibt es vergleichbare Regelungen wie für den Freizeitlärm. Alle drei temporären Lärmarten kommen an wechselnden Orten vor und sind nur für begrenzte Dauer im Betrieb. Auf Grund der Zunahme solcher Lärmbelästigungen steigt der Bedarf an flexiblen und mobilen Schallschutzeinrichtungen, um zu erwartende Klagen zu vermeiden. Neben einer günstigen Standortplanung können extraleichte aufblasbare Schallschirme Abhilfe schaffen, weil sich die Bauteile situationsangepasst in unterschiedlicher Form und Größe einsetzen lassen. Auf entsprechende Beispiele wird im Vortrag eingegangen.



---

Mo. 16:00    Raum 57.04    Vorkolloquium Folien und Membrane

---

### **Lärmschutzelemente aus Folien und Membranen**

P. Leistner<sup>a</sup>, S.-R. Mehra<sup>b</sup>, I. Haltenorth<sup>a</sup> und L. Weber<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*; <sup>b</sup>*Lehrstuhl für Bauphysik, Universität Stuttgart*

Auch temporär auftretender Lärm z.B. von Baustellen führt zu akustischen Belastungen und Belästigungen. Daher werden primäre Minderungsmaßnahmen wie leisere Baumaschinen oder eine geschickte Logistik eingeplant und mitunter sogar umgesetzt. Sekundäre Schutzmaßnahmen kommen aus technischen oder Kostengründen überaus selten in Betracht. In dieser problematischen Situation stellen Lärmschutzelemente aus Folien und Membranen eine Alternative zu den bekannten Barrieren aus Beton, Holz oder Metall dar. Aus akustischer Sicht gilt dies besonders in den Fällen, wenn der Beugungsanteil gegenüber dem Schalldurchgang hoch ist, also z.B. bei vergleichsweise niedrigen Stellwänden. Zweischalige Konstruktionen aus Folien und Membranen können demnach Flexibilität und Mobilität mit ausreichender Schalldämmung verbinden. Der fachliche Hintergrund, die Anwendungsvoraussetzungen und einige Einsatzbeispiele dieser neuen Lärmschutzelemente werden vorgestellt und bewertet.

## Vorkolloquium: Akustische Eigenschaften von Sandwich-Bauteilen

(Zusammenfassung: siehe S. 20)

Mo. 13:00    Raum 57.05    Vorkolloquium Sandwich-Bauteile

### **Zur Berechnung der Schalldämmung von Sandwich-Bauteilen: Worauf kommt's an?**

W. Maysenhölder

*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

Sandwich-Bauteile können sich akustisch ähnlich verhalten wie homogene Platten - oder aber ganz anders. Im einführenden Beitrag des Vorkolloquiums steht die Berechnung ihrer Schalldämmung im Mittelpunkt. Der geschichtliche Rückblick erstreckt sich - beginnend mit der bemerkenswerten Arbeit von Kurtze & Watters (1959) - über fast 50 Jahre und stellt wesentliche Erkenntnisse und einige nützliche Formeln aus der Literatur zusammen. Im bislang selten behandelten allgemeinen Fall, d. h. bei Sandwich-Strukturen mit inhomogenen, anisotropen und viskoelastischen Schichten, werden ziemlich viele Parameter benötigt, um das akustische Verhalten eindeutig zu charakterisieren. Will man auch hier über numerische Berechnungen hinaus ein Verständnis für die wichtigsten Parameter und Zusammenhänge gewinnen, empfiehlt sich eine systematische Betrachtungsweise. Eine wesentliche Rolle spielt dabei die Homogenisierung inhomogener, beispielsweise wabenartiger Kernschichten. Sie wird mit Hilfe einer vielfältig anwendbaren, von Haberkern (2003) entwickelten Methode und Software durchgeführt. Die Schalldämmung der resultierenden Struktur aus drei homogenen Schichten lässt sich dann vergleichsweise einfach, z.B. mit dem Programm LAYERS, berechnen. Je nach betrachtetem Frequenzbereich ist eine weitere Homogenisierung zu einer homogenen einschichtigen, in der Regel aber anisotropen Platte zulässig. Dieses Vorgehen wird anhand einiger Beispiele veranschaulicht, unter anderem mit einer Wabenstruktur, die bei der Homogenisierung zu negativen Poisson-Zahlen (-4.2 und -0.18) führt. Um die Interpretation der berechneten Schalldämmkurven zu erleichtern oder zu bestätigen, werden die Bauteilschwingungen für bestimmte Frequenzen und Schalleinfallswinkel animiert dargestellt.

---

Mo. 13:30    Raum 57.05    Vorkolloquium Sandwich-Bauteile

---

**Herstellung und Eigenschaften von akustisch optimierten Sandwichstrukturen aus naturfaserverstärktem Kunststoff**L. Frormann<sup>a</sup>, N. Aisenbrey<sup>a</sup>, W. Maysenhölder<sup>b</sup> und I. Haltenorth<sup>b</sup><sup>a</sup>*Inst. für Produktionstechnik, Westsächs. Hochschule Zwickau;*<sup>b</sup>*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

Naturfasern werden zunehmend in allen industriellen Bereichen, insbesondere auch im Transportwesen eingesetzt. Um diesen Einsatz nachwachsender Rohstoffe weiter zu forcieren, ist eine kostenneutrale Integration von weiteren Funktionen, z.B. einer verbesserten akustischen Dämpfung, notwendig. Sandwichstrukturen setzt die Natur schon seit Millionen von Jahren ein, z.B. im Aufbau von Knochen oder als tragendes Gerüstmaterial von Pflanzen und Bäumen. Sandwichelemente sind Bauteile mit hoher Steifigkeit sowie geringem Gewicht und bestehen in der Regel aus einem leichten, schubsteifen Kern mit hochfesten und steifen Deckschichten. Gegenüber der Massivbauweise bieten diese Bauteile - außer der Gewichtseinsparung - weitere Vorteile wie z.B. Schallisolation, Wärmedämmung oder hohe Durchstoßfestigkeit. Neben den synthetischen Fasern stellen Naturfasern aufgrund der sehr guten spezifischen mechanischen Eigenschaften, der geringen Dichte, aber auch wegen ihrer CO<sub>2</sub>-Neutralität sowie des guten Dämpfungsverhaltens interessante Verstärkungsfasern dar. Das im Vortrag vorgestellte Forschungsvorhaben widmet sich der Frage, inwieweit sich die Dämpfungseigenschaften von Naturfasern mit dem Einsatz in Sandwichstrukturen kombinieren und optimieren lassen. Es wird insbesondere untersucht, ob Naturfasernadelvliese (z.B. aus Flachs, Hanf, Sisal, Nessel oder Jute) zur besseren akustischen Dämmung in Sandwichelementen eingesetzt werden können. Durch Variation des Aufbaus und der Eigenschaften der verschiedenen Schichten können die akustischen und mechanischen Eigenschaften des Sandwichs für unterschiedliche Anwendungen eingestellt werden, wobei generell eine hohe Steifigkeit und ein großer Verlustfaktor anzustreben sind. Es bieten sich für akustisch dämmende Sandwichelemente vielfältige Einsatzmöglichkeiten unter anderem in der Automobilindustrie. Als Beispiele seien Stoßfänger, Dachhimmel, Türverkleidungen oder auch Gerätegehäuse für Computer und Lüfter sowie im Bauwesen etwa Laminatböden genannt.

---

Mo. 14:00    Raum 57.05    Vorkolloquium Sandwich-Bauteile

---

**Predicting the acoustic performance of multi-layered structures submitted to structural excitation**

C. Guigou-Carter und M. Villot

*Centre Scientifique et Techn. du Bâtiment, St. Martin d'Herès (F)*

In this paper, the modeling of multi-layered isotropic structures submitted to structural excitation is discussed. The behavior of the multi-layered system is predicted using a wave approach, the structural excitation being decomposed into normal stress plane waves. Two different types of structural excitation are considered: tapping machine and rainfall. The performance of floating systems (either heavy concrete or lightweight) in terms of impact noise is studied both experimentally and analytically. Such systems are composed of a floating floor (either concrete or wood) separated from a heavy concrete base floor by a simple or multi-layered elastic interlayer. The performance of multi-layered roofing systems with respect to rainfall noise is also presented both experimentally and analytically. The different layers are described by their dynamic characteristics; the evaluation of the elastic characteristics by measurements is also discussed. This prediction tool can be used to help industrial partners to improve their products or develop new ones.

---

Mo. 15:00    Raum 57.05    Vorkolloquium Sandwich-Bauteile

---

**Schallschutz bei Bauten aus Stahl-Polyurethan-Sandwich-elementen**

L. Weber

*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

Stahl-Polyurethan-Sandwichelemente bestehen aus zwei Deckschichten aus Stahlblech, zwischen denen sich ein Kern aus geschäumtem Polyurethan befindet. Wegen der vergleichsweise niedrigen Herstellungskosten, dem geringen Gewicht und der guten Wärmedämmung gewinnen die Elemente im Neubaubereich zunehmend an Bedeutung, wobei sie vor allem zur Beplankung von Außenwänden und Dächern in Stahltragwerksbauweise verwendet werden. Neben Funktionsbauten, wie z.B. Produktions- oder Ausstellungshallen, werden teilweise auch Hotels, Verwaltungs- und Wohngebäude aus den Elementen errichtet.

Im Gegensatz zu ihren sonstigen Vorzügen können Stahl-Polyurethan-Sandwichelemente in bezug auf den baulichen

Schallschutz Probleme bereiten. Dies betrifft sowohl die Luftschalldämmung als auch die durch Körperschallanregung, wie z.B. Regen, hervorgerufenen Geräusche. Im Fraunhofer-Institut für Bauphysik wurden messtechnische und rechnerische Untersuchungen an Stahl-Polyurethan-Sandwichelementen vorgenommen. Der Beitrag stellt die wichtigsten Ergebnisse vor und gibt einen Überblick über die akustischen Eigenschaften der Elemente. Hierbei wird auch auf die Prognose der Schalldämmung mit Hilfe von Funktionsmodellen und den akustischen Einfluss von Materialeigenschaften und Bauteilgeometrie eingegangen.

Mo. 15:30    Raum 57.05    Vorkolloquium Sandwich-Bauteile

**The vibro-acoustic influence of a thin fluid layer, sandwiched between two structural skins**

B. Petersson

*Institut für Ström.-mechanik und Technische Akustik, TU Berlin*

This presentation concerns the vibro-acoustic effects of enclosing a thin fluid layer in a sandwich type structural configuration. The plane, single- or multi-layered structures on either side of the fluid layer are allowed to vibrate and can have different thicknesses. The coupling of the structural layers is principally established employing the full, linearised Navier-Stokes model and is thus valid for arbitrary Helmholtz numbers. It is demonstrated that a broadband enhancement of the dissipation can be achieved and that the different parameters involved can be optimised for various temperatures and ambient static pressures. Moreover, the strong influence of the fluid layer thickness can be controlled by multiple small elastic point connections without degrading the dissipation as shown by experimental results.

Mo. 16:00    Raum 57.05    Vorkolloquium Sandwich-Bauteile

**Sound radiation and sound insulation of double plates with spatially varying interlayer stiffness**

W. Kropp und H. Brick

*Appl. Acoustics, Chalmers University of Technology, Göteborg*

The influence of a discontinuous coupling on the vibration properties of coupled plates and on their sound radiation is investigated. Discontinuous coupling means here the coupling of two plates by an elastic interlayer, the stiffness of which varies at regular intervals between two values. A known theoretical model for continuously coupled plates is generalised to discontinuous coupling. Wave propagation is considered only in one dimension, i. e. on

discontinuously coupled plate strips. On the basis of this theoretical model the vibration behaviour and the radiation efficiency of different structures is examined. Coupled pairs of plate strips with equal or unequal bending stiffnesses are considered. It is found that with unequal plate strips the vibration is mainly determined by the eigenfrequencies of the stiffer plate strip as in the case of continuous coupling. However, the discontinuous transmission of the vibration of the stiffer plate strip to the soft plate strip influences the vibration form of the softer plate strip. It supports the appearance of a mode shape of the softer plate strip, whose wavelength corresponds to the periodicity of the stiffness pattern of the coupling. This significant change of the vibration pattern of the softer plate strip can lead to a decrease of the radiation efficiency of the coupled structure. The findings are confirmed by measurements of the radiation efficiency of panels with such a design. It is also found that the measured sound insulation is determined by the fundamental resonance frequency resulting from the softer parts of the interlayer.

## Fachvorträge und Poster am Dienstag

Di. 14:00    Raum 38.02    Num. Methoden in der Aeroakustik

### **Stabilisierte DG-Methoden für aeroakustische Applikationen**

A. Richter, J. Stiller und R. Grundmann

*TU Dresden, Institut für Luft- und Raumfahrttechnik*

Die Schallausbreitung in durchströmten Geometrien wie z.B. Rohrleitungen und Schalldämpfern, aber auch Holzblasinstrumenten ist oftmals geprägt durch die unterschiedlichen Größenordnungen der Grundströmung und des überlagerten akustischen Schwankungsanteiles. Spektralelementmethoden (SEM) als Methoden höherer Ordnung haben sich als effizientes Werkzeug entwickelt, die zugrundeliegenden Differentialgleichungen mit der hierfür erforderlichen Genauigkeit zu lösen. Diskontinuierliche Galerkin-Methoden ermöglichen eine effiziente und flexible Implementierung des numerischen Verfahrens, da jedes Element separat behandelt wird und die Kopplung zwischen den Elementen ausschließlich durch den numerischen Fluss über die Elementengrenzen erfolgt.

Eine Schwierigkeit der numerischen Simulation von Wellenausbreitungsvorgängen liegt in der korrekten Behandlung künstlicher Ränder. Nichtreflektierende Randbedingungen lassen sich z.B. mittels exakter Randbedingungen oder Pufferzonentechniken realisieren. Ein alternatives Konzept besteht in der Verwendung stabilisierter Extrapolationsrandbedingungen. Extrapolation bezeichnet hierbei die Definition der Erhaltungsvariablen an dem Rand ausschließlich durch Werte, die aus der Zeitintegration im Elementinneren resultieren. Dieses Verfahren lässt sich sehr leicht implementieren, führt in der Regel aber zu Instabilitäten an dem betreffenden Rand. Diese Instabilitäten lassen sich durch die Anwendung von Anstiegsbegrenzern jedoch zuverlässig verhindern.

Der Vortrag stellt das verwendete numerische Verfahren sowie die Arbeitsweise der Extrapolationsrandbedingungen vor. Anhand verschiedener Testbeispiele (z.B. schräg aus dem Rechengebiet auslaufenden Wellen, Wellenausbreitung in Musikinstrumenten) wird die Effektivität dieser Art von Randbedingung diskutiert und mit der klassischen charakteristischen Randbehandlung verglichen. Hierbei zeigt sich eine deutliche Verbesserung der erzielten Ergebnisse durch die Verwendung der Extrapolationsrandbedingungen.

Di. 14:25    Raum 38.02    Num. Methoden in der Aeroakustik

### **Domain Decompositions for Aeroacoustic Simulations in Complex Domains**

J. Utzmann und C.-D. Munz

*Institut für Aerodynamik und Gasdynamik, Universität Stuttgart*

A domain decomposition method for direct aeroacoustic simulations is proposed. The idea is to use a non-overlapping domain decomposition method where the equations, methods, grids and time steps are adapted to meet the local requirements. High-order methods such as the ADER finite volume (ADER-FV) schemes, the ADER discontinuous Galerkin (ADER-DG) methods and finite difference (e.g. Taylor-DRP) methods are used on both structured and unstructured grids, ensuring excellent wave propagation capabilities. In the domains, the Navier-Stokes equations, as well as the Euler Equations and the Linearized Euler Equations (LEE) are solved. Two or more different domains are coupled at their common boundary over the data in the ghostelements. The data are exchanged by interpolating the values from the neighbor-grid onto either the Gauss integration points of the ghost cells (FV and DG methods) or onto the ghostpoints (FD methods) themselves. For DG schemes, the data can be mapped on the cell's degrees of freedom very easily. The interpolation may be high-order (2- or 3-dimensional Lagrange interpolation). Domains with completely different time steps are allowed in order to use the largest time step possible in each domain. In this regard, the so-called Cauchy-Kovalevskaja (CK) procedure takes a key position. The versatility and feasibility of the approach is examined for several benchmark examples.

Di. 14:50    Raum 38.02    Num. Methoden in der Aeroakustik

### **The Space-Time Expansion Discontinuous Galerkin Method**

G. Gassner und F. Lörcher

*Institut für Aerodynamik und Gasdynamik, Universität Stuttgart*

In this paper the recently developed space-time expansion discontinuous Galerkin (STE-DG) approach for the two dimensional unsteady compressible Navier-Stokes equations is presented. The base of the scheme is a new weak formulation of the Navier-Stokes equations, where special care of the second order terms is taken. The spatial polynomial of the DG approach is expanded in time using the so called Cauchy-Kowalewskaya (CK) procedure. With a polynomial of order  $N$  in space the CK procedure generates an approximation of order  $N$  in time as well



yielding a scheme of order  $N+1$  in space and time. The locality and the space-time nature of the presented method gives the interesting feature that the time steps may be different in each grid cell. Hence, we drop the common global time steps and propose for a time-accurate solution that any grid cell runs with its own time step determined by the local stability restriction. In spite of the local time steps the scheme is conservative, fully explicit, and as in the DG approach the polynomial order could be chosen arbitrarily, the scheme is theoretically of arbitrary order of accuracy in space and time for transient calculations.

Di. 15:15    Raum 38.02    Num. Methoden in der Aeroakustik

### **Noise Prediction of a Hot Coaxial Jet**

D. Eschricht

*Institut für Strömungsmechanik u. Technische Akustik, TU Berlin*

The prediction of noise emission from jet engine exhausts is of key interest as it constitutes a major noise source during take off and landing. To gain insight into the processes of noise creation, compressible flow simulations have been performed. These include various flow phenomena, such as the mixing of cold and hot turbulent jet flows in free shear layers.

As a general procedure, the prediction of far field sound by unsteady flow simulation and acoustic analogies is well established. To obtain the unsteady flow field, different methods can be applied. For jet simulations, Large Eddy Simulation is widely employed as the walls are mostly ignored. However, when more complex geometries are of interest, this may become unfeasible or the required grid sizes become too demanding. To explore the possibilities of an alternative method, the capabilities of the Detached Eddy Simulation method have been examined as this requires much fewer grid points in the near wall region. Furthermore, the method is able to run in an LES-like mode in the resolved free shear layer regions.

Results of a Detached Eddy Simulation of a hot coaxial jet at high Reynolds and Mach number will be presented. Additionally, far field predictions by Ffowcs Williams and Hawkings acoustic analogy have been obtained and will be compared with measurements.

Di. 15:40    Raum 38.02    Num. Methoden in der Aeroakustik

**Zur breitbandigen Umströmungslärmsimulation im Zeitbereich mittels einer stochastischen Lagrangschen Partikel Methode**

R. Ewert

*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt*

In den vergangenen Jahren wurden im Rahmen der Computational Aeroacoustics (CAA) spezielle numerische Verfahren zur Simulation der Schallausbreitung im strömenden Medium entwickelt. Die Verfahren basieren auf Störungsgleichungen (linearisierte Eulergleichungen 'LEE', akustische Störungsgleichungen 'APE',...), die die zeitliche Entwicklung von Druck-, Dichte- und Geschwindigkeitsstörungen in einem zeitgemittelten Strömungsfeld beschreiben und damit akustische Refraktionseffekte in der Strömung erfassen. Ein wesentliches Problem ergibt sich durch die zusätzliche Berücksichtigung von turbulenzbedingten Strömungsschallquellen zur Simulation von breitbandigem Umströmungslärmproblemen. Große Fortschritte in der Strömungsakustik konnten in den vergangenen Jahren durch die Kopplung der Grobstruktursimulation (Large Eddy Simulation, LES) mit CAA Methoden erzielt werden. Ein Nachteil der LES ist jedoch die erhebliche Simulationszeit, die den Einsatz eines hybriden LES/CAA Ansatzes als Auslegungsverfahren im Entwurfsprozess verbietet. Das DLR verfolgt derzeit ein schnelles Simulationskonzept für Auslegungs und Entwurfsverfahren, bei dem Turbulenzquellen mittels stochastischer Methoden im Zeitbereich generiert werden. Zur Beschreibung des Strömungsfeldes wird dabei eine RANS Lösung des zeitgemittelten turbulenten Umströmungsproblems verwendet. Die aus der stationären Lösung generierten stochastischen Quellterme müssen dabei keine detaillierte Rekonstruktion der Turbulenz repräsentieren, sondern vielmehr lediglich die Zweipunktkorrelationen des Turbulenzgebietes reproduzieren. Es werden die Erweiterung der Turbulenzrealisierung auf komplexe Grundströmungstopologien mit Rückströmgebieten anhand der Simulation von Vorflügelärm am Verkehrsflugzeug vorgestellt. Desweiteren wird der Einfluss von Anisotropieeffekten auf die Schallerzeugung an der Hinterkante von Profilen von Windkraftanlagen untersucht.

---

Di. 16:30    Raum 38.02    Num. Methoden in der Aeroakustik

**Reduced-Order Analysis of Turbulent Jet Noise**

B.R. Noack<sup>a</sup>, M. Schlegel<sup>a</sup>, E. Gröschel<sup>b</sup>, W. Schröder<sup>b</sup>, P. Comte<sup>c</sup> und P. Jordan<sup>c</sup>

<sup>a</sup> *TU Berlin HF1*; <sup>b</sup> *RWTH Aachen*; <sup>c</sup> *CNRS UMR 6609 / University of Poitiers*

In the present study, subsonic turbulent jet noise is investigated targeting 'least-order' approximations of the key processes. These representations utilize LES and experimental data. The fluctuations of the velocity field, of the Lamb vector as noise source (APE formalism), and of the far-field pressure are investigated with several methods:

- (i) The streamwise development is characterised by a statistical analysis;
- (ii) An azimuthal mode decomposition is carried out;
- (iii) A Fourier analysis is performed;
- (iv) A proper orthogonal decomposition (POD) is applied to the data;
- (v) A noise-targeted generalization of the POD is proposed to distill 'loud' and 'quiet' structures in the jet.

Thus, the hot-spots of noise production are identified and the most characteristic flow events with respect to the observed far-field pressure are low-dimensionally described.

---

Di. 16:55    Raum 38.02    Num. Methoden in der Aeroakustik

**Numerische Studien zu strömungsinduziertem Lärm von Außenspiegelgeometrien**

T. Grahs, F. Decker, A. Gitt-Gehrke und M. Kirchner  
*Volkswagen AG*

Die Reduzierung des strömungsinduzierten Lärms spielt in der Fahrzeugentwicklung eine immer größere Rolle. Anhand eines Teilmodells des Volkswagen Passats werden Simulation und Messung von Lärmquellen miteinander verglichen.

Di. 17:20    Raum 38.02    Num. Methoden in der Aeroakustik

### **Forschungsverbund Leiser Verkehr - Projekt FREQUENZ - Lärmarme Nachrüstmaßnahmen für existierende Flugzeuge**

G. Saueressig<sup>a</sup>, W. Dobrzynski<sup>b</sup>, S. Guérin<sup>b</sup>, S. Fröhlich<sup>c</sup>, J. Jaeglé<sup>d</sup>, W. Jans<sup>a</sup>, B. Kiefner<sup>e</sup>, I. Köhler<sup>a</sup>, M. Kutner<sup>d</sup>, U. Michel<sup>b</sup>, M. Pott-Pollenske<sup>b</sup>, H. Siller<sup>b</sup>, A. Uhl<sup>c</sup>, J. Wiedau<sup>c</sup> und K. Haag<sup>a</sup>  
<sup>a</sup>Deutsche Lufthansa AG; <sup>b</sup>Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt; <sup>c</sup>Lufthansa Technik AG; <sup>d</sup>Lufthansa Cargo AG; <sup>e</sup>Airbus Deutschland GmbH

Unter dem Dach des Forschungsverbunds Leiser Verkehr wurde 2004 das Projekt FREQUENZ gestartet. Im Teilprojekt 3 werden kurz- und mittelfristig einsetzbare Lösungen zur Lärmreduzierung für bereits im Einsatz befindliche Flugzeuge entwickelt. Hierfür müssen einzelne Schallquellen im Überflug genau vermessen werden, um entsprechende lärmarme Modifikationen entwickeln zu können, die dann noch auf Flugtauglichkeit geprüft und zertifiziert werden müssen. Diese Arbeiten basieren auf den Untersuchungen in den vorgeschalteten Teilprojekten 1 und 2, in denen numerische Methoden eingesetzt und durch Windkanalversuche verifiziert werden. Wirbelgeneratoren konnten erfolgreich an einem Lufthansa Airbus A319 eingesetzt werden, um zwei starke Töne zu eliminieren, die an der Flügelunterseite durch Tankdruckausgleichöffnungen hervorgerufen werden. Ton- und Breitbandschallquellen vom Triebwerk, Fahrwerk und den Hochauftriebssystemen werden ebenfalls analysiert. Weitere Untersuchungen widmen sich lärmarmen Landeverfahren für die Lufthansa Boeing MD11-F, für die Bewertungs- und Umsetzungskonzepte entwickelt werden. Darüber hinaus soll die Quelle eines vom Fahrwerk herrührenden Tons identifiziert und eine lärmarme Modifikation erarbeitet werden.

Di. 17:45    Raum 38.02    Num. Methoden in der Aeroakustik

### **Fehlerabschätzung und Reduktion des Messaufwandes bei der inversen Schallquellenortung**

D. Sachau und T. Kletschkowski

HSU / Universität der Bundeswehr Hamburg

Um störenden Kabinenlärm erfolgreich bekämpfen zu können, müssen zunächst die Orte des Schalleintrags identifiziert werden. Die direkte Lokalisierung von Lärmquellen stellt in schwach gedämpften Innenräumen eine besondere Schwierigkeit dar, da

sich im Gegensatz zum Freifeld stehende Wellen ausbilden. Daher werden zur Ortung dieser Schallquellen üblicherweise absorbierende Dämpfungsmaterialien eingebracht, um künstlich Freifeldbedingungen zu erzeugen.

Im Unterschied zu diesem zeit- und kostenintensiven Vorgehen, stellt die Ortung von Schallquellen mit Hilfe der inversen Finite Elemente Methode (IFEM) eine geeignete Alternative dar, deren Anwendung zunächst das Vermessen des Schallfeldes in der Kabine erfordert. Anschließend sind die Schalldrücke des Messgebietes den Knoten eines FE-Modells zuzuordnen. In einem letzten Schritt kann das resultierende Gleichungssystem derart umsortiert werden, dass mit Hilfe von Regularisierungsverfahren die Berechnung der unbekannten Randlasten möglich wird.

Die Anwendung dieser neuartigen Ortungsmethode wird am Beispiel eines vereinfachten numerischen Modells, das dem Querschnitt eines Flugzeugrumpfes angepasst ist, erläutert. Insbesondere wird auf Fehlereinflüsse bei der Rückrechnung eingegangen. Um zwischen realen Schallquellen und so genannten Phantomquellen unterscheiden zu können, wird eine gefilterte quadratische Fehlerzahl vorgeschlagen, deren Aussagekraft mittels numerischer Untersuchungen bestätigt wird.

Um den Einfluss von Messfehlern zu begrenzen und den experimentellen Aufwand moderat zu gestalten, ist eine geringe Anzahl von Messpunkten wünschenswert. Aus diesem Grund wird ein innerer Rand eingeführt. Dieser umschließt das ursprüngliche Messgebiet vollständig. Sind die Schallwechseldrücke auf dem inneren Rand bekannt, lassen sich für diesen in einer einfachen Vorwärtsrechnung konsistente Druck-Schnelle-Paare ermitteln, die als Randwerte für die Rückrechnung auf den äußeren Rand benötigt werden. Die Effizienz dieses Vorgehens wurde anhand numerischer Experimente verifiziert.

Di. 18:10    Raum 38.02    Num. Methoden in der Aeroakustik

### **Ein objekt-orientierter Ansatz zur linear-akustischen Modellbildung komplexer Schalldämpfersysteme**

B.K. Bachner

*Augsburg*

Es wird eine mathematische Formulierung der linear-akustischen Modellbildung von Ausbreitungsvorgängen ebener Wellen in

komplexen Schalldämpfersystemen vorgestellt. Die dabei betrachteten Schalldämpfersysteme sind durch das Vorhandensein so genannter Mehrtor-Elemente gekennzeichnet, die eingebettet in eine netzwerkartige Gesamtstruktur einen mehrpfadigen Schalleistungsfluss gestatten. Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal des vorgestellten Ansatzes von bisher in der Literatur beschriebenen Verfahren ist die Integration der eingangs erwähnten Mehrtorelemente sowohl für Wellenleiter als auch für Verbindungs- bzw. Verzweigungselemente. Der fundamentale Aspekt des vorgestellten Ansatzes entspringt aber aus der spezifischen mathematischen Beschreibung der kontinuierlichen Wellenleiter- und der diskreten Verbindungselemente. Nach Fouriertransformation der jeweiligen Grundgleichungen erhält man für die kontinuierlichen Elemente Differentialgleichungssysteme, während diskrete Elemente durch algebraische Zusammenhänge abgebildet werden. Die daraus für einzelne Elemente gefolgerten Matrizen weisen deshalb eine für die jeweilige Elementgruppe spezifische Form auf. Diese strukturelle Einteilung führt in konsequenter Weise auf ein Klassenmodell einer objektorientierten Beschreibung, welche die jeweiligen Eigenschaften der beiden Elementgruppen widerspiegelt. Das automatische Aufstellen der Koeffizientenmatrix des Gesamtsystems aus den Matrizen der einzelnen Elemente führt auf Grund der gewählten Systembeschreibung immer auf ein System mit der kleinstmöglichen Zahl an Unbekannten, was bei bestimmten bisher bekannten Verfahren nicht der Fall ist. Als Lösung dieses Gleichungssystems erhält man die in die kontinuierlichen Elemente an den jeweiligen Toren hinlaufenden Druckwellen. Zur vollständigen Bestimmung des Schallfelds im Dämpfersystem können jene Druckwellen, die die kontinuierlichen Elemente verlassen, mit Hilfe der Matrizen der Wellenleiter-Elemente aus dem Lösungsvektor gewonnen werden.

Di. 14:00    Raum 38.03    Numerische Methoden in der Akustik I

### **Hierarchische Finite-Elemente für die numerische Berechnung von akustischen Feldproblemen**

M. Kaltenbacher, A. Hauck und R. Lerch

*Lehrstuhl für Sensorik, Universität Erlangen-Nürnberg*

Im Zuge von modernen Geräteentwicklungen gilt es, deren Geräuschemission zu analysieren und zu reduzieren. Dies ist beispielsweise für Kraftfahrzeuge und Flugzeuge, aber auch Klimageräte und Leistungstransformatoren von entscheidender Bedeutung für deren späteren Markterfolg. Daher spielt inner-

halb des Entwicklungsprozesses die numerische Berechnung der Schallentstehung und Schallabstrahlung eine wichtige Rolle. Zur praxistgerechten Vorhersage der Geräteakustik gilt es, neben der Berechnung des Schalldruckpegels vor allem die physikalischen Größen Schallintensität sowie Schalleistung möglichst genau zu bestimmen.

Im ersten Teil des Vortrages wird zunächst der Diskretisierungsfehler bei der Finiten-Elemente-Methode (FEM), insbesondere als Funktion der Wellenzahl, besprochen. Da bei der Berechnung der Schallintensität sowie der Schalleistung nicht nur die berechnete Größe (akustischer Druck oder akustisches Skalarpotenzial) sondern auch deren Ortsableitung benötigt wird, muss auch der numerische Fehler der Ableitung zusätzlich berücksichtigt werden. Da im allgemeinen die Ordnung der Genauigkeit sich durch die Ableitung um eine Größenordnung reduziert, bietet sich für die genaue Berechnung der erwähnten Größen eine hierarchische Finite-Elemente-Methode an. Diese hierarchischen finiten Elemente werden anschließend vorgestellt und deren numerische Effizienz besprochen. Dabei wird anhand von praktischen Beispielen die erzielte Genauigkeit der benötigten Rechenzeit gegenübergestellt und mit Standard-Finiten-Elementen verglichen.

Di. 14:25    Raum 38.03    Numerische Methoden in der Akustik I

### **Modelling of mutual coupling between airborne sound and plate structures for room acoustic FEM simulations**

M. Aretz

*Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen*

The Finite Element Method (FEM) is a powerful tool for the simulation of airborne sound fields in enclosed spaces. Assuming realistic boundary conditions and taking into consideration the fluid-structural coupling at the boundary surfaces, it is possible to simulate the airborne sound field with high accuracy.

With regard to the specification of the boundary conditions at the room surfaces, simplifying assumptions are often applied which decrease the accuracy of the simulation. While typical solid building structures and a lot of absorbing materials can be modelled with sufficient accuracy as locally responding, which means they are characterized solely by their impedance, the simulation of the behaviour of lightweight constructions necessitates a more elaborate approach, which accounts for the bending effects of these plates. In order to increase simulation accuracy the mutual coupling between airborne sound and bending effects of the plates as

well as the coupling of bending and in-plane waves at corners of the plates have to be considered.

In the course of this work the plates have been modelled using Mindlin's plate theory and a formulation for the FEM simulation has been derived from the principal of virtual displacements. The implementation of the plates has been embedded into a FEM modelling software for the simulation of airborne sound fields in enclosed spaces. The implementation accounts for the described modes of coupling.

Di. 14:50    Raum 38.03    Numerische Methoden in der Akustik I

### **Elasto-Akustik-Kopplung auf nichtkonformen Gittern**

B. Flemisch<sup>a</sup>, M. Kaltenbacher<sup>b</sup> und B. Wohlmuth<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Institut für angewandte Analysis und numerische Simulation, Universität Stuttgart;* <sup>b</sup>*Lehrstuhl für Sensorik, Universität Erlangen-Nürnberg*

Dieser Beitrag beschäftigt sich mit der numerischen Simulation von Schallwellenentstehung und -ausbreitung aufgrund vibrierender Strukturen. Für die Struktur wird eine verschiebungs-basierte Elastizitätsformulierung, für das akustische Fluid die Wellengleichung für das Geschwindigkeitspotenzial betrachtet. Die Kopplungsbedingungen am Struktur-Akustik-Interface ergeben sich aus der Forderung nach Stetigkeit der Normalengeschwindigkeit und der Oberflächenkräfte. Für die Diskretisierung des Gebietes ergeben sich zwei stark unterschiedliche Anforderungen an die Gitterweite: Einerseits erfordern eventuelle Heterogenitäten und Nichtlinearitäten eine sehr feine Auflösung der Struktur, andererseits ist für das Akustikgebiet entsprechend der zu erwartenden Wellenlänge eine oft um ein Vielfaches gröbere Auflösung völlig ausreichend. Da aufgrund begrenzter Rechenkapazitäten eine entsprechend große Gitterweite im Fluid auch dringend erforderlich ist, wird häufig das von der Struktur vorgegebene Gitter allmählich aufgeweitet. Die aus dieser Vorgehensweise resultierenden verzerrten Elemente verfügen allerdings über schlechte Approximationseigenschaften. Hier wird ein alternativer Ansatz vorgeschlagen: Es ist zulässig, dass die Gitter für Struktur und Fluid am gemeinsamen Interface nicht zusammenpassen. Dies ermöglicht es, auf jedem Teilgebiet das jeweils beste Gitter für die Approximation der entsprechenden Größen einzusetzen, ohne auf das andere Teilgebiet Rücksicht nehmen zu müssen. Die diskrete Problemformulierung bleibt grundsätzlich



erhalten, allerdings ist zu beachten, dass am Interface Funktionen verschiedener Gitter gekoppelt werden müssen. Dieser Zugang erlaubt die Verwendung höchst unterschiedlicher Gitterweiten für Struktur und Akustik. Seine Effizienz und Anwendbarkeit werden anhand zahlreicher numerischer Beispiele demonstriert. Darüber hinaus wird auf die Lösung der gekoppelten Gleichungssysteme eingegangen. Hier bietet es sich an, die eventuell nichtlinearen Strukturgleichungen und die linearen Akustikgleichungen in einem iterativen Prozess voneinander entkoppelt zu lösen.

Di. 15:15    Raum 38.03    Numerische Methoden in der Akustik I

### **Untersuchung der Längsdämmung von Außenwänden mit Hilfe von gekoppelten numerischen Verfahren**

D. Clasen, L. Lehmann und S. Langer

*TU Braunschweig, Institut für Angewandte Mechanik*

Bei der Untersuchung der Wellenausbreitung in unbegrenzten Gebieten ist die Sommerfeldsche Abstrahlbedingung zu erfüllen. Diese stellt sicher, dass keinerlei Energie aus dem Unendlichen in das betrachtete Gebiet zurückreflektiert wird. Um die Einhaltung der Abstrahlbedingung sicher zu stellen, wird hier die Scaled Boundary Finite Element Method (SBFEM) verwendet. Diese wird mit einem Finite Elemente Programm für vibroakustische Probleme gekoppelt. Als Anwendungsbeispiel wird die Längsdämmung von flankierenden Bauteilen untersucht. Die Norm DIN EN 12354-1 erfordert die Kenntnis der Längsdämmung von Bauteilen. Häufig erfolgt der Einbau der Prüfobjekte seitlich parallel zu Außenwand in einen üblichen Wandprüfstand, da viele Prüfstellen nicht über einen geeigneten Prüfstand verfügen. Durch diese Art des Einbaus entsteht ein schmales Luftvolumen dessen Einfluss auf die Längsdämmung numerisch untersucht wird. Es werden zum Vergleich auch Berechnungen mit der SBFEM für eine Konfiguration durchgeführt, bei denen dieses Luftvolumen nicht abgeschlossen ist, so wie es in der Realität insbesondere bei der Schallübertragung über flankierende Außenwände der Fall ist. Die Simulationsergebnisse werden abschließend mit Messergebnissen der Physikalisch Technischen Bundesanstalt verglichen.

Di. 15:40    Raum 38.03    Numerische Methoden in der Akustik I

**Effiziente Fluid-Struktur-Koppelung (FSI) mit Component Modes Synthesis (CMS) unter Verwendung von Modal based Attachment Modes (MAMs)**

J. Guggenberger

*Müller-BBM GmbH*

In vielen FE-Berechnungen werden die Strukturantwort (Körperschall) und die Fluidantwort (Luftschall) getrennt berechnet. Um die Vorteile einer Beschreibung in einer reduzierten modalen Basis zu nutzen, wäre es von Vorteil, CMS-Methoden für die Fluid-Struktur-Koppelung anwenden zu können. Die Verwendung von klassischen CMS-Methoden, z.B. von Craig-Bampton, scheitert jedoch daran, dass für jeden Koppelfreiheitsgrad zwei zusätzliche globale Formfunktionen berechnet werden müssen, die an die modale Basis angehängt werden (DOF based attachment modes). Da zwischen Fluid und Struktur in der Regel sehr viele Koppelfreiheitsgrade zu berücksichtigen sind, wird die Methode uneffizient. Wenn sich die Antwort beider Subsysteme mit wenigen Moden beschreiben lässt, ist es vorteilhaft, Formfunktionen zu verwenden, die auf der Grundlage von modalen Freiheitsgraden gebildet wurden (Modal based Attachment Modes, 'MAMs'). Die Methode wird präsentiert und anhand von Testbeispielen validiert. Als Anwendungsbeispiele werden Resonatoren (Tiefenabsorber) und entkoppelte Fußbodenaufbauten behandelt.

Di. 16:05    Raum 38.03    Numerische Methoden in der Akustik I

**Active Noise Reduction of Vibroacoustic Systems Using Model Based Control**

S. Ringwelski, J. Lefèvre, T. Nestorovic und U. Gabbert

*O.-v.-G.-Universität Magdeburg, Institut für Mechanik*

In recent years acoustic noise reduction has become an important concern in many industrial applications. Noise reduction increases the comfort of a system and reduces the noise radiation into the environment. Consequently, the noise level has become a vital development target, since it contributes to product quality and customer satisfaction. The usual way to reduce the sound emission of a structure is the application of additional damping materials. Such damping materials are not very efficient in the lower frequency range and increase considerably the weight of a structure. The application of smart structural concepts is an alternative way to actively reduce the noise emission. A smart

structure consists of a passive mechanical structure and integrated active materials, which in connection with a properly designed controller actively reduce unwanted noise emissions.

The paper first presents briefly an overall finite element approach to the modelling of active vibroacoustic systems. Then it is shown how such a model can be used for controller design purposes, with the focus on model based linear quadratic control. The numerical design process is verified by experimental investigations. Therefore an experimental set-up consisting of a rectangular clamped plate with a coupled cavity has been developed. The plate is attached with piezoelectric patch actuators and sensors. The experimental set-up enables the measurement of the controlled and uncontrolled sound level in the cavity. The accuracy and the performance of the numerical design approach are evaluated by experimental results, which show a good agreement between the simulations and measurements.

Di. 16:55    Raum 38.03    Numerische Methoden in der Akustik I

## **Energy Finite Element Methods for Room Acoustics**

A. Franck

*Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen*

The application of numerical methods like FEM or BEM to room acoustical problems is (at least for the majority of rooms larger than e.g. vehicle enclosures) up to now limited to a frequency range that is considerably smaller than the range of commonly used room acoustical analyses up to high frequencies.

The limiting factor for these methods is the required discretization of the volume or surface in elements of a size small enough to reconstruct the wave in magnitude and phase at every point of the discretization domain. An usual rule of thumb requires a discretization of at least six nodes per wavelength in each spatial direction. For large mesh sizes, the so-called pollution effect often requires even finer discretizations to correctly model the phase.

This limitation may be bypassed by using Energy Finite Element Methods, which do not model the phase of the sound field in the room, but only its energy or intensity distribution. The spatial variation of this quantities is much lower than the variation of the phase, so coarser discretizations may be sufficient. This presentation shows the application of Energy Finite Element Methods in room acoustics, and their benefits and drawbacks compared to other mid- and high frequency methods like ray tracing or SEA.

Di. 17:20 Raum 38.03 Numerische Methoden in der Akustik I

### **Energy Finite Element Analysis of the NASA Aluminium Test-Bed Cylinder**

K. De Langhe<sup>a</sup>, N. Vlahopoulos<sup>b</sup> und G. Zhang<sup>c</sup>

<sup>a</sup>*LMS International*; <sup>b</sup>*University of Michigan*; <sup>c</sup>*Michigan Engineering Services, LLC*

A formulation was developed in the Energy Finite Element Analysis (EFEA) for modeling the vibration of cylindrical structures with periodic axial and circumferential stiffeners. Appropriate power transfer coefficients are computed from the values of the propagation constants. The joint matrices of the EFEA formulation are computed based on the power transfer coefficients derived from periodic structure theory. EFEA analyses are performed for the NASA aluminum test-bed cylinder and simulations are compared to experiments. Excitation is applied on the test-bed cylinder by four shakers and the vibration is measured at forty bays formed by axial and circumferential stiffeners. The EFEA results are compared successfully to test data between the 1/3 octave bands of 315 Hz to 6,300 Hz. [Work sponsored by NASA Langley Structural Acoustics Branch]

Di. 17:45 Raum 38.03 Numerische Methoden in der Akustik I

### **Combining an EBEA with an EFEA for Computing Airborne Noise Inside a Flexible Structure due to an Exterior Acoustic Source**

K. De Langhe<sup>a</sup>, N. Vlahopoulos<sup>b</sup> und G. Zhang<sup>c</sup>

<sup>a</sup>*LMS International*; <sup>b</sup>*University of Michigan*; <sup>c</sup>*Michigan Engineering Services, LLC*

The Energy Boundary Element Analysis (EBEA) has been utilized in the past for computing the exterior acoustic field at high frequencies (above  $\sim 400$  Hz) around vehicle structures and numerical results have been compared successfully to test data [Wang, et. al. Journal of Sound and Vibration, Vol. 278, 2004; Wang, et. al. Internoise 2002]. The EFEA has been developed for computing the structural vibration of complex structures at high frequencies and validation has been presented [Zhang, et. al., Journal of Sound and Vibration, Vol. 282, April 22 2005; Zhang, et. al., Finite Elements in Analysis and Design, v 41, n 11-12, June, 2005; Wang, et. al., SAE Paper No. 2005-01-2372]. In this presentation the EBEA is utilized for computing the acoustic field around a complex structure from an external acoustic noise source. The computed exterior acoustic field comprises the excitation for the

EFEA analysis. The structural vibration and the interior noise levels are computed, demonstrating how the EBEA and the EFEA can be combined in airborne noise applications for performing a complete vibro-acoustic analysis. [Work supported by ONR Code 334, SBIR program, TPOC: Dr. Luise Couchman]

Di. 18:10 Raum 38.03 Numerische Methoden in der Akustik I

## **Modellierung eines kugelförmigen Lautsprechersystems als Multipolquelle**

F. Zotter, A. Sontacchi und R. Höldrich

*Institut für Elektronische Musik und Akustik, Universität für Musik und darstellende Kunst, Graz*

Ein Teilgebiet unseres Projekts „Virtual Gamelan Graz“ (VGG) beschäftigt sich mit der Aufnahme und Wiedergabe akustischer Abstrahlungsverhalten ausgewählter Gamelan Instrumente. Wie in den Forschungsarbeiten von O. Warusfel (IRCAM, Paris, 1997, 2004) und P. Kassakian (CNMAT, Berkeley, 2004) beschrieben, eignen sich kugelförmige Lautsprechersysteme zur Wiedergabe von Abstrahlungsmustern. Diese Schallquellen bestehen aus einem festen, kugelförmigen Gehäuse oder einem regelmäßigen Polyeder, in welches einzelne, separat bespielbare Lautsprecher eingebaut werden. Dieser Artikel beschreibt ein mathematisches Modell dieser Art von Schallquellen.

Im Wesentlichen besteht unser Modell aus den Randbedingungen für die Schallschnelle auf einer festen Kugeloberfläche mit Radius  $r_0$  und  $\dot{w}(\varphi, \vartheta) = 0$ , auf welcher Lautsprechermembranen sitzen. Diese werden als rotationssymmetrische Kugelkappen mit vorgegebener Schallschnelle modelliert  $\dot{w}(\varphi, \vartheta) = w_l$ .

Wir zeigen, wie die Randbedingungen der Lautsprecher  $\dot{W}_n^m(l, \varphi, \vartheta) \Big|_{r_0} = w_l \cdot A_n \cdot Y_n^m(\varphi_l, \vartheta_l)$  im Bereich der Kugelflächenfunktionen (Spherical Harmonics) gebildet und überlagert werden. Durch Inversion der Abstrahlungsgleichung  $P_n^m(\varphi, \vartheta, r) = \sum_l i \rho_0 \frac{h_n^{(2)}(kr)}{h_n^{(2)}(kr_0)} \dot{W}_n^m(l, \varphi, \vartheta)$  lassen sich Steuerungsparameter für die Abstrahlungssynthese finden.

Abschließend wird gezeigt, wie durch eine Fehlerberechnung und die Vorgabe eines Dynamikbereichs die bespielbaren Frequenz- und Entfernungsbereiche des Lautsprechersystems bestimmt werden können.

Dienstag Poster

Numerische Methoden in der Akustik I

**Untersuchung neuartiger Triebwerksliner-Konfigurationen mittels der BEM-Methode**D. Broszat, R. Maier und R. Pongratz*EADS Deutschland GmbH*

Um den von modernen Flugzeug-Turbofan-Triebwerken abgestrahlten Schall und die davon ausgehende Beeinträchtigung der Bevölkerung in Flughafennähe zu reduzieren, werden akustische Auskleidungen ('Liner') im Einlauf angebracht, welche absorptiv wirken und normalerweise auf einen Flugzustand optimiert sind. Verbesserungen in deren Performance zielen derzeit auf die Maximierung der absorbierenden Fläche, die Reduktion bzw. Vermeidung von Schnittstellen zwischen einzelnen Segmenten und Änderungen der Geometrie des Einlaufs ab, welche das Triebwerk im unteren Sektor (in Richtung Boden) abschirmen. Das Potential dieser Maßnahmen beschränkt sich jedoch auf einzelnen Flugzustände, erfordert teilweise höheren Fertigungsaufwand oder birgt Nachteile aerodynamischer oder gewichtsmäßiger Hinsicht. Der Ansatzpunkt dieser Arbeit beruht hingegen zum einen auf der Adaption der Impedanz des Liners, um der dem aktuellen Flugzustand entsprechenden optimalen Impedanz möglichst nahe zu kommen, zum anderen der Beeinflussung der Richtcharakteristik des abgestrahlten Schalls durch eine ungleichmäßige Impedanzverteilung. Zu diesem Zweck werden numerische Berechnungen mittels der Randelemente-Methode (Boundary Element Method (BEM)) mit kommerziellen sowie hausinternen Codes durchgeführt, welche die Wirkung der Liner auf das Eingangsschallfeld im modalen Bereich analysieren und die Abstrahlung vom Triebwerk berechnen. Ergebnisse derartiger neuer Liner-Konfigurationen werden präsentiert und mit herkömmlichen Maßnahmen verglichen. In ausgewählten Fällen werden die Simulationen anhand experimenteller Ergebnisse verifiziert.

Di. 14:00 Raum 47.01

Sprache im KFZ I

**Speaker Localization and Identification in Vehicles via Acoustic Analysis**A. Swerdlow, K. Kroschel und D. Bechler*Institut für Nachrichtentechnik, Universität Karlsruhe (TH)*

The interaction between man and machine, among others via acoustic analysis systems, will gain 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 peculiar interest.

If it were feasible to appoint a specific seat from where the car is being controlled, it would be possible to parameterize the selected control instructions with some position specific properties. Demonstrative examples therefore are the seat and air conditioning settings within the vehicle.

Another area of applications for the acoustic scene analysis is the passenger identification, which makes it possible to identify occupants of a car by means of their linguistic usage. With that, certain specific settings of the vehicle can be automated, either entirely or partly. The position of the speaker is also of importance in order to regulate the release of the restraint system and airbags. In contrary to the optic system, which only works with lighting or rather daylight, the acoustic system can also be used at dark. This is a basic advantage, since the sitting position of the passenger typically only changes when he speaks.

A 3-D sound localization system, developed at our institute, enables the detection of audio signal sources. Therefore, a concentrated microphone array is used and one pair of microphones is needed per localization level. That for a standard vehicle sufficient work environment amounts approximately 2.5 meters. A classification method based on this system enables to identify a localized person.

Di. 14:25    Raum 47.01

Sprache im KFZ I

### **Experiments on Speech, Noise, and Echo Separation for Quality Assessment of Hands-free Systems**

T. Fingscheidt und S. Suhadi

*TU Braunschweig, Institut für Nachrichtentechnik*

Improved quality assessment methods for hands-free systems become more and more important, since system integrators need fast and reliable means to decide among suppliers, considering the hands-free system as a black box.

In science, a comfortable way to evaluate speech enhancement algorithms is to digitally add near-end speech and noise to the echo signal and thereby construct the microphone signal. During the uplink processing of the hands-free system the operational influence on the noisy microphone signal is then to be logged, and later applied individually to the speech, echo, and noise components of the microphone signal. The strength of such method is that one achieves three separate signals: The (slightly) distorted near-end talker's speech signal, the suppressed echo signal, and the residual noise signal, respectively.

This however is an intrusive approach, which requires access to the internal processing of the hands-free system. As this is totally undesirable for practical situations, we propose digital access only to the input and output of the hands-free system. We present some encouraging experiments on how such a black box test allows for separation of the enhanced speech signal into the speech signal portion, and the residual noise and echo signals. This allows then for independent judgment of speech degradation and of noise and echo attenuation/degradation, which we expect to yield a more reliable analysis in shorter time compared to the analysis of the enhanced speech signal (which is an additive mixture of all three signals).

Di. 14:50    Raum 47.01

Sprache im KFZ I

### **Zum Einfluss von sprachlichen und nichtsprachlichen Systemausgaben auf das Arbeitsgedächtnis des Fahrers und Schlussfolgerungen für den Einsatz im Kraftfahrzeug**

T. Hempel und R. Vilimek

*Siemens AG*

Im Fahrzeug können heute sowohl sprachliche als auch nicht-sprachliche Darbietungen als akustische Systemausgaben zum Einsatz kommen. Unter Verwendung nicht sicherheitskritischer aber dennoch handlungsauffordernder Ereignisse wurde der Unterschied beider Darbietungsgruppen auf den Fahrer untersucht. (z.B. Eigenschaften des Arbeitsgedächtnisses, Antwortzeiten und -genauigkeiten). Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass längere Sprachausgaben das Arbeitsgedächtnis stärker 'stören' als z.B. Earcons und Einzelworte. Andererseits führten die Earcons im Test aber zu hohen Antwortlatenzen. Auf Grund der Daten dieses Experiments wird die Eignung der unterschiedlichen Darbietungsformen für den Einsatz im Kraftfahrzeug diskutiert.

Di. 15:15    Raum 47.01

Sprache im KFZ I

### **Spracherkennung im Automobil durch Verwendung von Missing Feature Techniken**

D. Kolossa, R.F. Astudillo und R. Orglmeister

*TU Berlin, EN 3*

Um Sprachsignale von Störgeräuschen und überlagerten anderen Sprachsignalen zu befreien, sind ICA, spektrale Subtraktion und Zeit-Frequenzmaskierung erfolgreiche Methoden. Allen ist aber gemeinsam, dass sie das Nutzsignal oft nur mit Artefakten rekonstruieren können. Missing Feature Techniken bieten



verschiedene Möglichkeiten, einen Spracherkenner mit der Information über solche Artefakte zu versorgen, um diese bei der Erkennung zu berücksichtigen. Dabei können unterschiedliche Methoden eingesetzt werden, die entweder, als sogenannte 'Missing Data Techniken', einzelne Features ganz aus dem Erkennungsprozess ausnehmen oder, wie zum Beispiel das 'Uncertainty Decoding', mit kontinuierlichen Unsicherheitswerten arbeiten. Eine Analyse der Erkennungsleistung und des Rechenaufwands dieser Verfahren zeigt dabei, dass die einfacheren Missing Data Techniken zwar in der Realisierung Vorteile bringen, allerdings insbesondere für sprecherunabhängige Modelle deutlich weniger robust sind als aktuellere Methoden für die direkte Dekodierung unsicherer Features.

Di. 15:40    Raum 47.01

Sprache im KFZ I

### **Zweistufige Sprache/Pause-Detektion in stark gestörter Umgebung**

E. Warsitz, R. Häb-Umbach und J. Schmalenströer  
*Universität Paderborn, Fachg. Nachrichtentechnik*

Bei der Verarbeitung von Sprachsignalen in Freisprechanlagen ist üblicherweise eine Störgeräuschreduktion notwendig. Dazu bedarf es einer möglichst guten Schätzung des Rauschspektrums, welches zu entfernen ist. Grundsätzlich können die Verfahren hierbei in zwei Klassen eingeteilt werden: Zum einen kann mit Hilfe der so genannten Minimum-Statistik-Methode eine kontinuierliche Schätzung erfolgen und zum anderen ist eine abschnittsweise Mittelung des Rauschens in Sprachpausen durch Verwendung einer Sprache/Pause-Detektion möglich. Letzteres Vorgehen hat den Vorteil für weitere Verarbeitungsschritte die Information über Sprachaktivität bereit zu stellen. Problematisch wird jedoch eine solche Detektion bei einem sehr niedrigen Signal-zu-Rausch-Verhältnis, wie z.B. in einem Kraftfahrzeug.

Hier soll ein robustes zweistufiges Verfahren zur Sprache/Pause-Detektion vorgestellt werden, welches in einem ersten Schritt eine grobe Entstörung des Sprachsignals mittels Wiener Filterung und mit Hilfe der Minimum-Statistik-Methode vornimmt. In einem zweiten Schritt erfolgt dann der Einsatz einer effizienten Sprache/Pause-Detektion basierend auf einem Energiekriterium. Die Leistungsfähigkeit der vorgeschlagenen zweistufigen Methode wird im Vergleich zu anderen Verfahren zur Sprache/Pause-Detektion untersucht. Insbesondere eine sichere Unterteilung des Signals in Sprach- und Pause-Segmente bei

niedrigen Signal-zu-Rausch-Verhältnissen ist hierbei von großem Interesse.

Di. 16:30    Raum 47.01

Sprache im KFZ I

---

### **Effects of In-Car Noise-Conditions on the Recognition of Emotion within Speech**

B. Schuller<sup>a</sup>, G. Rigoll<sup>a</sup>, M. Grimm<sup>b</sup>, K. Kroschel<sup>b</sup>, T. Moosmayr<sup>c</sup>  
und G. Ruske<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*TU München, Institute for Human-Machine Communication;*

<sup>b</sup>*Universität Karlsruhe (TH), Institut für Nachrichtentechnik;*

<sup>c</sup>*BMW AG*

Integration of affective cues is considered a major factor towards future man-machine interaction with respect to more naturalness. Today's in-car interfaces are already enhanced by speech recognition. In this contribution we therefore investigate the effects of in-car noise-conditions on the automatic recognition of emotion within speech. A number of diverse driving situations and car-types are used for overlay over well known public emotion databases. Thereby a categorical emotion model is employed. Results are presented for these different conditions using a variety of static prosodic, articulatory and speech quality features. These are ranked in a closed-loop feature-space optimization with the classifier, namely Support-Vector-Machines, according to the different noise-types. Apart from the analysis of the general impact of noise on the overall reliability we discuss adaptation strategies to partly overcome losses.

Di. 16:55    Raum 47.01

Sprache im KFZ I

---

### **Natürlichsprachlicher Zugang zu Webinhalten im KFZ**

M. Schuster

*Siemens AG*

Der Vortrag skizziert Verfahren zur Bereitstellung von Internet-Inhalten im Kfz über einen natürlichsprachlichen Dialog. Neben einem Sprachzugang zu Webservices wird die automatische Generierung von Sprachapplikationen aus Internet-Inhalten und ihre Verteilung über digitalen Rundfunk dargestellt.

Di. 17:20 Raum 47.01

Sprache im KFZ I

**Use of Phonetic Unit Duration for Chinese Mandarin Digit Recognition in Cars**S. Astrov*Corporate Technology, Siemens AG*

In this work the Chinese Mandarin continuous digits recognition in car environment is considered. The recognition system was trained and tested on the SPEECON Mandarin speech database, the utterances for test and training were recorded in cars.

In order to improve recognition accuracy the syllable duration information is employed in a 2-stage approach. In the first stage the recognizer performs standard speech recognition using acoustic features. As a result, an n-best list of hypotheses is generated. In the second stage the hypothesis probabilities are re-estimated using syllable duration information, thus, the hypotheses are re-ordered and the recognition results are corrected. In such a way the word error rate is reduced.

In order to eliminate the influence of speech rate variations the syllable durations are normalized. Two different speech rate computation approaches were investigated. The normalization led to further reduction of word error rate.

Di. 17:45 Raum 47.01

Sprache im KFZ I

**Evaluierung von Systemen zur Verbesserung der Kommunikation in Kraftfahrzeugen**G. Schmidt und T. Haulick*Harman/Becker Automotive Systems GmbH*

Auf Grund des hohen Hintergrundgeräuschs ist die Gesprächsführung im fahrenden Kraftfahrzeug bei mittleren und höheren Fahrgeschwindigkeiten oftmals schwierig. Dies gilt insbesondere für Gespräche zwischen den Front- und Rücksitzpassagieren.

Die Situation kann durch Innenraumkommunikationssysteme verbessert werden. Hierbei werden die Sprachsignale jedes Passagiers mittels eines einzelnen Mikrofons bzw. mittels eines Mikrofonarrays aufgenommen. Die so erhaltenen Eingangssignale werden durch das System verarbeitet und über jene Lautsprecher ausgegeben, welche sich in der Nähe der nicht-aktiven Passagieren befinden. Vergleichbar mit Redneranlagen arbeiten Innenraumkommunikationssysteme innerhalb einer geschlossenen elektro-akustischen Schleife. Aus diesem Grund muss durch eine geeignete Signalverarbeitung die Systemstabilität garantiert

werden, andernfalls kommt es durch die akustische Rückkopplung zu sog. Heul- bzw. Pfeifgeräuschen.

In diesem Beitrag werden Möglichkeiten aufgezeigt, wie man die Qualität von Innenraumkommunikationssystemen sowohl objektiv als auch subjektiv beurteilen kann. Während die objektiven Messungen die durch das System entstehenden Signal-zu-Geräuschabstands-Gewinne und die Rückhöranfälligkeit (hört die sprechende Person sich selbst aufgrund des System) bewerten, wird durch subjektive Tests die Verbesserung der Sprachqualität und der Sprachverständlichkeit evaluiert. Die vorgeschlagenen Messungen bzw. subjektiven Tests wurden an einem realen System im Fahrzeug durchgeführt. Die Ergebnisse werden präsentiert.

Di. 18:10 Raum 47.01

Sprache im KFZ I

### **Acoustic Emotion Recognition in Car Environment Using a 3D Emotion Space Approach**

M. Grimm<sup>a</sup>, K. Kroschel<sup>a</sup>, B. Schuller<sup>b</sup>, G. Rigoll<sup>b</sup> und T. Moosmayr<sup>c</sup>

<sup>a</sup>*Universität Karlsruhe (TH), Institut für Nachrichtentechnik;*

<sup>b</sup>*TU München, Institute for Human-Machine Communication;*

<sup>c</sup>*BMW AG*

In this contribution we propose a method for the automatic recognition of emotions in speech with particular focus on the situation of vehicular background noise. To address the continuum of emotional expressions in spontaneous affective utterances, we describe emotions by continuous-valued positions within a three-dimensional emotion space, consisting of three emotion primitives, namely valence, activation and dominance.

For this task, we analyzed a database of 1018 affective utterances from 47 speakers which was extracted from a TV talk-show. The data was labelled with respect to the emotion primitives by 18 human evaluators using an icon-based, text-free method and an emotion space quantization of 5 values per primitive. The evaluation results of this listening test showed a small standard deviation and a moderate to high inter-evaluator agreement.

Our proposed automatic emotion recognition method consists of 3 steps:

- 1) Extraction of prosodic features from the speech signal,
- 2) Feature selection using Sequential Forward Feature Selection technique,
- 3) Continuous-valued emotion estimation using Support Vector Regression.

To assess the automatic emotion recognition under the conditions of environmental noise within a car, we superimposed several different types of in-car noise on the original speech signals (such as highway, country lane, urban environment).

The results suggest that, in general, detecting a driver's emotional state within a driving car is possible, and that such method might be used to automatically assess the driver's satisfaction with the car instruments.

Di. 14:00    Raum 47.02

Schienenfahrzeuge

### **Bedämpfung von Rollgeräuschen mit Absorbern bei niedrigen Geschwindigkeiten**

B. Engel, M. Fehndrich und F. Murawa

*Bochumer Verein Verkehrstechnik GmbH*

Absorber gegen Rollgeräusche werden bei Zügen mit hohen Geschwindigkeiten ( $>200$  km/h) mit großem Erfolg eingesetzt (ICE 1,2,3, ICE-T, usw.). Auch bei niedrigen Geschwindigkeiten ergaben Rollgeräuschmessungen bei Vorbeifahrt (100-280 km/h) eine Dämpfung von 6 dB(A).

Ähnliche Ergebnisse liegen auch aus Validierungsmessungen des BMBF-Projektes "Simtool Rollgeräusch" vor, bei der die Pegeldifferenzen im Mittel bei 5 dB(A) lagen.

Im Rahmen dieser Fahrten konnten auch Nahfeldmessungen durchgeführt werden. Es werden Ergebnisse von vergleichenden Schallmessungen im Nahfeld von Versuchsfahrten auf verschiedenen Trassen, die zeitgleich mit den Validierungsfahrten durchgeführt wurden, vorgestellt. Diese bestätigen die o.g. Ergebnisse, dass sich auch bei Geschwindigkeiten von 80 und 120 km/h mit Absorberbedämpfung deutliche Pegelreduzierungen erreichen lassen.

Damit liefert die Anwendung der Absorbertechnologie auch einen wichtigen Beitrag zur Erfüllung der zukünftigen Lärmanforderungen im Rahmen der TSI Noise für Güterwagen.

Di. 14:25 Raum 47.02

Schienenfahrzeuge

**Einsatz von Schwingungsdämpfern an Eisenbahnschienen und Stahlbrücken**H. Venghaus<sup>a</sup> und G. Veit<sup>b</sup><sup>a</sup>*Selbständiger beratender Ingenieur*; <sup>b</sup>*Schrey & Veit GmbH*

Schwingungsdämpfer werden an den Rädern von Wagen und Lokomotiven zunehmend eingebaut, um die nach den neuen Richtlinien notwendige Begrenzung der Schallemissionen der Fahrzeuge zu erreichen. Seit einigen Jahren werden daneben nun auch Schwingungsdämpfer an Schienen mit steigendem Erfolg eingesetzt. Mehrere Feldversuche in den Niederlanden und Frankreich zeigten derartig gute Wirkungen, dass diese Dämpfer an Schienenstrecken zur zusätzlichen Lärminderung standardmäßig verwendet werden. Die Emissionspegel der Züge können bei guter Anpassung der Dämpfer an die jeweilige Schiene heute schon um bis zu 4 dB(A) gesenkt werden. Nach theoretischen Berechnungen sollen Lärmreduktionen über 5 dB(A) möglich sein. Modifizierte Formen der Schwingungsdämpfer eignen sich zur Reduktion der Schallabstrahlung von Stahlbrücken. Im ersten Versuch konnte im Jahr 2000 die Schallemission der Wasserparkbrücke in Wien durch den Einsatz solcher Dämpfer um 6 dB(A) verringert werden. In einer Weiterentwicklung wurde in Kombination mit neuen Schienenbefestigungen die Schallemission der Gavignot-Brücke bei Paris um 11 dB(A) gesenkt. Der Vortrag stellt den Fortschritt dieser Technologie zur Diskussion.

Di. 14:50 Raum 47.02

Schienenfahrzeuge

**Luft- und Körperschallmessungen am Fahrweg von Straßenbahnen bei Kurvenfahrt (Kurvenquietschen)**R. Volz und J. Feldmann*Institut für Strömungsmechanik u. Technische Akustik, TU Berlin*

Im Rahmen des vom BMBF geförderten Forschungsvorhabens 'Leiser Verkehr - Kurvengeräusche: Entwicklung von anwendungsreifen und wirksamen Maßnahmen zur Reduzierung von Kurvenquietschen an Rad und Schiene' wurden umfangreiche Messungen an Straßenbahnzügen durchgeführt. Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung eines validierten Simulationstools zur Berechnung von Kurvengeräuschen (Kurvenkreischen, Quietschen, Spurkranzlauf) beim Rad-Schiene-System. Damit sollen neben dem Erkenntnisgewinn über die wichtigsten Einflussgrößen und Mechanismen, Parameterstudien und Prognoserechnungen möglich sein. Die Ergebnisse sollen in ein Handbuch

'Kurvengeräusche' einfließen, mit dessen Hilfe insbesondere die Betreiber spurgebundener Verkehrssysteme in die Lage versetzt werden sollen, Maßnahmen zur nachhaltigen Minderung von Kurvengeräuschen abzuleiten. Das Institut für Strömungsmechanik und Technische Akustik (Fachgebiet Signale und Systeme der Akustik) hatte dabei die Aufgabe Luft- und Körperschallmessungen am Fahrweg durchzuführen. Dazu wurden in verschiedenen Abständen des Gleises der Luftschall erfasst und an mehreren Punkten an der Schiene die Beschleunigungen gemessen. Die Signale wurden bei Zugvorbeifahrten mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten aufgezeichnet. Die Messungen fanden sowohl auf dem geraden Teilstück sowie in der sich anschließenden Kurve statt. Die Messergebnisse werden dargestellt und ausführlich diskutiert.

Di. 15:15    Raum 47.02

Schienenfahrzeuge

### **Tonhaltigkeiten von Fahrgeräuschen moderner Schienenfahrzeuge des Nahverkehrs im Vergleich**

D. Salz, C. Czolbe und M. Hecht

*TU Berlin, Fachgebiet Schienenfahrzeuge*

Die Tonhaltigkeit von Fahrgeräuschen bei Schienenfahrzeugen - insbesondere Anfahrten oder Bremsungen - lassen sich mittels vorhandener Verfahren nicht immer zufrieden stellend bestimmen. Insbesondere im Nahverkehr führen tonale Geräuschkomponenten oftmals zu erhöhten Belästigungen. Um die Tonhaltigkeit dieser Geräusche wahrnehmungsspezifisch zu erfassen, entwickelte die Autorin ein Verfahren zur Bewertung tonaler zeitvarianter Komponenten auf der Basis von Terzspektren. Dieses Verfahren hatte in Hörversuchen zu hervorragenden Ergebnissen geführt. Die subjektiven Tonhaltigkeitsurteile korrelieren sehr signifikant mit 0,890 zu der mittels des Terzspektren-Verfahrens bestimmten Tonhaltigkeit. Das Terzspektren-Verfahren wurde nun zur Bewertung der Tonhaltigkeit von Geräuschbeispielen moderner Schienenfahrzeuge des Nahverkehrs eingesetzt. An einigen Schienenfahrzeugtypen des Nahverkehrs wurden akustische Optimierungsmaßnahmen durchgeführt. Zum Einsatz kamen beispielsweise folgende Maßnahmen: Körperschallentdröhnung, Radschallabsorber und Schallschürzen im Drehgestellbereich. Damit ließen sich mitunter deutliche Verbesserungen des Vorbeifahrtpegels erzielen. Im Rahmen der akustischen Analyse wurden auch die Auswirkungen der Optimierungsmaßnahmen auf die Tonhaltigkeit der Geräusche untersucht. Die Tonhaltigkeiten dieser Geräusche werden nach dem Terzspektren-basierten

Verfahren und nach bekannten Verfahren (beispielsweise nach DIN 45681) bestimmt. Sie weisen eine große Bandbreite auf. Nach DIN 45681 lassen sich Tonzuschläge von 0 bis 6 dB bestimmen. Die Ergebnisse werden vergleichend gegenüber gestellt. Für einige Optimierungsmaßnahmen konnten Verminderungen der Tonhaltigkeit der Geräusche festgestellt werden. Das Terzspektren-Verfahren erweist sich als ein sehr gutes Verfahren zur Bewertung der Tonhaltigkeit von Schienenfahrzeuggeräuschen.

Di. 15:40 Raum 47.02

Schienenfahrzeuge

### **Optimierung der Schallemission von Schienenfahrzeugen mit "nicht"akustischen Maßnahmen**

E. Thoß, B. Stegemann, U. Treichler und C. Schätzer

*Bombardier Transportation*

Die schalltechnischen Anforderungen an Schienenfahrzeuge - gesetzliche und Kundenanforderungen - wurden in den letzten Jahren verschärft. Dieser Prozess zeichnet sich auch für die kommenden Jahre ab. Ein Schwerpunkt ist dabei die Vorgabe von schalltechnischen Grenzwerten für das stehende Fahrzeug. Gleichzeitig ist es Ziel Fahrzeuge möglichst kompakt, also mit hoher Leistungsdichte zu realisieren. Dies bedeutet einerseits mehr Raum für die Beförderung von Fahrgästen und Gütern aber gleichzeitig auch weniger Bauraum für konventionelle schalltechnische Maßnahmen. Akustiker sind daher zunehmend gefordert, schalltechnische Lösungen auf Komponentenebene - häufig schon sehr gut optimiert - oder im Zusammenspiel der Komponenten zu generieren. Dies erweitert einerseits das Arbeitsfeld des Akustikers, stellt aber auch neue Anforderungen an die Kompetenz und Kommunikationsfähigkeit des Akustikers im Entwicklungsteam, wo Akustik eine unter vielen Randbedingungen darstellt. An einem Beispiel werden Möglichkeiten und Lösungen aufgezeigt, die es ermöglichen:

- weitestgehend kostenneutral,
- ohne zusätzliche Bauräume für akustische Maßnahmen sowie
- masseneutral und
- ohne zusätzliche Einschränkung der Zugänglichkeit für die Wartung

ein akustisch optimiertes Fahrzeug zu realisieren. Es wird dargestellt, dass das Vorurteil, dass ein schalltechnisch optimiertes Fahrzeug teuer und schwer ist, sowie das die akustischen Maßnahmen viel Bauraum beanspruchen, bei einem überlegten Systemansatz sich wirklich nur als Vorurteil erweist.



Di. 16:30 Raum 47.02

Schienenfahrzeuge

**Investigation of interior sound quality of starting and braking electric rail vehicles - an industrial perspective**D. Boucher und B. Stegemann*Bombardier Transportation*

In some cases, noise emitted and radiated by the components of the traction system proves to be fairly annoying, especially during acceleration and braking phases. Based on academic work, an industrial project on this topic is being conducted at Bombardier Transportation. The purpose of this project is to find a way of optimising the interior sound quality during starting and braking. This can be achieved by choosing the right parameters for the traction system, but always with the concern about taking into account the technical feasibility and industrial reality so that suitable solutions can be provided. Due to the tonal character of the traction noise, an A-weighted sound pressure level analysis only would not be sufficient to describe the perception of this sound. It is needed to use psychoacoustic quantities together with listening tests, in order to find the relevant descriptors for sound quality evaluation in this specific situation. Thanks to a good knowledge of traction noise generation mechanisms, it is at that point possible to state the links between the detailed technical working principle of the traction system and the way the related sound is experienced. The eventual aim of the present work is to encourage the communication between the various disciplines when designing the traction system of a train. It will be shown that sound quality can be considerably optimised by simple changes when acoustical know-how among other disciplines is applied from the very early phases of a vehicle's design process.

Di. 16:55 Raum 47.02

Schienenfahrzeuge

**Lärmbekämpfung im europäischen Schienengüterverkehr: Der aktuelle Sachstand**J. Oertli*BahnUmwelt-Center, Schweizerische Bundesbahnen*

Die Bahnen sind der nachhaltigste Verkehrsträger, sie werden deshalb von der EU-Verkehrspolitik unterstützt. Dies bedingt jedoch, dass die Bahnen den Lärm - ihr wichtigstes Umweltproblem - mindern. Die Besorgnis über den Verkehrslärm veranlasste die EU, die Umgebungslärmrichtlinie (END) einzuführen, welche Lärmkarten und Aktionspläne für wichtige Eisenbahnlinien und Siedlungsgebiete bestimmter Größe verlangt.

Eine Lärmreduktion bei Eisenbahnen wird durch die lange Lebensdauer der Wagen und die grosse Zahl von Stakeholdern beeinflusst. Grundsätzlich wird der Fahrlärm von rauen Rädern und Schienen verursacht. Falls beide glatt bleiben, kann der Lärm bedeutend gesenkt werden. Die Räder können dadurch glatt gehalten werden, wenn die Gusseisenklotzbremsen durch Verbundstoffsohlen ersetzt werden.

Gegenwärtig werden zwei Typen von Verbundstoffsohlen diskutiert: K- und LL-Sohlen. K-Sohlen reduzieren den Lärm etwas mehr als LL-Sohlen, benötigen aber Anpassungen des Bremssystems, während LL-Sohlen ohne solche Anpassungen eingebaut werden können.

Studien zur Wirtschaftlichkeit zeigen, dass zur Lärmreduktion die Umrüstung der Güterwagen mit Verbundstoffsohlen das beste Kosten-Nutzen Verhältnis aufweist. Ferner wird das Kosten-Nutzen Verhältnis insgesamt erhöht, wenn Verbundstoffsohlen mit anderen Lärminderungsmaßnahmen kombiniert werden.

Die betrieblichen Lebenszykluskosten von Verbundstoffsohlen werden gegenwärtig ebenfalls untersucht. Es wird erwartet, dass eine Umrüstung mit LL-Sohlen unter gewissen Umständen kostenneutral sein wird. Bei den K-Sohlen müssen die Kosten für die Anpassung des Bremssystems hinzugefügt werden.

Die harte Konkurrenz im Verkehrswesen verhindert, dass die Bahnbetreiber diese Umrüstung ohne fremde finanzielle Hilfe vornehmen können. Eine EU Finanzierung ist zurzeit nur für Demonstrationsprojekte denkbar; aber nicht für eine EU-weite Umsetzung. Bevor nationale Subventionen bezahlt werden können, muss die EU entsprechende Richtlinien erarbeiten.

Der vorliegende Bericht beschreibt den aktuellen Stand der Lärmsanierung im Schienengüterverkehr.

Di. 17:20    Raum 47.02

Schienenfahrzeuge

### **acramos - das System zur automatischen, fahrzeugselektiven Erfassung der Geräusch- und Erschütterungsemission von Schienenfahrzeugen des Regelbetriebs**

M.T. Kalivoda

*psiA-Consult*

Die Liberalisierung auf dem europäischen Eisenbahnmarkt hat die Infrastrukturbetreiber in die Situation gebracht, einerseits gegenüber den Anrainern zur Einhaltung bestimmter Geräuschimmissionspegel verpflichtet zu sein, während keine Möglichkeiten bestehen, die Höhe der Geräuschemission der verwendeten Fahrzeuge zu beeinflussen. psiA-Consult hat für die ÖBB

Infrastruktur BauAG "acramos", ein Messsystem zur automatischen, fahrzeugselektiven Erfassung der Geräusch- und Erschütterungsemission von Schienenfahrzeugen des Regelbetriebs, entwickelt und an der Nordbahn bei Wien im Juli 2006 in Betrieb genommen. Neu an diesem Monitoring-System ist, dass mit dem Vorbeifahrtpegel und den Erschütterungen das Achsmuster des Zuges gemeinsam erfasst wird. Damit kennt man nicht nur die Emissionen jeder einzelnen Achse, die gemessenen Vorbeifahrtpegel können auch automatisch vordefinierten Zugkategorien unabhängig von bahninternen Zugüberwachungssystemen zugeordnet werden. Für Schienenfahrzeuge, welche eine eindeutige Achsfolge besitzen, ist aus dem gemessenen Achsmuster eine Identifizierung der Fahrzeugart bzw. -gattung möglich. Durch die Position der Fahrzeuge im Zugverband kann darüber hinaus eine Klassifizierung von Zugkategorien (Güterzug, Rollende Landstraße, Lokzug, Triebwagengarnitur, Wendezuggarnitur, Doppelstockwagengarnitur, sonst. Personenzug, sonst. Zug) erfolgen. Fahrzeuggattungen, die kein eindeutiges Achsmuster besitzen, wie z.B. Güterwagen, welche unterschiedliche Aufbauten auf einem einheitlichen Fahrgestell besitzen, können nur generell identifiziert werden als Oberkategorie. Die erhaltenen Messwerte werden in einer Datenbank abgespeichert und liefern zur Zeit eine breite Datenbasis über das Emissionsverhalten des Zugverkehrs. Die Entwicklungen sind jedoch noch nicht abgeschlossen, denn das Endziel dieser Anlage ist es, die tatsächliche Geräuschemission (bezogen auf Standardbedingungen) jedes einzelnen Wagens bei der Vorbeifahrt zu ermitteln und damit ein von der Geräuschemission abhängiges Infrastrukturbenützungsentgelt einzuheben.

Di. 17:45    Raum 47.02

Schienenfahrzeuge

### **Geräuscheinwirkungen aus dem Hochgeschwindigkeitsverkehr im Bereich der Tunnelportale der Neubaustrecke Ingolstadt - Nürnberg**

U. Möhler und M. Liepert

*Möhler + Partner*

Im Mai 2006 wurde die Neubaustrecke Ingolstadt - Nürnberg für einen Hochgeschwindigkeitsverkehr mit bis zu  $v = 300$  km/h in Betrieb genommen. In der Erprobungsphase wurden im Bereich der Tunnelportale impulshaltige tieffrequente Geräusche festgestellt. Durch gezielte Maßnahmen konnten diese Geräusche reduziert werden. Durch Schallmessungen im Bereich der nächstgelegenen Wohnbebauung wurde die Lärmbelastung vor und

nach Einbau der Maßnahmen erfasst und beurteilt. Es werden die Mess- und Beurteilungsmethoden zur Bewertung der Tunnelgeräusche dargestellt und kommentiert.

Di. 18:10    Raum 47.02

Schienenfahrzeuge

## **Straßenbahn - Längenbezogener Schallleistungspegel**

P. Fürst

*cdf Schallschutz Dresden*

In Anwendung der EU-Umgebungsärmrichtlinie 2002/49/EG vom 25. Juni 2002 sind strategische Lärmkarten zu erstellen. In der EU 2002/49/EG erfolgt die Berechnung der Schallemission des Schienenverkehrs nach der "Reken- en Meetvoorschrift Railverkeerslawaaai '96, Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 20 november 1999". Darin wird der normierte längenbezogene Schallleistungspegel als Schallemissionsgröße angegeben. Wegen der unterschiedlichen Auswertemethode zu den bisherigen Vorschriften (Schall 03, VBUSch, DIN 45 6337) lässt sich der maximale Vorbeifahrpegel (z.B. bei 40 km/h in 7,5 m Entfernung) nicht oder nur Abschätzungsweise in einen längenbezogenen Schallleistungspegel in Terzen umrechnen. Die langjährig ermittelten Ergebnisse an Dresdner Straßenbahnen wurden in Vorbereitung für die Neuerstellung der Schall 03 erneut ausgewertet und aus den Messergebnissen der längenbezogene und normierte längenbezogene Schallleistungspegel ermittelt. Dabei wurden zwei Typen Niederflurfahrzeuge auf vier verschiedenen Oberbauarten ausgewertet. Vergleichsweise werden die bekannten Daten des maximalen Schalldruckpegels mitgeteilt. Im Vortrag werden Mess- und Berechnungsergebnisse in Abhängigkeit von Fahrzeugtypen, Oberbauarten (Feste Fahrbahn, Offenes Querschwellengleis, eingedecktes Querschwellengleis und Rasengleis) sowie der Fahrgeschwindigkeit von 20 - 60 km/h dargestellt. Es zeigt sich, dass der normierte längenbezogene Schallleistungspegel mit deutlich höherem messtechnischen und rechnerischen Aufwand ermittelt werden muss.

Dienstag Poster

Schienenfahrzeuge

**Schalldämm-Messungen an Gangways**I. Haltenorth und L. Weber*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

Bei Gangways, d. h. beweglichen Übergängen in Bussen und Schienenfahrzeugen, handelt es sich um komplexe dreidimensionale Gebilde, die teilweise aus mehreren ineinander geschachtelten Hüllen aus Faltenbälgen, Blechen oder Paneelen bestehen. Wegen der komplizierten Geometrie und den großen Abmessungen von Gangways gestalten sich Messungen der Schalldämmung in einem bauakustischen Prüfstand äußerst schwierig. Zudem können zwischen den einzelnen Bauteilen Funktionsfugen und Undichtigkeiten vorhanden sein, die die Schalldämmung erheblich beeinträchtigen können und deshalb lokalisiert und näher untersucht werden müssen. Bauakustische Standardmessungen in einem diffusen Schallfeld bieten solche Untersuchungsmöglichkeiten nur in sehr eingeschränktem Maße.

Aus diesen Gründen wurden die Schalldämm-Messungen an Gangways mit einer Intensitäts-Sonde in Anlehnung an die ISO 15186-2 vorgenommen. Es wird über die Vor- und Nachteile dieses Verfahrens hinsichtlich des Anwendungsbereichs, des Messaufwandes sowie der Genauigkeit und Reproduzierbarkeit berichtet. Des weiteren werden die wichtigsten messtechnischen Probleme diskutiert und alternative Varianten des Verfahrens aufgezeigt.

Dienstag Poster

Schienenfahrzeuge

**Airborne sound of automotive IC engines: A piece of cake or a can of worms?**E. Nijman*Fiat Powertrain Technologies (FPT) - Powertrain NVH*

This paper addresses the airborne noise characterisation for automotive internal combustion engines. Today it is common practice to use straightforward variants of the ISO 3744/3745 procedure which assesses sound power through far field sound pressure measurements in a roughly (semi)anechoic environment. But in principle such characterisation is only useful if the engine indeed constitutes a power source. In such case the engine is, in other words, assumed to radiate the same power irrespective whether it is hosted in an anechoic chamber or in the engine bay of a car, which is questionable as the radiation impedance drastically changes. In this paper it is instead suggested that the

engine may more conveniently be described as a distributed volume velocity source. This velocity is assumed to be independent of the environment due to the substantial impedance mismatch between engine structure and surrounding air. The consequences for the characterisation procedure are discussed and resulting experimental difficulties highlighted. In particular the unstable, time-variant, spatial vibration and radiation pattern for single engine orders at higher frequencies under stationary operational engine conditions has been documented. This feature, which is believed to be an intrinsic characteristic of combustion engines, in principle excludes any sequential technique requiring instantaneous acquisition of the "total" sound or vibration field, involving the utilisation of extended multi-channel data acquisition systems. Several volume velocity reconstruction methods have been applied to a Common Rail Diesel engine at Centro Ricerche Fiat, the results of which are displayed and evaluated in this paper.

Dienstag Poster

Schienenfahrzeuge

### **Lärminderungsmaßnahmen an einer Großdiesellok Blue-Tiger (BMU Projekt)**

C. Czolbe und M. Hecht

*TU Berlin, Fachgebiet Schienenfahrzeuge*

In diesem Projekt sollen an drei modernen Großdieselloks Blue-Tiger durch zusätzliche Umbaumaßnahmen gezeigt werden, dass mit relativ geringem Kostenaufwand auch im Bestand die anspruchsvollen Grenzwerte der TSI-Noise von 2006 eingehalten werden können. Das Projekt wird bei der HVLE Havelländische Eisenbahn realisiert und wird als Beitrag zur Umsetzung der EU-Umgebungslärmrichtlinie im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms des Bundesumweltministeriums gefördert. Die TU Berlin hat neben Stillstandsmessungen zunächst Vorbeifahrtmessungen, insbesondere Langsamfahrten und Anfahrten unter Last durchgeführt, um die Ausgangssituation in den relevanten Betriebszuständen zu ermitteln. Die Grenzwerte der TSI-Noise werden lediglich durch den Betrieb des Kolbenkompressors zur Bereitstellung des Luftvorrats der Bremse überschritten, was bei erhöhtem Rangieraufkommen und in Gebieten mit hohem Steilstreckenanteil häufig der Fall ist. Der BlueTiger ist eine 126 t schwere, sechssachsige Güterzuglok mit einem langsamlaufenden 2,5 MW Dieselmotor und elektrischer Traktion über sechs Fahrmotoren. Zur Kategorisierung der Quellen

wurde die Schallintensität am stehenden und fahrenden Fahrzeug gemessen. So sind vor Allem Lüfter und Hilfsaggregate für die Überschreitung der Grenzwerte verantwortlich, der Dieselmotor in Fahrzeugmitte ist gut schallgedämmt. Die hochfrequenten Schallanteile von Traktionslüfter und E-Bremse können durch Absorption und Dämmung gemindert werden. Somit sind als Maßnahmen eine luftdurchlässige absorbierende Verkleidung am Kühlerraum vorgesehen. Solche Absorberjalousien für den Anlagenbau in der Industrie müssen hierzu allerdings auf einen Einsatz an einer Lok entsprechende Anforderungen an Stabilität aufgrund vorherrschender Erschütterungen und spezieller Witterung erfüllen. Das Ansauggeräusch des Kolbenkompressors ist eher tieffrequent, so dass hier zusätzlich zur Dämmung mit Schalldämpfern gearbeitet wird. Verwendet werden kurzbauende Abgasschalldämpfer, die über Flexschläuche zwischen Luftfilter und Ansaugstutzen angebunden sind.

Di. 14:00    Raum 47.03

Leiser Straßenverkehr

### **Auslegung und Alterung schallabsorbierender Fahrbahnbeläge**

T. Beckenbauer, M. Männel, W. Weißenberger und B. Altreuther  
Müller-BBM GmbH

Moderne offenporige Asphaltdeckschichten erzielen sehr gute Minderungen in der Entstehung und Abstrahlung von Reifen-Farbahn-Geräuschen durch Reduktion des air-pumping Effekts, Abschwächung des Horneffekts und Dämpfung des abgestrahlten Restgeräuschs. Sie sind damit durch die Verringerung der Schallemissionen der Reifen-Fahrbahn-Kontaktzone eine wertvolle Alternative zu anderen Schutzeinrichtungen, wie z.B. Lärmschutzwällen, die lediglich die Schallimmissionen zu verringern vermögen, standen aber in der Vergangenheit auch immer wegen hohem Wartungsaufwand, hoher Verschmutzungsgefahr, geringerer mechanischer Belastbarkeit und damit verbundener kürzerer Lebensdauer in der Kritik.

In der vorgestellten Arbeit werden anhand bautechnischer und akustischer Messdaten einer großen Anzahl von ausgeführten offenporigen Asphaltdeckschichten statistisch gesicherte Aussagen über das akustische Alterungsverhalten dargestellt und mit Simulationsergebnissen verglichen. Die akustische zeitliche Veränderung ist neben der Veränderung der Textur in hohem Maße von der Einlagerung von Schmutzpartikeln in das offenporige Gerüst abhängig, wodurch sich die beiden von einander abhängen

Größen Strömungswiderstand und Hohlraumgehalt negativ verändern. Um den "richtigen" Hohlraumgehalt erfassen zu können, werden verschiedene Analysesysteme hinsichtlich ihrer Validität und Aussagefähigkeit gegenübergestellt und bislang unbekannte Abhängigkeiten von Baustoffkennwerten zur akustischen Wirkung aufgezeigt.

Di. 14:25 Raum 47.03

Leiser Straßenverkehr

### **Strömungsverhältnisse in offenporigen Fahrbahndecken**

M. Manhart und M. Haselbauer

*TU München, Fachgebiet Hydromechanik*

Offenporige Asphalte (OPA) werden in der Praxis häufig wegen ihrer lärmabsorbierenden Wirkung eingesetzt. Aufgrund von Verschmutzung nimmt diese Wirkung jedoch bereits nach kurzer Zeit ab, so dass man versucht, mittels Reinigung die Ausgangssituation wieder herzustellen. Die heutigen Reinigungsmethoden erweisen sich jedoch als ineffektiv, vor Allem bei Asphalten höheren Alters.

In offenporigen Asphaltsschichten kommt es aufgrund von Regen und Befahrung zu Luft- und Wasserströmungen, die zu Transportvorgängen von Schmutzpartikeln im Porenengerüst führen. Um die Verschmutzungsmechanismen im offenporigen Asphalt zu verstehen, und um ein mögliches Reinigungsverfahren zu erarbeiten, werden am Fachgebiet Hydromechanik der Technischen Universität München numerische Simulationen und Laborexperimente durchgeführt. OPA stellt ein poröses Medium dar. Bei der Berechnung der Strömungsverhältnisse in der Fahrbahnplatte kann der poröse Asphalt im allgemeinen als homogenes Medium betrachtet werden, um die physikalischen Vorgänge bei Befahrung durch Verkehr oder bei Langregenereignissen zu untersuchen. Wird die Porenstruktur jedoch so fein aufgelöst, dass die Strömung in den Porenräumen berechnet werden kann, können Verschmutzungsmechanismen im OPA analysiert und Transportmodelle für Schmutzpartikel entwickelt werden.

Di. 14:50 Raum 47.03

Leiser Straßenverkehr

### **Reaktive Absorber für schallabsorbierende Fahrbahnbeläge - räumliche Anordnung und räumliche Dichte**

M. Männel und T. Beckenbauer

*Müller-BBM GmbH*

Dem Stand der Technik entsprechende offenporige Deckschichten wirken frequenzselektiv und sind somit nicht optimal an



das zu dämpfende breitbandige Reifen-Fahrbahn-Geräusch angepasst, welches seinerseits unter gleichen äußeren Bedingungen von der Verkehrszusammensetzung und der Verkehrsgeschwindigkeit abhängt. Zur weiteren Verbesserung der absorbierenden Wirkung wurden verschiedene Lösungsansätze diskutiert, um den Absorptionsfrequenzgang offenerporiger Asphalte breitbandiger zu gestalten ohne dabei weitere wichtige Eigenschaften, wie zum Beispiel eine günstige Textur und geringe Verschmutzungsanfälligkeit zu vernachlässigen oder die hohen mechanischen, thermischen, hygrischen und chemischen Beanspruchungen außer Acht zu lassen. Aufgrund des Aufbaus herkömmlicher offenerporiger Deckschichten aus einem bituminös verbundenen Mineralstoffgemisch mit einer ausgeprägten Ausfallkörnung ist es dabei im Vergleich zu bauakustisch optimierten Absorbern nicht möglich, alle relevanten Absorberkennwerte hinsichtlich einer hohen und breitbandigen Absorption beliebig zu optimieren. Ein möglicher Ansatz zur Steigerung der absorbierenden Wirkung liegt in der Kombination von offenporigem Asphalt mit reaktiven Absorbern, um so die auftretenden Bereiche geringer Absorption zu verbessern. Dabei wurden verschiedene Konzepte auf Ihre Umsetzbarkeit und ihren Nutzen theoretisch und praktisch im Labor untersucht. Die besonderen Einbaubedingungen in Verbindung mit offenporigem Asphalt und die Notwendigkeit der Anpassung an die räumlich stark begrenzte Schallquelle (Reifen-Fahrbahn-Kontakt) liefert dabei enge Vorgaben an die maximale Dimensionierung der reaktiven Absorber, was zu kleinen äquivalenten Schallabsorptionsflächen und sehr lokaler Wirkung der Resonatoren führt. Um dem entgegenzuwirken sind entsprechend viele Resonatoren pro Flächenelement zu planen, was zu einer gegenseitigen Beeinflussung der absorbierenden Eigenschaften führt. In der vorgestellten Arbeit wird nach der Darstellung eines möglichen Einbaukonzepts auf diese Wirkung der gegenseitigen Beeinflussung am Beispiel von Helmholtzresonatoren eingegangen.

Di. 15:15    Raum 47.03

Leiser Straßenverkehr

### **Asphalttechnologischer Möglichkeiten zur dauerhaften Reduzierung der Lärmpegel in offenporigen Asphalten**

W. Ressel<sup>a</sup>, C.D. Eisenbach<sup>b</sup>, B. Bergk<sup>b</sup>, F. Wurst<sup>b</sup> und S. Alber<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Institut für Straßen- und Verkehrswesen, Universität Stuttgart;

<sup>b</sup>Forschungsinstitut für Pigmente und Lacke e.V., Stuttgart

Offenporiger Asphalt (OPA) wird üblicherweise verwendet, um Verkehrslärm, der durch den Reifen-Fahrbahnkontakt verursacht

wird, zu reduzieren. Obwohl bereits sehr gute Erfahrungen mit diesem Material gemacht worden sind, neigen OPA-Decken dazu, ihre positiven Eigenschaften nach wenigen Jahren zu verlieren. Verursacht wird dieses Phänomen durch Straßenschmutz, der in die Poren eingetragen wird und zur Verschmutzung und (teilweisen) Verstopfung der offenen Poren führt. Versuche, offenporige Asphaltdeckschichten mit Wasser unter Hochdruck zu reinigen, waren bisher nur teilweise erfolgreich. Deshalb wird innerhalb des Projekts "Leistra 2" die Idee verfolgt, der Verschmutzung der offenporigen Asphaltschicht von Beginn an entgegenzuwirken. Drei grundsätzliche Möglichkeiten der Modifikation von offenporigen Asphaltdecken werden angedacht und untersucht:

- a) Beschichtungen, die die Rauheit der Porenoberflächen ausgleichen und dadurch die Schmutzanhaftung verhindern,
- b) Beschichtungen, die bestimmte schmutzabweisende Oberflächeneigenschaften hervorrufen und dadurch die Schmutzanhaftung in den Poren des OPA verhindern bzw. die Auswaschung des Schmutzes erleichtern,
- c) Zugabe selbststratifizierender, oberflächenaktiver Polymere in das Asphaltmischgut (vor dem Einbau), die die in b) angesprochenen Effekte nach dem Auskühlen der fertigen Schicht bewirken.

Die Sicherstellung der dauerhaften, lärm mindernden Wirkung von offenporigen Asphalten mit relativ geringem Aufwand könnte dazu führen, dass OPA vermehrt eingebaut wird und somit mehr Menschen von dieser Methode, sie vor Lärm zu schützen, profitieren können.

Di. 15:40    Raum 47.03

Leiser Straßenverkehr

## **EU-Projekt ITARI (Integrated Tyre and Road Interaction)**

O. Ripke

*Bundesanstalt für Straßenwesen*

Der Straßenverkehr wächst stetig und führt zwangsläufig zu einem Anstieg der Lärm- und Schadstoff-Emissionen und anderer negativer Auswirkungen des Straßenverkehrs. Mit dem Ziel der Reduktion des Verkehrslärms werden zur Zeit national, wie auch in Europa, eine Reihe von Forschungsprojekten durchgeführt. Dazu zählt das Projekt Integrated Tyre And Road Interaction (ITARI) aus dem 6. Forschungsrahmenprogramm der EU-Kommission. Projektstart war im Februar 2004. Die Laufzeit beträgt 3 Jahre. Anteilig finanziert wird das Projekt von der Generaldirektion "Forschung" der EU-Kommission. Partner im Forschungskonsortium sind

- Müller-BBM, Deutschland,
  - RWTH Aachen, Institut für Straßenwesen (isac), Deutschland,
  - Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Deutschland,
  - University of Southampton, Großbritannien,
  - Centre Scientifique et Technique du Batiment (CSTB), Frankr.,
  - Kungliga Tekniska Högskolan (KTH), Schweden,
- und als Projektkoordinator
- Chalmers University of Technology, Schweden.

Im Rahmen des Projektes wird die Wechselwirkung des Reifens mit der Straßenoberfläche im Hinblick auf Rollwiderstand und Kraftstoffverbrauch, Geräuschemission/ausbreitung und Griffigkeit näher analysiert, um Hinweise für die Herstellung optimierter Straßenoberflächen zu erlangen. ITARI konzentriert sich also auf die Interaktion des Reifens bzw. Fahrzeugs mit der Straße und ihren Auswirkungen.

Zur Bearbeitung ist das Projekt in 9 Teilpakete (Workpackages WP) mit zugeordneten Partnern aufgeteilt:

WP1 Reifen/Fahrbahn-Interaktion: Kontaktmechanik (Universität Southampton)

WP2 Reifen/Fahrbahn-Interaktion: Strömungsmechanik (CSTB)

WP3 Hybrid-Modell (Müller-BBM)

WP4 Rollwiderstand (KTH)

WP5 Griffigkeit (RWTH-isac)

WP6 Messverfahren (Müller-BBM)

WP7 Synthese und Demonstration (Müller-BBM)

WP8 Projektmanagement (Chalmers University)

WP9 Verbreitung Ergebnisse (BASt)

Di. 16:30 Raum 47.03

Leiser Straßenverkehr

## **Untersuchung/Optimierung von LKW-Reifen hinsichtlich der Geräuschemission Status und Fortschritt des Teilprojekts im Leisen Straßenverkehr 2**

F. Gauterin<sup>a</sup>, E.-U. Saemann<sup>b</sup> und H. Schmidt<sup>b</sup>

<sup>a</sup> *Universität Karlsruhe*; <sup>b</sup> *Continental Aktiengesellschaft*

Für eine Geräuschreduzierung schwerer Nutzfahrzeuge über Maßnahmen an Reifen und Fahrbahnen muss reifenseitig das Hauptaugenmerk auf die Hinterachsbereifung gelegt werden.

Vorderachsreifen sind bereits ausgesprochen geräuscharm, gleiches gilt für die meisten Trailerreifen. Ihr Rollgeräusch weist meist nur geringfügig höhere Schalldruckpegel als Glattreifen auf, bei denen die wichtigsten Geräuscentstehungsmechanismen auf Profilklotzaufschlag, Ausschnappen der Profilklotze aus der verspannten Bodenaufstandsfläche und Luftverdrängung aus Profilirillen entfallen. Eine weitere Geräuschminderung dieser Reifen wäre zum einen aufwändig und würde andererseits keinen nennenswerten Beitrag zur Verkehrsgeräuschreduzierung liefern. Hinterachsreifen für schwere Nutzfahrzeuge im Güterverkehr sind aus Traktionsgründen üblicherweise stark profiliert, weisen ausgeprägte Querrillen auf und regen daher beim Abrollen die Reifenstruktur sehr viel stärker zum Schwingen an. Maßnahmen zur Geräuschminderung müssen daher am Profil angreifen. Optimierungen der Konstruktion des Reifens, die das Schwingungsverhalten des Reifens und dessen Schallabstrahlungsverhalten beeinflussen sind demgegenüber bei Antriebsachsreifen von untergeordneter Bedeutung. Neben der Selbsterregung des rollenden Reifens spielt die Fahrbahnoberfläche eine wichtige Rolle, deren Textur die Reifenoberfläche verformt und so Schwingungen im Reifen erzeugt. Auch die Griffigkeit der Fahrbahn, die die Schlupfverhältnisse und die Erzeugung von Slip-Stick-Vorgängen in der Bodenaufstandsfläche beeinflusst, die Makrostruktur der Oberfläche, die für die Luftverdrängung zwischen Reifen und Fahrbahn bedeutsam ist und die Fähigkeit der Fahrbahn, Schall zu absorbieren sind bedeutsame Fahrbahneigenschaften hinsichtlich der Geräuschentwicklung. In diesem Beitrag wird der Anteil von der Continental AG am Forschungsverbund "Leiser Verkehr 2" beschrieben und Fortschritt und Ergebnisse aufgezeigt.

Di. 16:55    Raum 47.03

Leiser Straßenverkehr

### **Ein numerisches Modell zur Untersuchung von Reifen-Fahrbahn-Geräuschen**

O. Von Estorff, J. Biermann und S. Petersen

*Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Modellierung und Berechnung*

Im Rahmen der Geräuschreduzierung von Kraftfahrzeugen kommt dem Reifen-Fahrbahngeräusch eine besondere Bedeutung zu. Im Gegensatz zu anderen Schallquellen am Fahrzeug sind hier kaum passive Maßnahmen möglich, so dass für eine

Verringerung der Schallemission die Entwicklung von geräusch-optimierten Reifen und Fahrbahnoberflächen zwingend erforderlich ist. Für eine zielgerichtete und kostengünstige Geräuschoptimierung des Systems Reifen-Fahrbahn ist dabei die Entwicklung von Berechnungsmodellen sinnvoll, die es ermöglichen die Schallabstrahlung für bestimmte Reifen-Fahrbahnkombinationen zu simulieren.

Im Rahmen des gegenwärtigen Beitrags wird ein Berechnungsverfahren vorgestellt, das es ermöglicht, das akustische Verhalten von Reifen-Fahrbahnsystemen mit Hilfe von virtuellen Prototypen zu simulieren. Die Anwendungsmöglichkeiten des Modells werden anhand von numerischen Beispielen mit realitätsnahen Reifenmodellen diskutiert. Ein Schwerpunkt der Simulationen liegt auf der Validierung des vorgestellten Berechnungsmodells. Vergleiche der numerisch ermittelten Schallabstrahlung mit Ergebnissen von entsprechenden Messungen auf dem Trommelprüfstand werden vorgestellt.

Di. 17:20 Raum 47.03

Leiser Straßenverkehr

### **Reduzierung des Überfahrgeräusches von Fahrbahnübergängen in Straßenbrücken**

J. Braun

*RW Sollinger Hütte GmbH*

Der Schutz vor Verkehrslärm ist Bestandteil unserer Maßnahmen für den Umweltschutz. Eine grundsätzliche Schwierigkeit besteht darin, dass die Messverfahren zur Quantifizierung des Lärmpegels noch nicht vereinheitlicht sind. Außerdem stehen solche durch physikalische Messungen gewonnenen Werte häufig nicht in Übereinstimmung mit dem subjektiven Empfinden der Anwohner.

Die Hauptursache des hohen Lärmpegels in der Brückenumgebung ist in vielen Fällen die Überfahrt der Fahrzeuge über die Fahrbahnübergänge. Darunter sind die Fahrbahnübergänge in Lamellenbauweise eine Hauptquelle der Lärmerzeugung, weil die Oberfläche aus Stahllamellen besteht, die quer zur Fahrtrichtung verlaufen.

Es werden einige Resultate der Messungen im Labor und in situ vorgestellt und erste Ergebnisse einer neuen geräuscharmen Konstruktion präsentiert.

Diese Entwicklung ist Teil des Forschungsprogramms "Leistra 2", das in Verantwortung der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) durchgeführt wird.

Di. 17:45 Raum 47.03

Lärm I

**Schallausbreitungsmodell IMAGINE**D. Knauß*deBAKOM GmbH*

Im Rahmen des Europäischen Forschungsprojektes HARMONOISE wurde ein neues Schallausbreitungsmodell für Straßen- und Schienenlärm entwickelt. Dieses Modell berücksichtigt dabei die unterschiedlichen meteorologischen Ausbreitungsbedingungen. Einschränkungen des Modells gibt es unter Anderem hinsichtlich der Höhe der Schallquellen, d.h. das HARMONOISE-Modell wurde ausschließlich für Schallquellen mit geringer Höhe entwickelt. Im Rahmen des Forschungsprojektes IMAGINE wurde dieses Modell erweitert, um es auch für höherliegende Quellen zu nutzen. Hierzu wurden akustische Messungen an Kühltürmen durchgeführt, um das erweiterte Modell zu validieren. Neben den akustischen Messungen erfolgte auch eine Erfassung der Meteorologie, um hieraus Informationen über die Schallausbreitung zu gewinnen. Von besonderem Interesse ist dabei die Bestimmung des Krümmungsradius der Schallstrahlen, die Klassierung der Schallausbreitungsklassen sowie ein Vergleich mit dem erweiterten Modell aus dem HARMONOISE Projekt.

Di. 18:10 Raum 47.03

Lärm I

**Lärmdatenbank Schweiz**K. Ingold, T. Meloni, M. Balmer, H. Bögli und F. Fischer*Bundesamt für Umwelt - BAFU*

Die Lärmbekämpfung in der Schweiz hat über die letzten zwanzig Jahre große Anstrengungen unternommen, um übermäßig lärmige Anlagen zu sanieren. Trotzdem ist das Wissen über die Lärmbelastung in der Schweiz lückenhaft. Zwar ist für Straßen, Eisenbahnen und Flugplätzen eine Darstellung der Lärmbelastungen mittels Lärmbelastungskataster vorgeschrieben, doch sind diese primär ein Arbeitsmittel zur Lärmsanierung und die Informationen beschränken sich aufgrund der gesetzlichen Vorgaben auf die Angabe von Grenzwertüberschreitungen.

Das Bundesamt für Umwelt hat daher im Jahre 2002 ein Pilotprojekt mit dem Ziel initiiert, eine Lärmdatenbank für die gesamte Schweiz (LDBS) auf Basis eines Geographischen Informationssystems zu erstellen. Neben der Lärmbelastung aus Straßen, Eisenbahnen und Flugplätzen können damit auch Informationen

über getätigte und geplante Lärmschutzmaßnahmen sowie Aussagen zu den gesundheitlichen und wirtschaftlichen Auswirkungen von Lärm gemacht werden. Das System wird sodann eine wichtige Rolle bei der Evaluation von Kosten und Nutzen zukünftiger Lärmschutzszenarien spielen. Daneben ist die LDBS EU-kompatible, da Erhebung und Verarbeitung von Daten gemäß der EU-Umgebungs-lärmrichtlinie 2002/49/EG möglich sind.

Die LDBS enthält zwei Genauigkeitsstufen (GS): Eine Übersichtsvariante (GS1) liefert für die Gesamtschweiz anhand von schnell zugänglichen Daten des Bundes globale Aussagen zur Lärmbelastung. Die Detailvariante (GS2) erhebt von ausgewählten Gebieten in der Schweiz genauere Daten, womit die Genauigkeit der gesamtschweizerischen Aussagen weiter gesteigert werden kann.

Das Pilotprojekt wurde im März 2007 erfolgreich abgeschlossen und erste statistische Auswertungen über die Lärmbelastung in der Schweiz liegen vor. Neben weiteren Analysen ist geplant, das Projekt in einer zweiten Phase weiter zu entwickeln, um die Datengenauigkeit zu erhöhen und weitere Lärmarten zu berücksichtigen.

Di. 14:00    Raum 47.05

Lehre der Akustik

### **Akustikausbildung an der DTU in Kopenhagen**

T. Dau

*Centre for Applied Hearing Research, Technical University of Denmark*

Dieser Beitrag gibt einen Überblick über die Lehraktivitäten im Bereich der "Acoustic Technology" an der Technischen Universität Dänemarks (DTU). Die Ausbildung ist breit gefächert und umfasst die folgenden Hauptkurse: "Fundamentals of Acoustics and Noise Control", "Environmental Acoustics", "Architectural Acoustics", "Electroacoustic Transducers and Systems", "Acoustic Communication and Audiology", "Auditory Signal Processing and Perception", "Technical Audiology", "Advanced Acoustics", "Sound and Vibration" sowie "Advanced Loudspeaker Models". Alle Kurse finden in englischer Sprache statt und seit 2000 existiert ein 2-jähriges internationales Masters Programm "Engineering Acoustics", das viele ausländische Studenten anzieht. Traditionell besteht im Rahmen der Ausbildung ein enger Kontakt mit der dänischen Industrie (z.B. Hörgerätefirmen, Brüel & Kjær, Bang & Olufsen, Delta Acoustics, Sonion) und anderen Universitäten, z.B. in Form von Gastvorlesungen, Besuchen von Firmenforschungseinrichtungen, sowie Prüfungen und Projektarbeiten

mit externen Gutachtern. Alle Bereiche der Ausbildung in der Akustik sind zugleich forschungsaktiv, so dass die Möglichkeit besteht, während des Studiums und im Anschluss an das Studium an aktuellen Forschungsprojekten mitzuarbeiten.

Di. 14:25    Raum 47.05

Lehre der Akustik

## **Kommunikationsakustik in Lehre und Forschung**

U. Jekosch

*TU Dresden, Institut für Akustik und Sprachkommunikation*

Kommunikationsakustik ist der Forschungs- und Entwicklungsbereich der Akustik, der sich mit modernen Informations- und Kommunikationssystemen beschäftigt. Ein wesentlicher Schwerpunkt in Lehre und Forschung ist die Erstellung von Erwartungsprofilen auditiver Ereignisse als Funktion multimodaler Wahrnehmung während der Systembenutzung. Sie sind Referenz für die Erstellung akustischer Systemprofile, welche dann in die Produktspezifikation eingehen. Diese Profile werden weiterhin dazu benutzt, kommunikative Verhaltensreaktionen auf akustisch-auditive Ereignisse zu systematisieren. Ein Hauptkriterium für diese Systematisierung ist der Vorgang der Bedeutungszuweisung beim Gebrauch von Informations- und Kommunikationssystemen. Dieses Wissen ist grundlegend für die Modellierung kommunikationsakustischen Hörerverhaltens etwa zur Unterstützung von Systementwürfen, zur Spezifikation von instrumentellen Messverfahren und / oder für das Akustik-Design. In diesem Beitrag wird Kommunikationsakustik als Lehrgebiet an der TU Dresden vorgestellt.

Di. 14:50    Raum 47.05

Lehre der Akustik

## **Master-online Bauphysik**

H. Röseler und S.-R. Mehra

*Lehrstuhl für Bauphysik, Universität Stuttgart*

Der Weiterbildungsstudiengang "Master-online Bauphysik" ist ein berufsbegleitender, internetbasierter Weiterbildungsstudiengang mit einem Masterabschluss. Der Studiengang wird vom Lehrstuhl für Bauphysik der Universität Stuttgart aufgebaut und vom Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg gefördert. Das Rechenzentrum der Universität stellt die technische Infrastruktur zur Verfügung.

Der Studiengang dient der Vermittlung von aktuellem, fundiertem, innovativem Wissen über alle planungs- und ausführungsrelevanten, bauphysikalischen und damit auch akustischen Aspekte und deren gegenseitigen Wechselwirkungen. Die Ausbildung



befähigt im Bauwesen tätige Ingenieure und Architekten durch bauphysikalisches Wissen und bauphysikalisch richtige Maßnahmen Bauschäden von vornherein zu vermeiden und neueste bauphysikalische Erkenntnisse, Methoden und Verfahren bei der Konzeption umweltverträglicher, energieeffizienter und wirtschaftlicher Gebäude einfließen zu lassen. Der Studiengang soll berufsbegleitend, orts- und zeitunabhängig studierbar sein und auf die neusten Techniken des Internets aufbauen. Das didaktische Konzept des Studiengangs basiert auf den Ansatz des "Blended Learning". Zielgruppen sind alle auf dem Bausektor tätigen Ingenieure und Architekten. Die Studiendauer beträgt einschließlich der Master-Thesis vier Semester. Das Projekt wird seit Oktober 2006 gefördert, Studienbeginn soll das Wintersemester 2007/08 sein.

Im Rahmen des Vortrags werden das Konzept sowie das Ziel und erste Lerntools aus den Akustikmodulen vorgestellt.

Di. 15:15    Raum 47.05

Lehre der Akustik

### **Ein computerbasiertes Trainingsmodul zur Unterstützung der Lehre in der Schwingungstechnik**

J. Becker-Schweitzer, W. Schaffrath und M. Schmidt

*Fachhochschule Düsseldorf, FB Medien*

Die Lehre an der Fachhochschule zeichnet sich durch ein hohes Maß an anwendungsbezogenen Themen aus. Der Vorteil der Auswahl dieser praxisnahen Unterrichtsinhalte geht zu meist mit dem Nachteil einher, dass theoretisch anspruchsvolles Hintergrundwissen in der Kürze der dann verbleibenden Zeit nur schwer zu vermitteln ist. Darüber hinaus fehlen oftmals mathematische Grundkenntnisse in der StudentInnenschaft, so dass ein sicherer Umgang mit den benötigten mathematischen Werkzeugen keinesfalls vorausgesetzt werden kann. Um diesen Zwiespalt zu beheben, wurde im Fachbereich Medien an der Fachhochschule Düsseldorf ein computerunterstütztes, interaktives Trainingsprogramm aufgebaut. Aus einem Gehörtrainingsprogramm wurde ein E-Learning Modul zur Vermittlung mathematisch-theoretischer Lehrinhalte entwickelt. Dieses kann von den Studenten begleitend zur Vorlesung Schwingungstechnik zur Festigung der mathematischen und theoretischen Kenntnisse verwendet werden. Der Vortrag widmet sich, neben einer Erläuterung des Moduls, einigen grundsätzlichen mediendidaktischen Überlegungen, die bei der Konzeptionierung des Moduls Beachtung gefunden haben.

Di. 15:40 Raum 47.05

Lehre der Akustik

**Echtzeit-Realisierung rekursiver Filterstrukturen auf einem digitalen Festkomma-Signalprozessor**U. Simmer*Institut für Hörtechnik und Audiologie, FH Oldenburg*

Dieser Beitrag beschreibt den Praktikumsversuch 'DSP-Programmierung' der zurzeit an der Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven zur Ausbildung von Bachelor Studenten eingesetzt wird. Ziel des Praktikums ist es, die Wirkung verschiedener Filterstrukturen und numerischer Repräsentationen für Studenten akustisch erfahrbar zu machen. Es wurde ein Festkomma-Prozessor (Analog Devices Blackfin ADSP-BF533) gewählt, da diese Prozessorklasse wegen der (im Vergleich zu Fließkomma-Prozessoren) kleineren Chip-Fäche und des geringeren Stromverbrauchs in mobilen, batteriebetriebenen Geräten wie Hörhilfen sehr weit verbreitet ist. Im Versuch werden den Studenten zwei vorbereitete Softwarepakete zu Verfügung gestellt. Eine MATLAB-Software, welche die Filter in verschiedene Strukturen transformiert und eine Skalierung der Filterkoeffizienten auf den Zahlenbereich  $(-1, 1)$  vornimmt und eine in C/C++ geschriebene DSP-Software, welche die verschieden Filterstrukturen in Echtzeit und parallel auf einem Festkomma-DSP realisiert. Durch Umschalten des Ausgangssignals können die Filterstrukturen akustisch verglichen werden. Die Entwicklungsumgebung ermöglicht zusätzlich die Analyse der Impulsantworten und Übertragungsfunktionen und die Messung der benötigten Taktzyklen auf der Zielhardware. Die Aufgabe der Studenten in diesem Versuch ist der Entwurf eines Bandpass-Filters mit Telefonbandbreite, die Evaluierung der akustischen Eigenschaften der implementierten Filterstrukturen, ein Vergleich der Übertragungsfunktionen und die Bestimmung der benötigten Rechenleistung. Am Ende des Versuchs sollten die Teilnehmer in der Lage sein, eine geeignete Filterstruktur für das gegebene Problem auszuwählen.

Di. 16:30 Raum 47.05

Lehre der Akustik

**Zeitmanagement für Doktoranden**J. Blauert*Institut für Kommunikationsakustik, Ruhr-Universität Bochum*

Doktoranden haben die Aufgabe, innerhalb eines begrenzten Zeitraumes von wenigen Jahren ein klar definiertes Ziel zu erreichen, nämlich die Promotion. Hierzu ist ein beachtliches Maß an

Selbstorganisation erforderlich. In diesem Beitrag wird über die unterschiedlichen Weisen berichtet, mit denen die über erfolgreichen 50 Doktoranden des Verfassers diese Aufgabe bewältigt haben. Diesen Beobachtungen werden diejenigen Methoden gegenübergestellt, die von Fachberatern für Zeitmanagement empfohlen und gelehrt werden. Hierzu gehört die fachgerechte Aufstellung von Zieldefinitionen und der daraus abzuleitenden, nach Prioritäten geordneten Zeit- und Arbeitspläne. Auf die Probleme einer zu stark einengenden Planung sowie auf die schlechte Angewohnheit des Zögerns und Aufschiebens (engl. procrastination) wird hingewiesen und Methoden zu deren Vermeidung werden mitgeteilt. Konsequenzen für eine effektive Betreuung von Doktorarbeiten werden diskutiert.

Di. 16:55    Raum 47.05

Lehre der Akustik

### **Musik: Fahrzeug für die Wissenschaft in der Grundschule**

U.J. Hansen

*Indiana State University, Terre Haute (USA)*

Musik erregt allgemeines Interesse auf allen Bildungsstufen. Die Naturwissenschaften andererseits, besonders Physik und Mathematik, werden oftmals als zu schwierig empfunden. Wenn daher Begeisterung für Wissenschaften nicht früh entflammt wird, dann entgehen mögliche Geisteskräfte gerade diesen Gebieten, welche der technischen Entwicklung unserer Zivilisation so notwendig sind. In den vergangenen zehn Jahren haben wir auf drei Wegen versucht dieses Problem anzusprechen.

1. Vorträge in Grundschulklassen.
2. Klassensvisiten im Forschungslabor.
3. "Workshops" für Lehrer.

Allen diesen liegt das Prinzip zu Grunde, Wissenschaft mit Musik zu verbinden. Von den harmonischen Eigenschwingungen einer 3 m langen Feder ausgehend wird die harmonische Teiltonstruktur entwickelt und auf musikalische Instrumente angewendet. Vortrags- und Workshop- Inhalt werden besprochen und mit Beispielen erläutert.

Music: A Vehicle to "Do Science". Uwe J. Hansen, Indiana State University, The Hoosier Science Teacher, Volume XXVI, Number 1, Sept 2000 (4 - 14)

Di. 17:20 Raum 47.05

Lehre der Akustik

**Nicht-virtueller raumakustischer Spaziergang**

K. Eggenschwiler

EMPA (CH), Abteilung Akustik

Erfreulicherweise verfügen wir heute über immer bessere Computer-Hilfsmittel für die Lehre der Akustik. Visualisierung und Auralisation helfen im Unterricht und vor Allem auch beim Selbststudium. Echte akustische Erlebnisse haben aber besonders in der Raumakustik Vorteile: das Gehörte und Erlebte ist authentischer, die Diskussion lebendiger, die Wirkung nachhaltiger. Im Rahmen der Wahlfach-Vorlesung 'Raumakustik' für die Architektur-Studierenden der ETH Zürich wird ein raumakustischer Spaziergang angeboten, bei dem der Vorlesungsstoff erlebbar wird. Auf dem Gelände und in den Räumen der Empa in Dübendorf werden verschiedene akustische Effekte zwischen den Polen Freifeld / Diffusfeld demonstriert. Im Freien werden zwischen den Gebäuden Echo, Flatterecho und Sirren einer Wellblechfassade vorgeführt, ergänzt mit Demonstrationen in zwei reflexionsarmen Räumen. Als Gegensatz dazu wird der Hallraum besucht. In einem kleinen Raum wird ausführlich mit Eigenmoden experimentiert. In der größten Prüfhalle der Empa wird die Akustik einer großen Kathedrale erlebbar, und es wird in diesem halligen Raum die unterschiedliche Sprachverständlichkeit von zwei Beschallungsanlagen (Rundquelle / gerichteter Lautsprecher) fürs Gehör und messtechnisch demonstriert. Die Studierenden sollen auf dem Rundgang allgemein die Aufmerksamkeit auf das Hörerlebnis richten, besonders wenn zur Ergänzung der erwähnten Stationen normale Räume an der Empa wie Büro, Treppenhaus, Sitzungszimmer, Personalrestaurant, Vortragssaal und Mehrzwecksaal (inkl. Beschallung) besucht und zum Teil anhand von Messdaten diskutiert werden.

Di. 17:45 Raum 47.05

Lehre der Akustik

**Einfache Modelle für den Einsatz im Unterricht zur Veranschaulichung der wichtigsten Lärmarten**

W. Lips

Schweizerische Unfallversicherungsanstalt Suva

Speziell an Fachhochschulen steht der Dozent im allgemeinen Physikunterricht vor der schwierigen Aufgabe, den Studierenden die wichtigsten akustischen Grundlagen und Zusammenhänge allgemein verständlich vorzutragen. Fachbücher liefern hierzu normalerweise die notwendigen physikalischen Grundlagen.

Nun ist es aber häufig so, dass mit dem Vorstellen der Wellengleichungen sowie der Erklärung der Begriffe von der Impedanz über die FFT- bis zur Modalanalyse keine große Begeisterung unter den Zuhörern erreicht werden kann, weil die komplexe Botschaft schwer verständlich ist und sehr oft noch ohne große Begeisterung vorgetragen wird. Für vertiefte Erklärungen fehlt die Zeit und die Studierenden werden zum Selbststudium der schriftlichen Unterlagen aufgefordert, falls etwas nicht verstanden wurde. Zudem fehlen meistens geeignete Modelle, um die Zusammenhänge mit Beispielen zu ergänzen. Auf der Basis dieser Tatsache soll sich der Dozent überlegen, ob etwas weniger nicht auch etwas mehr wäre. Es gibt anschauliche Hilfsmittel, die die Entstehung und Ausbreitung des Schalls zeigen, dann aber auch Modelle, mit denen die verschiedenen Lärmarten und ihre speziellen Eigenschaften eindrücklich vorgeführt werden können. Viel wichtiger als das Lösen einer komplexen Gleichung oder das Arbeiten mit Differential- und Integralberechnungen wäre das Lernen und Verstehen der einfachen akustischen Zusammenhänge. Für den Schritt in das Berufsleben wäre es wünschenswert, dass ein etwas breiteres, sich an der Praxis orientierendes akustisches Grundwissen vermittelt würde. Der Ingenieur - beispielsweise aus dem Fachgebiet Maschinenbau - soll einen Überblick über die wichtigsten Probleme haben. Falls er sich dann bei seiner praktischen Arbeit an akustische oder schwingungstechnische Spezialprobleme heranwagt, kann er das notwendige Wissen mit einem gezielten Literaturstudium immer noch nachholen und trotzdem erfolgreich arbeiten.

Di. 14:00    Raum 57.01    Analyse/Synthese v. Stimme/Sprache

### **Methode zur simultanen Erfassung von EGG-Signal und Larynxposition**

M. Kob<sup>a</sup>, O. Goldschmidt<sup>a</sup>, C. Disselhorst-Klug<sup>b</sup> und T. Frauenrath<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Klinik für Phoniatrie, Uniklinik und RWTH Aachen; <sup>b</sup>Institut für Biomedizinische Technologien, Uniklinik Aachen

Die verbale Kommunikationsfähigkeit des Menschen wird durch die Erzeugung informationstragender Schallsignale realisiert. Das im Kehlkopf generierte primäre Schallsignal kann als Quelle des im Ansatzrohr geformten komplexen Stimm- und Sprachsignals verstanden werden. Die Mehrzahl aller Stimmstörungen kann auf die fehlende oder unphysiologische Tonuseinstellung der intra- und extralaryngealen Muskulatur zurückgeführt

werden, welche die für die Schwingung der Stimmlippen nötigen Randbedingungen schafft, wie die Lage und Spannung der Stimmlippen sowie die Position des Kehlkopfes.

In der klinischen Anwendung gibt es bisher noch kein Instrumentarium, um die Zeitdynamik von Öffnung und Verschluss simultan zur Lage der Glottis während der Stimmlippenschwingung in diagnostisch zufriedenstellender Form qualitativ und quantitativ zu objektivieren. Während die bereits als Standard-Methode zur Analyse des glottalen Öffnungs- und Schließverhaltens eingesetzte Elektroglossographie lediglich eine räumlich unspezifische Darstellung erlaubt, wäre die simultane 3-dimensionale Lagebestimmung der Glottis ein neues und wichtiges Verfahren zur Untersuchung der Kehlkopfstellung besonders beim Singen und der Beurteilung der Synchronizität der Organfunktionen bei Schluckstörungen.

Mit der von uns entwickelten Messanordnung können Öffnungszustand und Position der Glottis parallel erfasst und grafisch dargestellt werden, so dass das Verfahren zur ambulanten Diagnostik herangezogen werden kann. Neben dem EGG und der Glottisposition sind eine dynamische Grundfrequenzanalyse sowie Auswertungen des EGG-Signals, wie das Öffnungsverhältnis (Open Quotient), implementiert. Erste Studien an Probanden mit dem neuen Verfahren werden vorgestellt.

Di. 14:25    Raum 57.01    Analyse/Synthese v. Stimme/Sprache

### **Auswirkungen spektraler Eigenschaften auf die Klangfarbe und Qualität übertragener Sprache**

M. Wältermann<sup>a</sup>, A. Raake<sup>b</sup> und S. Möller<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*IKA, Ruhr-Univ. Bochum (c/o Deutsche Telekom Labs);*

<sup>b</sup>*Deutsche Telekom Laboratories*

Die Klangfarbe (Timbre) eines Hörereignisses wird hauptsächlich durch spektrale Eigenschaften des korrespondierenden Schallereignisses bestimmt. Das Konzept der Klangfarbe hat dabei häufig einen mehrdimensionalen Charakter und kann durch eine oder mehrere perzeptive Dimensionen beschrieben werden. Im Kontext der Sprachübertragung können lineare Verzerrungen des Übertragungskanal zu unterschiedlichen Klangverfärbungen führen und zudem die Sprachqualität beeinträchtigen: Leitungsfiler oder elektro-akustische Eigenschaften von Endgeräten können den *Frequenzgehalt* (z.B. die Fülle) der Sprache beeinflussen. Die sendeseitige Raumakustik kann Einfluss auf die *Direktheit* der Sprache haben, die sich wiederum im Frequenzgang niederschlägt (Kammfilter-Effekt).

Um den multidimensionalen Wahrnehmungsraum der Klangfarbe und die Auswirkung auf die Qualität im Kontext der Sprachübertragung näher zu untersuchen, werden in diesem Papier zwei auditive Experimente vorgestellt. Mit Hilfe einer sogenannten *Sortieraufgabe* als eine Methode der Ähnlichkeitsskalierung wurden von den Versuchsteilnehmern ähnlich klingende Sprachproben für jeweils unterschiedliche Sprecher gruppiert. Hierin wurde eine Vielzahl realer und synthetisch erzeugter Stimuli unterschiedlicher spektraler Eigenschaften untersucht. Mit Hilfe einer Multidimensionalen Skalierung konnte der Wahrnehmungsraum quantitativ bestimmt werden. Durch Abbildung der Raumkonfiguration auf Gesamtqualitätsurteile, die in einem weiteren Versuch gesammelt wurden, können so Aussagen über die Relevanz spektraler Eigenschaften für die Sprachqualität formuliert werden. Die gewonnenen Erkenntnisse lassen Rückschlüsse auf optimale Übertragungseigenschaften von Übertragungskomponenten wie z.B. Endgeräten zu.

Di. 14:50    Raum 57.01    Analyse/Synthese v. Stimme/Sprache

### **A Comparison of Phoneme Confusions for Automatic and Human Speech Recognition**

B. Meyer, T. Brand und B. Kollmeier

*Medizinische Physik, Universität Oldenburg*

Automatic speech recognition (ASR) has seen many advances in the last years, but the large gap between recognition of spoken language by humans and machines still prevents it from everyday use. The extraordinary performance of the human auditory system motivates our work, led by the idea to increase the performance of automatic recognition by following the biological blueprint.

A comparison between ASR and human speech recognition (HSR) is established, which may be beneficial to identify sources of errors and improve feature extraction in ASR. HSR and ASR experiments are performed on the Oldenburg Logatome Corpus (OLLO). OLLO consists of nonsense syllables, which ensures that listeners cannot employ context knowledge. This contributes to a fair comparison and helps to distinguish between effects of imperfect feature extraction and language models. The comparison includes two different kinds of signals presented to human listeners: Firstly, noisy speech samples are converted to mel-frequency cepstral coefficients (MFCCs), the most common ASR features. These features are resynthesized, with information about voicing and fundamental frequency being discarded.

Secondly, the original signals with added noise are presented, which is used to evaluate the loss of information caused by the process of resynthesis.

Data analysis is performed utilizing confusion matrices for phonemes and for the phonetic features voicing, manner and place of articulation. Information transmission scores are calculated to estimate the importance of different information channels. The analysis shows that different error patterns emerge for ASR and HSR with the original and the resynthesized signals, which suggests modifications to the MFCC feature extraction.

Di. 15:15    Raum 57.01    Analyse/Synthese v. Stimme/Sprache

### **Kategoriale Sprachwahrnehmungsexperimente in der Diagnostik der Auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (AVWS)**

J. Mühlhaus<sup>a</sup>, W. Vorwerk<sup>b</sup>, S. Bartel-Friedrich<sup>a</sup> und B.J. Kröger<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Uniklinik für HNO, Sektion Phoniatrie der MLU Halle-Wittenberg;

<sup>b</sup>Uniklinik für HNO, Abteilung Phoniatrie, Universität Magdeburg;

<sup>c</sup>Klinik für Phoniatrie, Uniklinik und RWTH Aachen

**Zielsetzung:** In diesem Beitrag wird ein neues diagnostisches Verfahren zur kategorialen Wahrnehmung ambivalenter Konsonant-Vokal-Silben (CV-Silben) bei auditiv unauffälligen, gesunden Grundschulkindern und diagnostizierten AVWS-Kindern bzw. Kindern mit Verdacht auf AVWS vorgestellt. **Hintergrund:** Die Diskrimination und Identifikation sinnfreier Silben ist ein wichtiger Bestandteil in der Diagnostik der AVWS, um Gruppendifferenzierungen zwischen auditiv auffälligen und nicht-auffälligen Kindern vornehmen zu können. Dafür wurden zwei Stimulusgruppen (S1: Formant-Synthese-Stimuli nach Stevens et al., 1978 und S2: Sinewave-Synthese-Stimuli nach Serniclaes et al., 2001) mit ambivalenten akustischen Stimuli erstellt. Die Stimuli der Gruppe S1 wurden bereits in Experimenten zur kategorialen Wahrnehmung normalhörender Personen, die der Gruppe S2 wurden bereits in der Dyslexie-Forschung genutzt. Mit Hilfe der Testverfahren sollen AVWS-Kinder von auditiv unauffälligen Kindern abgegrenzt werden können. **Methode:** Es wurden 28 Grundschul Kinder (6;6-10;7 Jahre; 11 männlich und 17 weiblich) und 14 Patienten (7;0-10;6 Jahre; 12 männlich, 2 weiblich) der ersten bis vierten Klasse mit beiden Stimulusgruppen untersucht. Von jeder Stimulusgruppe wurden zunächst ein Diskriminationstest und anschließend ein Identifikationstest mit randomisierter Reihenfolge der einzelnen Stimuli durchgeführt. Die Stimuli wurden



via Kopfhörer angeboten und konnten benannt oder gezeigt werden. Zur Vermeidung semantischer Assoziationen wurde sinnleeres Bildmaterial angeboten. Ergebnisse: Das Diagnoseverfahren unter Nutzung der Stimulusgruppe S2 scheint als Baustein in der AVWS-Diagnostikbatterie geeignet zu sein, da es die Gruppen differenzieren kann und damit die Patienten als auffällig erkennt. Schlussfolgerung: Die hier vorgestellte Methode der Identifikation und Diskrimination ambivalenter akustischer Stimuli in der Diagnostik der AVWS scheint eine sinnvolle Ergänzung zu sein und soll als möglicher Bestandteil einer zukünftigen AVWS-Diagnostik zur Diskussion gestellt werden.

Di. 15:40    Raum 57.01    Analyse/Synthese v. Stimme/Sprache

### **Statistische Analyse von Phonemen auf Basis deutscher Lesesprache mit dem Ziel der Sprechertransformation**

J. Schwarz und U. Heute

*Lehrstuhl für Netzwerk- und Systemtheorie, Universität Kiel*

Sprechertransformation bezeichnet allgemein die Abbildung der Sprache/Stimme eines Sprechers A auf die eines anderen Sprechers B. Hierbei wird angenommen, dass der Sprecher B zunächst nicht exakt vorgegeben und somit die Stimmenumwandlung von Sprecher A beliebig ist. Es wird lediglich vorausgesetzt, dass die transformierte Stimme natürlich klingt und die Emotionen des Sprechers erhalten bleiben.

Die Prosodie charakterisiert jeden einzelnen Sprecher und dessen Sprache maßgeblich. Sie enthält Informationen über die Akzentuierung sowie die zeitliche Dehnung und Stauchung von einzelnen Worten und Sätzen.

Allgemein wird das Ziel verfolgt, grundlegende und notwendige Charakterisierungsmerkmale der deutschen Stimme zu bestimmen, auf deren Grundlage ein Prosodie-Modell gebildet wird. Jenes Modell soll in Algorithmen zur Sprechertransformation eingesetzt werden, um mit dessen Hilfe die transformierte Stimme natürlich und "menschlich" klingen zu lassen.

In dieser Arbeit werden die statistischen Verteilungen von Monophonen auf Basis des "Kiel Corpus of Read Speech" untersucht. Als Parameter zur statistischen Analyse werden die Sprachgrundfrequenz, die zeitliche Dauer sowie die Energie verwendet, um anschließend eine differenzierte Aussage in Bezug auf die Verteilung eines einzelnen Phonems treffen zu können. Während dieser Untersuchung werden Auftrittshäufigkeiten getrennt für Frau und Mann aufgezeichnet, auf deren Grundlage eine spätere Modellbildung erfolgen soll.

Di. 16:30    Raum 57.01    Analyse/Synthese v. Stimme/Sprache

---

### **Initialisierung von Sprechermodellen mittels K-Means-Clusteranalyse**

T. Becker<sup>a</sup> und A. Wegner<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Österreichische Akademie der Wissenschaften;* <sup>b</sup>*Fakultät für Linguistik und Literaturwissenschaft, Universität Bielefeld*

Bei der automatischen Sprecheridentifikation werden Sprecher durch Gaußsche Mischverteilungsmodelle (GMM) modelliert. Die Modellparameter werden mittels Expectation Maximization (EM) bestimmt. Hierbei ist eine Initialisierung der Modellparameter notwendig, die üblicherweise durch Bestimmung einer Partition der Merkmalsvektoren vollzogen wird. Bisher wird davon ausgegangen, dass bei der automatischen Sprechererkennung die Methoden zur Bestimmung dieser Partitionen keinen relevanten Einfluss auf die Erkennungsraten haben. Häufig werden verschiedene K-Means-Clusteranalysen zur Bestimmung der Anfangspartition verwendet, die auf meist zufällig ausgewählten Startpunkten basieren. Die Auswirkungen verschiedener K-Means-Varianten auf die Erkennungsraten bei der automatischen Sprecheridentifikation wurden untersucht. Hierbei zeigte sich, dass verschiedene Verfahren sehr wohl zu unterschiedlichen Ergebnissen führen und über alle untersuchten Verfahren hinweg eine starke Streuung der Erkennungsrate besteht.

Di. 16:55    Raum 57.01    Analyse/Synthese v. Stimme/Sprache

---

### **Modellbeschreibung des stimmhaften Anregungssignals für die Spracherzeugung**

K. Schnell und A. Lacroix

*Institut für Angewandte Physik, Universität Frankfurt*

Sprachproduktionsmodelle können in Modelle des Sprechtraktes und Modelle für dessen Anregung unterteilt werden. Da der Sprechtrakt die Resonanzstruktur der Sprachlaute prägt, ist dessen Einfluss für das Sprachverstehen wesentlich. Die Sprachqualität hängt allerdings für stimmhafte Laute auch von der Anregung ab. Das stimmhafte Anregungssignal besitzt neben seiner periodischen Struktur, die durch die Grundfrequenz bedingt ist, auch unperiodische Anteile. Diese unperiodischen Komponenten entstehen durch Fluktuationen der Grundperiodenform, sowie durch turbulentes Rauschen. Daher wird ein hybrider Ansatz für die Beschreibung des stimmhaften Anregungssignals vorgestellt, der sowohl parametrisierte Modellfunktionen, wie auch Zeitsignale beinhaltet. Mit einem parametrisierten Polynommodell wird der

glatte Verlauf einer Grundperiode des glottalen Flusses beschrieben, die rauschartige Feinstruktur und der kurze Zeitpunkt des Glottisschließens hingegen werden durch Restsignale und Zeitabschnitte berücksichtigt. Das Polynommodell und die Zeitsignale werden dabei aus dem Sprachsignal gewonnen. Die beschriebene Aufteilung der stimmhaften Anregung bietet Vorteile für Modifikationen der Grundfrequenz und der Stimme.

Di. 17:20    Raum 57.01    Analyse/Synthese v. Stimme/Sprache

### **Versuchsanordnung zur Erzeugung von Stimmsignalen**

T. Fürtjes, T. Frauenrath und M. Kob

*Klinik für Phoniatrie, Uniklinik und RWTH Aachen*

Im Bereich der Lehre ist es wünschenswert, den Interessenten anschaulich den komplexen Sachverhalt der menschlichen Stimmgenerierung näher zu bringen. Zur Vokalunterscheidung bei der Stimmbildung des Menschen ist die Vokaltrakteinstellung einer der wichtigsten Parameter, um die an den Stimmlippen dynamisch generierte Grundschwingung zu verändern. Die an den Stimmlippen generierte Stimmlippenschwingung bestimmt Grundfrequenz und die Qualität der Stimme. Eine mögliche Beschreibung dieser Stimmlippenschwingung erfolgte z.B. durch A.E. Rosenberg (1970). Er liefert eine mathematische Beschreibung des Signals in Abhängigkeit von der Amplitude, der Frequenz, des Öffnungsquotienten sowie des Geschwindigkeitsquotienten.

In diesem Beitrag werden die Ergebnisse einer Studienarbeit beschrieben, deren Gegenstand es ist, diese Schwingung zu simulieren und mittels Mikrokontroller und Signalprozessor elektrisch zu erzeugen. Eine möglichst flexible Generation der Grundschwingung soll in einem Gerät PC-unabhängig erzeugt werden. Hierdurch ist eine dynamische Änderungsmöglichkeit gegeben, und die Auswirkung des Klangs wird sofort hörbar. Vor der Realisierung in Hardware wurde die Signalerzeugung mit Matlab simuliert.

In der Präsentation erfolgt eine Vorstellung der Ergebnisse, der Computersimulation und des Hardwaremodells. Die Nachbildung verschiedener Stimmsignalqualitäten (behaucht, gepresst etc.) wird demonstriert.

Di. 17:45    Raum 57.01    Analyse/Synthese v. Stimme/Sprache

---

**Multidirectional mappings and the concept of a mental syllabary in a neural model of speech production**

B.J. Kröger<sup>a</sup>, P. Birkholz<sup>b</sup>, J. Kannampuzha<sup>a</sup> und C. Neuschaefer-Rube<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Klinik für Phoniatrie, Uniklinik und RWTH Aachen;* <sup>b</sup>*Institut für Informatik, Universität Rostock*

As a result from modeling cortical processes of self-organization occurring during speech acquisition, a comprehensive neural model of speech production has been developed by using self-organizing neural networks and feed-forward neural networks. This model is capable of generating acoustic speech signals and sensory feedback signals by using a high quality 3-dimensional articulatory-acoustic speech synthesizer as a front-end device. A mental syllabary forms the central layer within this model. The mental syllabary comprises a heap of neural layers which can be interpreted as a system of mirror neurons co-activating phonemic, sensory, and motor states of a syllable under production (feed-forward control). Feedback control is modeled by comparing the current sensory feedback state produced by the articulatory-acoustic model with the prestored sensory state, activated during feed-forward control via the mental syllabary. This model can be integrated easily as a phonetic part within a more general linguistic model of speech production.

Di. 18:10    Raum 57.01    Analyse/Synthese v. Stimme/Sprache

---

**Comparing two hybrid unit selection strategies**

M. Barbisch, B. Säuberlich und A. Schweitzer

*Universität Stuttgart, Institut für Maschinelle Sprachverarbeitung*

This paper compares two unit selection strategies for open domains used in the SmartWeb dialog system. Both strategies have been implemented in the IMS German Festival speech synthesis system. The first is a hybrid approach combining the advantages of two existing unit selection approaches, viz. phonological structure matching [Taylor&Black, Proc. Eurospeech 1999] and automatic unit clustering [Black&Taylor, Proc. Eurospeech 1997]. This hybrid approach was motivated by the claim that the phonological structure matching (PSM) would prefer longer units in a more direct way than the automatic clustering (AC) approach, while clustering is appropriate to reduce candidate sets in cases where no long units are available. Accordingly, PSM is used for

phrase, word and syllable-sized units, while AC is used on the segment level.

The second approach also combines the PSM strategy and a clustering mechanism. The difference to the first approach is that all units are treated with this hybrid strategy, irrespective of their size. In contrast to the AC method, this approach uses manually designed decision trees where the nodes are based on linguistically motivated features of the target unit to reduce the candidate sets. The advantage of the manually specified trees over the automatically generated ones is that they allow a controlled and flexible unit-specific ranking of the relevant features.

An initial assessment indicates that both approaches produce a comparable synthesis quality. A more comprehensive evaluation is currently underway, and specific results will be discussed in the full paper.

Di. 14:00    Raum 57.02    Schallschutz mit Holz- u. Leichtbau

### **Bauakustische Eigenschaften von Bauteilen aus Leichtbauwerkstoffen**

P. Meistring, B. Nusser und U. Schanda

*Fachhochschule Rosenheim*

In einem Forschungsprojekt an der Fachhochschule Rosenheim werden Konstruktionsgrundlagen für die Anwendung von Leichtbauelementen im Innenausbau erarbeitet. Der Fokus wird auf die Anwendung von leichten Holzverbundwerkstoffen mit Rohdichten unter  $500 \text{ kg/m}^3$  als Beplankungsmaterial für nichttragende innere Trennwände gerichtet. Neben den werkstoffspezifischen Besonderheiten bei statischer Bemessung, Verbindungstechnik, Herstellung und Montage spielt die bauakustische Auslegung der Trennwände eine zentrale Rolle. Es gilt - trotz des geringen Gewichts der Bauteile - eine ausreichende, mit gängigen Konstruktionen des Innenausbaus vergleichbare Schalldämmung zu erzielen. Als Voraussetzung dafür werden neben der Ermittlung grundlegender mechanischer und schalltechnischer Kenngrößen (Steifigkeit, Verlustfaktor, u.a.) umfangreiche orientierende Luftschallmessungen an Leichtbauwerkstoffen im Türenprüfstand in ein- und zweischaliger Anordnung durchgeführt. Die gewonnenen Ergebnisse im Vergleich mit Daten ausbautypischer Referenzwerkstoffe stellen die Grundlage für die Zusammenstellung sinnvoller Wandprototypen dar. Diese werden in Bauteilgröße auf ihre schalldämmenden Eigenschaften hin untersucht. Im Vortrag werden die Ergebnisse der Material- und Bauteilprüfungen zusammengefasst und die daraus zu ziehenden Rückschlüsse für

die bauakustische Auslegung von Bauteilen aus Leichtbauwerkstoffen aufgezeigt.

Di. 14:25    Raum 57.02    Schallschutz mit Holz- u. Leichtbau

### **Berechnung des Schallschutzes im Holz-/Leichtbau - Möglichkeiten zur Verbesserung der Prognosegenauigkeit**

H.A. Metzen

*DataKustik GmbH*

Die Berechnungsmodelle zur Luft- und Trittschalldämmung nach DIN EN 12354-1 und -2 sind für den Massivbau inzwischen erprobt und hinsichtlich ihrer Prognosegenauigkeit beschreibbar. Demgegenüber können gegenwärtig die Berechnungsergebnisse für Gebäude in Holz- und Leichtbauweise bei Einbeziehung von Stoßstellendaten nur als erste Näherung betrachtet werden, da verschiedene Effekte bisher vernachlässigt werden. Das Modell verwendet zur Berechnung des Flankendämm-Maßes  $R_{ij}$  die Trenndämmmaße aus üblichen ISO-konformen Wand- und Deckenprüfständen. Insbesondere bei mehrlagigen Leichtkonstruktionen treten Unterschiede im Übertragungsverhalten auf, die bei der Trenndämmmaß-Prüfung prinzipiell nicht miterfasst werden können. Dazu gehören die Korrektur der Abstrahlgrade für erzwungene und freie Anregung, die Höhe der empfangsseitigen Bauteildämpfung über dem Abstand von der Stoßstelle, die Anisotropie des Bauteils infolge von Stützen, Ständern und Balken, sowie Mehrfachübertragungswege an Stoßstellen zwischen Leichtbauteilen, die durch die Schnellemessung auf den äußeren Platten nicht separat erfasst und daher zahlenmäßig nicht beschrieben werden können. Der Vortrag stellt - auch vor dem Hintergrund der kürzlich begonnenen Arbeiten in CEN/TC126/WG2/AHG3 - den Stand der Erkenntnisse dar und zeigt mögliche Lösungswege auf, um diese Einflüsse zukünftig zu berücksichtigen.

Di. 14:50    Raum 57.02    Schallschutz mit Holz- u. Leichtbau

### **Prediction of the Sound Isolation of Multi-layered Small Sized Elements**

S. Schoenwald<sup>a</sup>, E. Gerretsen<sup>b</sup> und H. Martin<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Eindhoven University of Technology, Building Physics and Systems*; <sup>b</sup>*TNO, Delft (NL)*

In many cases the sound isolation of building elements can not be predicted with a sufficient accuracy. Besides the basic mass law, some analytical models like the one of Sewell or Leppington exist, that are restricted to single leaf homogenous structures

of finite dimensions only. For double leaf or multi-layered structures often a simple transfer matrix approach is applied, where the structure is assumed to be infinite in its plane. Some rule of thumb corrections, like the field incidence case of Beranek, have been introduced to improve the agreement of prediction with measurement results. Nevertheless, the accuracy is still not satisfactory, especially in case of small size multi-layered elements, like glazing and lightweight panels. In this paper the transfer matrix approach is used for the prediction. Afterwards the finite extend of the plate was taken into account by applying spatial averaging to the incident sound pressure. Further the diffuseness of the sound field in the source room was included in the prediction by applying a Gaussian weighting to the directional distribution of the incoming sound waves. Predictions with this method show good agreement with measurement results for different types of structures.

Di. 15:15    Raum 57.02    Schallschutz mit Holz- u. Leichtbau

### **Schalldämmung dünner, leichter Doppelschalen**

F. Nentwich

*Liebherr Transportation Systems*

Gute Akustik baut groß, schwer und teuer. Gefordert ist aber das Gegenteil. Daher wird untersucht, wie leichte und dünne Doppelschalen gebaut werden können, die dennoch über eine respektable Schalldämmung verfügen. Ein theoretisches Modell erlaubt den Einblick in die Physik der Schalldämmung. Das Modell wird für die aus dünnen Blechen bestehende Doppelschale bei schrägem Schalleinfall hergeleitet. Es bildet die dämpfenden Antidröhnschichten, die Trommelresonanz und den Koinzidenzeffekt ab. Die Luft zwischen den Schalen wird als Feder modelliert. Die erste stehende Welle bildet die obere Gültigkeitsgrenze. Eine praxisnahe Versuchsreihe ist als Validierung projektiert.

Di. 15:40    Raum 57.02    Schallschutz mit Holz- u. Leichtbau

### **Zum Einfluss der Hohlraumbedämpfung auf die Schalldämmung bei abgehängten Unterdecken**

M. Schmelzer und C. Bethke

*Physikalisch-Technische Bundesanstalt*

In Gebäuden in Skelettbauweise werden die einzelnen Räume häufig durch Ständerwände voneinander abgegrenzt und mit einer abgehängten Decke versehen. Zwischen dieser abgehängten Decke und der darüberliegenden Massivdecke entsteht ein Luftvolumen und damit ein Nebenweg für Schallübertragung.

Die Norm ISO-140-9:1985 beschreibt die Messung der Schalldämmung bei dieser Anordnung. Darin wird der raumübergreifende Lufthohlraum in der auf zwei Räume begrenzten Anordnung durch seitliche Absorber im Deckenhohlraum simuliert. Es wurde untersucht, inwieweit diese Absorberanordnung die Schalllängsdämmung der Unterdecke beeinflusst und ob die normalerweise vorliegende Viel-Raum-Konstellation richtig repräsentiert wird.

Dieser Einfluss hängt von weiteren Randbedingungen ab: z.B. haben unterschiedliche Aufbauten der Unterdecke in Form verschiedener Materialien und Knotenausbildungen Einfluss auf die Schalldämmung, ebenso die Abhänghöhe und die ansonsten im Hohlraum noch vorhandene Dämpfung, was ebenfalls untersucht wurde.

Im Vortrag werden die Ergebnisse der genannten Untersuchungen dargestellt.

Di. 16:30    Raum 57.02    Schallschutz mit Holz- u. Leichtbau

### **Akustische Wechselwirkung von Holzdecken und Deckenauflagen**

J. Hessinger, A. Rabold und F. Holtz

*ift Rosenheim Schallschutzzentrum*

Die Trittschalldämmung von Holzdecken ist schon seit längerer Zeit ein Feld intensiver Forschungstätigkeit. In den meisten Fällen wurde hier der bewertete Norm-Trittschallpegel der Deckenkonstruktion untersucht und analysiert. Für das subjektive Empfinden der Bewohner ist jedoch auch der Bereich niederfrequenter Schallübertragungen zu berücksichtigen. Um das Verständnis für die Schallübertragungsmechanismen bei Holzdecken im niederfrequenten Bereich zu erweitern und Hinweise für zukünftige Produktentwicklungen zu geben, wurde ein gemeinsames Forschungsprojekt des IBP Stuttgart, der TU München und des ift Schallschutzzentrums ins Leben gerufen, das sich dieser Fragestellung widmet. Ziel ist es mit messtechnischen und rechnerischen Methoden die Trittschalldämmung der Holzdecken zu untersuchen. Dabei sollen insbesondere die Wechselwirkungen zwischen den Rohdecken und Deckenauflagen analysiert werden. Ein Schwerpunkt liegt hierbei auch im niederfrequenten Bereich. In diesem Beitrag werden die ersten Arbeitsschritte vorgestellt, die im ift Schallschutzzentrum vorgenommen wurden, Auswertungen der vorhandenen Literatur und Datenbankanalysen. Die vorhandenen Daten wurden analysiert mit Hinblick auf



die Wirksamkeit des schwimmenden Estrich (Steifigkeit der Trittschalldämmplatte), einer Entkopplung der Unterdecke, sowie von Beschwerungsmaßnahmen.

Di. 16:55    Raum 57.02    Schallschutz mit Holz- u. Leichtbau

### **Anwendung der Finiten Elemente Methode auf die Trittschalldämmung von Holzdecken**

A. Rabold<sup>a</sup> und E. Rank<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*ift Rosenheim Schallschutzzentrum;* <sup>b</sup>*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 gängigen Modelle zur Berechnung der Schalldämmung von Bauteilen basieren auf den Messwerten einzelner Bauteilkomponenten oder -schichten. Diese Modelle sind für die Optimierung des Bauteils anhand von Parameterstudien vom Ansatz her ungeeignet. Eine bislang wenig beachtete Alternative bietet die Berechnung durch die Finite Element Methode (FEM). Die mit der FEM berechneten Eigenwerte und Eigenmoden des Bauteils bilden die Basis, um durch die Modalanalyse Rückschlüsse für die Bauteiloptimierung ziehen zu können. In diesem Beitrag werden Zwischenergebnisse eines aktuellen Gemeinschafts-Forschungsvorhabens zwischen der TU München, dem IBP Stuttgart und dem ift Schallschutzzentrum, Rosenheim vorgestellt. Es wird hierbei die an der TU München erfolgte Anwendung der FEM zur Berechnung der Eigenmoden des zu optimierenden Bauteils vorgestellt und auf die Berechnung der Trittschalldämmung anhand der Spektralanalyse eingegangen. Die Berechnungsbeispiele werden mit Messwerten verschiedener Bauteile verglichen.

Di. 17:20    Raum 57.02    Schallschutz mit Holz- u. Leichtbau

### **Flankenschalldämmung und Stoßstellendämmung bei Holzwänden und Glasfassaden**

B. Saß<sup>a</sup> und R. Schumacher<sup>b</sup>

<sup>a</sup>ift Rosenheim Schallschutzzentrum; <sup>b</sup>ACCON GmbH

Die Untersuchungen zur Längsschalldämmung und Stoßstellendämmung von Holzwänden und Glas-Fassaden liefern Daten für das Rechenverfahren nach DIN EN 12354 und damit auch für den Bauteilkatalog von DIN 4109. Es wird diskutiert, ob die Ermittlung des Stoßstellendämm-Maßes  $K_{ij}$  erforderlich ist für die vollständige Beschreibung der Flankenübertragung oder ob es hinreichend genau ist, die Flanken-Normschallpegeldifferenz  $D_{n,f}$  zu bestimmen und  $K_{ij}$  als eine für viele Anschlüsse bzw. Stoßstellen konstante Größe zu betrachten. Diese vereinfachte Vorgehensweise für Holzwände und elementierte Pfosten-Riegel-Fassaden (in Holz-/Alu-Profilen) wird erläutert und evaluiert.

Di. 17:45    Raum 57.02    Schallschutz mit Holz- u. Leichtbau

### **Innere Verlustfaktoren ausgewählter Leichtbauwerkstoffe und ihre Ermittlung**

B. Nusser, P. Meistring und U. Schanda

*Fachhochschule Rosenheim*

Bei der Berechnung des Luftschalldämm-Maßes von Bauteilen nach der derzeit gültigen EN 12354-1:2000 geht der Verlustfaktor des jeweiligen Baustoffes mit ein. Für die für den Bausektor neuen Leichtbauwerkstoffe wie z.B. Waben- und Wellstegplatten, PUR- und PS-Sandwichplatten oder Tischlerplatten mit 'Leichtholz'-Mittellage sind jedoch noch keine Literaturwerte vorhanden. An der Fachhochschule Rosenheim wurde im Zuge des Verbundforschungsprojekts "Holzbau der Zukunft" die Eignung dieser Baustoffe für sehr leichte, nichttragende, innere Trennwände untersucht. Hierzu wurden die inneren Verlustfaktoren von 20 verschiedenen Plattentypen mit unterschiedlichen Kern- und Deckschichtdicken gemessen. Systematische Untersuchungen bzgl. Anrege- und Messpositionen, Anzahl der Messpunkte, Befestigungsart der Beschleunigungsaufnehmer, etc. wurden durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sowie die inneren Verlustfaktoren der Leichtbauwerkstoffe werden vorgestellt.

Di. 18:10 Raum 57.02 Schallschutz mit Holz- u. Leichtbau

### **Schallabstrahlung biegeweicher Platten**

L. Weber und S. Laschczok

*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

Der Abstrahlgrad von Biegewellen auf Platten wird unterhalb der Koinzidenz mit abnehmender Frequenz rasch kleiner. Dies hat großen Einfluss auf die Schalldämmung und ist insbesondere für die akustischen Eigenschaften von Holz- und Leichtbaukonstruktionen entscheidend. Trotz der großen praktischen Bedeutung liegen über den Abstrahlgrad biegeweicher Platten nur lückenhafte Erkenntnisse vor. Dies betrifft sowohl die rechnerische Modellierung als auch den Einfluss der baulichen Randbedingungen (Abmessungen und Randeinspannung der Platten) sowie der Materialeigenschaften (innere Dämpfung, etc.).

Als Beitrag zur Klärung der offenen Fragen wurde die Schallabstrahlung biegeweicher Platten rechnerisch und messtechnisch untersucht. Hierbei wurden verschiedene aus der Literatur bekannte Berechnungsmodelle sowohl untereinander als auch mit Messergebnissen verglichen. Des weiteren wurde eine Messreihe zur Untersuchung der verschiedenen akustischen Einflussgrößen durchgeführt. Die ermittelten Ergebnisse liefern fundierte Aussagen über Anwendungsbereich und Genauigkeit der vorhandenen Berechnungsmodelle zur Bestimmung des Abstrahlgrades.

Di. 14:00 Raum 57.03

Physik der Musikinstrumente I

### **Numerical simulation of the flow in the flue organ pipe**

S. Adachi<sup>a</sup>, J. Angster<sup>a</sup> und A. Miklós<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*; <sup>b</sup>*Steinbeis Transferzentrum Angewandte Akustik*

Sound generated in a flue organ pipe is susceptible to the voicing adjustment. A small change in the configurations of the flue, lower and upper labiums, etc. often results in a great change in the sound. This research aims to clarify the effect of the voicing adjustment on the physical properties of the air jet emerging from the flue and thus on the output sound. Two specific adjustments are considered here: the height of the lower lip relative to the languid and the inner geometry of the foothole. The numerical simulation of the jet emerging from the flue of a modelled wooden organ pipe was first carried out. By changing the height of the lower lip, the direction and the velocity profile of the jet were calculated. The air flow in the pipe foot of a modelled metal pipe was

also simulated. It was found that two different states of the flow exist depending on the foothole inner geometry: the circulation of the flow in one state has the opposite direction to that in the other. These observations were then used for estimating the output sound. To this end, sound was synthesized using a physical model that is a set of differential equations with delayed feedback describing the sound generation in the flue organ pipe. A sound demonstration illustrating the voicing effects on the sound will be presented.

Di. 14:25    Raum 57.03

Physik der Musikinstrumente I

### **Einfluss des Winddrucks auf die Lautheit von Lippenorgelpfeifen**

J. Angster<sup>a</sup>, S. Pitsch<sup>a</sup> und A. Miklós<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*; <sup>b</sup>*Steinbeis Transferzentrum Angewandte Akustik*

Im Rahmen eines EU-Projektes wurden zahlreiche Untersuchungen zum Thema Intonation und Dimensionierung von Orgelpfeifen und zur Klärung des Einflusses von Intonationsschritten auf den Pfeifenklang durchgeführt. Eine sehr wichtige Fragestellung der beteiligten Orgelbaufirmen war es, wie man die Lautheit einer Orgelpfeife beeinflussen kann und welche Rolle der Winddruck dabei spielt. Hierzu wurden im reflexionsarmen Raum des Fraunhofer-Institutes für Bauphysik (IBP) Klangmessungen bei unterschiedlichen Winddrücken vorgenommen und anschließend analysiert. Die Lautheit einer Lippenorgelpfeife wird maßgeblich durch die Anregungsleistung beeinflusst, die sich aus dem Winddruck im Pfeifenfuß, dem Volumenstrom in der Kernspalte und der Verweildauer des oszillierenden Freistrahls im Resonatorkörper zusammensetzt. Durch die Erhöhung des Winddrucks vergrößert sich zwar die Lautheit, gleichzeitig verändert sich aber auch die Klangfarbe der Pfeife, was eigentlich nicht erwünscht ist. Hier wird diskutiert, wie diese klanglichen Änderungen im Stationärspektrum in Abhängigkeit vom Winddruck aussehen und welche Intonationsschritte einem Intonateur letztendlich die Möglichkeit bieten, die Lautheit einer Pfeife innerhalb eines Registers anzupassen, ohne ihren Klangcharakter zu verfälschen.

Di. 14:50 Raum 57.03

Physik der Musikinstrumente I

### **Schallleistungsbestimmung an Lippenorgelpfeifen: Messverfahren und Einflussfaktoren**

K. Hoge<sup>a</sup>, A. Miklós<sup>b</sup> und J. Angster<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*; <sup>b</sup>*Steinbeis Transferzentrum Angewandte Akustik*

Das Fraunhofer IBP (Stuttgart) arbeitet mit 10 Orgelbauunternehmen aus 9 Ländern an einem von der Europäischen Union unterstützten Forschungsprojekt, das sich mit der Anpassung der Orgel an den Raum beschäftigt. Das Ziel ist es, den Orgelbauunternehmen schon während der Planungsphase einer Orgel Hilfestellungen zu geben. Ein wichtiger Parameter um eine Anpassung vornehmen zu können ist die abgestrahlte Schallleistung der Orgel und damit der Pfeifen. Im Hinblick auf die Besonderheiten des Pfeifenklangs (schmalbandig, tonal, harmonisch, stationär) wurde aus den aktuellen Verfahren zur Schallleistungsbestimmung das Hallraumverfahren ausgewählt und Messungen durchgeführt, die den Einfluss von Winddruck, Tonhöhe und Geometrie (Mensurierung) der Lippenorgelpfeife deutlich machen sollten. Nicht nur durch die starre Aufstellung, konstante Druckversorgung und das extrem schmalbandige Spektrum waren die Messungen mehr als üblich von den Eigenschaften des Hallraumes beeinflusst. Auch die Tatsache, dass bei einer offenen Lippenorgelpfeife zwei nahezu punktförmige Schallquellen voneinander abhängig abstrahlen, hat die Messergebnisse beeinträchtigt. Als zweites Messverfahren wurde eine Intensitätsmessung mit einem Mikrofon-Array (NS-STSF/SONAH) im reflexionsarmen Raum getestet. Die Ergebnisse sowie Vor- und Nachteile der Verfahren und ein Ausblick auf andere Möglichkeiten zur Bestimmung der Schallleistung werden diskutiert.

Di. 15:15 Raum 57.03

Physik der Musikinstrumente I

### **Relationship between Transient Sound and Mouth Tone in Flue Organ Pipes**

Y. Sakamoto<sup>a</sup>, J. Angster<sup>b</sup> und S. Yoshikawa<sup>c</sup>

<sup>a</sup>*Brüel & Kjær Division of Spectris Co. Ltd., Japan*; <sup>b</sup>*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*; <sup>c</sup>*Dept. of Acoustic Design, Faculty of Design, Kyushu University*

Mouth tone has been investigated to study the transient sound of flue organ pipes. Mouth tone is a sound which is emitted from a pipe when its resonator is filled with an acoustic absorber. The mouth tone sounds like a broad band noise, however, it has also

a certain pitch. In its frequency spectrum some peaks are present and the frequency of the largest peak is very close to the frequency of the harmonic which builds up fastest of all the harmonics of the normal pipe sound. This observation could be explained by the fact that the jet driven system around the mouth produces the mouth tone in a much shorter time than the time needed for the excitation of the pipe resonator. On the other hand, the characteristics of the mouth tone have rarely been investigated so far. To clear up the factors through which the frequency characteristics of the mouth tone can be determined, the peak frequencies of the mouth tone were compared to the frequencies of the edge tone which were calculated from the jet velocity using Brown's equation. The change in the 5th mode of the mouth tone was very similar to that in the 3rd mode of edge tone. This suggests that the 5th mode of the mouth tone is caused by the 3rd mode of edge tone. It was also proved that the peak frequencies except for the 1st peak depend on the blowing pressure, i.e. on jet velocity.

Di. 15:40    Raum 57.03

Physik der Musikinstrumente I

### **Entwurf einer Fuzzy-Logic Regelung für Windsystemauslassventile in Kirchenorgeln**

Z. Dubovski<sup>a</sup>, S. Pitsch<sup>a</sup> und A. Miklós<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*; <sup>b</sup>*Steinbeis Transferzentrum Angewandte Akustik*

Der Pfeifenklang in einer Kirchenorgel wird während des Spielens durch Druckschwankungen und -schwingungen negativ beeinflusst. In traditionellen Orgeln werden verschiedene Balgsysteme eingesetzt, um den Druck zu regeln. Durch das Schwingungsverhalten des Balges und Druckreflexionen im Kanalsystem werden teilweise sehr große Druckschwingungen verursacht. Um diese zu dämpfen und Druckverluste auszugleichen, wurde am Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP) ein elektronisch geregeltes Auslassventil entwickelt. Je nach benötigter Luftmenge (Wind) und gewünschtem Solldruck wird die Öffnungsfläche des Ventils verändert. Der Aktor (z.B. ein Schrittmotor) wird durch einen Regler angesteuert, der mit Hilfe von Fuzzy-Logic arbeitet. Ein Mikrocontroller mit integrierter Fuzzy-Logic Einheit übernimmt dabei die Bearbeitung der Regelalgorithmen. Die Funktionsweise der Regelung wurde mit verschiedenen Windverbräuchen im Labor der musikalischen Akustik an einer Modellorgel getestet und überprüft.

Di. 16:30 Raum 57.03

Physik der Musikinstrumente I

**Einfluss der Lufttemperatur auf die Verstimmung von Orgelpfeifen**S. Pitsch, K. Sedlbauer und J. Angster*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

Bei vielen Kirchenorgeln machen sich im Winter Verstimmungen im Orgelklang bemerkbar. Vor Spielbeginn wird die Kirche in relativ kurzer Zeit aufgeheizt. Zum einen entstehen dadurch innerhalb des Orgelgehäuses verschiedene Temperaturzonen, zum anderen werden die sich in bereits erwärmter Umgebung befindenden Orgelpfeifen mit Luft aus dem noch kalten Windsystem gespeist. Um den Einfluss des Einblasens von kalter Luft in eine Orgelpfeife auf deren Verstimmung zu untersuchen, wurde im Labor des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik eine Modellorgel in einer zweiteiligen Klimakammer aufgebaut. Dabei befanden sich Gebläse und Balg im kalten Teil der Klimakammer, die Windlade stand dagegen im warmen Bereich. Der zeitliche Temperaturverlauf an verschiedenen Punkten im Pfeifenresonator und der Pfeifenklang wurden parallel gemessen und die Änderung der Grundfrequenz der Pfeife ermittelt. Um einen Eindruck der Temperaturzustände im gesamten Windsystem zu bekommen, wurden an mehreren Stellen Temperatursensoren verteilt und ebenfalls der lokale Temperaturverlauf aufgezeichnet. Diese Untersuchungen sind Teil eines Projektes zur Entwicklung von Klimasystemen für eine gleichmäßigere Temperierung der Umgebungsluft in Orgelgehäusen und der Luft innerhalb des Windsystems. Damit sollen klangliche Verstimmungen vermieden und gleichzeitig der Schimmelbildung vorgebeugt werden.

Di. 16:55 Raum 57.03

Physik der Musikinstrumente I

**Synchronization of an organ pipe under the influence of an external sound pressure signal**S. Bergweiler, M. Abel und D. Zscherpel*Universität Potsdam, Institut für Physik*

We have measured the characteristics of the sound produced and emitted by an organ pipe coupled to an external loudspeaker. We vary the frequency and amplitude of the loudspeaker. As a consequence, a synchronization or phase-locking of the pipe is observed with the signal of the loudspeaker. This synchronization depends on the amplitude and phase mismatch of the speaker. The louder the speaker the wider is the synchronization range; in the parameter plane amplitude vs. frequency mismatch, this is

observed as the well-known 'Arnold-tongue'. By averaging over many periods one can observe a mean synchronization even for a signal of the speaker which is 50 dB, i.e., 300 times weaker than the signal of the pipe.

Di. 17:20 Raum 57.03

Physik der Musikinstrumente I

### **Zum Wirbelschall der Querflöte**

A. Bamberger

*Institut für Physik, Universität Freiburg*

Die Querflöte wird auf die strömungsdynamischen Eigenschaften des Jets mit der Particle-Image-Velocimetry (PIV) untersucht. Die Verwendung des Endoskops erlaubt es eine quantitative Bestimmung der Wirbeleigenschaften des Jets, von denen man nach dem Howe'sche Analogon (1975) auf die akustische Leistung schließen kann. Die Überlagerung der Wirbel des Jets in dem Volumen zwischen dem Austritt des Jets und der Embouchure spielt eine entscheidende Rolle. Die Kenntnis des akustischen Feldes in diesem Bereich wird ebenfalls mit PIV durch eine externe Anregung am Fuß der Flöte erreicht.

Die Messungen werden bei unterschiedlichen Jetgeschwindigkeiten und bei Frequenzen von 560 Hz und 1200 Hz durchgeführt. Die Messung der akustischen Leistung im Fernfeld erlaubt den interessanten Vergleich mit der hier ermittelten Quelltermstärke. Die Ergebnisse werden diskutiert.

Di. 17:45 Raum 57.03

Physik der Musikinstrumente I

### **Modale Studien an Handglocken**

U.J. Hansen

*Indiana State University, Terre Haute (USA)*

Die Identifizierung der Eigenmoden an Handglocken besteht aus zwei Indizien,  $(m,n)$ . Der erste Index  $(m)$  gibt die Zahl der Knotenlinien an, welche über die Krone der Glocke laufen, der zweite Index  $(n)$  gibt die Anzahl der Knotenkreise an, welche um die Glocke herum laufen. Für Eigenschwingungsmoden mit  $m > 3$  oder 4, von der Glockengröße abhängig, gibt es normalerweise keine  $n = 0$  Mode. Statt dessen erscheint ein tiefliegender Knotenkreis, ganz nahe an der Glockenöffnung. Diese Moden werden oft als  $(m,1^*)$  Moden bezeichnet. Diese Modalformen scheinen ein Analog in dem eindimensionalen Bild von Saitenresonanzen zu finden, wenn die Randwertbestimmung an einem Ende etwas gelockert wird und zu einem massenartigen oder federartigen Bild führt. Zur Untersuchung dieses Analoges wurden "Finite Element" Rechnungen ausgeführt, indem ein Glockenabschnitt als



Platte modelliert wurde mit geklammerter Randbedingung oben, rotierend freier Randbedingung an beiden Seiten und völlig freier Randbedingung unten. Moden mit höheren  $m$  Werten werden dann durch Platten modelliert welche ein höheres Verhältnis zwischen Plattenhöhe zu Plattenbreite aufweisen. Berechnete Plattenmoden werden mit experimentell gemessenen Glockenmoden verglichen.

Di. 18:10    Raum 57.03

Physik der Musikinstrumente I

### **Wann klingt ein Glockenklang nach Kirchenglocke?**

H. Fleischer<sup>a</sup>, H. Fastl<sup>b</sup> und M. Sattler<sup>b</sup>

<sup>a</sup> *UniBw München, Fakultät LRT*; <sup>b</sup> *AG Technische Akustik, MMK, TU München*

Der Klang einer kleinen Kirchenglocke (37 kg; Moll-Oktav, Schlagton C6) wurde mittels FFT analysiert. Die Frequenzen, relativen Amplituden sowie die Zeitkonstanten des Abklingens der einzelnen Teiltöne wurden bestimmt. Auf der Basis dieser Daten wurde mit MATLAB ein synthetischer Klang hergestellt. Dessen Zusammensetzung konnte durch Weglassen von Teiltönen manipuliert werden.

In Hörversuchen hatten Testpersonen zu beurteilen, ob sich ein reduzierter Klang wie derjenige einer Kirchenglocke anhörte. Dazu wurde eine fünfteilige Skale verwendet. Die Ergebnisse lassen Rückschlüsse darauf zu, welche der zahlreichen Teiltöne den Klang der Glocke tatsächlich bestimmen. Damit geben sie Hinweise darauf, welche Schwingungsformen des Glockenkörpers "klangbildend" sind und welche zwar gemessen bzw. berechnet werden können, für die Funktion einer Glocke jedoch irrelevant sind.

Dienstag    Poster

Physik der Musikinstrumente I

### **Surface Vibrations and Spectrum of Organ Pipes**

E. Bejčková

*HAMU, Vimperk (CZ)*

The work deals with an influence of surface vibration on spectrum in the dependence on material and diapason of organ pipes. Acoustic measurements (spectrum) and two optical vibration measurement methods (pipes scanned by Point Laser Vibrometer and Electronic Speckle Interferometer - ESPI) were realised. Acoustic and optical measurement results were compared and discussed.

Dienstag Poster

Physik der Musikinstrumente I

**Oberflächenstrukturierung an Tönhölzern zur Intensivierung des Brillanzbereichs - Experiment und Messungen**R. Mores*HAW Hamburg, Fakultät Design Medien Information*

Die vorliegende Untersuchung ist motiviert durch den Chinesischen Chao Gong, der nach dem Anschlagen zunächst einen tiefen Klang erzeugt und im weiteren Verlauf einen immer heller werdenden Klang entwickelt. Offensichtlich werden die zunächst angeregten Moden durch die gehämmerte Oberflächenstruktur wiederholt reflektiert und gebrochen, so dass am Ende die kurzwelligen Moden begünstigt bleiben. Dieses Phänomen könnte auch in Streich- und Zupfinstrumenten helfen, Leistung aus dem unerwünschten Bereich um 1 kHz in den Brillanzbereich zu bringen. An einer Sitka Fichtendecke wird beidseitig die Oberfläche mit kreisförmigen Ausschleifungen strukturiert. Eine unstrukturierte Vergleichsdecke wird auf den gleichen Klopfton gebracht, und die strukturierte Decke im Vergleich zu dieser auf die gewonnenen akustischen Parameter hin vermessen.

Dienstag Poster

Physik der Musikinstrumente I

**Synchronization in acoustical systems by the example of organ pipes**M. Abel und S. Bergweiler*Universität Potsdam, Institut für Physik*

From measurements on organ pipes, it is known since a long time, that the so-called Mitnahme-Effekt can lead to a mutual influence of organ pipes by each other. The same holds for external driving of pipes by acoustical sources of well-defined frequencies. We explain the theoretical background from nonlinear vibrational theory and apply it to the experimental data from organ-pipe measurements. Surprisingly, it is possible to capture the main features of the phenomenon by nonlinear oscillator equations, coupled to each other.

Di. 14:00 Raum 57.04

Körperschall in Gebäuden I

**Körperschall in Gebäuden - eine Übersicht zum aktuellen Stand**H.-M. Fischer*Hochschule für Technik Stuttgart, Fakultät Bauingenieurwesen, Bauphysik und Wirtschaft*

In der Bauakustik zählt die Behandlung von Körperschallproblemen zu den großen Aufgabengebieten und Herausforderungen. Das zu betrachtende Gebiet umfasst unter Anderem die Geräusche haustechnischer Anlagen und reicht über den Trittschall bis zu den sog. Nutzergeräuschen. Die aktuellen Entwicklungen in Forschung und Normung verdeutlichen, dass intensiv an der Behebung der vorhandenen Lücken gearbeitet wird. Dabei geht es insbesondere um die Charakterisierung von Körperschallquellen, die Prognose der Körperschallausbreitung in Gebäuden und die Beurteilung der verursachten Geräuscheinwirkung. Der vorliegende Beitrag ist als einführende Übersicht zur strukturierten Sitzung 'Körperschall in Gebäuden' vorgesehen und versteht sich als eine Bestandsaufnahme zu dieser Thematik.

Di. 14:25 Raum 57.04

Körperschall in Gebäuden I

**Mobility Measurements of a Standing Human Body in the Context of Impact Sound Auralisation**M. Lievens*Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen*

For the auralisation of impact sound on floors the precise excitation force induced by a walking person has to be known in order to be able to calculate the structure borne sound power transfer into the floor. For common heavyweight concrete floors the mobility mismatch between walker and floor allows the assumption of an ideal force source. However, for lightweight (wooden) floors with a mobility in the same order of magnitude as the walker, the mobility of the walker has to be taken into account. Mobility measurements of human walkers made by several researchers in the past do not agree and cover a broad range from being important for the interaction with the floor to being negligible in that context. A thorough investigation of the behaviour of the human body as a structure borne source is needed to clarify this issue. Mobility measurements of a standing person under static load excited with force levels comparable to the ones occurring during walking will be reported on.

Di. 14:50 Raum 57.04

Körperschall in Gebäuden I

**Ein neues Hammerwerk für Geh- und Trittschallmessungen**C. Fichtel<sup>a</sup>, J. Scheck<sup>b</sup>, R. Kurz<sup>c</sup> und S. Czychi<sup>b</sup><sup>a</sup>*STEP, Schalltechnisches Treppen-, Entwicklungs- und Prüfinstitut*; <sup>b</sup>*Hochschule für Technik Stuttgart, Fakultät für Bauingenieurwesen, Bauphysik und Wirtschaft*; <sup>c</sup>*Kurz und Fischer GmbH*

Seit nunmehr über 50 Jahren wird das Norm-Hammerwerk zur Messung und Beurteilung der Trittschalldämmung von Bauteilen verwendet und der "Ruhestand" ist noch in weiter Ferne. Auch in der neuen DIN 4109 hat das (Norm-)Hammerwerk einen festen Platz trotz bekannter Probleme mit der standardisierten Körperschallquelle durch eine nicht gehgerechte Anregung, die Unhandlichkeit und ein hohes Eigengeräusch, das vor Allem bei Gehschallmessungen problematisch ist. Vor diesem Hintergrund wurde ein neues Hammerwerk entwickelt, welches elektrodynamisch angetrieben wird und dadurch eine Vielzahl zusätzlicher neuer Möglichkeiten bietet. Diese werden anhand praktischer Anwendungen vorgestellt.

Di. 15:15 Raum 57.04

Körperschall in Gebäuden I

**Characterisation of a Wooden Stair as Structure-borne Sound Source**J. Scheck<sup>a</sup>, H.-M. Fischer<sup>a</sup> und B. Gibbs<sup>b</sup><sup>a</sup>*Hochschule für Technik Stuttgart, Fakultät für Bauingenieurwesen, Bauphysik und Wirtschaft*; <sup>b</sup>*University of Liverpool, Acoustic Research*

A characterisation of lightweight stairs as structure-borne sound sources is needed to predict the sound transmission in building situations. An approach is followed where a stair is treated as an active component, in a similar manner to that used for vibrating machines. The power flow from a lightweight wooden stair through a single contact into a separating wall was investigated using direct and indirect methods. The components of excitation (forces and moments) could be identified as will be illustrated in the contribution.

Di. 15:40 Raum 57.04

Körperschall in Gebäuden I

**Akustische Unterschiede zwischen natürlichem Regen und Regen Anregung im Labor**K. Naßhan*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

Mit der DIN EN CEN 140-18 /1/ zur Messung des Regengeräusches im Prüfstand werden verschiedene Arten von Regen festgelegt. Dass der natürliche Regen normgerecht fällt, ist zu bezweifeln. Somit stellt sich die Frage, wie sich die verschiedenen Regenarten unterscheiden. Auf Grundlage des von Jagenas und Peterson /2/ vorgestellten Modells werden die durch verschiedene natürliche und Norm-Regen hervorgerufenen Geräusche spektral ermittelt und verglichen. Die Vermutung, dass maßgeblich die "großen" Tropfen das Regengeräusch bestimmen, wird überprüft. Schließlich geht es um die Aufgabe, Regengeräusche im Labor auf reale Situationen umzurechnen. Dazu werden erste Hinweise gegeben. Literatur:

/1/ DIN EN ISO 140-18 Akustik - Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 18 Messung der durch Regenfall auf Bauteilen verursachten Schalls im Prüfstand (ISO/DIS 140-18:2005); Deutsche Fassung prEN ISO 140-18:2005, Beuth Verlag 2005

/2/ A. Jagenas und B.A.T. Peterson, The Water Drop as a Structural Acoustic Source, *Internoise* 1986, Seiten 349-352

Di. 16:30 Raum 57.04

Körperschall in Gebäuden I

**Regengeräuschemessungen nach DIN EN ISO 140-18 - praktische Erfahrungen**J. Seidel und L. Weber*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

Die beim Auftreffen von Regentropfen auf leichte Dächer, wie z.B. Stahl- oder Glaskonstruktionen, entstehenden Geräusche können erhebliche Belästigungen hervorrufen. Durch die zunehmende Verbreitung von Folien und Membranen im Bauwesen wird das Problem noch weiter verschärft. Die Bemühungen, ein standardisiertes Mess- und Beurteilungsverfahren für die Schalldämmung von Dächern in Bezug auf Regen Anregung zu entwickeln, haben zur Verabschiedung des europäischen Normentwurfs ISO/FDIS 140-18 geführt.

Bei der Umsetzung von ISO/FDIS 140-18 im Zuge der Errichtung und Inbetriebnahme eines Regengeräuschprüfstandes wurde die Praxistauglichkeit der Norm überprüft. Es zeigte sich, dass

eine Reihe von Mängeln und Unklarheiten vorhanden sind, die eine Überarbeitung der Norm erforderlich machen. In dem Vortrag wird über die Erfahrungen bei der Umsetzung von ISO/FDIS 140-18 sowie weiterführende Untersuchungen zur Erzeugung und Charakterisierung von künstlichem Regen berichtet.

Di. 16:55    Raum 57.04

Körperschall in Gebäuden I

### **Structure-borne sound transmission in lightweight buildings: Consideration of an equivalent single receiver mobility**

A. Mayr<sup>a</sup>, B. Gibbs<sup>b</sup> und H.-M. Fischer<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Hochschule für Technik Stuttgart, Fakultät für Bauingenieurwesen, Bauphysik und Wirtschaft*; <sup>b</sup>*University of Liverpool, Acoustic Research Unit*

Recent work, conducted at the University for Applied Sciences Stuttgart and the University of Liverpool, has shown that for heavyweight buildings the structure-borne sound power from a wide range of mechanical installations can be obtained using a single value of source power obtained by a laboratory reception plate method. This value, in combination with a single value of the receiver mobility (the characteristic mobility) gives the predicted power when the machine is installed in the building. However, for other building structures, particularly lightweight framed constructions, such as gypsum board walls and timber joist floors, the point mobility will vary significantly with location. Therefore the equivalent single receiver mobility is considered, which is the average of the effective point mobilities. The equivalent mobility preserves the clarity of a single point excitation even for sources with multiple contact points with the receiving structure. Measurements of point- and effective receiver mobilities are shown and compared for several typical lightweight building constructions.

Di. 17:20    Raum 57.04

Körperschall in Gebäuden I

### **Anmerkungen zur Messung von Körperschall-Nachhallzeiten und Strukturimpedanzen in der Bauakustik**

H. Bietz und V. Wittstock

*Physikalisch-Technische Bundesanstalt*

Für Prognosemodelle in der Bauakustik ist es oft erforderlich, den Gesamtverlustfaktor eines Bauteils, bestimmt über die Messung der Körperschall-Nachhallzeit, und die mechanischen Eingangsimpedanzen (bzw. Admittanzen) der betrachteten Struktur zu kennen. Nun ist die Messung von Körperschall-Nachhallzeiten und Strukturimpedanzen in der bauakustischen Praxis häufig

problematisch, da die physikalischen Zusammenhänge doch deutlich komplexer sind als bei einer Luftschallmessung. So wurde zum Beispiel schon vor einiger Zeit festgestellt, dass bei der Bestimmung der Körperschall-Nachhallzeit das gewonnene Ergebnis -zumindest bei schweren Wänden- von der Art der Anregung (Hammer oder Shaker) abhängt. Hierzu wurden in letzter Zeit in der PTB weitere Untersuchungen durchgeführt, deren Ergebnisse vorgestellt werden. Weiterhin werden einige Aspekte der Messung von Strukturimpedanzen beleuchtet. Hier ist insbesondere die Art der Ankoppelung an die zu messende Struktur von Bedeutung, z.B. bei beplankten Holzständerwänden. Weiterhin sind nicht alle Messapparaturen für jede Struktur gleichermaßen gut geeignet. Eine z.Zt. noch recht offene Frage ist die Art und Weise der Signalverarbeitung bei der Impedanzmessung (FFT/Terzfilterung). Hier können bei bestimmten Frequenzverläufen der Impedanz je nach Art der Signalverarbeitung recht unterschiedliche Messergebnisse auftreten. Diese Sachverhalte sollen anhand von Beispielen verdeutlicht werden.

Di. 17:45    Raum 57.04

Körperschall in Gebäuden I

### **Körperschallübertragung an Stoßstellen, die wellentheoretischen Grundlagen sowie die Grundlagen und Ergebnisse von numerischen Simulationen**

R. Balci

*Ingenieurbüro Werner und Balci*

Nach Einführung in die Thematik sollen anhand konkreter Beispiele die Möglichkeiten von numerischen Simulationen aufgezeigt werden. Die verschiedenen Finite-Elemente-Modelle werden dargestellt. Durch entsprechende Anpassung der Ergebnisse können beispielsweise Stoßstellendämm-Maße  $K_{ij}$  nach EN 12354-1 ausgegeben werden und in der Ingenieurpraxis eingesetzt werden. Es werden aber auch die Probleme und mögliche Fehlerquellen von numerischen Berechnungen aufgezeigt. Am Ende wird in der Zusammenfassung auf weitere Einsatzgebiete dieser numerischen Berechnung in der Akustik hingewiesen.

Di. 18:10    Raum 57.04

Körperschall in Gebäuden I

### **Einfügungsdämmung von Rohrschellen**

P. Teller und L. Weber

*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

Die akustische Wirkung von Befestigungselementen für Trink- und Abwasserrohre wird durch ihre Einfügungsdämmung gekennzeichnet. Zur Bestimmung des Einfügungsdämm-Maßes

sind zwei Messungen erforderlich. Zunächst wird die Körperschallübertragung vom Rohr über die zu untersuchende Rohrschelle (in der Regel ein Metallbügel mit Elastomereinlage) in das Bauwerk bestimmt. In einer zweiten Messung wird die Rohrschelle gegen ein starres Befestigungselement (z.B. eine Stahlschelle ohne Einlage) ausgetauscht. Die starre Befestigung stellt hierbei die schalltechnisch ungünstigste Variante dar und dient als Grundlage für den Vergleich unterschiedlicher Produkte.

Die Einfügungsdämmung ist frequenzabhängig und wird daher als Spektrum angegeben. In der Praxis ist allerdings oft eine Einzahlangabe erwünscht (z.B. zum Vergleich unterschiedlicher Produkte). Derzeit wird als Einzahlangabe die Differenz der Abwerteten Gesamtpegel bei starrer und elastischer Befestigung herangezogen. Diese Differenz hängt jedoch neben den Eigenschaften der Schelle auch vom Frequenzspektrum des Anregungssignals sowie in nicht unbeträchtlichem Maße von der Ausführung des Prüfaufbaus ab. In dem Beitrag soll aufgezeigt werden, wie praxistaugliche Einzahlangaben für die Einfügungsdämmung von Rohrschellen ermittelt werden können.

Dienstag Poster

Körperschall in Gebäuden I

## **Vor- und Inwandinstallationen als Geräuschquellen in Bauteilen**

J. Mohr und L. Weber

*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

Vor- und Inwandinstallationen bestehen aus WC-, Urinal- und Waschtischelementen sowie den zugehörigen Abwasser- und Trinkwasserinstallationen. Sie stellen neben Dusch- und Bädewannen die wichtigste Ursache für Installationsgeräusche in Bauten dar. Vorwandinstallationen können in Nassbauweise (Abmauerung) oder in Trockenbauweise (mit Giskarton- oder Gipsfaserplatten beplanktes Ständerwerk) ausgeführt werden. Für Inwandinstallationen wird heute fast nur noch die Trockenbauweise verwendet. Neben der grundlegenden Unterteilung in Nass- und Trockenbausysteme sind zahlreiche unterschiedliche Konstruktionsvarianten zu unterscheiden, die zum Beispiel unterschiedliches Ständerwerk sowie verschiedene Verbindungs- und Befestigungselemente verwenden.

Das Poster gibt einen Überblick über die marktüblichen Systeme, ihre akustischen Vor- und Nachteile sowie verschiedene Möglichkeiten zur Geräuschminderung. Weiterhin werden die derzeit geltenden Messverfahren und Anforderungen sowie aktuelle Messergebnisse an Vor- und Inwandinstallationen vorgestellt.



Dienstag Poster

Körperschall in Gebäuden I

**Trittschalldämmung von Decken: Messverfahren und Anforderungen in Asien und Europa**B. Richter, L. Weber und P. Leistner*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

In Deutschland und Europa wird die Trittschalldämmung von Decken mit dem Norm-Hammerwerk als Anregungsquelle gemessen. Obgleich das Hammerwerk als adäquate Trittschallquelle in Zweifel gezogen wird, ist es nach wie vor als Standard in der bauakustischen Normung verankert.

In einigen asiatischen Ländern kommen alternative Verfahren der Trittschallanregung zum Einsatz. So wird z.B. in Korea eine sogenannte 'Bang-Machine' verwendet, bei der ein Gummireifen aus definierter Höhe auf die Decke herabfällt. Der Grund für diese Art der Anregung ist unter Anderem, dass die in Korea übliche Betonplattenbauweise und das Gehen ohne Schuhe die Trittschallproblematik erheblich verschärfen. Dies gilt insbesondere für die tieffrequenten Geräuschanteile des Trittschalls, die durch die 'Bang-Machine' weitaus stärker angeregt werden als durch das Norm-Hammerwerk.

Im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsvorhabens wurden Messung und Bewertung der Trittschalldämmung nach den koreanischen Normen KS F 2810-2 und KS F 2863-2 experimentell untersucht und mit den entsprechenden europäischen Verfahren verglichen. Es ergeben sich interessante Erkenntnisse über die Trittschallanregung und -übertragung bei tiefen Frequenzen sowie die unterschiedlichen Anforderungen an den baulichen Trittschallschutz und die daraus resultierenden Konstruktionsweisen von Decken.

Di. 14:00 Raum 57.05

Binaurales Hören I

**Kann man in Klassenräumen mit Kunstköpfen messen?**M. Vorländer, J. Fels, D. Schröder und T. Lentz*Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen*

Zur Bewertung der akustischen Qualität von Klassenräumen sind mehrere Ansätze, die über die Angabe der Nachhallzeit und des Störpegels hinausgehen, im Gespräch. Bei der Diskussion der akustischen Planung und Verbesserung von Klassenräumen müssen die Wahl der Lehrsituation und die Art der Kommunikation (Frontalunterricht oder Kleingruppenarbeit) berücksichtigt werden. Aus akustischer Sicht ist dabei die Sprachwahrnehmung unter Störschall und Nachhall relevant, und zwar unter

verschiedenen Bedingungen der räumlichen Konfigurationen von Sprecher und Störquellen. Die einzig konsequente Vorgehensweise besteht in der Aufnahme und Bewertung der binauralen raumakustischen Situation. Es werden experimentelle und numerische Untersuchungen zum Einfluss spezifischer HRTF von Schulkindern und Erwachsenen vorgestellt. Ziel dieser Arbeit ist die Klärung der Frage, ob die heute verfügbaren (erwachsenen) Standard-Kunstköpfe überhaupt für Untersuchungen in Klassenräumen sinnvoll verwendbar sind.

Di. 14:25    Raum 57.05

Binaurales Hören I

### **Der Einfluss von Raumakustik auf die binaurale Sprachverständlichkeit in moduliertem Störgeräusch - Messungen und Modellvorhersagen**

R. Beutelmann und T. Brand

*Medizinische Physik, Universität Oldenburg*

Die Sprachverständlichkeitsschwelle in realistischen Umgebungen ist von diversen Faktoren abhängig, beispielsweise von der räumlichen Anordnung der Schallquellen, der Raumakustik (frühe Reflexionen, diffuser Nachhall) und der Art der Störgeräusche (Modulation, Informationsgehalt). Eine potentielle Hörstörung des Probanden kommt als weiterer Parameter hinzu. Die genannten Faktoren interagieren miteinander und können nur in Einzelfällen getrennt betrachtet werden. Das von Beutelmann und Brand (2006, JASA) vorgestellte Modell der binauralen Sprachverständlichkeit besteht aus einer Kombination des Equalization-Cancellation-Prinzips in mehreren Frequenzbändern mit dem monauralen Speech Intelligibility Index. Es kann bereits eine Untermenge der genannten Parameterkombinationen (eine Störgeräuschquelle mit stationärem Rauschen, Schallquellen innerhalb des Hallradius) für Normalhörende sehr gut vorhersagen, für Schwerhörende sind die Differenzen zwischen Vorhersagen und Messdaten zwar größer, aber die Korrelation zwischen Vorhersage und Messdaten ist signifikant. Um den Parameterraum der validen Vorhersagen zu erweitern, wurden weitere Sprachverständlichkeitsmessungen mit Normal- und Schwerhörenden durchgeführt. Es wurden Sprachverständlichkeitsschwellen für alle Kombinationen von vier Raumsituationen (reflexionsarm, Wohnzimmer, Klassenzimmer, Kirche), drei räumlichen Anordnungen der Schallquellen und drei Arten von

Störgeräusch (stationäres sprachsimulierendes Rauschen, Multitalker Babble, einzelner Störsprecher) gemessen. Die Ergebnisse der Messungen sowie die Modellvorhersagen werden vorgestellt und notwendige Erweiterungen des Modells diskutiert.

Di. 14:50    Raum 57.05

Binaurales Hören I

### **Attending to Space or Intensity Modulates Spatial Release from Informational Masking**

A. Ihlefeld<sup>a</sup>, S. Chu<sup>b</sup> und B. Shinn-Cunningham<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Boston University*; <sup>b</sup>*Massachusetts Institute of Technology*

This study examined the role of attention on spatial release from informational masking [SRIM] for one target talker in a two-talker setting. On each trial, subjects had to report two keywords from a time-windowed, modified version of the Coordinate Response Measure corpus while attending to the target's spatial location, intensity, or both. Results show that all listeners exhibit SRIM when cued to space, but only some listeners show SRIM when cued to intensity. Some listeners performed better with increasing positive and negative intensity differences between talkers when attending intensity; others performed merely proportionally to the acoustic energy ratio between the two talkers. Overall, subjects were likely to mistake masker for target when attending to space and spatial separation was small, or when attending to intensity and intensity difference was small. For all listeners, increasing spatial separation improved perceptual segregation of the sources when attending intensity and/or location. Overall, results suggest that attending to target location and level can greatly improve speech intelligibility of a target in a complex multi-talker setting. [supported in part by ONR]

Di. 15:15    Raum 57.05

Binaurales Hören I

### **Modelling binaural processes involved in simultaneous reflection masking - limitations of current binaural models**

J.M. Buchholz

*Centre for Applied Hearing Research, Technical University of Denmark*

Masked thresholds were measured for a single test reflection, masked by the direct sound, as a function of the reflection delay. This was done for diotic as well as for dichotic stimulus presentations and all stimuli were presented via headphones. The input signal was a 200-ms long broadband noise. The dichotic threshold decreased with increasing reflection delay indicating an increase

in binaural detection performance with increasing reflection delay. Comparing the dichotic threshold to the corresponding diotic threshold, for delays below 7-10 ms, the dichotic threshold was found to be higher than the diotic threshold while it was lower than the diotic threshold for larger delays. Hence, the binaural system seems to deteriorate auditory detection performance for very early reflections and to enhance auditory detection performance for later reflections. Existing binaural (detection) models, such as normalized cross-correlation models (e.g., Bernstein et al., 1999, JASA, pp. 870-876), the power-addition model (Zurek, 1979, JASA, pp. 1750-1757), or Equalization-Cancellation-based models (e.g., Breebaart et al., 2001, JASA, pp. 1074-1088), cannot account for the psychoacoustical data. The present talk aims at understanding why these binaural models in their current form cannot describe the binaural mechanisms involved in reflection masking and a number of model-modifications are discussed that might help to overcome this deficiency.

Di. 15:40 Raum 57.05

Binaurales Hören I

### **Inkorrekte Hörereignis-Lokalisiertheit bei Sequenzen von schmalbandigen Schallereignissen**

F. Menzer und C. Faller

*Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)*

Der Präzedenz-Effekt beschreibt die wahrgenommene Lokalisationsdominanz eines Schalleignisses über ein etwa 2 ms - 50 ms später eintreffendes Schallereignis. Auf ähnliche Art und Weise können auch bei Sequenzen von schmalbandigen, über 100 ms langen Rauschpulsen, die von unterschiedlichen Positionen ausgesendet werden, signifikante Abweichungen der Position des Hörereignisses von den realen Positionen der Schallquellen festgestellt werden. Dieser Effekt kann teilweise von einem auditorischen Lokalisations-Modell (Faller und Merimaa, 2004) erklärt werden.

Di. 16:30 Raum 57.05

Binaurales Hören I

### **Localization of Incoherent Narrow-Band Noise Bursts**

J. Merimaa<sup>a</sup> und C. Faller<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Helsinki University of Technology*; <sup>b</sup>*Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)*

The localization of brief interaurally incoherent narrowband noise bursts was studied. The stimuli consisted of 15 dichotic 'frozen' noise bursts at center frequencies of 500 Hz and 2 kHz with an average ILD of 0 dB and interaural waveform coherence below

0.05. Although the occurring instantaneous localization cues varied considerably over time, all stimuli were localizable. Many of the stimuli were localized displaced from the median plane. The general localization trends could be predicted using a weighted sum of the ITD and ILD cues obtained with the binaural cue selection model [Faller and Merimaa (2004)].

Di. 16:55    Raum 57.05

Binaurales Hören I

### **Phasendifferenz-Repräsentation   binauraler   Zeit-Disparitäten**

M. Dietz, S. Ewert und V. Hohmann

*Medizinische Physik, Universität Oldenburg*

Während das klassische Jeffress-Modell zur Repräsentation binauraler Zeit-Disparitäten durch Zeitverzögerungsketten und nachfolgende Koinzidenzdetektion bei Vögeln weitgehend bestätigt ist (z.B. für Schleiereulen), legen neuere physiologische Daten für einige Säugetiere eher eine Repräsentation mittels interauraler Phasendifferenzen nahe. Psychoakustische und elektro-physiologische Daten beim Menschen zeigen ein uneinheitliches Bild, so dass zur kohärenten Modellbildung weitere Grundlagenforschung notwendig erscheint. Dieser Beitrag untersucht dazu die Detektierbarkeit binauraler Differenzen bei Stimuli mit zeitlich fluktuierenden binauralen Zeit-Disparitäten (,double-delayed noise' und breitbandige ,binaural beat' Stimuli). Ein Signalverarbeitungsmodell zur gehörgerechten, frequenzgruppen basierten Extraktion interauraler Phasendifferenzen (IPD) aus dem binauralen Signal wird vorgestellt und anhand psychoakustischer Daten evaluiert. Das Modell liefert prinzipiell eine dreidimensionale Abbildung der IPD über Zeit und Mittenfrequenz der auditorischen Filter. Zur Auswertung dieses "binaural displays" kann die zeitliche Fluktuation der IPD in Frequenzbändern durch Histogramme erfasst und die Detektierbarkeit anhand von Veränderungen der Histogramme abgeschätzt werden. Alternativ lassen sich auch Histogramme über verschiedene Frequenzgruppen bilden. Durch Variation der interauralen Parameter (Zeit- oder Phasendifferenzen) und der Bandbreite der Signale soll untersucht werden, welche Art der Auswertung die Daten realistisch beschreiben kann. Besonders interessant ist hier die Fragestellung ob IPDs oder daraus abgeleitete interaurale Zeitdifferenzen über Frequenzgruppen kombiniert werden. Eine Schwierigkeit besteht darin, dass die Auswertung der Histogramme aufgrund der Mehrgipfeligkeit der Verteilungen mit etablierten Methoden,

z.B. der Signal-Entdeckungstheorie, nicht gelingt. Mögliche Lösungen werden vorgestellt und diskutiert.

Di. 17:20 Raum 57.05

Binaurales Hören I

### **Sensitivity to ITD Changes in a Binaural Detection Model**

A. Kohlrausch<sup>a</sup>, N. Le Goff<sup>b</sup> und J. Breebaart<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Philips Research Laboratories Eindhoven;* <sup>b</sup>*Technische Universiteit Eindhoven, Human-Technology Interaction*

In this contribution, we analyze the binaural model, proposed by Breebaart, van de Par and Kohlrausch in 2001, for its ability to predict just noticeable differences in interaural time differences (ITDs). This model is conceptually similar to crosscorrelation models, and the relevant model property for ITD detection is its internal delay line. We first study, which point along the internal delay axis changes most when the ITD of a sinusoidal stimulus changes. There are two candidate positions: First, the position where the crosscorrelation function of the reference stimulus has its maximum (e.g., zero ms for a stimulus without any ITD), and secondly a point at which the crosscorrelation function has its steepest slope, which is at a delay corresponding to a quarter period of the stimulus. With this analysis, we can also compare the model's thresholds depending on the considered positions. A second question of interest is how the model deals with stimulus randomness in ITD experiments. From perception experiments it is known that the thresholds for sinusoidal stimuli and for narrow-band random-noise stimuli with the same center frequency are very close.

Di. 17:45 Raum 57.05

Binaurales Hören I

### **Effect of Frequency Region on Sensitivity to Interaural Delay in High-Frequency Clicks**

B. Laback und P. Majdak

*Institut für Schallforschung, Wien*

Laback et al. (2005) and Majdak et al. (2005) showed that bilateral cochlear implant (CI) listeners lateralize pulse trains based on interaural time differences (ITD) in the fine structure. For three out of four CI listeners, the highest pulse rate showing effects of fine structure ITD was higher than in normal hearing (NH) subjects listening to an acoustic simulation of electric stimulation. This study attempted to verify that the NH listeners' performance was not underestimated by a potentially unfavorable choice of the center frequency of the stimulus (4590 Hz) based on the following hypothesis: if the ringing of the auditory filters limits ITD

perception at higher pulse rates, the maximum pulse rate showing significant effects of ITD will increase with increasing center frequency. Rectangularly gated pulse trains carrying ongoing ITD were bandpass filtered, simulating electric hearing. Lateralization discrimination was tested at different pulse rates (200 to 800 pulses per second) and center frequencies (4590, 6490, 9180 Hz). The maximum pulse rates showing significant effects of ITD did not vary with center frequency. It is concluded that the auditory filters of NH listeners do not limit ITD perception in pulse trains for center frequencies down to 4590 Hz. Thus, the comparison between NH and CI listeners in the cited studies appears not to be confounded by the cochlear filters. References: Laback, B., Majdak, P., Baumgartner., W.D. (2005), 28th Midwinter Meeting of the Association for Research in Otolaryngology. Majdak, P., Laback, B., Baumgartner., W.D. (2006), J. Acoust. Soc. Am. 120, 2190-2201.

Di. 18:10    Raum 57.05

Binaurales Hören I

### **Untersuchungen zu Gehörgangsimpedanzen bei Kindern und Erwachsenen**

J. Fels, L. Feickert und J. Paprotny

*Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen*

Für die Messung und Entwicklung von Hörgeräten werden so genannte Kuppler verwendet. Messungen an diesen Kupplern sollen im Idealfall die gleichen Messergebnisse liefern wie Messungen am Ohrkanaleingang. Für Erwachsenen gibt es standardisierte Kuppler, die für Anpassmessungen von Hörgeräten geeignet sind. Für Kinder gibt es dort bislang keine geeignete Lösung. Um für Kinderohren adäquate Kuppler entwickeln zu können, ist die Kenntnis von Gehörgangsimpedanzen und -volumina nötig. In diesem Beitrag werden Verfahren vorgestellt, um Gehörgangsimpedanzen von Kleinkindern wie auch Erwachsenen messtechnisch und durch Simulation bestimmen zu können.

Der messtechnische Ansatz besteht hierbei aus einer Messung mit einer Impedanzmesssonde am Ohrkanaleingang. Für die Simulation der Gehörgangsimpedanz wird die Geometrie der Gehörgänge aus CT-Daten gewonnen, aus denen dann CAD-Modelle erstellt werden, mit denen eine Simulation möglich ist. Erste Ergebnisse werden vorgestellt.

Di. 14:00 Raum 57.06

Kavitation und Blasen

**Lokale Konzentration von akustischen Kavitationsanzeigern in technischen Ultraschallfeldern**C. Koch, P. Pätzold und K.-V. Jenderka*Physikalisch-Technische Bundesanstalt*

Bei der quantitativen Analyse von technischen Ultraschallprozessen z.B. für die Reinigung oder Sonochemie spielen Schallfeldmessungen und die Bestimmung spektraler Parameter wie Subharmonische und Kavitationsrauschen eine wesentliche Rolle. Bei der räumlich aufgelösten Untersuchung von Feldern in Reinigungsbädern zeigte sich eine extrem starke Lokalisierung aller Parameter, die sich z.B. in einer detailreichen Wiedergabe von Stehwellenstrukturen bei Harmonischen oder breitbandigem Rauschen zeigte. Die daraus resultierende - unerwartete - Schlussfolgerung, dass dann akustische Kavitationsparameter sehr stark lokalisiert sind und eine einfache Schallfeldmessung sehr aussagekräftig über die räumliche Verteilung der Kavitationsaktivität ist, wurde genauer untersucht. Dazu wurden zwei vollkommen baugleiche, sehr robuste Hydrophone hergestellt und kalibriert, die im Schallfeld verschiedener Hochleistungswandler genau gegenüber positioniert wurden. Ein Oszilloskop detektierte danach die zeitlichen Verläufe der beiden Hydrophonsignale in Abhängigkeit vom Abstand der Hydrophone zueinander. Unter Auswertung der Kreuzspektren wurde die Kohärenz als Maß für die Korrelation der gemessenen Signale bestimmt. Es zeigte sich, dass die Korrelation sehr stark und schnell mit zunehmendem Abstand abfiel.

Damit konnte gezeigt werden, dass Schallfeldgrößen in kavitierenden Feldern räumlich sehr begrenzt sind. Hydrophonmessungen liefern korrekte Ergebnisse und können ohne weitere Hilfsmittel zur Einschätzung der lokalen Kavitationsaktivität eingesetzt werden.

Di. 14:25 Raum 57.06

Kavitation und Blasen

**Messergebnisse für Kavitationsrauschpegel mit Leitungs- und deionisiertem Wasser sowie mit Feststoffsuspensionen dieser Medien**R. Sobotta und C. Jung*Elma GmbH & Co KG*

Zur Validierung und Überprüfung von Ultraschallreinigungsgeräten und -anlagen kann das hochfrequente Rauschen, das durch



Kavitation erzeugt wird, ausgewertet werden. Das für diese Untersuchungen verwendete Messverfahren zur Ermittlung des Kavitationsrauschpegels wird vorgestellt.

Der in deionisiertem Wasser bei Raumtemperatur im Gleichgewicht mit der Umgebung gemessene Kavitationsrauschpegel wird als Bezugswert gewählt. Da die Kavitationsstrukturen zeitvariant sind und die Flüssigkeitsparameter (z.B. Gasgehalt) sich bei Beschallung zeitlich verändern, wird auch die zeitliche Änderung des gemessenen Kavitationsrauschpegels ermittelt. Diese Ergebnisse werden anschließend mit den entsprechenden Messwerten in Leitungswasser verglichen.

Durch Zusatz von pulverförmigem Feststoffen (z.B. Gips, Kalkstein, Siliziumcarbid) werden das deionisierte und das Leitungswasser modifiziert. Der Einfluss dieser Modifikation auf den Kavitationsrauschpegel und dessen Zeitverhalten wird ermittelt und vorgestellt.

Abschließend werden die Ergebnisse mit Bezug auf ihre Auswirkung für die Ultraschallreinigung diskutiert.

Di. 14:50    Raum 57.06

Kavitation und Blasen

### **Imaging of the Influence of Surfactants on Bubble Structures**

R. Mettin<sup>a</sup>, M. Ashokkumar<sup>b</sup>, G. Price<sup>c</sup>, D. King<sup>c</sup> und W. Lauterborn<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Drittes Physikalisches Institut, Universität Göttingen*; <sup>b</sup>*School of Chemistry, University of Melbourne*; <sup>c</sup>*Department of Chemistry, University of Bath*

The influence of surfactants on ultrasonic cavitation effects has recently been investigated in greater detail. Among others, variations in sonoluminescence and acoustic spectra have been attributed to inhibition of bubble clustering. While the theoretical reasoning is well in accordance to experiments, a direct confirmation of bubble structure change has not been given yet. We report on high-speed imaging experiments with the aim of direct observation of bubbles in different surfactant solutions and at different acoustic frequencies.

Di. 15:15 Raum 57.06

Kavitation und Blasen

**Messtechnische Untersuchungen der Kavitationswirkung in der Ultraschallreinigung**J. Strobel<sup>a</sup>, N. Bretz<sup>a</sup>, M. Staudacher<sup>b</sup> und R. Lerch<sup>a</sup><sup>a</sup>*Lehrstuhl für Sensorik, Universität Erlangen-Nürnberg;* <sup>b</sup>*Robert Bosch GmbH*

Ultraschall hoher Intensität wird in der industriellen Fertigung in vielseitigen Anwendungsgebieten eingesetzt. Von besonderer Bedeutung ist hierbei die ultraschallunterstützte Tauchreinigung. Dabei besteht in der Feinstreinigung präzisionsgefertigter Bauteile die Forderung nach erhöhter Reinigungsqualität bei gleichzeitig verkürzten Prozesszeiten. Der Hauptreinigungseffekt wird durch die bei der entstehenden Kavitation auftretenden Mechanismen erzielt. Zur Charakterisierung des Reinigungseinflusses durch Kavitationserscheinungen wie Blasenverhalten und Erosionswirkung sind eine präzise Kenntnis der Einflussparameter und ein quantifizierbares Reinigungsmaß erforderlich.

Es wird eine entwickelte Testschicht für Kavitationserosion auf Bauteiloberflächen vorgestellt. Diese besteht aus einem galvanisch aufgetragenen Mehrschichtaufbau, der eine Anpassung an praxisrelevante Reinigungszeiten ermöglicht. Mit einem Bildauswerteverfahren kann die kavitationsbedingte Testschichtablösung in ein von subjektiven Einflüssen unabhängiges Reinigungsmaß übertragen werden. Durch verschiedene Messverfahren werden die Testschichteigenschaften und deren Reproduzierbarkeit ermittelt. Es werden Reinigungsuntersuchungen vorgestellt, mit denen die Anpassung der Schichteigenschaften an verschiedene praktische Anforderungen wie Gleichmäßigkeit der Reinigung oder benötigte Reinigungsdauer gezeigt werden kann. Die resultierende Reinigungswirkung ist stark von Einflussgrößen wie eingebrachter Leistung, Gasgehalt oder Oberflächenspannung des Mediums abhängig. Es werden Ergebnisse präsentiert, die den Einfluss dieser Größen auf Schallfeld und Kavitationswirkung darstellen. Aus den Ergebnissen werden optimierte Parameter für die Ultraschallreinigung abgeleitet.

Di. 15:40 Raum 57.06

Kavitation und Blasen

**Ultraschallreinigung von getauchten Membranen zur Aufbereitung von Trinkwasser aus Oberflächenwasser**S. Lauterborn<sup>a</sup>, M. Wagner<sup>a</sup>, W. Urban<sup>a</sup>, C. Jung<sup>b</sup> und R. Sobotta<sup>b</sup><sup>a</sup>*Institut WAR, TU Darmstadt;* <sup>b</sup>*Elma GmbH & Co KG*

Mikro- und Ultrafiltrationsanlagen haben in jüngerer Zeit einen exponentiellen Anstieg zu verzeichnen. Diese Technik bietet bei geringen erforderlichen transmembranen Druckdifferenzen eine sehr hohe Sicherheit bezüglich der Elimination von partikulären Inhaltsstoffen und pathogenen Keimen. Weiterhin sind zahlreiche Membranmaterialien mit unterschiedlichsten Eigenschaften, sowie daraus resultierenden unterschiedlichen Modultypen verfügbar, die damit genau auf den Anwendungsfall abgestimmt werden können. Eine grundsätzliche Problematik stellen aber Fouling und Scaling auf Membranoberflächen dar, die die Leistungsfähigkeit der Membranen in kurzer Zeit vermindern können. Da hier meist ein erheblicher Einsatz von Chemikalien notwendig wird, wurde eine zweistraßige Versuchsanlage mit getauchten Membranen und einer Leistung von 400 l/h und Straße entwickelt, bei der auf Chemikalien verzichtet wurde. Stattdessen werden die Membranmodule, die reales Oberflächenwasser aus dem Rhein filtrieren, mit Wasser und Luftüberströmung rückgespült und eines zusätzlich mit Ultraschall behandelt. Wie der Ultraschall auf die Membran wirkt, welche Reinigungsleistung erzielt werden kann und ob er die Trennleistung der Membran beeinflusst, soll dargestellt werden. Dazu wird über eine Online-Trübungsmessung und Partikelzählung sowie über eine Messung chemisch-mikrobiologischer Parameter eine Qualitätskontrolle des Permeates vorgenommen. Vorversuche hatten bereits ergeben, dass die polymeren Membranmaterialien bei bestimmten Frequenzen nicht zerstört werden, aber dennoch abgereinigt werden können.

Di. 16:30 Raum 57.06

Kavitation und Blasen

**Untersuchung von Kavitation an sehr kleinen Ultraschallwandlern**T. Nowak, R. Mettin und W. Lauterborn*Drittes Physikalisches Institut, Universität Göttingen*

Ein fundamentales Problem in der Beschreibung sowie der Anwendung von Kavitation ist ihre Skalierung bzw. in vielen Fällen ihre 'Nicht-Skalierbarkeit'. Im Falle akustischer Kavitation bezieht

sich das insbesondere auf die Schallfrequenz, deren Variation oft zu sogenannten 'Frequenzeffekten', also qualitativen Übergängen der sich einstellenden Phänomene führen kann. Beispiele bilden z.B. bestimmte chemische Reaktionen oder Emulsifikationen, die im unteren kHz-Bereich anders ablaufen als im unteren MHz-Bereich. Grundlage hierfür können nicht nur die bekannten Unterschiede in Bezug auf Kavitationskeimgrößen, Viskositätseffekte oder Volumeneindringtiefen des Ultraschalls bilden, sondern auch die konkrete Auslegung des Schallwandlers. Um diesen Einfluss besser zu verstehen wird hier das Kavitationsverhalten an relativ untypischen Wandlern untersucht, nämlich an sub-Millimeter-Emittern im unteren MHz-Bereich. Untersuchungsmethoden sind mikroskopische Hochgeschwindigkeitsaufnahmen, akustische Emissionsmessungen und Lumineszenzmessungen.

Di. 16:55    Raum 57.06

Kavitation und Blasen

### **Raum-zeitliche Untersuchung von Sonolumineszenz und Sono-Chemolumineszenz**

A. Otto, R. Mettin und W. Lauterborn

*Drittes Physikalisches Institut, Universität Göttingen*

Die Lichtemission kavitierender Flüssigkeiten wird oft im zeitlichen und räumlichen Mittel bestimmt, da sie nur sehr geringe Intensitäten aufweist. Mit bildverstärkten Optiken kann man allerdings die Mittelungszeiten für räumliche Aufnahmen verkürzen. Zudem ist durch phasenstarr schaltbare, kurze Belichtungszeiten eine zeitliche Mittelung über synchrone Teilintervalle der Anregungsperiode realisierbar (vgl. Ohl et al., DAGA'96). Entsprechend wird in dieser Arbeit versucht, durch abbildende Lumineszenzmessungen Informationen über Blasenaktivität in bestimmten Blasenstrukturen zu gewinnen. Ein Ergebnis ist, dass in einer Stehwelle in Wasser bei 25 kHz die Emission von Luminol (Sono-Chemolumineszenz) räumlich und zeitlich gewissermaßen diffuser auftritt als die Sonolumineszenz. Dies wird im Zusammenhang mit der Sphärizität und der chemischen Aktivität von Kavitationsblasen diskutiert.

Di. 17:20    Raum 57.06

Kavitation und Blasen

### **Chemische Entwicklung in Laser-induzierten Blasen**

D. Schanz, T. Kurz und W. Lauterborn

*Drittes Physikalisches Institut, Universität Göttingen*

Durch Fokussierung eines kurzen Laser-Pulses in einer Flüssigkeit kann durch optischen Durchbruch eine einzelne Blase zu exakt bestimmter Zeit an wohldefiniertem Ort erzeugt werden.

Diese Methode wurde ausführlich zur Untersuchung der Blasen-dynamik unter verschiedenen Umständen genutzt. Ebenso wird sie auch z.B. in der Laser-induzierten Breakdown-Spektroskopie oder der Laser-Ophthalmologie (Augenheilkunde) angewandt. In diesem Beitrag werden die gekoppelte hydrodynamische und chemische Entwicklung einer Laser-induzierten Blase in Wasser untersucht. Dies geschieht numerisch, genauer mittels Molekular-dynamiksimulation des Blaseninneren und Kontinuumssimulation des Blasenäußeren.

Es werden zwei unterschiedliche Szenarien betrachtet:

- (i) eine kurzlebige Blase, welche sich nach kurzem Nachschwingen auflöst,
- (ii) eine in ein Ultraschallfeld gesetzte Blase, die in eine stabil oszillierende Blase übergeht.

Die räumliche und zeitliche Entwicklung von Temperatur, Druck und Spezies-Konzentrationen in der kollabierenden Blase werden für unterschiedliche Fälle (Laserenergie, Schallfeld, Phase des Pulses relativ zur Periode der Anregung) dargestellt. Hervorgehoben werden dabei die Thermo- und Chemodynamik während des ersten Kollapses und die dort erzielten chemischen Ausbeuten. Für Fall (ii) wird die chemische Entwicklung der Blase über mehrere Anregungszyklen betrachtet.

Di. 17:45    Raum 57.06

Kavitation und Blasen

### **Bjerkneskräfte und gleichgerichtete Diffusion in laufenden und stehenden Wellenfeldern**

J.O. Claussen, R. Mettin und W. Lauterborn

*Drittes Physikalisches Institut, Universität Göttingen*

Der Lebenszyklus von Kavitationsblasen in Ultraschallfeldern wird theoretisch untersucht. Wesentlichen Einfluss haben hierbei die akustischen Kräfte (Bjerkneskräfte), die zu teilweise sehr schneller Translation im Raum sowie zu gegenseitiger Blasenanziehung führen. Ebenfalls zentral ist die Gasdiffusion in die Blase hinein bzw. aus der Blase heraus. Das ändert die Blasengröße und damit deren Schwingungsverhalten. Unter der Annahme nichtlinearer, aber kugelförmiger Oszillationen der Blasen werden relevante Parameterbereiche für stehende und laufende Wellen sowie ihre Überlagerungen untersucht und diskutiert. Ein wichtiges Ergebnis ist die effektive Absenkung der Druckschwelle für gleichgerichtete Diffusion durch Bjerkneskraft-Effekte in stehenden Wellen.

Di. 18:10 Raum 57.06

Kavitation und Blasen

**Modellierung der Translation akustischer Kavitationsblasen**P. Koch, R. Mettin und W. Lauterborn*Drittes Physikalisches Institut, Universität Göttingen*

In den letzten Jahren wurde verstärkt Translation und Wechselwirkung akustischer Kavitationsblasen im unteren kHz-Bereich experimentell und theoretisch untersucht. Dieser Beitrag diskutiert den derzeitigen Stand der sogenannten Partikelmodellierung, d.h. der Nachbildung auch komplexerer Vielblasenstrukturen durch ein Ensemble von Einzelblasen. Grundlage bilden hierbei die Bjerkneskräfte, die für sphärische nichtlineare Blasenpulsationen berechnet werden. In Systemen weniger Blasen wurden die Modellannahmen verifiziert und anhand dreidimensionaler experimenteller Daten mit vielen Blasen weiter untersucht. Schließlich wurde auch die Rückwirkung der Blasenverteilung auf das Schallfeld durch eine modifizierte Wellengleichung berücksichtigt. Neben einem Überblick über Modellvoraussetzungen, Idealisierungen, Stärken und Erfolge des Partikelansatzes kommen auch Problematiken und zukünftige Erweiterungen zur Sprache.

## Fachvorträge und Poster am Mittwoch

Mi. 8:30    Raum 38.02

Thermo- und Strömungsakustik I

### **CAA Calculations of Aero- and Hydrodynamically Induced Noise**

I. Pantle und M. Gabi

*Universität Karlsruhe, Fachgebiet Strömungsmaschinen*

The authors aim to use CAA like methods for the prediction of rotating machinery noise induced by its aero- as well as hydrodynamical flow. CAA - Computational Aero-Acoustics are high order finite difference methods, especially designed for the field-wise computation of aero-dynamically generated wave propagation. The method is well established in aircraft noise investigation, such as noise generated by aircraft wings. However, in the context of rotating machinery, especially when it comes to internal flows, several additional problems arise: The interaction between steady and unsteady parts must be captured properly, as well as the developing modes. From a numerical point of view, special caution has to be taken to apply hybrid CAA for liquid flows. With hybrid CAA, flow solvers are required for the determination of the acoustical sources. Since typical flow solvers for liquids are based on incompressible equations, shock waves can not be captured. However, appearing shock waves in hydraulic systems require compressible equations which need special treatment in the low Mach number region. The liquid flow might have an impact on the casings, which would require flow-structure interaction methods. Effects on the wave propagation are yet to be investigated. CAA uses high accuracy and low dispersive numerical methods for the field-wise acoustic calculation. However, the accuracy of the flow calculation has a major impact on the acoustical calculation. Within this contribution, approaches of using CAA for both aero- and hydro-dynamically generated noise will be presented and will be discussed in the context of fluid machinery.

Mi. 8:55 Raum 38.02

Thermo- und Strömungsakustik I

**Hybrid Computation of Flow-Induced Noise using the FE Method**M. Escobar<sup>a</sup>, M. Kaltenbacher<sup>a</sup>, S. Triebenbacher<sup>a</sup>, I. Ali<sup>b</sup>, S. Becker<sup>b</sup> und R. Lerch<sup>a</sup><sup>a</sup>*Lehrstuhl für Sensorik, Univ. Erlangen-Nürnberg;* <sup>b</sup>*Lehrstuhl für Strömungsmechanik, Univ. Erlangen-Nürnberg*

We present a numerical scheme for the efficient simulation of flow-induced noise. To resolve the turbulent flow, we employ a finite volume code following LES turbulence model. For the computation of the radiated sound field we solve Lighthill's acoustic analogy by means of the Finite Element method. The coupled region, corresponding to the fluid domain, has different discretizations on both sides of the computation and interpolation of the data is performed employing a conservative scheme. Acoustic sources are computed by means of the Finite Element method from the velocity components directly on the fine fluid resolution. The resulting scalar values are interpolated as acoustic nodal loads to the acoustic grid. The acoustic propagation can be solved both in time as well as in frequency domain. While the transient simulation is of importance to better understand some of the sound generation mechanisms, the harmonic analysis provides a practical way for computing the acoustic field for the relevant frequency components avoiding high frequency numerical noise in the solution. Additionally, in the latter analysis, the Perfectly Matched Layer method is employed, which efficiently reduces reflections on the acoustic boundary. We validate the implementation computing the acoustic field induced by a co-rotating vortex pair and comparing the results with the analytical solution. Finally, numerical examples are presented of the sound generated by turbulent flows around cylinders with different geometric configurations. Besides the numerical investigations, measurements for the same configurations are carried out in an aeroacoustic wind tunnel located at the university.

Mi. 9:20 Raum 38.02

Thermo- und Strömungsakustik I

**Numerische Untersuchungen zur Entstehung und Ausbreitung von Schall in einer Kreiselpumpe**A. Schulze<sup>a</sup>, O. Von Estorff<sup>a</sup>, A. Jantzen<sup>b</sup> und R. Schilling<sup>b</sup><sup>a</sup>*Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Modellierung und Berechnung;* <sup>b</sup>*TU München, Lehrstuhl für Fluidmechanik*



Die Geräuscentstehung beim Betrieb von Kreiselpumpen ist sehr komplex und bis heute noch nicht hinreichend bekannt. Basierend auf den Strömungsvorgängen im Inneren der Pumpe erfolgt die Ausbreitung und Abstrahlung des Schalls sowohl durch die Pumpe selbst als auch durch das Fördermedium und die sich anschließenden Rohrleitungen.

Im Rahmen eines gemeinsamen Projektes der TU München und der TU Hamburg-Harburg wurden Möglichkeiten zur Modellierung des strömungsinduzierten Lärms mit Hilfe einer gekoppelten Berechnung aus inkompressibler Strömungslösung und akustischer Analogie untersucht.

In dem gegenwärtigen Beitrag werden erste Ergebnisse der numerischen Simulation von Schallentstehung und -ausbreitung in einer Kreiselpumpe vorgestellt. Aufbauend auf den Ergebnissen einer dreidimensionalen inkompressiblen Strömungssimulation, die mit der Software NS3D der TU München erfolgte, werden zunächst die akustischen Quellterme im Pumpeninneren ermittelt. Anschließend wird mit Hilfe der Boundary-Elemente-Methode (BEM) die Schallausbreitung im Fluid basierend auf der aeroakustischen Analogie nach Lighthill modelliert. Die Ergebnisse aus der gekoppelten Simulation werden mit Messergebnissen verglichen und die Möglichkeiten und Grenzen dieses Vorgehens diskutiert.

Mi. 9:45    Raum 38.02

Thermo- und Strömungsakustik I

### **Application of a hybrid method for an efficient prediction of flow-induced noise**

P. Martinez<sup>a</sup> und O. Flores Santiago<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*LMS International*; <sup>b</sup>*LMS Deutschland GmbH*

The capabilities of a hybrid method based on the aeroacoustical analogy for the sound produced by flow-body interaction are demonstrated in this work. While having been applied successfully in the past to numerous engineering problems, Curle's analogy calls for refinement when applied to confined flows. In such configurations, the solid surfaces play a dual role: as sources and as scattering entities. This issue becomes crucial when sound is produced at frequencies large enough to have non-compactness effects. The purpose is to exploit at best the computational efficiency of Curle's analogy, and extend its applicability to predict the sound produced in large duct systems (e.g. HVAC systems) and with a broad range of frequencies. In the present work, the acoustical propagation and scattering is handled by the software SYSNOISE Rev5.6. An innovative component of this work is

the specific interpretation of the CFD data as equivalent sources, which was implemented in the Boundary Element Method (BEM) of SYSNOISE. This method permits to decouple the source and scattering effects of the duct surfaces. This innovative methodology is applied to a two-dimensional case of a cylinder in cross-flow installed in an infinite duct. The two-dimensional computation for a free cylinder flow is firstly presented. The software FLUENT v6.2 is used to predict the unsteady wake behind the cylinder at a Reynolds number of 100. Finally, the acoustic prediction for the ducted cylinder are presented and demonstrate the performance of our method compared to classical analogies.

Mi. 10:10    Raum 38.02    Thermo- und Strömungsakustik I

### **On the Simulation of Electro Pneumatic Transducers**

A. Jakob und A. Manners

*Institut für Strömungsmechanik u. Technische Akustik, TU Berlin*

This paper presents numerical simulations of the flow and acoustic fields of an Electro Pneumatic Transducer (EPT) which is a device for generating an acoustic field by passing air through a set of holes in a pair of plates and oscillating one plate relative to the other in order to change the effective flow area. A recent paper [A. Jakob, M. Möser, Nonlinear Models of Electro Pneumatic Transducers for use in Feedforward Active Noise Control Schemes, Active 2006, Adelaide] considered an EPT as part of an active noise control project but the acoustic response of the tested EPTs proved to be significantly nonlinear. In order to improve the overall control model a better model for the sound source component is required and is the focus of the work presented here. A Large Eddy Simulation model is used to study the detailed flow through the device and the corresponding acoustic field is determined via an acoustic analogy.

Mi. 14:00    Raum 38.02    Thermo- und Strömungsakustik I

### **Direkte numerische Simulation des Vorderkantenschalls mit dem Lattice-Boltzmann-Verfahren**

A. Wilde

*Fraunhofer Institut Integrierte Schaltungen/EAS*

Das Ziel der vorgestellten Untersuchung ist, die Simulation der Schallerzeugung und Abstrahlung mit Hilfe des Lattice-Boltzmann-Verfahrens zu validieren. Zunächst wurden die Dispersionseigenschaften des Lattice-Boltzmann-Verfahrens hinsichtlich der Schallausbreitung in einer theoretischen Analyse

untersucht. Es stellt sich heraus, dass die untersuchten Lattice-Boltzmann-Modelle bei einer Auflösung von 10 Gitterpunkten pro Wellenlänge einen Dispersionsfehler von 1 % aufweisen, bzw. 0,1 % bei 30 Punkten pro Wellenlänge. Für das Problem der Schallerzeugung und Abstrahlung der Wechselwirkung eines Wirbels mit der Vorderkante einer unendlich dünnen, halbunendlichen Platte in zwei Dimensionen existieren sowohl analytische Lösungen als auch geeignete Formulierungen akustischer Analogien, daher wurde dies Problem als Testfall ausgewählt. Die Strömung wurde mit einem eigenen Code zweidimensional simuliert. Die Schallerzeugung und Abstrahlung wurde auf drei Arten berechnet: Erstens wurden die Druckschwankungen direkt aus dem numerisch simulierten Strömungsfeld benutzt, zweitens wurde das simulierte Geschwindigkeitsfeld als Eingabe für eine akustische Analogie genutzt. Drittens wurde eine analytische Abschätzung nach Howe ausgewertet. Die Ergebnisse zeigen gute quantitative Übereinstimmung. Insbesondere skalieren die für verschiedene Anström- und Wirbelumfangsgeschwindigkeiten erzielten Ergebnisse so wie nach theoretischen Überlegungen erwartet. Auch die Richtcharakteristik des abgestrahlten Schalls stimmt gut mit theoretischen Erwartungen überein.

Mi. 14:25    Raum 38.02    Thermo- und Strömungsakustik I

### **Schallabstrahlung von kugelsymmetrischen Flammen**

R. Piscoya und M. Ochmann

*Technische Fachhochschule Berlin, Fachbereich II*

Akustische Messungen an offenen turbulenten Flammen mit kleinen Machzahlen zeigen, dass das Geräusch reaktiver Strömungen, d.h. von Strömungen mit Verbrennung, hauptsächlich von monopolartigen Quellen erzeugt wird. Daher besteht ein einfaches Model einer Flamme aus einem kugelförmigen Volumen heißer Luft, das eine gewisse akustische Quellverteilung enthält und von kälterer Luft umgeben ist. Wenn die Quellverteilung nur vom Abstand zum Ursprung abhängt, kann das ursprünglich dreidimensionale Problem auf ein eindimensionales Problem reduziert und für spezielle Quellverteilungen analytisch gelöst werden. In der vorliegenden Arbeit werden numerische Verfahren wie die Dual Reciprocity Boundary Element Method entwickelt, um das Volumenintegral der Quellfunktion in geeigneter Weise auszuwerten. Die Genauigkeit der Methode wird durch den Vergleich der analytischen mit der numerischen Lösung überprüft.

Ein weiterführendes Ziel dieser Untersuchung ist es, die numerische Methode so zu erweitern, dass sie auch auf Quellverteilungen mit beliebiger Geometrie anwendbar ist.

Mi. 14:50    Raum 38.02    Thermo- und Strömungsakustik I

### **Entropieschall - Eine Parameterstudie zur Entstehung von indirektem Verbrennungsschall**

F. Bake, U. Michel und I. Röhle

*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt*

In Verbrennungssystemen wie zum Beispiel in Triebwerken unterscheidet man zwischen direktem Verbrennungsschall, der an den instationären Verbrennungsprozess bzw. an die instationäre Wärmefreisetzung gekoppelt ist, und indirektem Verbrennungsschall oder auch Entropieschall. Entropieschall entsteht durch beschleunigte Temperatur- bzw. Entropiestörungen im Brennkammerausritt (Ausströmung mit  $Ma = 1$ ) von Triebwerken. Die somit beschleunigten Entropiewellen verursachen dann eine Massenstromschwankung (Monopolquelle) sowie eine Impulsstromschwankung (Dipolquelle). Der Einfluss verschiedener Parameter auf die Entstehung von Entropieschall oder auch indirektem Verbrennungsschall wurde untersucht. Dafür wurde ein generischer Referenzversuch, genannt Entropiewellengenerator (EWG), aufgebaut, bei dem in einer Rohrströmung durch elektrisches Heizen von sehr dünnen Platindrähten künstlich Entropiewellen eingebracht werden. Stromab des Heizmoduls wird die Strömung in einer konvergent-divergenten Düse auf eine Machzahl von bis zu  $Ma = 1,2$  beschleunigt. Der entstehende Entropieschall wird dann in dem Rohrabschnitt stromab der Düse mit wandbündig eingebauten Mikrofonen erfasst und aufgezeichnet. Der Versuchsstand ermöglicht die Variation vieler verschiedener Parameter, wie Massenstrom, Düsenmachzahl, Heizleistung, Lauflänge zwischen Heizmodul und Düse sowie Art der Anregung (periodisch, pulsartig oder kontinuierlich). Die Ergebnisse zeigen einen etwa linearen Anstieg der Entropieschallamplitude mit der Amplitude der Temperatur- bzw. Entropiestörung sowie einen Anstieg des Entropieschalls mit der Düsenmachzahl. Die Resultate wurden mit einer eindimensionalen Theorie zur Vorhersage von Entropieschall verglichen und zeigen zum Teil eine gute Übereinstimmung. Das erhöhte Interesse an den Entstehungsmechanismen von Entropieschall begründet sich auf der großen Bedeutung für die Gesamtschallabstrahlung von Brennkammersystemen. Durch die erreichten Lärmreduktions-Maßnahmen an

den verschiedenen Komponenten des Triebwerks, z.B. beim Bläserdesign oder im Bereich des Strahlärms durch Vergrößerung des Mantelstroms, gehört Brennkammerlärm zu den zukünftig potentiell relevanten Triebwerksschallquellen.

Mi. 15:15    Raum 38.02

Thermo- und Strömungsakustik I

### **A Stable Time Explicit Impedance Model and its Applications**

C. Richter und F. Thiele

*Institut für Strömungsmechanik u. Technische Akustik, TU Berlin*

Passive acoustic treatment allows very large levels of noise reduction today, not only in aircraft nacelle design. On the other hand time explicit, numerical methods have gained popularity in Computational Aeroacoustics (CAA) over the last two decades. As a consequence there is a high demand for accurate, easy to use time domain impedance models for subsonic parallel flow conditions. The boundary layer effects of overflowed hard walls are usually not considered in acoustic models of the in duct wave propagation. For many applications the resolution of a small boundary layer would dramatically increase the problem size, without significant enhancement of the simulated large scale acoustic properties. However, the boundary layer significantly changes the effective impedance of the treated surface, which is usually modeled by the Myers boundary condition. Unfortunately this model was shown to contain an instability under non-zero flow conditions. This instability is removed by a fully equivalent modification of the original Myers boundary condition in the presented approach. With this modification a stable time explicit impedance model is implemented together with a time explicit, high order CAA method based on the DRP scheme. The frequency responses of the surface impedance is modeled as a single cavity Helmholtz resonator. Two and three dimensional simulations of the in duct wave propagation with subsonic mean flow show the capability of the presented approach. In the context of accompanying simulations for experiments, the possibility to model measured termination impedances is shown.

Mi. 15:40    Raum 38.02    Thermo- und Strömungsakustik I

### **Schallquellenlokalisierung in Brennkammern mit Hilfe von akustischer Nahfeldholografie**

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

<sup>a</sup>*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt*; <sup>b</sup>*Institut für Strömungsmechanik u. Technische Akustik, TU 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 neuen Teilprojekt 10 um die Lokalisierung solcher Schallquellen. Mit Hilfe einer großen Zahl von Schalldruckmesswerten wandbündig angeordneter Mikrofone unter Ausnutzung eines analytischen mathematischen Modells können Monopolschallquellen geortet und deren Quellstärke bestimmt werden. Simulationsrechnungen und experimentelle Untersuchungen zeigen, dass die Lokalisierung gut gelingt, obwohl die typischerweise auftretenden Schallwellenlängen groß sind im Vergleich zur Ausdehnung der Brennkammer. Der Schlüssel zum Erfolg der Analyse ist die Berücksichtigung des Schalldruck-Nahfeldes. Dieses klingt mit wachsender Entfernung von den Quellen sehr schnell ab und kann nur von Mikrofonen, deren axiale Position nicht weit von der Quellposition entfernt ist, mit ausreichender Genauigkeit erfasst werden. Mit dem neuen Verfahren wird das instationäre Schallfeld der Quellen rekonstruiert, es handelt sich daher um eine spezielle Art der Nahfeld-Holographie in durchströmten Rohren. In Voruntersuchungen konnte gezeigt werden, dass sich die Position und Amplitude einzelner Quellen sehr gut bestimmen lässt.

Mi. 16:30    Raum 38.02

Thermo- und Strömungsakustik I

**Hochgenaue Bestimmung der akustischen Dämpfung von durchströmten Linern für Triebwerke**C. Heuwinkel<sup>a</sup>, S. Busse<sup>b,a</sup>, L. Enghardt<sup>a</sup> und I. Röhle<sup>a</sup><sup>a</sup>*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt*; <sup>b</sup>*Technische Universität Berlin*

In einer durchströmten Messstrecke mit rundem Querschnitt war ein perforierter Liner mit einer ihn radial umgebenden Druckkammer (Plenum) zwischen zwei symmetrischen Kanalsegmenten montiert. Die beiden Kanalsegmente beinhalteten jeweils Anbohrungen für fünf Mikrofonringe mit acht gleichmäßig über den Umfang angeordneten Mikrofonen und an ihren äußeren Enden einen radial angeflanschten Lautsprecher und einen reflexionsarmen Abschluss.

Die Untersuchung wurde in einem Frequenzbereich durchgeführt, in dem ausschließlich ebene Wellen im Kanal ausbreitungsfähig sind. So konnte die Kalibration der Mikrofone darauf aufbauen, dass bei gleicher axialer aber unterschiedlicher Winkelposition gleiche Wechseldruckmesswerte erwartet wurden. Der relative Unterschied der an den einzelnen Winkelpositionen für eine Frequenz gemessenen Werte zum Mittelwert wurde als Amplituden- und Phasenkorrektur für die Datenauswertung herangezogen.

Der Einfluss der Reflexionen an den Rohrenden konnte durch Anpassung des Auswertungsverfahrens nahezu beseitigt werden. Dazu wurden bei wechselseitiger Beschallung der Messstrecke die Mikrofonsignale in beiden Kanalsegmenten erfasst, mittels Kopplung von Reflexion und Transmission beider Abschnitte die Einflüsse der Endreflektionen verrechnet und auf diese Weise eliminiert.

Die Modellierung der akustischen und thermischen Wandgrenschichten ermöglichte eine weitere Verringerung der Messfehler. Abschließend konnte der Einfluss nicht ausbreitungsfähiger Moden in der Nähe der Lautsprecher sowie, unterstützt durch Prandtlrohrmessungen, die korrekte mittlere Strömungsgeschwindigkeit ermittelt und bei der Auswertung berücksichtigt werden. Während der Untersuchungen zeigte sich, dass sich Stehwellen im Plenum ausbildeten, deren Auswirkung auf die Messwerte durch eine Unterteilung des Plenums aus dem zu untersuchenden Frequenzbereich verschoben werden konnten. Der

Messfehler der akustischen Streufaktoren und der daraus resultierenden akustischen Dämpfung konnte ohne Strömung unter 1% und mit Strömungsüberlagerung unter 2% gesenkt werden.

Mi. 16:55    Raum 38.02    Thermo- und Strömungsakustik I

## **Untersuchung der akustischen Eigenschaften perforierter Liner**

C. Heuwinkel, L. Enghardt und I. Röhle

*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt*

Diese experimentelle Untersuchung soll zum Verständnis der Schallabsorption durch perforierte Liner mit und ohne Quereinblasung beitragen und Informationen über deren Einflussparameter liefern. Die Ergebnisse dienen als Grundlage, um langfristig das akustische Verhalten eines Liners modellieren zu können. Dadurch soll es möglich werden, Vorhersagen über die Schallabsorption für bestimmte Parameter zu treffen und somit anwendungsoptimierte Liner zu entwickeln. Eine der zahlreichen Anwendungen für diese Art der akustischen Dämpfung ist es, der Entstehung thermoakustischer Instabilitäten, zum Beispiel in Gasturbinen, entgegenzuwirken.

Es wurden drei Testobjekte bei Frequenzen zwischen 200-1400 Hz untersucht. Dabei wurden die akustischen Eigenschaften in Form von Reflexion, Transmission und Dissipation für verschiedene Konfigurationen bestimmt. Abweichend von den Bedingungen in einer Brennkammer wurde bei diesen Messungen nur kalte Luft unter normalen Druckverhältnissen eingesetzt. Ebenso wurde die Schallausbreitung im Kanal auf ebene Wellen beschränkt.

Die Experimente zeigen, dass mit Hilfe perforierter Wände und Lufteinblasung die Schallenergie über einen breiten Frequenzbereich um über 50% absorbiert werden kann. Bei einigen Konfigurationen konnte dieses Niveau sogar für einen schmalen Frequenzbereich auf über 60% erhöht werden. Als Einflussgrößen wurden bei dieser Parameterstudie die Strahlgeschwindigkeit, die Machzahl im Kanal, die Anzahl der Strahlen und ihr Abstand untersucht. In diesem Zusammenhang wurde festgestellt, dass die Länge des Plenums für einige bestimmte Frequenzen eine erhebliche Auswirkung auf die akustischen Eigenschaften des Testobjektes hat.

Die besten Ergebnisse für die Dissipation wurden bei einer Strahlgeschwindigkeit von 20 m/s erzielt. Allgemein kann gesagt werden, dass ein vergrößerter Abstand der Löcher zueinander



die Dissipation steigert und eine erhöhte Lochanzahl die breitbandige Absorption verbessert.

Mi. 17:20    Raum 38.02    Thermo- und Strömungsakustik I

### **Akustische Beeinflussung des Druckabfalls im durchströmten Rohr**

M. Jüschke und D. Ronneberger

*Drittes Physikalisches Institut, Universität Göttingen*

Wir betrachten einen Strömungskanal, dessen ansonsten schallharte Wand in einem Teilstück mit Resonatoren versehen ist. Hier kommt es in einem Frequenzbereich mit großer Wandadmittanz, zur konvektiven Verstärkung von Strömungsschwankungen, die sowohl durch die turbulente Strömung auftreten, als auch mit einem Lautsprecher angeregt werden können.

Mit dieser Verstärkung tritt ein erhöhter statischer Druckabfall über das betrachtete Rohrteilstück auf. Damit ist es möglich, den Strömungswiderstand durch Schallanregung gezielt zu beeinflussen. Es wird die experimentell bestimmte Abhängigkeit der Schallverstärkung und des Druckabfalls von der Amplitude des zusätzlich eingebrachten Schalls, der Frequenz sowie der Strömungsgeschwindigkeit gezeigt. Neben der radialsymmetrischen Schallmode wird eine höhere Mode betrachtet, die im resonatorbesetzten Teilstück ebenfalls verstärkt wird, die aber nicht in die angrenzenden hartwandigen Rohre abstrahlt. In beiden Fällen lässt sich der Druckabfall an dem Teilstück etwa um den Faktor zwei erhöhen.

Mi. 17:45    Raum 38.02    Thermo- und Strömungsakustik I

### **Error corrections for the calibration of the two microphone transfer function method for acoustic impedance measurement**

R. Boonen und P. Sas

*K.U. Leuven, Faculty of Engineering*

In many acoustic simulations, particularly when using lumped parameter models or electrical analog circuits, the acoustic impedance of a component needs to be determined accurately. A widely used acoustic impedance measurement method is the 'two microphone transfer function method', which is standardized in ISO-10534-2. When the acoustic impedance is needed over a wide frequency band of several decades, this method faces some limitations.

In this research, the two microphone transfer function method has been enhanced. A combination of experiments and simulations is used to trace the errors sources and to find compensations for these errors. The error sources which have been traced are position errors of the microphones, wave damping in the measurement duct and deviations between the subsequent measurements of the different transfer functions. For these error mechanisms, compensation methods are proposed. The new measurement method has been set up such that corrections for the sensor mismatch, the finite microphone diaphragm dimensions and the speed of sound have been avoided.

The resulting method allows acoustic impedance measurements with high accuracy in a wide frequency range. To demonstrate the capabilities of the improved method, some material samples have been measured compared with analytical models. In future research, the impedance measurement method will be expanded to make measurement under flow conditions possible.

Mi. 18:10    Raum 38.02

Thermo- und Strömungsakustik I

### **FOM - Faser Optisches Mikrofon: eine akusto-optische Messtechnik für die Turbomaschinendiagnostik**

H.J. Konle<sup>a</sup>, C.O. Paschereit<sup>a</sup> und I. Röhle<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Institut für Strömungsmechanik u. Technische Akustik, TU Berlin*; <sup>b</sup>*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt*

Ziel unserer Forschung ist es, ein faseroptisches Mikrofon (FOM) für akustische Messungen in heißen Umgebungen zu bauen. Dieses soll ausschließlich aus temperaturbeständigen Materialien wie Quarzglas und Edelstahl aufgebaut sein. Das im Folgenden vorgestellte FOM besteht dabei aus einem Laservibrometer, dessen Licht durch eine Single-Mode-Glasfaser zur Mikrofonmembran geleitet wird. Diese Membran ist über ein Rohr gespannt, das zudem auch die Halterung für das Ende der Lichtleitfaser ist und eine abbildende Linse aufnimmt. Das von der Membran reflektierte Licht wird durch die gleiche Lichtleitfaser zum Interferometer zurückgeführt. Die Membranbewegung wird durch die Phasenverschiebung bzw. durch die Dopplerverschiebung zwischen eingestrahlttem und reflektiertem Licht bestimmt. In diesem Vortrag wird der Aufbau dieses FOMs vorgestellt sowie die vielversprechenden Ergebnisse bei dessen Einsatz für akustische Messungen in kalter Luft.

Die im Rahmen dieser Arbeit bisher durchgeführten Experimente beschäftigten sich mit dem Einfluss der Mikrofonmembranspannung auf die Schwingungsamplitude der Membranen. Hierzu wurden Membranen aus Aluminiumfolie mit unterschiedlicher Spannung auf Messingzylinder als Membranträger aufgeklebt und in kalter Umgebung getestet. Es zeigte sich, dass bei steigender Membranspannung und gleicher Anregung die Antwortamplitude sinkt; ein Ergebnis, wie es aus der Literatur bekannt ist. Die Signale aller Membranproben zeigten im höherfrequenten Anregungsbereich eine gute qualitative Übereinstimmung mit den Signalen eines zum Vergleich simultan eingesetzten Kondensatormikrofons. Die Abhängigkeit des FOM-Signals von der Anregungsstärke ist noch Gegenstand laufender Untersuchungen.

Ein weiterer Prototyp aus hochwarmfestem Stahl und geschweißter Membran ist zurzeit in der Fertigung.

Mi. 8:30    Raum 38.03    Numerische Methoden in der Akustik II

### **Simulation der Schirmwirkung von Schallschutzwänden mittels der Randlelemente Methode**

H. Waubke, Z. Chen und W. Kreuzer

*Österreichische Akademie der Wissenschaften, Institut für Schallforschung*

Im Rahmen des EU-Projektes "Calm Tracks and Routes" wurden von der Quelle weg gekrümmte Schallschutzwände der Firma CALMA-TEC mittels der Randlelemente Methode untersucht. Verwendet wurde für die Simulation die Randlelemente Methode in 2-D mit linearen Ansätzen für die Geometrie und polynomen Ansätzen für die Verteilung von Druck und Schnelle. Der Boden wurde mittels eines Ansatzes für Grassland nach einem Modell von Attenborough implementiert. Mit dieser Methode war es möglich ein Spektrum von 25 Hz bis 10 kHz zu generieren. Berechnet wurde die Einfügedämmung in 25 m Entfernung von der simulierten Lärmschutzwand infolge einer Quelle mit 5 m Abstand zur Wand mit einem Frequenzraster von 25 Hz. Diese Spektren wurden verwendet, um Aufnahmen in 25 m Abstand und 2 m Höhe zu filtern. Das Ergebnis lässt sich hörbar machen. Reflexionen an der Luftschichtung wurden nicht berücksichtigt, da diese unabhängig von der Form der Lärmschutzwand auftreten und mithin den Vergleich nicht beeinflussen. Ebenso wurden Animationen der berechneten Spektren erstellt. Es zeigt sich,

dass die Krümmung der Wände einen Einfluss auf die Schalldämmung hat. Eine Kopfausrundung kann die Schalldämmwirkung erhöhen.

Mi. 8:55    Raum 38.03    Numerische Methoden in der Akustik II

### **Fast Multipole BEM for Acoustics in Automotive Applications**

M. Fischer, D. Brunner, M. Junge und L. Gaul

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

Numerical simulation is essential for acoustic optimization of products in early development phases. In automotive industry, challenging targets very often require to simulate acoustics on a system level. For example, sound radiation from engine block and oil pan including high frequency excitation by the fuel system. The classical boundary element method (BEM) is not applicable to such large models due to its fully populated matrices. The fast multipole boundary element method reduces the cost of the BEM to quasi-linear in the number of degrees of freedom, allowing simulations with more than 100k boundary elements on standard desktop computers. In the presented paper, efficiency of the fast multipole boundary element method in combination with a preconditioned iterative solver is illustrated on the simulation of sound radiation from an engine structure. The boundary element model of the engine is provided by LMS as a real-world benchmark example. The simulations demonstrate the straight-forward usability of the fast multipole boundary element method to engineering applications.

Mi. 9:20    Raum 38.03    Numerische Methoden in der Akustik II

### **Simulation des Schalldrucks am Kopf mit Hilfe von BEM und Fast Multipole Methode**

W. Kreuzer, Z. Chen und H. Waubke

*Österreichische Akademie der Wissenschaften, Institut für Schallforschung*

Bei der Lokalisation von Schallquellen in der Vorne-Hinten und Oben-Unten Dimension spielen die Form von Torso, Kopf und vor Allem der Ohrmuschel (Pinna) eine wichtige Rolle. Bedingt durch Reflexionen und Beugungen des Schalls an Kopf und Pinna kommt es zu einer richtungsabhängigen Filterwirkung, die durch die sogenannten Head Related Transfer Functions (HRTFs) beschrieben wird. Um HRTFs mittels Computersimulation bestimmen zu können, wurde ein 3D-Boundary Element Modell des

Kopfes entwickelt. Dieses ermöglicht die Simulation dieser Filterwirkung von Kopf- und vor Allem Pinnageometrie selbst für hohe Frequenzen, indem die Verteilung des Schalldrucks entlang der gesamten Kopfoberfläche berechnet wird. Um selbst für hohe Frequenzen (bis zu 13.000 Hz) eine effiziente Berechnung zu ermöglichen, wurde das BEM Modell mit einem Fast Multipole Algorithmus kombiniert.

Mi. 9:45    Raum 38.03    Numerische Methoden in der Akustik II

### **Simulation der Wechselwirkung von Fluidschall und Körperschall in flexiblen Leitungssystemen**

L. Gaul, M. Maess und M. Junge

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

In fluidgefüllten Leitungssystemen führen Ventilbetätigungen und Druckschwankungen durch Pumpenförderung zu hydroakustischen Wellen, die sich in Leitungen ausbreiten, und die Leitungsstruktur sowie angekoppelte Strukturelemente zu Schwingungen anregen. Diese Schwingungen können in ungünstigen Fällen zu Dauerbrüchen oder Funktionsversagen der Struktur führen. Außerdem rufen sie eine unerwünschte Schallemission in den Außenraum hervor. Diese Gründe motivieren die Entwicklung von effizienten Simulationswerkzeugen zur Untersuchung der Hydroakustik in Leitungssystemen, die im Gegensatz zu üblichen eindimensionalen Modellen auch räumliche Vorgänge beschreiben können. Um die Anregung von Strukturschwingungen der Leitungswand über das Fluid mit einzubeziehen, werden diskretisierte Fluid- und Strukturmodelle über ein akustisches Fluid-Struktur Interface (FSI) voll gekoppelt. Als Diskretisierungsmethode wird die Finite Elemente Methode (FEM) verwendet. Simulationen von komplexeren Leitungssystemen führen jedoch zu großen Modellen mit hohem Rechenaufwand, weshalb Techniken der Substrukturierung und Modellreduktion verwendet werden, um die Anzahl der Freiheitsgrade zu reduzieren. Die Substrukturtechnik basiert auf einer Vorgehensweise, die eine Adaption der CraigBampton-Methode auf voll FSI-gekoppelte Modelle darstellt. Hierbei erfolgt im Wesentlichen eine Modellreduktion im Modalraum. Insbesondere wiederholt auftretende Strukturkomponenten wie Leitungsabschnitte und Rohrlagerungen lassen sich somit effizient behandeln. Ein weiterer Reduktionsschritt wird hinsichtlich bestehender akustischer Transferpfade durchgeführt, wobei akustische Quellen als Eingänge und Strukturverformungen als Ausgänge betrachtet werden. Anschließend kann die Schallabstrahlung von den Leitungssystemen und angehängten

Komponenten in Luft mittels einer schnellen Randelementmethode (Fast-BEM) berechnet werden. Die Integration der Multipol- und Multilevel-Techniken in die Galerkin-BEM bewirkt eine starke Modellreduktion und einen starken numerischen Effizienzgewinn. Die Akustikberechnungen werden aufgrund des großen Impedanzunterschieds zwischen Luft und Leitungsstruktur als Nachschaltrechnung durchgeführt. Im Vortrag wird der Einsatz dieser effizienten Simulationswerkzeuge für voll gekoppelte Leitungssysteme an industriellen Problemstellungen aufgezeigt.

Mi. 10:10    Raum 38.03 Numerische Methoden in der Akustik II

### **Simulation von Hornlautsprechern mit BEM und dem modalen Quellimpedanzmodell**

O. Strauch<sup>a</sup> und M. Makarski<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen;* <sup>b</sup>*Audio & Acoustics Consulting Aachen*

Die Simulation von Horngeometrien mit der Boundary Elemente Methode ist ein etabliertes und inzwischen vielfach angewendetes Verfahren. Dabei wird zunächst eine ebene Welle als Anregungssignal für die Berechnung der Abstrahleigenschaften verwendet. Diese Berechnung liefert gute Ergebnisse für die Frequenzbereiche, in denen höhere Schwingungsformen vom Hornreiber nur unwesentlich abgestrahlt werden. Für höhere Frequenzen dominieren diese Moden jedoch sowohl den Frequenzgang als auch die Form der räumlichen Abstrahlung der Treiber-Horn-Kombination. Daher kann zusätzlich die Hornhalsimpedanz sowie das räumliche Abstrahlverhalten für die einzelnen Moden mit BEM simuliert werden. Entscheidend für die korrekte Summierung der Einzelmoden zum Gesamtschallfeld ist die Bestimmung der komplexen Partizipationskoeffizienten für die jeweilige Treiber-Horn-Kombination.

Die Bestimmung dieser Koeffizienten erfolgt nach einem modalen Quellimpedanzmodell. Der modale Quelldruck des Treibers sowie die modale Quellimpedanz werden durch ein Scanning-Messverfahren an bekannten akustischen Randbedingungen ermittelt. Zusammen mit der simulierten modalen Hornhalsimpedanz kann so die Schallschnelle am Hornhals unter Berücksichtigung aller an der Abstrahlung beteiligten Moden bestimmt und als Randbedingung für die Schallfeldsimulation verwendet werden. An verschiedenen Beispielen wird das Verfahren angewendet und mit Messungen hinsichtlich Frequenzgang und Strahlbreite verglichen.

Mi. 14:00    Raum 38.03 Numerische Methoden in der Akustik II

### **Ein Vergleich von Optimierungsverfahren für Anwendungen in der Strukturakustik**

M. Ranjbar, S. Marburg und H.J. Hardtke

*TU Dresden, Institut für Festkörpermechanik*

Bei der Strukturoptimierung zum Zwecke minimaler Schallabstrahlung stellt sich die Suche nach dem globalen Minimum oder auch nur einer signifikanten Verbesserung der Zielfunktion als reale Herausforderung dar. In der vorliegenden Arbeit bilden die Zahl der Funktionsauswertungen, die Genauigkeit der Ergebnisse und die Robustheit der Algorithmen die Kriterien für die Wahl geeigneter Optimierungsverfahren. Es wird anhand einer kleinen Programmbibliothek demonstriert, wie sich unterschiedliche Verfahren in der Anwendung auf ein strukturakustisches Design (optimale geometrische Modifikation einer schwingenden bzw. abstrahlenden Platte) verhalten. Die Vorteile und Nachteile der Methoden werden präsentiert. Die Resultate bilden die Grundlage, um robuste hybride Optimierungsstrategien für strukturakustische Anwendungen zu entwickeln.

Mi. 14:25    Raum 38.03 Numerische Methoden in der Akustik II

### **Ein iteratives geometrisches Verfahren zur Berechnung von Schallfeldern im hohen Frequenzbereich**

W.-C. Von Karstedt und O. Von Estorff

*Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Modellierung und Berechnung*

Im hohen Frequenzbereich (Wellenlänge kurz gegenüber der Größe des Objektes) stellen geometrische Verfahren derzeit den Standard bei der numerischen Behandlung akustischer Fragestellungen dar. Neben dem "klassischen Raytracing", bei dem die Strahlen von einer Punktquelle ausgehend bis zu einem Empfänger (Detektor) verfolgt werden, haben sich in der Vergangenheit auch die Spiegelquellen-Methode und die Beamtracing-Methode durchgesetzt. Ein Nachteil dieser Verfahren besteht jedoch in deren Einschränkung auf durch ebene Teilflächen modellierbare Strukturen. Beim klassischen Raytracing besteht diese Einschränkung nicht. Stattdessen muss bei diesem Verfahren zwischen der Genauigkeit der Pfade und deren unvollständiger Reproduktion abgewogen werden. Denn bei einem zu klein gewählten Detektor kann es vorkommen, dass vorhandene Pfade nicht

erkannt werden, während ein zu großer Detektor zu sehr ungenauen oder falschen Pfaden führen kann. In dem gegenwärtigen Beitrag wird eine iterative Erweiterung des klassischen Raytracing Verfahrens vorgestellt, die es ermöglicht, die Schallausbreitungspfade für beliebig geformte Objekte mit geringen Aufwand zu bestimmen. Hierbei wird, ausgehend von der Lösung eines klassischen Raytracers, mit Hilfe eines iterativen Algorithmus die gefundenen Schallpfade auf ihre Genauigkeit und Richtigkeit überprüft und gegebenenfalls verbessert oder verworfen. Durch diese Vorgehensweise ist es möglich, die Anforderungen hinsichtlich der Größe des Detektors und somit der Anzahl der zu überprüfenden Strahlrichtungen der Quelle bei gleicher Anforderung an die Genauigkeit stark zu reduzieren, was zu einem effizienten Phasen-Raytracing-Verfahren führt.

Mi. 14:50    Raum 38.03 Numerische Methoden in der Akustik II

### **Vergleich verschiedener Absorbermodelle zur Berechnung von Flugzeuginnenlärm unter Beachtung poröser Materialien**

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

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

Schallfelder in Innenräumen von Propellerflugzeugen werden durch tonale Erregung über das Propeller-Nahfeld bestimmt. Die Abstrahlung des ersten Tones findet dabei häufig unterhalb 100 Hz statt, d.h. zweiter und dritter Ton wirken bei Frequenzen kleiner 300 Hz. In diesem niederfrequenten Bereich dominieren globale Moden das Verhalten von Struktur und Akustik. Bei der Vorhersage von Schalldrücken unter Betriebsbedingungen kommen numerische Methoden wie die Finite-Elemente-Methode zum Einsatz, um das gekoppelte Struktur-Akustik-Problem zu lösen. Auswertungen einer ausführlichen experimentellen Studie am Testrumpf einer Dornier-328 haben gezeigt, dass schon eine dünne Schicht Thermo-Isolation auf der Oberfläche der Flugzeughaut in diesem Frequenzbereich bis zu 6 dB Schalldruckreduktion bewirken. Schon unterhalb 100 Hz vermindert die Schicht porösen Fasermaterials den mittleren Schalldruck um etwa 3 dB bis 5 dB. Eine erste Studie verwendet gegebene Materialparameter des Herstellers der Thermo-Isolation als Grundlage zur Anwendung verschiedener Absorber-Modelle in den Berechnungen. Die erreichten Schalldruckreduktionen werden den experimentellen Ergebnissen gegenübergestellt. Eine zweite Studie



nutzt gemessene Materialparameter aus Transferimpedanzmessungen als Materialeingangswerte für die Simulationen des porösen Volumens. Die Schalldruckreduktionen beider Ergebnisse werden schmalbandig und terzweise mit den Messungen an der Großstruktur verglichen.

Mi. 15:15    Raum 38.03    Numerische Methoden in der Akustik II

### **Eindimensionale Modellierung der Schallausbreitung in Kanalsystemen basierend auf dreidimensionaler Schallfeldsimulation**

C. Reichl, M. Haigis, H. Lang und G. Haider

*arsenal research - Austrian Research Centers*

Schallausbreitung in Kanalsystemen ist eine in der Klimatechnik permanent auftretende Herausforderung. Lüftungsventilatoren, Generatoren und Klimaaggregate sind einerseits selbst Schallquellen, andererseits regen sie die angeschlossene Struktur zu Vibrationen an. Die Arbeit fokussiert auf der Schallausbreitung der Schallfelder von Aggregaten und den induzierten Schwingungen der Luftsäule - Vibrationen der Kanalwände werden vorerst nicht betrachtet.

Für die Auslegung von Kanalsystemen z.B. in Gebäuden oder Reisezugwaggons ist die Akustik jedoch keinesfalls der alleine maßgebliche Parameter. Vielmehr ist ein gesamtheitlicher Ansatz zu verfolgen, der Druckverlust, auftretende Strömungsgeschwindigkeiten im Innenraum, Gewicht und Stabilität mitberücksichtigt. Neben der Ausbreitung der Schallquellen von Klimaaggregaten kommen außerdem noch (durch das Strömungsfeld induzierte) aeroakustische Quellen hinzu. Auch die Ausbreitung der Schallfelder über die Kanalsysteme in den Innenraum ist relevant.

Ziel ist daher im Kanal eine eindimensionale Beschreibung der Schallfelder (ebene Wellen, state space modelling), da in diesem Fall die Berechnung der am Beobachter eintreffenden Schallleistungspegel bzw. -spektren extrem rasch erfolgen kann. Die akustische Methode kann daher in einen modernen Optimierungsalgorithmus zusammen mit den anderen Bestimmungsgrößen integriert werden.

Während das Verhalten der Schallfelder in einfachen Geometrien analytisch bekannt ist, sind die Effekte komplizierterer Geometrien nur messtechnisch oder mittels dreidimensionaler akustischer Simulation (BEM, FEM) zugänglich. Ähnlich ist die Situation bei der Realisierung von schalldämpfenden Belägen gelagert - hier ist für die dreidimensionale numerische Simulation ein aufwendiger frequenzabhängiger Parametersatz erforderlich.

Die Arbeit gibt einen Überblick über die laufenden Arbeiten zur Integration und Modellierung gängiger Kanalkomponenten in einem eindimensionalen Solver. Die Möglichkeiten der mit Druckverlustoptimierung und Geschwindigkeitslimitierung gekoppelten Kanalauslegung werden anhand einfacher Modellsysteme demonstriert.

Mi. 15:40    Raum 38.03    Numerische Methoden in der Akustik II

### **Numerical analysis of fluid-structure-interactions and resulting directional noise field of distribution transformers**

M. Ertl

*Siemens PTD*

This paper presents an analysis of the fluid-structure interaction associated with magnetostrictive excited noise emission inside oil immersed distribution transformers. By using three-dimensional acoustic finite elements based on the linearised acoustic wave equation, distinctive propagation pathes of acoustic waves can be identified. Further, details of the noise transmission from the sound source via the oil filled tank and the tank walls to the surrounding air can be shown. Simulation results are verified by noise and vibration measurements.

**Modelling and computation scheme:** Magnetostrictive based core vibrations are responsible for the typical humming noise spectra of the so called no-load emission of oil-immersed three-phase distribution transformers. To model and simulate the acoustical performance of this devices by means of numerical methods, the geometric complexity as well as the fluid-structure coupling ask for accurately chosen model geometries and material data parameters.

Previous applied transient measurements of the core vibrations by using a Laser-Doppler-Vibrometer (LDV) are used as boundary conditions for subsequent vibro-acoustical investigations of the transmission of sound energy from the vibratory source via the oil, tank walls and cooling fins to the surrounding air of the transformer. Multi-reflexions of sound pressure waves at the interface of mechanical devices and the surrounding acoustic fluids (oil and air) can be identified. In addition, cavity and plate resonances are observed. Due to its small thickness the tank wall acts as an acoustic membrane, causes an amplification of the sound emissions and results in a distinctive directional noise emission.

Mi. 16:30 Raum 38.03

Modalanalyse

**Validierung der rechnerischen Modalanalyse an umgeformten Blechbauteilen**Y. He und J. Wiedemann*Institut für Verbrennungsmotoren und Kraftfahrwesen, Universität Stuttgart*

Bei der rechnerischen Modalanalyse von umgeformten Blechbauteilen ist die Dickenverteilung auf dem Bauteil ein wichtiger Parameter. Des Weiteren spielt die Verteilung der plastischen Dehnung eine wesentliche Rolle, da aus ihr die E-Modulverteilung im FE-Netz bestimmt werden kann. Das Verfahren für diese Bestimmung, das von einem empirischen Ansatz ausgeht, muss jedoch zunächst durch einen Vergleich mit den Ergebnissen von experimentellen Modalanalysen validiert werden. Die Berechnung kann danach für die Vorhersage des akustischen Verhaltens umgeformter Blechbauteile herangezogen werden.

Mi. 16:55 Raum 38.03

Modalanalyse

**Beispiele für den Einsatz der experimentellen Modalanalyse in der Fahrzeugentwicklung**M. Kronast*Ford Werke GmbH*

Eine wichtige Eigenschaft bei der Entwicklung von Fahrzeugen ist das Geräusch- und Schwingungsverhalten der beteiligten Komponenten, Systeme und des kompletten Fahrzeugs. Dieses Verhalten wird von den Eigenschwingungen der Bauteile und der Luft wesentlich beeinflusst. Anregungen, die z.B. von der Fahrbahn oder dem Antriebsstrang kommen, können durch die Eigenschwingungen so verstärkt werden, dass die entstehenden Strukturschwingungen zum Versagen von Bauteilen führen oder die erreichten Schwingungs- und Schallpegel den Komfort, die Verständigung usw. einschränken. Deshalb werden Frequenz und Ausbildung der Eigenschwingungen im Entwicklungsprozess vorgegeben und die Einhaltung überwacht.

Durch Modalanalyse lassen sich die Eigenschwingungen bestimmen. Dazu benutzt man entweder das FE Modell oder Messdaten der zu untersuchenden Struktur. Beide Verfahren haben Stärken und Schwächen und werden heute nebeneinander in der Fahrzeugentwicklung eingesetzt. Durch Veränderungen im Entwicklungsprozess und der Methoden selber hat es jedoch eine Verschiebung der Schwerpunkte gegeben. Im Folgenden werden

einige Beispiele für die Anwendung der experimentellen Modalanalyse im Fahrzeugentwicklungsprozess dargestellt.

Mi. 17:20 Raum 38.03

Modalanalyse

### **Mehrkanalige akustische Gleitsinusanregung und PolyMAX - Bessere vibro-akustische Modalanalyse in kürzerer Zeit**

T. Vasel<sup>a</sup> und S. Pauwels<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*LMS Deutschland GmbH*; <sup>b</sup>*LMS International*

Vibro-akustische Modalanalyse stellt durch die oft geringe Qualität der gemessenen Frequenzgänge und die Mischung von Strukturmoden und akustischen Moden eine besondere Herausforderung dar. Frequenzgänge können in vielen Fällen besonders effektiv mit akustischer Anregung gemessen werden. Mehrkanalige Anregung mit Gleitsinus ist ein guter Kompromiss hinsichtlich Messqualität, Messzeit und Hardware- sowie Rechenaufwand. Es wird gezeigt, warum sie in vielen Fällen ein Optimum darstellt und insbesondere bei akustischer Anregung zu spürbaren Verbesserungen führt. PolyMAX zur Bestimmung der Eigenfrequenzen und Dämpfungen ermöglicht nicht nur höhere Modellfreiheitsgrade und breitbandige Auswertung, sondern verbessert auch die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit der Modalanalyse entscheidend. Anhand von Beispielen wird erläutert, in welchen Situationen diese Überlegenheit des Verfahrens genutzt werden kann.

Mi. 17:45 Raum 38.03

Modalanalyse

### **Untersuchungen zum Einfluss der Lagerbedingungen auf die Modalen Parameter von Zweimassen-Schwungrädern**

A. Anstatt, S. Ochs und C. Mohr

*LuK GmbH & Co. oHG*

Die experimentelle Modalanalyse hat das Ziel, die modalen Parameter "Eigenfrequenz, Schwingform und Dämpfung" von Baugruppen oder Bauteilen aus dem Versuch zu bestimmen. Diese Parameter sind für den Entwicklungsprozess eines Produktes von besonderem Interesse, nicht zuletzt deshalb, weil sie oftmals Eingangsgrößen für weitere Entwicklungsprozesse liefern. Die richtige Vorgehensweise bei der Ermittlung dieser Parameter und die Zuverlässigkeit dieser Werte sind Grundvoraussetzungen für eine Validierung des FE-Modells im Rahmen eines Model Updating Prozesses. Experimentelle Modalanalysen beziehen sich oftmals gezielt auf einzelne Komponenten einer Baugruppe. Werden solche Einzelkomponenten beispielsweise am

Prüfstand oder im Labor untersucht, so haben die Lagerbedingungen (Boundary Conditions) einen Einfluss auf das Messergebnis. Welcher Fehler sich bei der Ermittlung der Modalen Parameter daraus ergibt, soll in diesem Beitrag am Beispiel von Zweimassen-Schwungrädern näher erörtert werden. Es werden aus der Praxis Untersuchungen an Einzelkomponenten mit unterschiedlichen Lagerbedingungen gezeigt und der sich daraus ergebende Einfluss auf die Modalen Parameter dargestellt. In einem Ausblick werden die aus den Laborversuchen ermittelten Parameter mit den Ergebnissen aus Betriebsschwingungsmessungen (Fahrversuch) verglichen.

Mi. 18:10    Raum 38.03

Modalanalyse

### **Entdröhnung dickwandiger Strukturen in einer Anwendung**

C. Czolbe und M. Hecht

*TU Berlin, Fachgebiet Schienenfahrzeuge*

Im Hintergrund dieser Arbeit steht das Anfahrt- und Bremsgeräusch der Berliner S-Bahn, hervorgerufen durch die Ansteuerung der Fahrmotoren und deren harte Anbindung an die jeweiligen Triebdrehgestelle. Aus Voruntersuchungen konnte der Drehgestellrahmen als eine der Hauptschallquellen nachgewiesen werden und mittels experimentell angebrachter Entdröhnung bereits erfolgreich schallgemindert werden. Diese Maßnahme sollte nun technisch optimiert als Vorlage einer praktikablen Umbaulösung für den Betrieb dienen.

Dazu wurde an der TU Berlin ein Drehgestellrahmen ohne Anbauten einer Modalanalyse unterzogen und seine schallabstrahlenden Bereiche mittels Intensitätsmessung ermittelt. Der meiste Luftschall wird demnach von den großflächigen Platten am Querträger des H-förmigen Drehgestells abgestrahlt, die radsatzführenden Längsträger weisen hingegen deutlich geringere Intensitäten (-10 dB) auf. Eine experimentelle Modalanalyse diente der Darstellung relevanter Schwingungsformen bis 1.500 Hz, um daraus eine optimale Anordnung und Geometrie der Entdröhnung ableiten zu können. Parallel dazu wurde ein FEM Modell hergestellt, um die Effekte der Maßnahme oder Parametervariationen auch rechnerisch zu simulieren. Die Übereinstimmung der Eigenformen zwischen experimenteller und rechnerischer Methode ist sehr hoch.

Bei den hier vorhandenen tragenden Strukturen ist von einer Blechstärke zwischen 6 und 15 mm auszugehen. Als Maßnahme zur Entdröhnung der schwingungsfreudigen Bereiche wurde eine

Sandwich-Layer-Konstruktion aus einer plastischen Kunststoff-Folie und einem Deckblech am Querträger appliziert. Damit konnten die relevanten Schwingungsformen erfasst werden und eine Minderung des Körperschall induzierten Luftschallanteils um mehr als 6 dB erzielt werden. Die Wirkung konnte anhand von Intensitätsmessungen am optimierten Drehgestell nachgewiesen und die Dämpfungseigenschaften des Materials qualitativ bewertet werden.

Mi. 8:30 Raum 47.01

Sprache im KFZ II

### **Vergleich zwischen automatisiertem Labortest und Live-Probandentest 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-Probandentests 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, und ob

sich ein 'Korrekturfaktor' ermitteln lässt, mit dessen Hilfe sich die Messergebnisse der beiden Methoden ineinander umrechnen lassen.

Mi. 8:55    Raum 47.01

Sprache im KFZ II

## **SNR-based Evaluation of Speech Recognition Products in Real-Life Car Environments**

S. Hohenner und K. Lukas

*Siemens AG*

The evaluation of speech recognition systems is an essential issue for the customer acceptance of a product. However, evaluation results of individual customer-specific tests are hardly comparable due to different test setups, while database tests often do not reflect the real-life environment for the final product.

Therefore, we will present a well-defined procedure for an independent evaluation of speech recognizer products in real-life car-environments, providing a comparable and comprehensive assessment of recognizer performances. The procedure has been exemplified and validated in comprehensive in-car tests by deploying the Siemens speech recognizer VSR Very Smart Recognizer®. For our procedure, recordings are taken on a normalized roundtrip with typical traffic and road situations. For each utterance a specific signal-to-noise ratio is calculated to assign the utterance to an SNR-bin of the main car noise range. In a defined evaluation procedure, the SNR-bins are compiled into normalized SNR recognition curves. This SNR-based approach has the advantage of better comparability in opposition to conventional tests with fixed driving speed (e.g. 0/50/130 km/h), as environmental conditions like weather, tires or road type are implicitly considered. Furthermore an SNR-based approach takes the speaker loudness correctly into account.

Besides a detailed description of our procedure we will also recommend best practice procedures for a proper evaluation. As the proposed approach for an SNR-based evaluation of speech recognition products allows a comprehensive and objective assessment of the recognizer performance under real-life conditions, it may serve as a basis for future standardized evaluation procedures for automotive speech recognition products.

Mi. 9:20 Raum 47.01

Sprache im KFZ II

**Sprachbedientes, kontextsensitives Entertainment im Fahrzeug**M. Hofmann, S. Schulz und P. Oel*Carmeq GmbH*

Die heutige mobile Gesellschaft verbringt immer mehr Zeit im Fahrzeug. Laut einer Erhebung des US Census Bureau verbringt beispielsweise jeder Amerikaner durchschnittlich 24,4 Minuten pro Arbeitstag im Auto, in Ballungsräumen wie New York oder Chicago sogar über 30 Minuten. Dabei ist die primäre Aufgabe nur, das Ziel zu erreichen. Die Fahraufgabe ist meist durch jahrelange Erfahrung fast automatisch beherrschbar und dabei von vielen Situationen durchsetzt, in denen der Fahrer das Fahrzeug nicht aktiv steuern muss (rote Ampelphasen, Stau). Das erzeugt oft eine chronische Unterforderung und Langweile. Neben dieser Unterforderung des Fahrers sind auch Beifahrer oder im Fond sitzende Personen zumeist zu Untätigkeit verdammt. Die Nutzung dieser sonst verlorenen Zeit zur Zerstreuung und Entertainment ist das Ziel vieler bereits existierender Systeme für Musikauswahl und Rearseat-Entertainment-Funktionen, die aber meist während der Fahrt nicht oder nur eingeschränkt genutzt werden können.

Des Weiteren spielt Sprachbedienung in heutigen Automobilen im klassischen Infotainmentbereich eine immer wichtigere Rolle. Sie ermöglicht es, Systeme unterschiedlichster Art verbal zu steuern, und sich so mit der Aufmerksamkeit und Bedienung weiterhin auf die Fahraufgabe zu konzentrieren zu können.

Durch die Kombination aus Sprachbedienung und Entertainmentanwendung wird ein Feld betreten, welches noch nicht ausführlich im Hinblick auf Usability und sinnvolle Verwendung im Fahrzeug untersucht wurde. Nach einem Überblick über mögliche Anwendungsszenarien sowie Hinweise auf Probleme und wichtige Eckpunkte eines solchen Systems wird anhand der Entwicklung eines Demonstrators aufgezeigt, inwieweit solche Systeme heute realistisch und sinnvoll ins Auto integrierbar sind.



Mi. 9:45 Raum 47.01

Sprache im KFZ II

### **Ableitung von Testszenarien für Spracherkenner und Sprachdialogssysteme aus einer Nutzerstudie**

G. Seitz<sup>a</sup>, N. Künstner<sup>a</sup> und O. Meyer<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Volkswagen AG; <sup>b</sup> Carmeq GmbH

Derzeit werden vermehrt Sprachdialogsysteme zur Steuerung von Komponenten im Fahrzeug eingesetzt. Die Funktionsauswahl erfolgt typischerweise anhand einer Menüführung. Die Rahmenbedingungen während einer kundentypischen Sprachinteraktion (z.B. Geschwindigkeit, Störgeräusch, Verkehrsdichte) und das Verhalten des Nutzers sowie dessen Verhaltensanpassung an ein Dialogsystem sind im Kraftfahrzeug z.Zt. nicht umfassend untersucht. Der Test von ASR Systemen im Realfahrzeug wird heutzutage mit nutzungsuntypischen Szenarien durchgeführt. Es wird eine Nutzerstudie vorgestellt, die basierend auf einem Seriensystem, akustische Parameter für automatisierte Tests von Spracherkennern als auch Sprachdialogsystemen ableitet.

Mi. 10:10 Raum 47.01

Sprache im KFZ II

### **Adaptives Verfahren zur Schätzung von Sprachübertragungsfunktionen auf der Basis verteilter Mikrofone**

P. Vicinus<sup>a</sup> und R. Orglmeister<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Peiker acoustic GmbH & Co. KG; <sup>b</sup> TU Berlin, EN 3

Die Erfassung von Audiosignalen im KFZ erfolgt in zunehmendem Maße durch mehr als ein Mikrofon. Dieser Beitrag beschäftigt sich mit Möglichkeiten der Signalverarbeitung zur Sprachaufbereitung bei akustisch guten und für den beschriebenen Algorithmus günstigen Mikrofonplatzierungen im KFZ. Gelingt es, über die Anordnung der Mikrofone den Sprecher im Fahrzeug zu lokalisieren, können raumbezogene Informationen die Steuerung der Signalverarbeitung unterstützen. Die Lokalisierung kann über eine adaptive Schätzung der Sprachübertragungsfunktionen vom Sprecher zu den Mikrofonen realisiert werden. Hierfür werden Kostenfunktionen vorgestellt, deren Extrema bei gerichteten wie auch bei ungerichteten Störern Rückschlüsse auf die Sprachübertragungsfunktionen zulassen. Eine geeignete Schrittweitenkontrolle sorgt für eine robuste Minimierung bzw. Maximierung der Kostenfunktion über ein Gradientenverfahren. Auch

wenn das Verfahren nur eine relative Bestimmung der Sprachübertragungsfunktionen zulässt und somit für eine Dereverberation des Sprachsignals ungeeignet ist, ermöglicht es eine raumbezogene, adaptiv nachführbare Parametrisierung von Algorithmen zur Störgeräuschreduktion. Die Ergebnisse werden anhand praktisch erfasster Mikronsignale bewertet.

Mi. 14:00    Raum 47.01

Sprache im KFZ II

### **Objektive Vorhersage der Sprachqualität in Breitband-Kommunikationssystemen bei Störgeräusch**

H.W. Gierlich, F. Kettler, S. Poschen und J. Reimes

*HEAD acoustics GmbH*

In modernen Kommunikationssystemen ist die Sprachqualität bei Störgeräuschen von entscheidender Bedeutung; mobile Terminals, aber auch Freisprecheinrichtungen, werden zunehmend in störschallerfüllter Umgebung eingesetzt. Bekannte und derzeit standardisierte Sprachqualitätsmaße wie PESQ nach ITU-T P.862 oder TOSQA2001 sind für derartige Anwendungen nicht geeignet. Die subjektiv empfundene Sprachqualität bei Störgeräuschen setzt sich im Wesentlichen aus drei Komponenten zusammen:

- Qualität des übertragenen Hintergrundgeräuschs
- Qualität der übertragenen Sprache
- Gesamtqualität

Entsprechend ITU-T Empfehlung P.835 können diese Parameter in subjektiven Tests erfasst werden. Eine entsprechende Datenbank für Breitbandkommunikationssysteme wurde für eine Vielzahl von Hintergrundgeräuschen (incl. auch KFZ-Hintergrundgeräuschen), Störgeräuschreduktionsalgorithmen, Sprachcodern und unterschiedlichen Netzbedingungen innerhalb der ETSI in einem STF Projekt erstellt (z.B. 202 396-3). Basierend auf den Ergebnissen dieser Tests wurden verschiedene Verfahren zur objektiven Vorhersage der verschiedenen Parameter untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden vorgestellt und diskutiert. Die Arbeiten werden im Rahmen des zweiten Teils des STF 294 Projektes bei ETSI durchgeführt.

Mi. 14:25    Raum 47.01

Sprache im KFZ II

**Sprachakustik im KFZ und Hörgeräte: Was kann man von-  
einander lernen?**B. Kollmeier*Medizinische Physik, Universität Oldenburg*

Obwohl die elektronisch unterstützte Sprachkommunikation im KFZ ähnliche Probleme zu lösen hat wie die elektronisch unterstützte Sprachkommunikation für Hörgeschädigte mit Hörgeräten (z.B. Störschallunterdrückung, Optimierung der Sprachverständlichkeit, Optimierung der akustischen Übertragungsqualität), entwickeln sich beide Gebiete weitgehend unabhängig voneinander. Daher soll ein Überblick gegeben werden über die jüngsten Entwicklungen in der Hörgeräte-Systemtechnik, die sich für eine unmittelbare Anwendung in der KFZ-Sprachakustik eignen:

Neuere Verfahren zur binauralen Störschallunterdrückung ("Cocktail-Party-Processing") mit zwei (oder vier) Mikrofon-Eingängen und zwei Ausgangskanälen zeigen nicht nur vielversprechende Eigenschaften für Hörgeräte, sondern auch für die automatische Spracherkennung und scheinen auch für den stationären Einsatz im KFZ geeignet zu sein. Zur Bewertung und Vorhersage der Sprachverständlichkeit unter komplexen räumlichen Bedingungen (Störschall, Nachhall) wurde ein binaurales Sprachverständlichkeits-Vorhersagemodell für Normal- und Schwerhörige entwickelt, das sich gleichermaßen für den Einsatz im KFZ eignet. Schließlich wurden auf der Basis psychoakustischer Modelle elaborierte Sprachqualitäts-Vorhersageverfahren entwickelt und validiert, mit denen der Einfluss von Verarbeitungs-Artefakten bei Normal- und Schwerhörenden mit hoher Genauigkeit vorhergesagt werden kann.

Diese Kombination aus Algorithmen und objektiven Bewertungsverfahren für Normal- und Schwerhörende (immerhin ca. 18% unserer Bevölkerung mit Schwerpunkt bei älteren Personen) hat sich in der Hörgeräte-Entwicklung bewährt. Sie könnte in ähnlicher Form für die Entwicklung von Sprachkommunikations-Unterstützungs-Verfahren mit Kfz verwendet werden, zumal statistisch ein nicht unerheblicher Anteil der KFZ-Insassen einen Hörverlust aufweist. Erste Ergebnisse mit Hörgeräte-Aufnahmen im KFZ runden diesen Überblick ab.

Mi. 14:50 Raum 47.01

Sprache im KFZ II

**Freisprechen - Vom Nachrüstmarkt zum OEM**S. Dobler*Teleca Systems GmbH*

Teleca eVoice umfasst eine Familie von Sprachtechnologie-lösungen für alle Aspekte sprachgesteuerter Benutzerschnittstellen und Sprachkommunikation in der Automobiltechnik und Mobilkommunikation. Dies beinhaltet Spracherkennung mit Paketen unterschiedlicher Komplexität, Freisprechlösungen und verschiedene Sprach- und Audiocodecs. Der Beitrag beschreibt Erfahrungen im Design einer vollduplexfähigen Freisprechlösung für den automobilen Nachrüstmarkt und der evolutionären Weiterentwicklung für OEM Kunden. Teleca eVoice SE ist ein kombiniertes Freisprech- und Geräuschreduktionssystem für Freisprecheinrichtungen im Kfz. Die Kernentwicklung erfolgte für eine Bluetooth Freisprecheinrichtung eines Kunden aus der Mobilkommunikation. Die wichtigsten Forderungen waren VDA Typ1 Kompatibilität, d.h. bestmögliche Audioqualität, niedrige Kosten, 16 Bit Arithmetik für hohe Portierbarkeit, weitestgehende Selbstkonfiguration. Das wichtigste Problem war die aufgrund der niedrigen Kosten begrenzte Linearität der Audiohardware. Das vom Grundkonzept auf Vollduplexbetrieb ausgelegte System wurde in folgenden durch zusätzliche Funktionsmodule auf die hohe Flexibilität und Konfigurierbarkeit von OEM Kunden erweitert.

Mi. 15:15 Raum 47.01

Sprache im KFZ II

**Untersuchungen zur Verständlichkeit eines Telefonats außerhalb des Fahrzeuges**F. Kettler, C. Nettelbeck und H.W. Gierlich*HEAD acoustics GmbH*

Die Verständlichkeit eines über Freisprecheinrichtungen im Fahrzeug geführten Telefonates außerhalb des Fahrzeuges ist zunehmend Gegenstand der Kritik. Es ist bei vielen heutigen Fahrzeugen ohne weiteres möglich, dem Gespräch außerhalb des Fahrzeuges vollständig zu folgen, zumindest was die Wiedergabe des Empfangssignals betrifft. Relevant hierbei ist die Schallabstrahlung durch die eingebauten Audiosysteme im Fahrzeug, die Sprache der telefonierenden Person im Fahrzeug selbst ist in der Regel außerhalb des Fahrzeuges weder verständlich noch wahrnehmbar. Des Weiteren betrifft es in der Regel nicht das fahrende Fahrzeug, sondern stehende Fahrzeuge z.B. im Stadtverkehr an Ampeln oder Zebrastreifen oder Parkplätzen. Es ist von umso

höherer Bedeutung, wenn es sich um Gespräche vertraulichen Inhaltes handelt.

Es werden Untersuchungen zur Schallabstrahlung, gemessen außerhalb des Fahrzeuges, vorgestellt, wenn über die integrierte Freisprecheinrichtung ein Signal in Empfangsrichtung (downlink) wiedergegeben wird. Dies betrifft somit gleichermaßen die Telekommunikationsmesstechnik wie die Schallabstrahlung und Schwingungsanalyse im NVH Bereich. Ziel dieser Untersuchungen ist es, qualitative und quantitative Aussagen zu treffen, z.B. den Luftschallanteil vom Körperschallanteil zu separieren und darauf basierend Möglichkeiten zur Abhilfe abzuleiten.

Mi. 15:40    Raum 47.01

Sprache im KFZ II

### **Richtlautsprecher zur Dialogunterstützung im Fahrzeug**

H. Opfer und G. Seitz

*Volkswagen AG*

Im alltäglichen Gebrauch von akustischen Kommunikationssystemen im Fahrzeug stellen Nebengeräusche, wie Roll-, Wind- und Motorgeräusche, hohe Anforderungen an die Systeme. Daraus resultiert zum Teil eine eingeschränkte Sprachverständlichkeit bei Telefonaten, Verkehrs- und Navigationsansagen. Eine Kompensation durch höhere Lautstärkewahl führt meist zu Belästigung der anderen Fahrzeuginsassen. Die Untersuchung ermittelt die Sprachverständlichkeit im Fahrzeug mit herkömmlichen Lautsprechern im Vergleich zu jener, die mit Einsatz von Richtlautsprechern erzielt werden kann. Insbesondere das Potential für den Einsatz im Digital Voice Enhancement-System von Volkswagen soll untersucht werden. Infolgedessen werden Studien im NVH-Simulator der Volkswagenkonzernforschung durchgeführt, mit dem Ziel zunächst die erhaltenen Messergebnisse abzusichern und anschließend Szenarien zu entwickeln, um z.B. Sprachdialoge in Anwendungen zu optimieren.

Mi. 16:05    Raum 47.01

Sprache im KFZ II

### **Reflexionsmuster im Fahrzeuginnenraum und deren Einfluss bei Audiowiedergabe**

C. Täsch, I. Csonka und H. Pastillé

*Volke Cons. Eng. GmbH & Co. Planungs KG*

Es ist bekannt, dass die komplexen Reflexionsmuster in der Fahrzeugkabine maßgeblich die Qualität des wahrgenommenen Klanges beeinflussen. Die raumakustische Situation im Automobil soll deshalb speziell im Hinblick auf die Audiowiedergabe des

Soundsystems untersucht werden. Hierzu werden die Übertragungsfunktionen zwischen dem Audiosystem und den Kopfpositionen der Insassen mittels Impulsantwortmessungen bestimmt und analysiert. Des Weiteren wird die Schallausbreitung mit Hilfe der geometrischen Raumakustik untersucht. Hierbei werden Erkenntnisse über die Einfallsrichtung sowohl der direkten als auch der indirekten Schallereignisse auf die Hörposition gewonnen. Da in die Auswertung auch psychoakustische Überlegungen einfließen, kann eine Aussage über den Beitrag der Reflexionen hinsichtlich der akustischen Wahrnehmung getroffen werden.

Mi. 16:55 Raum 47.01

Raumakustik I

### **Objektive und subjektive Erforschung der Hörsamkeit europäischer Konzertsäle: Ergebnisse**

K.-H. Lorenz-Kierakiewicz

*Peutz GmbH*

Im Rahmen einer Dissertation zum Thema "Sprachverständlichkeit und Hörsamkeit in europäischen Konzertsälen" konnten 2000-2006 in 26 europäischen Konzertsälen vergleichende Messungen mit identischem Equipment durchgeführt werden (darunter Wiener Musikvereinssaal, Concertgebouw Amsterdam, Tonhalle Zürich, Gewandhaus Leipzig, Stadtcasino Basel, Dvorák Hall im Rudolfinum Prag, Royal Albert und Royal Festival Hall London). In den Sälen wurden an äquivalenten Quell- und Mikrofonorten mit einem Maximalfolgenmesssystem binaurale Impulsantworten gemessen. Mit einem speziell dafür geschriebenen Auswertungsprogramm wurden aus diesen binauralen Impulsantworten die akustischen Parameter EDT, T30, Tcenter, C80, D50 und ALcons berechnet und sollen hier verglichen werden. Mit Auralisationen dieser binauralen Impulsantworten und einem Stimulus aus nachhallfrei aufgenommenen Musik wurden subjektive Vergleichshörtests durchgeführt: In Zusammenarbeit mit einer Zeitschrift wurde ein erster, auf 4 Säle konzentrierter Hörtest einem größeren Publikum vorgestellt. Die Ergebnisse der Auswertung dieses Hörtests sollen hier präsentiert werden und legen nahe, dass es mitnichten eine ideale oder optimale Hörsamkeit gibt - vielmehr scheinen mehrere Hörergruppen (und somit Geschmacksrichtungen) zu existieren. Daraufhin wurde ein weiterer Hörtest konzipiert, in welchem andere nachhallfrei aufgenommene Musik verwendet und ein weiterer Saal hinzugenommen wird. Basierend auf der Auswertung der Tests sollen die Urteile über die Hörsamkeit mit den gemessenen Parametern korreliert und die Ergebnisse interpretiert werden.

Mi. 17:20 Raum 47.01

Raumakustik I

**Einsatz von rein metallischen schallabsorbierenden Materialien in moderne Architektur: Erfahrungen aus der Praxis bei u.a. Schwimmbädern (Piscine Flottante Paris), Museen und Kühldecken**W. Rottiers*Sonogamma*

Die heutige Baukultur der Innenarchitektur erlangt innovative Materialien, die neben der Erzielung einer optimalen Schallabsorption, auch zunehmende Anforderungen an Brandverhalten, Umweltfreundlichkeit und Hygiene, in einem sauberen, klaren Design, entsprechen sollen. Mit üblichen, mit Löchern oder Schlitzten vorgesehenen akustischen Materialien, die eine Schallabsorption mit Mineralwolle oder Schaumstoff im hinterliegenden Luftspalt ermöglichen, werden diese Bedingungen nicht erfüllt. Gesinterte Paneele aus reinem Aluminium bieten mit nur 2 mm Stärke eine Breitband-Absorption mit Schallabsorptionskoeffizienten bis  $\alpha_w = 0,8$  ohne Mineralwolle oder Schaumstoff im Luftspalt. Das Material ist durch seine Komposition faserfrei, nicht brennbar A1 nach dem europäischen Standard, rostfrei, und wasser- und chlorfest. Der Vortrag berichtet über Erfahrungen aus der Praxis und geht auf die raumakustischen und bautechnischen Ergebnisse ein.

Mi. 17:45 Raum 47.01

Raumakustik I

**Sanierung eines Freifeldraumes bei kleinem finanziellen Spielraum**T. Merkel*Technische Fachhochschule Berlin, Fachbereich VII*

Reflexionsarme Messumgebungen sind Grundlage vieler akustischer Messungen. Vor zwei Jahren fand ich einen Freifeldraum an unserer Hochschule vor, der seit vielen Jahren dornröschen-gleich auf Wiederbelebung wartete. Dieser Raum mit einem Messvolumen von ca. 50 qm ist allseitig mit Dämmmaterial ausgekleidet, das aus geschichteten Platten besteht, die unverkleidet 35 cm in den Raum hereinreichen. Begehrbar ist der Raum über ein schwingfähiges Stahlgestell. Eine Untersuchung des Dämmmaterials bestätigte die Vermutung, dass es sich um mineralische Glaswolle handelt, die im Verdacht steht, gesundheitschädigend zu wirken. Es wird eine unkonventionelle Art der Sanierung des Raumes vorgestellt, in deren Ergebnis der Raum wieder für Wissenschaft und Lehre nutzbar ist und die auch den

finanziellen Rahmen kleinerer Arbeitsgruppen nicht sprengt. Um eine Aussage über die Veränderung der akustischen Raumeigenschaften durch die Sanierung machen zu können, wurde der Raum vor und nach der Sanierung in Anlehnung an die DIN ISO 3745 charakterisiert.

Mi. 18:10    Raum 47.01

Raumakustik I

### **Reflector Responses: A Comparison Between ODEON's Modified Ray Tracing Algorithm and a Filtered Boundary Element Method Model**

J. Rathsam<sup>a</sup>, L. Wang<sup>a</sup>, J.H. Rindel<sup>b</sup> und C.L. Christensen<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*University of Nebraska-Lincoln, Peter Kiewit Institute;* <sup>b</sup>*Technical University of Denmark, Acoustic Technology*

The biggest challenge for geometrical room acoustic computer models is to capture complex wave phenomena while maintaining the low computational load of the ray tracing algorithm. Special corrections must be added to the ray tracing algorithm to account for wave phenomena such as edge diffraction, which are ignored by classical geometrical acoustics. ODEON, a well-known geometrical computer model, is in the process of upgrading its ray tracing and scattering algorithm. The new algorithm allows users to specify transmission through reflector panel arrays. To aid in the development of ODEON's new algorithm, its predictions are compared with predictions from a boundary element method (BEM) model. The computationally intense BEM model is shown to be very accurate in predicting the response from single- and multi-panel reflector arrays. Comparisons will be shown for several reflector arrays of varied size and density. The BEM results have been filtered into octave bands for ease of comparison.

Mi. 8:30    Raum 47.02

KFZ-Geräusche

### **Verfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften von Faserverbundwerkstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen**

C. König und D.H. Müller

*Universität Bremen, Bremer Institut für Konstruktionstechnik*

Die zunehmenden Anforderungen an das Gewicht von Automobil-Innenteilen, sowie Umweltverträglichkeit und Recyclingfähigkeit der eingesetzten Werkstoffe, erfordern innovative Lösungsansätze bei der Bauteilgestaltung. Unter diesen Gesichtspunkten wächst das Bestreben Glasfasern durch Naturfasern zu substituieren. Naturfasern bieten im Verbund mit polymeren Matrices durch Aufbau, Verarbeitung und Anordnung



verschiedener Einzelschichten (Layer) erhebliche Kombinationsmöglichkeiten bei der Bauteilgestaltung. Durch Kombination verschiedener Layer besteht die Möglichkeit, die akustischen Eigenschaften des Endproduktes zu modifizieren. Die akustischen Eigenschaften einer Einzelschicht hängen, neben seiner Dicke, von weiteren Materialkennwerten (u.a. Strömungswiderstand, Tortuosität, thermische und viskose charakteristische Länge) ab. Einzig die Dicke ist dabei im Herstellungsprozess direkt zu messen und zu beeinflussen. Die akustischen Eigenschaften von Automobil-Innentteilen werden daher häufig nachträglich im ‚trial-and-error‘ Verfahren verändert. Im Rahmen dieses Vortrags wird ein Verfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften aufgezeigt. Mittels experimenteller Untersuchungen wird ein Zusammenhang zwischen den Herstellungsparametern und den akustischen Eigenschaften dargelegt. Zu diesen Parametern gehören u.a. die Naturfaserart, das Mischungsverhältnis, die mechanische Verfestigung, der Verpressungsgrad und die Prozesstemperatur sowie das akustische Verhalten bei Kombination verschiedener Einzelschichten.

Mi. 8:55 Raum 47.02

KFZ-Geräusche

### **Schalldämmungsbestimmung von leichten Materialien in der Automobilentwicklung**

M. Hansen<sup>a</sup>, G. Ebbitt<sup>b</sup> und F. Juber<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Carcoustics TechConsult GmbH*; <sup>b</sup>*Carcoustics North American Technical Center*

Zur Messung der Absorption von Bauteilen und Materialien haben sich in der automobilen Welt die Alphakabine und das Impedanzrohr als Standard etabliert. Im Falle der Schalldämmungsbestimmung stellt sich das Bild weniger eindeutig dar, da hier verschiedene Prüfstände und Messvorschriften in Konkurrenz zueinander stehen.

In diesem Beitrag werden Methodik und Ergebnisse von praxiserprobten Schalldämmungsprüfständen miteinander verglichen. Die betrachteten Methoden unterscheiden sich hauptsächlich hinsichtlich der Größe und Beschaffenheit des Senderaumes, der Art der Messung im Empfangsraum sowie der Auswertung.

Zur Erläuterung der indirekten Schalldämmungsbestimmung nach dem amerikanischen Standard SAE J1400 (Rev. May90) werden die in der Literatur bekannten Berechnungsformeln für die Schalldämmung von Einfachwänden diskutiert. Das Hauptaugenmerk liegt hierbei auf der Anwendbarkeit für leichte Materialien und tiefe Frequenzen.

Mi. 9:20 Raum 47.02

KFZ-Geräusche

**Akustische Eigenschaften von PKW-Stirnwänden**P. Geißler und E. SchröderMüller-BBM GmbH

Die Stirnwand ist das akustisch wichtigste Karosseriebauteil zwischen Motorraum und Innenraum. Wie bei anderen Karosseriebauteilen sind Körperschalldämpfung, Dämmung und Abstrahlung die wesentlichen physikalischen Wirkmechanismen. In mehreren Untersuchungen wurden akustische Kenngrößen für diese Wirkmechanismen entwickelt und in standardisierten Prüfeinrichtungen für unterschiedliche Stirnwandkonstruktionen gemessen. Zu den untersuchten Konstruktionen gehörten versickte und unversickte Bleche aus Stahl und Aluminium, mit und ohne Belag, sowie einige Kohlefaserkonstruktionen. Darüber hinaus wurden aus den gemessenen Größen Einzahlwerte entwickelt und berechnet, die als Grundlage für eine Gesamtbewertung der akustischen Eigenschaften der Stirnwände herangezogen wurden. In dem Beitrag werden neben den Mess- und Auswertemethoden auch die ermittelten Wertebereiche für die untersuchten Stirnwandkonstruktionen vorgestellt. Konsequenzen für akustisch vorteilhafte Stirnwandkonstruktionen und für weiterführende Messmethoden werden diskutiert.

Mi. 9:45 Raum 47.02

KFZ-Geräusche

**Entwicklung eines Prüfstandes zur Erfassung der Körperschallweiterleitung in Hydraulikleitungen**K. Pies<sup>a</sup>, S. Sentpali<sup>b</sup>, M. Fallen<sup>a</sup> und F. Ebert<sup>a</sup><sup>a</sup>*TU Kaiserslautern, Fachb. Maschinenbau;* <sup>b</sup>*BMW AG*

In modernen Fahrzeugen erfolgt ein wesentlicher Beitrag des Motorgeräuscheintrages in den Fahrzeuginnenraum durch die Körperschallübertragung biegeschlaffer Bauteile der Nebenaggregate. Besondere Beachtung finden hierbei hydraulische Schlauchleitungen der Lenkhilfe oder Wankstabilisierung, sowie Kältemittelleitungen der Fahrzeugklimaanlage. Die Abstimmung dieser Schallnebenwege erfolgt im Akustikversuch in einer relativ späten Entwicklungsphase. Hierbei werden verschiedene Schlauchmaterialien, die Verlegung der Leitungen und Befestigungsart der Rohrhalterungen getestet. Lärmarme Konstruktionsrichtlinien, welche in der frühen Entwicklungsphase innerhalb des Produktentstehungsprozesses ihre Anwendung finden, basieren fast ausschließlich auf Erfahrungswerten aus dem Fahrzeugversuch des Vorgängermodells. Im Rahmen dieses Vortrages wird ein Prüfstandskonzept vorgestellt, mit dessen Hilfe die

für den Fahrzeugbauraum relevanten akustischen Körperschalleinflussgrößen ermittelt werden können. Ein Bezug der Körperschallübertragungseigenschaften zum Betriebskennfeld wird durch Berücksichtigung der äußeren Lasten, gebildet aus Fluidinnendruck, Materialtemperatur und den geometrischen Parametern Schlauchlänge und Biegeverlegung, hergestellt. Z.B. erfolgt bei der Motorgeräuschübertragung durch Hydraulikleitungen eine mehraxiale Anregung und entsprechend eine, aus mehreren Wellenformen bestehende überlagerte Körperschallweiterleitung. Zur Entwicklung von Leitungskonstruktionen mit günstigen Körperschallübertragungseigenschaften werden die technisch relevanten Formen der Biege-, Torsion- und Longitudinalwelle messtechnisch getrennt analysiert. Anhand von Beispielen aus der Fahrzeughydraulik und Klimatisierung wird die Anwendung des Prüfstandes gezeigt.

Mi. 10:10    Raum 47.02

KFZ-Geräusche

### **Ermittlung von Kennwerten zur Beschreibung der akustischen Übertragungseigenschaften biegeschlaffer Bauteile**

S. Sentpali<sup>a</sup>, K. Pies<sup>b</sup>, M. Fallen<sup>b</sup> und F. Ebert<sup>b</sup>

<sup>a</sup>BMW AG; <sup>b</sup>TU Kaiserslautern, Fachb. Maschinenbau

Die akustische Beschreibung der Materialeigenschaften von biegeschlaffen Bauteilen findet ihre Anwendung im Wesentlichen bei hydraulischen Dehnschlauchleitungen und dem Lastfall der Druckpulsübertragung. Hier wird zum einen die Wechselwirkung des angeschlossenen Leitungsnetzes mit der Volumenstrompulsation von Pumpen als Schallquelle und zum anderen die Druckpulsweiterleitung durch die Dehnschläuche betrachtet. Ergänzend zu dieser hydroakustischen Sicht wird in diesem Beitrag ausschließlich auf die Körperschallweiterleitung eingegangen. Die Elastizität bzw. die Steifigkeit der Schlauchwandungen bestimmt maßgeblich die Körperschallwellengeschwindigkeit und die Dämpfung. Neben der konstruktiven Gestaltung in Form von Abmessung und Verlegung, ist der komplexe Elastizitätsmodul der dominante akustische Materialkennwert. Im Gegensatz zum Gummipuffer sind elastische Schlauchleitungen aufgrund ihres Verhältnisses Durchmesser zu Länge als biegeschlaffe Bauteile zu verstehen, so dass hier überwiegend Kontinuumsschwingungen betrachtet werden müssen. Der Zusammenhang zwischen den statischen Kenngrößen (Druckbelastung, Materialtemperatur, Biegeradius, Durchmesser- und Längenänderung) und den dynamischen Kenngrößen (Elastizitätsmodul, Dämpfung und Dynamikfaktor) wird hergestellt. Es wird ein empirischer Ansatz

zur Beschreibung der Dehnwellengeschwindigkeit in Abhängigkeit der Schlauchbiegung gezeigt. Die Diskussion der ermittelten Kennwerte erfolgt anhand von Beispielen von Materialalterung, Materialbenchmark als Kennfelddiagramm oder Einzahlwert.

Mi. 14:00    Raum 47.02

KFZ-Geräusche

### **Transfer Path Analysis in the Critical Path of Vehicle Refinement**

T. Vase<sup>a</sup>, H. Van Der Auweraer<sup>b</sup>, P. Mas<sup>b</sup>, A. Vecchio<sup>b</sup>, K. Janssens<sup>b</sup> und P. Van De Ponsele<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*LMS Deutschland GmbH*; <sup>b</sup>*LMS International*

Transfer Path Analysis has now been used in automotive engine and road noise applications for more than 15 years. Many cases are documented and the impression may rise that TPA has become a commodity tool in the vehicle troubleshooting and refinement process. However, a closer look at the purpose and results of these studies reveals that this is not the case and that TPA remains an expert tool with a number of critical issues that impede a more widespread use. These issues basically relate to the following interrelated challenges:

- How to improve the efficiency of the TPA process, to make it more attractive to applications in the critical path of the vehicle refinement?
- What are the key accuracy bottlenecks (and resulting performance limits), and how can these be addressed without compromising the efficiency?

Several procedures are used today based on different assumptions regarding loads, invariant parameters and impact of non-measured system behaviour. A critical review will illustrate the merits and limits of the main procedures in the light of usefulness to solve problems. These challenges should however not keep us from further investigating the expansion of the scope of TPA from an experimental troubleshooting tool for stationary noise problems to new application domains. Examples are in the analysis of transient noise and vibration problems, the use of time-domain TPA in relation to sound replay and synthesis, the extension of TPA to CAE and hybrid models etc. A number of these potential "next steps" will be outlined and illustrated.

Mi. 14:25 Raum 47.02

KFZ-Geräusche

**A new interactive NVH Vehical Simulator, what data is required?**T.G. Nielsen<sup>a</sup>, K.B. Ginn<sup>a</sup>, D. Tcherniak<sup>a</sup>, M. Allman-Ward<sup>b</sup> und J. Schmitz<sup>c</sup><sup>a</sup>*Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurement A/S*; <sup>b</sup>*Sound & Vibration Technology Ltd*; <sup>c</sup>*Brüel & Kjaer GmbH*

The NVH Vehicle Simulator is more than comparing "listening" examples. The workflow adds additional stimuli like vibration, interactivity and context of driving. Steering wheel, pedals and a virtual street are helping to simulate a realistic feeling of driving. Significant benefits are offered to the NVH process in less time. Much more powerful assessment is available than by non-interactive methods. A broader range of assessors (including non NVH-experts) is enabled to confidently evaluate the NVH of real and virtual vehicals. This means, it is also possible to use that Simulator before a first physical prototype of a new vehicle has been built

To achieve a high level of accuracy it is necessary to have good quality data. Covering the full audible frequency range for all situations is important. The way how recorded (in vehicle) sound and vibration signals are converted in a data set, which is useful for the simulator, is described. This "simulator sound objects" are accompanied by metadata, describing the properties of the data and rules how the sound object will be reconstituted. The Simulator offers three different levels called Vehicle, Physical Source and Component Contribution. Several sound decomposition methods are available. Comparison of different order extraction and order removal techniques for the Vehicle level will be shown. The multiple coherence method is explained for the Source level.

To ensure the right extraction of useful data from the measurement without missing data quality a specific workflow is recommended. Application examples of preparing and validating data are presented.

Mi. 14:50 Raum 47.02

KFZ-Geräusche

**Eine Methode zur Vorhersage der Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugaußengeräuschen**S. Kerber*AG Technische Akustik, MMK, TU München*

Das Fahrzeugaußengeräusch ist seit längerer Zeit Gegenstand umfangreicher Untersuchungen aus dem Bereich des Sound

Quality Designs. Ein Aspekt der hingegen noch kaum untersucht wurde, ist dessen warnende Funktion für andere Verkehrsteilnehmer, insbesondere Fußgänger. In diesem Beitrag sollen daher Untersuchungen vorgestellt werden, die die Wahrnehmbarkeit von verschiedenen Fahrzeuggeräuschen in einer urban typischen Geräuschkulisse aufzeigen, und diese in Relation zu Überlegungen zur Unfallverhütung stellen. Außerdem soll eine Methodik zur Vorhersage der Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugen im Straßenverkehr vorgestellt werden.

Mi. 15:15    Raum 47.02

KFZ-Geräusche

### **Objektivierung des Türgeräusches eines Kraftfahrzeuges**

R. Liebing<sup>a</sup> und R. Weber<sup>b</sup>

<sup>a</sup>BMW AG; <sup>b</sup>Institut für Physik, Universität Oldenburg

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 designet. 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.

Mi. 15:40    Raum 47.02

KFZ-Geräusche

### **Untersuchungen zum Öffnungs- und Schließgeräusch elektrisch betätigter PKW-Heckklappen**

W. Foken

*Westfälische Hochschule Zwickau, Institut für Kraftfahrzeugtechnik*

Die Beurteilung der Geräuschqualität von PKW beschränkt sich nicht mehr ausschließlich auf Motor und Innenraum. Zunehmend wird die Qualitätsanmutung zum Beispiel auch durch das Geräusch beim Öffnen und Schließen der PKW-Heckklappe beeinflusst. Der Beitrag stellt systematische Untersuchungen dieser

Geräusche von der Entstehung, Weiterleitung und Abstrahlung bis zur psychoakustischen Beurteilung vor. Im Einzelnen werden Körperschallmessungen am Heckklappenschloss, Modalanalyse der Heckklappen, dynamische Schallquellenortung mittels Array-techniken und Kunstkopfaufnahmen im Zusammenhang diskutiert. Außerdem werden vergleichende Messungen auf einem speziellen Prüfstand zur Geräuschuntersuchung der Heckklappenschlösser herangezogen. Gesamtziel der Arbeit ist, aus Prüfstandsuntersuchungen an elektrisch betätigten Schlössern auf die zu erwartenden Öffnungs- und Schließgeräusche der eingebauten Heckklappe zu schließen und das akustische Verbesserungspotential konstruktiver Maßnahmen abzuschätzen.

Mi. 16:05    Raum 47.02

KFZ-Geräusche

**Investigation into the human perception of modulated sound and vibration excited by brake systems such as ABS/ESP**

T. Zöller und F. Attia

*Robert Bosch GmbH*

Antilock braking systems causes fluctuation of the hydraulic brake pressure and thereby excite vibrations on the brake pedal and noise inside the cabin. Such noise and vibrations affect the comfort of the driver, especially if they exceed certain limits. Existing publications mainly deal with human response to vertical whole-body vibration for standing or seated persons. In our investigation persons are exposed to brake noise and pedal vibrations while seating in a realistic vehicle simulator representing the particular posture and brake pedal forces during braking. This paper presents the results of our investigation into the human perception of modulated noise alone, modulated vibration alone and the combination of both signals simultaneously. The sound and vibration stimuli presented in the experiments are signals collected from on-road measurements with normal passenger cars. Based on these data, mutual effects between sound and vibration on the perception are investigated. The evaluation shows that both sound and vibration contribute to the overall annoyance of the driver. If a certain stimulus level is exceeded, one modality dominates the perceived annoyance. A comparison between the evaluations of brake system experts and non-experts showed no significant differences in their annoyance ratings. Our results can be used to predict the annoyance of modulated noise and brake pedal vibration. This would help to define the goals of the developments for such braking systems and therefore to achieve more comfort.

Mi. 16:55 Raum 47.02

KFZ-Antriebsgeräusche I

**Passive Akustikmaßnahmen und Wärmemanagement - Gegensätze oder Synergien?**M. Manschitz*BMW AG*

Autos mit Dieselmotorisierung fehlt vor Allem bei Kunden im Premiumsegment die soziale Akzeptanz im Außenstandgeräusch. Insbesondere ist der Diesel im US Markt im Gegensatz zum Europäischen Markt neben vielen Faktoren auch wegen der nachteiligen Akustik bei der Hotelanfahrt oder langsamen Abfahrt trotz geringerem Verbrauch und besseren Fahrleistungen noch schwach vertreten.

Für die Geräuschminderung an Dieselfahrzeugen sind aktive Maßnahmen am Motor passiven Maßnahmen im Motorraum vorzuziehen. Leider kompensieren höhere Abgasnormen und leistungsstärkere Motoren dieses Ziel immer wieder. Motorraumkapseln im Unterboden, im Radhaus und zur Fahrzeugfront, sowie Abdichtungen der Frontklappe gehören heute zum Stand der Technik. Motorraumabsorber oder akustisch wirksame Hitzeschilder wurden in den letzten Jahren weiter verbessert.

Für das Ziel das Dieselgeräusch akustisch dem benzinbetriebenen Fahrzeug gleichzustellen reichen herkömmliche Kapselmaßnahmen nicht mehr aus. Ein höherer Schließungsgrad des Motorraums stand bislang aber im Gegensatz zur thermischen Betriebssicherheit im Motorraum.

In den letzten Jahren hat sich herausgestellt, dass Akustikkapseln nicht nur zur Verbesserung der Aerodynamik beitragen, sondern auch die Warmlaufphase des Motors optimieren. Letzteres bedeutet eine Reduktion des Kraftstoffverbrauchs und der Emissionen - beides sind wesentliche Vorteile für den Kunden und bei der Typzulassung.

Die BMW AG entwickelt derzeit multifunktionale Kapseln des Motorraums. Die Verbrauchseinsparung ergibt sich durch eine Abkühlverzögerung nach dem Abstellen des Fahrzeuges nach Fahrt. Die Abkühlverzögerung erwirkt einen Anstieg der Starttemperatur des Motors bei mittleren Abstellzeiten. Weitere Funktionen der Kapsel beinhalten einen besseren thermischen Komfort für den Kunden, verbesserte Aerodynamik und eben nicht zuletzt wiederum der Akustik.

Sind also Akustikmaßnahmen immer nur Gegensätze zur thermischen Betriebssicherheit oder bieten sie auch Synergien?



Mi. 17:20 Raum 47.02

KFZ-Antriebsgeräusche I

**Akustisch optimierte Zusatzmaßnahmen auf einer blasgeformten Motorkapsel**M. Filz und H. Bugge*Carcoustics TechConsult GmbH*

In der heutigen Zeit spielt die Kapselung des Motorraums eine bedeutende Rolle für das Außengeräusch. Die dadurch bedingte Zunahme des Geräuschpegels im Motorraum mit ihrer negativen Auswirkung auf den Innengeräuschpegel kann mit Hilfe absorbierender Maßnahmen auf der Motorkapsel erfolgreich (über-)kompensiert werden. Das Blasformkonzept bietet hier unter Berücksichtigung von Bauraumgegebenheiten die kostengünstige Möglichkeit, mit Hilfe von Resonanzabsorbern eine an die Kundenanforderungen angepasste Absorption in die Motorkapsel zu integrieren.

Erweiterten akustischen Anforderungen insbesondere im hochfrequenten Bereich sowie zur Bekämpfung tonaler Effekte (zum Beispiel Nebenaggregate im Motorraum) kann durch akustisch optimierte Zusatzmaßnahmen begegnet werden. Im Hinblick auf thermische Anforderungen ist die Belegung mit mikroperforiertem Aluminium interessant. Hierbei ist man durch Simulation in der Lage, die zusätzliche Absorption des Materials zu optimieren. Bei geringeren thermischen Anforderungen kann alternativ die Gesamtaborption durch motorseitig aufgebrachte, strömungsoptimierte Zusatzmaßnahmen signifikant verbessert werden. Dieser Beitrag beschreibt die Maßnahmen und stellt deren akustische Wirkung dar.

Mi. 17:45 Raum 47.02

KFZ-Antriebsgeräusche I

**"Vari-X" - ein Werkzeug zur Beeinflussung von PKW-Abgas-mündungsgeräuschen im Fahrbetrieb**U. Letens<sup>a</sup>, J. Krüger<sup>b</sup> und M. Jess<sup>b</sup><sup>a</sup>*DaimlerChrysler AG*; <sup>b</sup>*J. Eberspächer GmbH & Co.*

Für die Akustikentwicklung von Kraftfahrzeugen ist schon in einer frühen Phase die emotionale Positionierung festzulegen (z.B. sportlich vs. komfortabel). Hierzu werden mitunter noch nicht serienreife Komponenten in Fahrzeugen der Vorgängerbaureihe erprobt und beurteilt. Einige Komponenten (wie z.B. Teile der Abgasanlage - AGA) lassen sich ausgehend von einem Grundlayout konstruktiv über einen weiten Bereich akustisch abstimmen.

Eine interessante Aufgabenstellung ist hierbei die "Anreicherung" des Klangspektrums bei nur geringfügig angehobenem Gesamtschalldruckpegel. Bei Fahrzeugen mit V-Motoren bietet sich z.B. die Übersprechstrecke in der AGA an, um ein gewünschtes "Sound-Design" darzustellen. Der Grad der Übersprechung zwischen den beiden Abgassträngen beeinflusst maßgeblich die Zusammensetzung des AGA-Mündungsgeräuschs. Ein wesentliches Maß ist hierbei der relative Pegel der "Nebenharmonischen" in Bezug auf den Geräuschanteil mit der Motorgrundfrequenz. Bei einem hohen Anteil dieser "Nebenharmonischen" resultiert ein stark modulierte, als sportlich (oder "kernig") empfundenes Mündungsgeräusch. Für Grundsatzuntersuchungen und für Abstimmungszwecke wurde eine Übersprechstrecke mit einer elektrisch einstellbaren Abgasklappe zur stufenlosen Variation des Übersprechgrades im Fahrbetrieb aufgebaut ("Vari-X" = variable cross talk). Diese Übersprechstrecke wurde ohne weitergehende Anpassung der restlichen AGA in ein serienmäßiges Fahrzeug im Roadstersegment eingebaut. In dem Vortrag werden Messergebnisse sowie subjektive Befunde vorgestellt und diskutiert. Einige Audio-Demonstrationen unterstützen dabei die analytischen Darstellungen.

Mi. 18:10 Raum 47.02

KFZ-Antriebsgeräusche I

### **Sound Radiation of an Expansion Chamber due to Pressure Induced Structural Vibrations**

M. Junge<sup>a</sup>, F. Schube<sup>b</sup> und L. Gaul<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Institut für Angewandte und Exp. Mechanik, Universität Stuttgart*; <sup>b</sup>*Friedrich Boysen GmbH & Co. KG*

Exhaust systems are exposed to large pressure pulsations due to the periodically blown out exhaust gas. These large pulsations may lead to structural vibrations of the exhaust system, by the transfer of energy from the acoustic fluid to the structural parts of the exhaust system. The vibrating structural parts of the exhaust system contribute to the sound radiation in addition to the sound at the orifice and thus degrading the performance of the system. This phenomenon is experimentally investigated on a production-model expansion chamber. A loudspeaker is used as an acoustic source and the two-microphone method is employed to determine the exact input signal on the inlet. It is found that for some frequencies the structural parts of the expansion chamber are heavily excited by this acoustic path. Those frequencies are close to some structural resonance frequencies, which are determined by

an experimental modal analysis (EMA). The ability of the structure to radiate sound varies between all resonance frequencies and depends mainly on the geometry of the structure. In order to be able to predict, evaluate and optimize the sound radiation of an exhaust system in an early development stage this research aims for the development of a simulation tool employing a fluid-structure coupled finite element model for the description of the interior problem and a fast multipole boundary element model for the exterior problem.

Mi. 8:30    Raum 47.03

Lärm II

### **Lärmkarten für ein Lärmmanagement mit Überschreitungstagen**

K.-W. Hirsch

*Institut für Lärmschutz, Düsseldorf*

Das Lärmmanagement auf Schießplätzen der Bundeswehr geht neue Wege, siehe DAGA 2006. Es greift schon bei der täglichen Planung des Schießbetriebs ein und führt nach einem System von Auslöse- und Richtwerten zu sachgerechten betrieblichen Maßnahmen zur Lärminderung bzw. in Kooperation mit der Aufsichtsbehörde zu mittelfristigen baulichen Schallschutzmaßnahmen.

Das Konzept dieses Managements basiert auf dem tatsächlichen Betrieb der Anlage und lässt immissionsortspezifische Überschreitungen einiger Auslöse- bzw. Richtwerte an 5% der Tage innerhalb der letzten 365 Tage vor dem zu beurteilenden Schießtag zu. Es basiert also auf einem gleitenden Beurteilungszeitraum. Zu keinem Zeitpunkt gibt es deshalb eine Information, die zur Darstellung einer Lärmkarte im herkömmlichen Sinne genutzt werden kann.

Zur Dokumentation der Lärmbelastung wird eine neue Art von Lärmkarten vorgeschlagen, die die Anzahl der Überschreitungstage entweder als Linien gleicher Tagesanzahl oder als entsprechende Rasterinformation für einen festen Zeitraum als Karte darstellt.

Mi. 8:55 Raum 47.03

Lärm II

**Testaufgaben zur Qualitätssicherung von Schalltechnik-Software**M. Liepert<sup>a</sup>, T. Maly<sup>b</sup>, U. Möhler<sup>a</sup> und J. Plundrich<sup>b</sup><sup>a</sup>Möhler + Partner; <sup>b</sup>Müller-BBM GmbH

Im Auftrag des Umweltbundesamtes wurden Testaufgaben für Schalltechnik-Software entwickelt. Die Aufgaben prüfen sowohl die richtlinienkonforme Umsetzung der Berechnungsvorschriften, als auch die Kompatibilität der Software-Produkte untereinander mittels QSI-Datenformat nach DIN 45687. Es wurden zwei verschiedene Typen von Testaufgaben entwickelt. Für die Berechnungsvorschriften RLS-90 und DIN ISO 9613-2 wurden Testaufgaben geringer Komplexität entwickelt. Diese bilden in der Praxis häufig anzutreffende Situationen ab, die dem Anwender Schwierigkeiten bei der regelkonformen Umsetzung in Software-Produkten bereiten. Die Testaufgaben wurden in Tabellenkalkulationsprogrammen umgesetzt und ein Ergebnisbereich ermittelt, der die im Rahmen der regelkonformen Berechnung möglichen Schwankungen angibt. Der zweite Typ ist eine Testaufgabe hoher Komplexität, in der die Ausbreitungsrechnung mehrerer und unterschiedlicher Schallquellen in einer komplexen Umgebung (Bebauung, Dämme, Schallschutzwände usw.) geprüft wird. Die Komplexität der Testaufgabe lässt eine "händische" Überprüfung der Ergebnisse nicht zu. Es werden daher die Ergebnisbereiche, die mit den in Deutschland gängigen Software-Produkten ermittelt wurden, dargestellt. Die bei der Umsetzung der Testaufgaben aufgetretenen Schwierigkeiten und Interpretationsspielräume werden diskutiert. Zudem wird über die Erfahrungen beim Datenaustausch im QSI-Datenformat berichtet.

Mi. 9:20 Raum 47.03

Lärm II

**Eine 3D-Ersatzschallquelle für komplexe Schießstände**

J. Zangers und K.-W. Hirsch

*Institut für Lärmschutz, Düsseldorf*

Schießanlagen für Handfeuerwaffen sind häufig durch viele, ausbreitungswirksame Aufbauten geprägt. Vielfachreflexionen vom Boden, den Sicherheitsblenden, den Seitenwällen, sowie von einem komplexen Geschosfang können entscheidend für die Lärmbelastung im Außenbereich sein. Um für empfindliche Gebiete in der Nachbarschaft spezifische bauliche Schallschutzmaßnahmen im Schießstand entwickeln zu können, ist es entscheidend, den 3D-Schallweg der Reflexionen zu kennen.

Bei der Berechnung der Schallausbreitung wird das auf der DAGA 2004/2005 vorgestellte Konzept der 3D-Propagation von "Zelten" als Träger der akustischen Energie angewandt. Da innerhalb eines Schießstandes die lokalen 3D-Wetterverhältnisse gewöhnlich nicht bekannt sind, wird von einer ruhenden, ortsunabhängigen Atmosphäre ausgegangen. Bei der Berechnung der Reflexionen werden die Aufbauten als räumlich ausgedehnte Körper mit flächenspezifischen akustischen Eigenschaften berücksichtigt.

Die Gesamtheit aller Zelte - mit Eigenzeit, Schallausbreitungsrichtung und Energiedichte - die eine Box um den Schießstand durchdringen, bildet die Ersatzschallquelle. Ausgehend von dieser Ersatzschallquelle kann die weitere Schallausbreitung in einer Atmosphäre mit ortsabhängigen Wetterparametern mittels des o.g. Ausbreitungsmodells berechnet werden.

Da eine Beugungsrechnung nach Maekawa - also nach ISO 9613 - für den Nahbereich von Knallquellen nicht anwendbar ist, ist die Beugungsrechnung im 3D besonders kompliziert. In der aktuellen Version wird die Beugungsenergie bereits aufbauspezifisch errechnet und soll in einer weiteren Entwicklungsstufe als einfache Ersatzschallquelle hinzugefügt werden.

Mi. 9:45    Raum 47.03

Lärm II

### **Maximal zulässige Expositionspegel im Außenbereich einer Anlage**

E. Buchta und K.-W. Hirsch

*Institut für Lärmschutz, Düsseldorf*

Die Richtlinie 2003/10/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über "Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Lärm)" schreibt Auslösewerte und einen Expositionsgrenzwert für den C-bewerteten Spitzenschalldruckpegel vor, um den maximal zulässigen Schalldruck, dem Arbeitnehmer ohne Gehörschutz ausgesetzt werden dürfen, zu beschränken. Es erscheint angemessen, dieses Bewertungssystem auch auf den Außenbereich von Anlagen anzuwenden, die betriebsbedingt - wenn auch nur kurzzeitig - sehr hohe Schalldrucke im Außenbereich verursachen, um auch hier Unbeteiligte vor hohen Schalldruckspitzen zu schützen.

Die zuverlässige Prognose von Spitzenschalldrucken im Außenbereich einer Anlage - also unter Berücksichtigung der Schallausbreitung im Freien, mit dem Einfluss des Wetters, des Standortes und seiner lokalen Reflexionsgeometrie - ist zumindest bis

heute ein ungelöstes Problem, auch wenn man unterstellt, dass gefährdende Schalldrücke nur im Nahbereich der Anlage auftreten können. Es liegt deshalb nahe, bei bekannten Signalförmern der Schalle die Prognoseverfahren für deren Expositionspegeln zu nutzen, um daraus eine hinreichend zuverlässige Prognose für ihren Spitzenschalldruck abzuleiten.

Der Vortrag berichtet von Messergebnissen für Schießlärm, um den Unterschied zwischen den prognostizierbaren Expositionspegeln und den damit verbundenen Spitzenpegeln empirisch zu bestimmen. Aus diesen Ergebnissen wird ein Beurteilungssystem für den maximal zulässigen Einzelgeräuschpegel für das Lärmmanagement auf Schießplätzen abgeleitet.

Mi. 10:10 Raum 47.03

Lärm II

### **Koronageräusche an Hochspannungsfreileitungen**

C. Hettig, R. Kurz und P. Castano-Perez

*Kurz und Fischer GmbH*

An der Oberfläche hochspannungsführender Leiterseile entstehen elektrische Felder, welche in erster Linie durch die Betriebsspannung sowie den Durchmesser und die Oberflächenbeschaffenheit der Leiterseile beeinflusst werden. Bei hohen Betriebsspannungen finden vor Allem bei Regen lokale elektrische Entladungen statt, die zu einer Ionisation der Umgebungsluft führen. Der Vorgang wird in der Elektrotechnik als Koronaentladung bezeichnet. Dieses Phänomen führt nicht nur zu Energieverlusten, sondern erzeugt störende Geräusche, die als Knistern, Prasseln oder auch als Brummen beschrieben werden.

Diese Geräusche können von Anliegern in der Umgebung solcher Leitungen als störend empfunden werden. Der Vortrag beschäftigt sich mit der Entstehung der Geräusche und stellt den maßgeblichen Schallleistungspegel für verschiedene Seilgeometrien in Abhängigkeit von der Regenmenge vor.

Mittwoch Poster

Lärm II

### **Untersuchung des Nah- und Fernfeldes vor periodisch profilierten Oberflächen**

D.F.P. Pazos<sup>a</sup>, L. Weber<sup>a</sup>, K. Sedlbauer<sup>b</sup> und P. Leistner<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Fraunhofer-Institut für Bauphysik; <sup>b</sup>Lehrstuhl für Bauphysik, Universität Stuttgart

Profilierte Oberflächen bewirken eine Streuung des reflektierten Schalls und erhöhen den Schallabsorptionsgrad. Sie sind deshalb bei Lärmschutzwänden weit verbreitet. Hinsichtlich ihrer akustischen Eigenschaften - z.B. in Bezug auf die Feldverteilung

im Nah- und Fernbereich der Oberfläche - bestehen jedoch noch offene Fragen.

Im Rahmen der Entwicklung eines In-situ-Messverfahrens zur Bestimmung des Schallabsorptionsgrads strukturierter Wände wurde das Schallfeld vor periodisch profilierten Oberflächen rechnerisch untersucht. Der Schwerpunkt hierbei bestand in dem Zusammenhang zwischen Nah- und Fernfeld. Die Modellierung des Schallfeldes erfolgte nach einer von Holford (1981) beschriebenen analytischen Methode.

Aus den Untersuchungen ergeben sich Erkenntnisse über den Einfluss der Profilierung auf die Feldverteilung vor der Oberfläche beim Auftreffen einer ebenen Welle. Des weiteren lassen sich Hinweise zur Gestaltung eines geeigneten In-situ-Verfahrens zur Messung der Schallabsorption ableiten.

Mittwoch Poster

Lärm II

### **Gabionen als Lärmschutzeinrichtungen an Verkehrswegen**

D. Brandstetter und L. Weber

*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

Gabionen, d.h. mit Gestein gefüllte Drahtkörbe, werden wegen ihrer Standsicherheit und Dauerhaftigkeit sowie der verhältnismäßig geringen Herstellungskosten seit einigen Jahren verstärkt als Lärmschutzwände an Verkehrswegen eingesetzt. Im IBP wurden seit vielen Jahren akustische Prüfungen an einer Vielzahl von Gabionen unterschiedlicher Bauart nach DIN EN ISO 354 (Absorption) und DIN EN ISO 140-3 (Schalldämmung) durchgeführt und nach den einschlägigen Richtlinien wie der ZTV-Lsw 88 und der DB-Richtlinie 800.2001 beurteilt. Hierbei zeigte sich, dass die Einhaltung der für die Schalldämmung und die Schallabsorption geforderten Werte in vielen Fällen erhebliche Schwierigkeiten bereitet. Kritisch ist insbesondere die Abdichtung der zwischen den Körben vorhandenen Fugen.

Neben den Abnahmeprüfungen wurden gemeinsam mit den Herstellern neue Systeme entwickelt und akustisch optimiert. Hierbei wurde darauf geachtet, dass sich die eingesetzten Materialien akustisch und umweltverträglich ergänzen. Zudem wurden unterschiedliche Messverfahren zur Bestimmung der Schalldämmung (Diffusfeld / Freifeld) angewandt und miteinander verglichen. Es wird über die ermittelten Ergebnisse und neue Lösungen zur Optimierung der akustischen Eigenschaften von Gabionen berichtet.

Mi. 14:00 Raum 47.03

Soundscape und EU-Directive

**Umgebungslärmrichtlinie - Umsetzung und Strategien**M. Hintzsche*Umweltbundesamt*

Die Umsetzung der "Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm" geht mit der Kartierung von großen Ballungsräumen und Hauptverkehrswegen bis zum Juni 2007 in die erste entscheidende Phase der Anwendung. Die sich bis Juli 2008 anschließende Erarbeitung von Lärmaktionsplänen soll unter aktiver Beteiligung der Öffentlichkeit geschehen.

Die bisherige nationale Umsetzung der Richtlinie in Deutschland wird zusammengefasst und Probleme bei der Anwendung aufgezeigt. Insbesondere die unterschiedlichen Ansätze bei der Definition von Auslöseschwellen für die Lärmaktionsplanung und die Verfahren zur Ermittlung der Betroffenenzahlen werden bewertet. Es wird ein Ausblick auf die weitere Aktivitäten bei der Fortschreibung der Richtlinie gegeben.

Mi. 14:25 Raum 47.03

Soundscape und EU-Directive

**Das EU-Projekt QCITY - Quiet City Transport**W. Probst*DataKustik GmbH*

Es werden die Ziele, die Arbeitsschritte und einige Ergebnisse des Projekts vorgestellt und erläutert. Das übergeordnete Ziel des Projekts ist es, eine integrierte und auf die Ergebnisse der Lärmkartierung aufbauende Methodik zu entwickeln, die es Städten und Kommunen erlaubt, Konzepte zur Lärmminde- rung an Straßen und Schienenwegen zu erarbeiten und umzu- setzen. Letztlich soll das Projekt die Methoden zur Aufstellung und Umsetzung von Aktionsplänen vermitteln. Der Beitrag zeigt auf, wie über den Weg Lärmkartierung - Hot-Spot-Analyse - Maß- nahmenkatalog - Alternativplanung - Lärmbewertung die geeig- neten Lösungen aus alternativen Ansätzen entwickelt werden können. Dabei werden verkehrslenkende, organisatorische und auch technische Maßnahmen an den Quellen einbezogen. Die Beurteilung von Maßnahmen erfolgt durch Ermittlung einer Be- wertungsgröße, die in grober Weise die negativen Lärmwirkun- gen in Wohnbereichen einbezieht und summiert. Bei flächenbe- zogener Darstellung dieser Größe ergeben sich die Hot Spots



als vordringlich zu sanierende Bereiche. Zur Beurteilung von Alternativen wird die Bewertungsgröße in dem von der Planung betroffenen Gebiet summiert - die Lösung mit dem kleinsten Ergebniswert ist die aus immissionsschutztechnischer Sicht vorzuziehende Lösung. Die Möglichkeiten und Grenzen des Verfahrens werden erläutert.

Mi. 14:50    Raum 47.03

Soundscape und EU-Directive

**Teilschallquellenanalyse und Synthese sowie psychoakustische Bewertung von Fahrzeugaußengeräuschen im Rahmen des EU-Forschungsprojektes Quiet City Transportation**

S. Guidati, R. Sottek und S. Roßberg

*HEAD acoustics GmbH*

Im Rahmen des EU-Forschungsprojektes Quiet City Transportation (QCity) werden die für den innerstädtischen Verkehr typischen Geräuschquellen bezüglich ihrer Lästigkeit untersucht. Der in aller Regel zur Bewertung des Fahrzeuggeräusches verwendete dB(A)-Wert gibt nicht immer die Lästigkeitswirkung des Geräusches korrekt wieder. Vor diesem Hintergrund wurden Untersuchungen zu ergänzenden objektiven Bewertungsmethoden für Fahrzeugaußengeräusche unter Einbeziehung von psychoakustischen Parametern durchgeführt.

Hierfür wurden Vorbeifahrgeräusche von 21 PKW in fünf typischen Fahrsituationen mit einem Kunstkopf aufgezeichnet und in Hörversuchen bezüglich ihrer Lästigkeit bewertet. Die Subjektivurteile wurden mit geeigneten psychoakustischen Analysen korreliert.

Zusätzlich zu den Kunstkopfaufnahmen wurden einzelne Fahrzeuge exemplarisch für die jeweilige Klasse hinsichtlich der für das Außengeräusch relevanten Teilschallquellen im interessierenden Betriebszustand aufgenommen. Weiterhin erfolgt eine Messung der Luftschallübertragungsfunktionen zwischen den Orten der Teilschallquellen und der Empfängerposition im Fernfeld. Durch Kombination von Nahfeldmessungen und Übertragungswegen ist es möglich, den Anteil der einzelnen Teilschallquellen zum Gesamtaußengeräusch als Zeitsignale zu erzeugen. Diese Signale lassen sich auralisieren und bezüglich ihrer Bedeutung beurteilen. Die Bewertung erfolgt wiederum nach Pegel sowie mit psychoakustischen Parametern.

Mi. 15:15 Raum 47.03

Soundscape und EU-Directive

**Soundscape in Friedrichshain in Berlin - Untersuchung zu Bewertungen von Straßenverkehrsräuschen**J. Güttles und B. Schulte-Fortkamp*Institut für Strömungsmechanik u. Technische Akustik, TU Berlin*

Durchgeführt wurde eine Analyse der Geräuschumgebung in einem Stadtteil von Berlin, mit besonderem Focus auf die Straßenverkehrsräusche. Ausgewählt wurde eine Straße, deren besonderes Merkmal Häuserfronten sind, die durch Toreinfahrten zu Innenhöfen unterbrochen werden. Das ausgewählte Untersuchungsobjekt war von besonderem Interesse, da sich bereits eine Bürgervereinigung gebildet hatte, die den noch nicht durchgeführten Umbau der Straße von Kopfsteinpflaster auf Asphalt, mit zusätzlicher Verkehrsberuhigung, bei der Stadt einforderte. Die Datenaufnahme teilte sich in 2 Bereiche. Im ersten Teil wurden Messungen durchgeführt, um eine akustische Beschreibung der Wohnumgebung zu erhalten. Diese fanden an 5 Punkten in der Straße und in 2 Wohnungen statt. Es wurden zwei binaurale Meßsysteme verwendet, um Vergleichsmessungen als Referenz an der Straße zu verwenden. Die aufgezeichneten Daten sind ohne vorherige Frequenzbewertung analysiert worden und bestätigten die Annahmen, dass spektral vor Allem Bereiche unter 100 Hz durch sehr hohe Pegel auffallen, dies auch kaum beeinflusst wird durch geschlossene Fenster oder größeren Abstand zur Straße, sowie ein breiteres Band zwischen 0,5 und 5 kHz, bei welchem die Signale noch durch Reflektionen zwischen den Häusern verlängert werden. Gekoppelt mit den Messungen wurde eine Befragung durchgeführt. Vorgestellt werden in diesem Beitrag insbesondere die Einträge durch die tiefen Frequenzen und ihr Beitrag zu Belästigung in Wohnsituationen.

Mi. 15:40 Raum 47.03

Soundscape und EU-Directive

**Lärminderungspotentiale durch städtebauliche Konzepte und Verkehrsgestaltung**M. Rumberg*Technische Universität Kaiserslautern*

In der Lärminderungsdiskussion wird die Rolle von Städtebau, Stadt- und Regionalentwicklung sowie Stadtverkehrsplanung häufig hervorgehoben. Da das Grundkonzept der verträglichen Zuordnung von Raumnutzungen jedoch vor Allem in Ballungsräumen an faktische Grenzen stößt (90-95 % der Raumstruktur (Wohnen, Arbeiten, Verkehr, Freiraum) liegen mittel- und

langfristig fest) und städte- und hochbauliche Bestände aus Leitbildphasen dominieren, die die Lärmproblematik nicht kannten oder nicht thematisiert haben, sind die stadtplanerischen und baulichen Optionen auf integrierte, kleinräumige und bestandsorientierte Strategien begrenzt: Dabei müssen neben den durch externe Geräuscheinwirkungen hervorgerufenen Risiken auch individuelle Gegebenheiten sowie grundlegenden Qualitätsziele des Städte- und Hochbaus für das Wohnumfeld eingebunden werden.

Die EU-Umgebungslärmrichtlinie sieht demgegenüber eine Beurteilung der Lärmbelastung und -minderung im Siedlungsraum anhand von Betroffenenzahlen für die Leitwirkungen Belästigung und Schlafbeeinträchtigungen vor. Diese werden i.d.R. mit globalen, von der gemittelten Geräuschbelastung an der 'lautesten Fassade' abgeleiteten und risikoorientierten Dosis-Wirkungskurven abgeschätzt. Dabei bleiben städtebauliche Qualitätsaspekte ebenso unberücksichtigt wie die tatsächlichen Handlungsspielräume im Siedlungsraum. Insgesamt ergeben sich unklare Handlungsziele für die städtebauliche Planung und die Verkehrslenkung zwischen den Polen 'Konzentration' und 'Verteilung'. Daraus ergeben sich vielfältige Konfliktfelder, aber auch Forschungsbedarfe und neue Handlungsoptionen im Siedlungsraum, die im Beitrag thematisiert werden.

Mi. 16:05    Raum 47.03

Soundscape und EU-Directive

## **EU-Directive und 10 Jahre Tag gegen Lärm**

B. Schulte-Fortkamp

*Institut für Strömungsmechanik u. Technische Akustik, TU Berlin*  
Am 25. April 2007 wird der Tag gegen Lärm - International Noise Awareness Day - 10 Jahre alt. Brauchen wir ihn noch? Was hat sich denn in den letzten Jahren getan? Nach dem Greenpaper 1996 kam die Future Noise Policy, und seit 2002 dann die EU-Direktive mit den jetzt anstehenden Aktionsplänen, deren Umsetzung sukzessive bis 2010 erfolgen wird (soll). Im DIN/NALS laufen Bemühungen, durch Standardisierung von psychoakustischen Bewertungsmethoden wie zeitvariante Lautheit und Schärfe neue gehörgerechte Verfahren neben der Abwerteten Schalldruckpegelmessung zu etablieren. Soweit zu den Regelungen, aber es ist noch einiges mehr geschehen: Die Autos sind leiser geworden, die Rollgeräusche weniger, auch die Flugzeuge erzeugen weniger Emissionen bzw. Immissionen. Jedoch: Untersuchungen zeigen die Zunahme von Beschwerden, die stark quellenorientiert sind; es geht dabei nicht nur um die

Lautstärke, sondern auch um die Charakteristik der Geräusche, ihre Dauer, oder ihre Verteilung über die verschiedenen Tages-, Abend- und Nachtzeiten. An der Spitze steht nach wie vor Belästigung durch Straßenverkehrsgeräusche. 17% fühlen sich hochgradig belästigt, und bundesweit fühlt sich jeder dritte Bürger durch Fluglärm belästigt. Diskutiert werden die in der EU-Directive verankerten Aktionspläne im Hinblick auf Ursachen und Wirkung von Lärm.

Mi. 16:55 Raum 47.03

Lärmschutz I

### **Outdoor-Richtlinie: Probleme und Ausblick**

M. Hintzsche<sup>a</sup> und G. Spellerberg<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Umweltbundesamt; <sup>b</sup>TÜV Nord Systems GmbH & Co.KG

Die Richtlinie 2000/14/EG zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über umweltbelastende Geräuschemissionen von zur Verwendung im Freien vorgesehenen Geräten und Maschinen (Outdoor-Richtlinie) ist mit der Umsetzung über die Geräte- und Maschinenlärmschutzverordnung (32. BImSchV) seit September 2002 deutsches Recht. Es werden die bisherigen Probleme beim Vollzug der Richtlinie aufgezeigt (z.B. Marktüberwachung, Nachprüfregeln) und Vorschläge zur Verbesserung der Situation unterbreitet. Die Richtlinie sieht eine Fortschreibung und Aktualisierung des Geltungsbereiches vor. Hier werden Vorschläge zur Neuaufnahme von Geräten und Maschinen in den Geltungsbereich der Richtlinie vorgestellt. Für eine Verschiebung von Maschinen und Geräten von einer ausschließlichen Kennzeichnung in eine Grenzwertfestsetzung werden Empfehlungen gegeben und Probleme mit ausgewählten Messvorschriften dargestellt. Es wird eine praktikable Definition von lärmarmen und Geräten und Maschinen vorgestellt.

Mi. 17:20 Raum 47.03

Lärmschutz I

### **Die Lärmbelastung in Polizeifahrzeugen im Hinblick auf die EU-Richtlinie 2003/10/EG**

M. Kelm und D. Krahé

*Bergische Universität Wuppertal, Bereich Nachrichtentechnik*

Die EU-Richtlinie 2003/10/EG enthält Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Lärm) und gibt u.a. einen unteren Auslösewert von  $L_{EX,8h} = 80$  dB(A) vor, ab dem präventive Maßnahmen ergriffen werden müssen. Dies war Anlass, die Lärmbelastung in Polizeifahrzeugen näher zu untersuchen. Hauptquellen sind hier das Martinshorn

und der Funkverkehr. In verschiedenen Fahrzeugtypen mit verschiedenen Ausstattungsvarianten wurde die Lärmbelastung unter verschiedenen Einsatzbedingungen gemessen. Als wesentliche Ausstattungsvariante erwies sich dabei die Dach- bzw. Frontmontage des Martinshorns. Neben der Lärmbelastung im Polizeifahrzeug ist natürlich die Signalwirkung des Horns außerhalb und in voraus fahrenden Fahrzeugen von Relevanz. Auch diese wurde unter verschiedenen Bedingungen gemessen. Über die Ergebnisse der Untersuchung und die sich daraus ergebenden Möglichkeiten zu einer Lärminderung soll berichtet werden. Die Arbeit wird durch die Deutsche Hochschule der Polizei, Polizeitechnisches Institut Münster unterstützt und gefördert.

Mi. 17:45 Raum 47.03

Lärmschutz I

### **Strategische Lärmkartierung RLP und Saarland**

K. Giering und P. Fischer-Stabel

*FH Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld*

Die Strategische Lärmkartierung gemäß der EU-Umgebungs-lärmrichtlinie wird in Rheinland-Pfalz und im Saarland im Rahmen eines Pilotprojekts durch die FH Trier, Standort Umwelt-Campus Birkenfeld durchgeführt. Das Vorhaben umfasst die Entwicklung eines GIS-kompatiblen Softwaretools zur Datenbearbeitung und Ergebnispräsentation zur Information der Öffentlichkeit via Internet.

Der Stand der Kartierung wird vorgestellt; insbesondere wird auf die aufgetretenen Probleme (Inhomogenität der Daten), die dabei eingeschlagenen Lösungswege sowie die Datenbearbeitung eingegangen.

Anforderungsspezifika an das Softwaretool und deren Realisierung werden erläutert. Im Rahmen von Messungen wurden stichprobenartig die Berechnungsergebnisse überprüft; erste Ergebnisse werden vorgestellt.

Mi. 18:10 Raum 47.03

Lärmschutz I

### **Die neue "Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen (AzB)"**

B. Vogelsang<sup>a</sup> und T. Myck<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Niedersächsisches Umweltministerium; <sup>b</sup>Umweltbundesamt

Zur deutlichen Verbesserung des Lärmschutzes an zivilen und militärischen Flugplätzen beabsichtigt die Bundesregierung, das Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm von 1971 zu novellieren. Hierzu hat die Bundesregierung einen Gesetzentwurf in den

Deutschen Bundestag eingebracht, der zurzeit in den zuständigen Ausschüssen beraten wird. Der Gesetzentwurf verweist u.A. auf verschiedene Rechtsverordnungen, in denen die näheren Einzelheiten der Gesetzesnovelle geregelt werden sollen. Zu den Verordnungen gehört insbesondere das neue Fluglärm-Berechnungsverfahren, das die bisherige "Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen (AzB)" ablösen soll. Das neue Berechnungsverfahren wurde von einer Expertengruppe unter Leitung des Umweltbundesamtes erarbeitet und basiert auf dem Dokument 29 der Europäischen Zivilluftfahrt-Konferenz (ECAC) und der DIN 45684-1. Es sieht ein Segmentierungsverfahren vor, bei dem die dreidimensionale Flugbahn des Luftfahrzeugs in Linienquellen im Sinne der DIN ISO 9613-2 zerlegt wird. Die neue AzB ermöglicht entsprechend dem Gesetzentwurf die Bestimmung von äquivalenten Dauerschallpegeln für den Tag und für die Nacht sowie des Häufigkeits-Maximalpegelkriteriums (NAT) in der Umgebung eines Flugplatzes. In die Berechnung des Lärmschutzbereichs gehen insbesondere die Geräuschemissionsdaten der Luftfahrzeuge, die Zahl der Flugbewegungen in den sechs verkehrsreichsten Monaten des Prognosejahres sowie die Verläufe der Flugstrecken ein. Darüber hinaus wird der Rollverkehr auf dem Flughafengelände im erforderlichen Umfang berücksichtigt. Die Auswirkungen der neuen AzB werden am Beispiel eines deutschen Verkehrsflughafens vorgestellt.

Mi. 8:30    Raum 47.05

Raumakustik und Beschallung

## **Die Abhängigkeit des Räumlichkeitseindrucks von der Frequenz und der Lautheit**

I. Witew und J. Böhler

*Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen*

In der Raumakustik gilt es als akzeptiert, dass der Räumlichkeitseindruck und besonders die Quellbreite ein wichtiger Aspekt des akustischen Gesamteindrucks eines Schallereignisses in einem Konzertsaal darstellt. Im Gegensatz dazu ist die Diskussion, wie die objektive Messgröße zur quantitativen Beschreibung der wahrgenommenen Quellbreite weiter verbessert werden kann, noch nicht abgeschlossen. Aus vorhergegangenen Studien kann abgeleitet werden, dass sowohl die Frequenz als auch Schallpegel eines Klanges einen Einfluss auf die Wahrnehmung der Quellbreite hat. Mit dem Wissen, dass zahlreiche physikalische Schallfeldeigenschaften einen Einfluss auf die Wahrnehmung haben, wird die Entwicklung von psychometrischen Versuchen zur

Herausforderung, da es wünschenswert ist, die Einflüsse der verschiedenen Messgrößen getrennt voneinander zu untersuchen. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse von Hörversuchen vorgestellt, in denen die Wahrnehmung der Quellbreite als Funktion der Frequenz im Bereich von 100 Hz bis 12.5 kHz untersucht wurde. Diese Versuche wurden für verschiedene Lautheiten wiederholt. Es wird gezeigt, wie sowohl die Frequenz als auch die Lautheit eines Schallereignisses die Wahrnehmung der Quellbreite beeinflusst.

Mi. 8:55    Raum 47.05

Raumakustik und Beschallung

### **Akustische und elektroakustische Konzepte für große und kleine Säle - Prinzipien und Probleme**

E.-J. Völker und W. Teuber

*Institut für Akustik und Bauphysik, Oberursel*

Neu- und Umbauten erfordern die Bestandsaufnahme und sorgfältige Planung, die von einem Nutzungsprofil ausgehen muss. Beschallungskonfigurationen schließen die raumakustischen Gegebenheiten ein. Dieses gilt auch für Neubauten, gleichermaßen für große und kleine Räume, wenn es z.B. um Notdurchsagen nach E DIN VDE 0833-4:2006-5 geht. Über Schallfelder mit und ohne Lautsprecheranlage, Direktschall, Reflektionen und erforderliche Verzögerungen sowie Einstellung der Frequenzgänge wird berichtet.

Mi. 9:20    Raum 47.05

Raumakustik und Beschallung

### **Hörversuche zur Hörbarkeit von Gehäuseschwingungen**

G. Behler

*Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen*

Auf der DAGA'05 wurde eine messtechnische Untersuchung an Tieftongehäusen zur Bewertung des Einflusses der Gehäuseschwingung auf den insgesamt abgestrahlten Schall vorgestellt. Hierzu wurden Tieftongehäuse mit unterschiedlichen Wandstärken mit einem Laser-Doppler-Vibrometer allseitig gescannt und die Abstrahlung der Teilkomponenten (Membran, Wandungen) mittels BEM berechnet. Die gefundenen Unterschiede zwischen dicken und dünnen Wandungen waren erstaunlich gering. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass andere Einflüsse (z.B. Hohlraummoden im Gehäuse) einen im Vergleich größeren Einfluss auf das Abstrahlverhalten und den Frequenzgang ausüben. Allerdings wurden keine Hörversuche gemacht, so dass die Frage unbeantwortet blieb, wie sich die zweifelsohne vorhandenen Unterschiede in einem realen Raum für das Gehör auswirken. Da

direkte Hörversuche mit den einzelnen Gehäusen aus verschiedenen Gründen (Umschalten? räumliche Anordnung?) ausscheiden, wurden zunächst mit Hilfe von BEM Übertragungsfunktionen zu einem Feldpunkt berechnet, der für alle Objekte identisch gewählt wurde. Da die Frequenzgänge der Lautsprecher aus der Rechnung nur bis 2500 Hz vorlagen, wurden diese zunächst bis 20 kHz linear erweitert. Weiterhin wurde der Gesamtfrequenzgang mit einem für alle Systeme identischen Korrekturfilter entzerrt. Der hiermit eingestellte Frequenzgang war hierdurch frei von Klangverfärbungen. Mit den Impulsantworten wurden Testsignale gefaltet und über AB-Vergleiche (forced choice) beurteilt. Zusätzlich wurden Paarvergleiche von Kunstkopfaufnahmen der unterschiedlichen Systeme in realen Wiedergabesituationen durchgeführt.

Mi. 9:45 Raum 47.05

Raumakustik und Beschallung

### **Beschallungsanlagen in Straßentunneln**

A. Schmitz

*TAC - Technische Akustik, Korschenbroich*

Auf Grund zahlreicher Unfälle und Katastrophen in europäischen Straßentunneln der jüngsten Vergangenheit, werden derzeit erhebliche Anstrengungen unternommen, die Sicherheit in Straßentunneln zu verbessern. Zu den sicherheitsrelevanten Anlagenteilen gehört u.a. auch die Beschallungsanlage, die im Notfall zur Durchsage von Sicherheitshinweisen sowie Evakuierungsanweisungen dienen soll. Die Dimensionierung von Lautsprecheranlagen mit hinreichender Sprachverständlichkeit ist in Straßentunneln jedoch schwierig, weil dort sowohl ungünstige Voraussetzungen hinsichtlich der auftretenden Nachhallzeiten herrschen, aber auch die Störgeräuschsituation durch den Straßenverkehr sehr hoch ist. Anhand eines Beispiels wird gezeigt, welche Probleme bei der Planung und Dimensionierung von Lautsprecheranlagen in Straßentunneln auftreten und wie ggf. zukünftige Anforderungen formuliert und Planungen durchgeführt werden können.

Mi. 10:10 Raum 47.05

Raumakustik und Beschallung

### **Wellenfeldsynthese: Entwicklung eines Konzepts für Flächenstrahler zur Beschallung von Innenräumen mit WFS-Mehrkanalton**

D. Leckschat

*Fachhochschule Düsseldorf, FB Medien*



Auf der DAGA 2005 wurden Grundlagenberechnungen zur akustischen Wellenfeldsynthese (WFS) sowie die erste Realisierung eines WFS-Systems an der FH Düsseldorf vorgestellt. Im vorliegenden Beitrag wird der aktuelle technische Stand geschildert, sowie über Erfahrungen mit der Produktions- und Wiedergabeumgebung berichtet. Das System konnte sich - in unterschiedlicher Ausgestaltung - während einer Demonstrationstour in Japan ebenso bewähren wie auf nationalen Messen. Weiterhin wurden bereits mehrere Filme in WFS-Ton produziert. Ein neues Konzept wird derzeit entwickelt, um das Problem der zahlreichen notwendigen Lautsprecher bei der Wellenfeldsynthese für Consumeranwendungen zu entschärfen. Es hat sich gezeigt, dass die gelegentlich propagierten Biegewellenlautsprecher für diese Anwendung in der Praxis gravierende Nachteile aufweisen. Im Beitrag werden Anforderungen an eine "Akustische Tapeete" formuliert, die eine Beschallung von Innenräumen mit WFS-Mehrkanalton ermöglicht. Abschätzungen bezüglich der Geometrie und der elektroakustischen Eigenschaften werden vorgenommen und die Ergebnisse diskutiert.

Mittwoch Poster

Raumakustik und Beschallung

### **Objective and subjective comparison of electrodynamic and MAP loudspeakers for Wave Field Synthesis**

E. Corteel<sup>a</sup>, K.-V. N'guyen<sup>a</sup>, O. Warusfel<sup>a</sup>, T. Caulkins<sup>a</sup> und R. Pellegrini<sup>b</sup>

<sup>a</sup>IRCAM, Paris; <sup>b</sup>sonic emotion ag

Wave Field Synthesis (WFS) is a multichannel sound rendering technique that allows for the synthesis of physical properties of sound fields within an extended listening area. It relies on a large number of closely spaced loudspeakers forming one or several linear arrays. Practical implementation of WFS requires simplifications to the underlying physical principles (Kirchhoff- Helmholtz and Rayleigh integrals). Real loudspeakers radiation characteristics may also contribute to alter the synthesized sound field compared to the target one. The perceptual impact of these inaccuracies relates to the more general problem of transparency of the sound rendering medium.

Two types of loudspeakers are nowadays used for WFS: array-mounted electrodynamic loudspeakers, and Multi-Actuator Panels (MAP).

The goal of this paper is to compare, at an objective and a subjective level, the transparency of Wave Field Synthesis rendering using electrodynamic or MAP loudspeakers. In a first section, the

radiation properties (directivity, spatial coherence) of both electrodynamic and MAP loudspeakers are shown. Since MAP loudspeakers rely on Distributed Mode Loudspeaker (DML) technology, they exhibit a "diffuse" behavior (reduced spatial coherence), especially at high frequency. In a second section, diffuse filtering for WFS is introduced. It is meant as a way to replicate the diffuse properties of MAP on electrodynamic loudspeakers so as to validate their potential benefit on transparency. In a third section, objective criteria are proposed. This objective analysis is finally completed with two subjective listening experiments.

Mi. 14:00 Raum 47.05

Geschichte der Akustik

### **Die Kesselschen Stimm-Mechaniken in der historischen akustisch-phonetischen Sammlung der TU Dresden**

R. Hoffmann und D. Mehnert

*TU Dresden, Institut für Akustik und Sprachkommunikation*

An der TU Dresden wird derzeit ein DEGA-Projekt bearbeitet, das die Einarbeitung der bisherigen Hamburger phonetischen Sammlung (siehe unseren DAGA-Beitrag 2006) zum Gegenstand hat. Unter den zu bearbeitenden Exponaten befindet sich eine Kollektion sogenannter Stimm-Mechaniken, die um die Wende zum 20. Jahrhundert entstanden sind. Der Beitrag beschreibt ihre Entstehungsgeschichte, soweit sie heute noch nachweisbar ist, und ihre Wirkungsweise. Das heutige Interesse an diesen kleinen Geräten hat zwei Gründe: Erstens sind sie Beispiele für Sprachsynthesatoren der ersten, mechanischen Generation, und zweitens stellen sie einen sehr frühen Versuch dar, die Beurteilung des Schädigungsgrades bei Hörgeschädigten mit technischen Mitteln zu objektivieren.

Mi. 14:25 Raum 47.05

Geschichte der Akustik

### **Stimmungsmessung in der Musikinstrumentenfertigung**

H. Schiema

*Institut für Musikinstrumentenbau, Zwota*

Die Entwicklung von Hilfsmitteln zur Stimmung von Musikinstrumenten reicht bis ins 17. Jahrhundert zurück. Im Jahre 1711 wurde die Stimmgabel durch den englischen Militärtrompeter "John Shore" entwickelt. Im letzten Jahrhundert gab es eine reiche Anzahl von Entwicklungen elektrooptischer sowie elektronischer Stimmgeräte. Der Vortrag behandelt die verschiedenen Arbeitsverfahren von Stimmgeräten sowie deren Vor- und Nachteile. Es werden verschiedene Stimmgeräte für die Instrumentengruppen:

Zupf- und Streich-, Zungen- und Tasteninstrumente sowie Blasinstrumente erläutert. Der Schwerpunkt des Vortrages liegt dabei nicht auf der Nutzung der Stimmungsmessung durch den Musiker, als vielmehr auf deren Anwendung in der Herstellung von Musikinstrumenten. Insbesondere bei der Fertigung von Zungeninstrumenten fällt eine große Anzahl von Stimmvorgängen an, welche in den 1970er Jahren zum Teil vollständig automatisiert wurden. Der Vortrag wird ergänzt durch eine kleine Ausstellung historischer Stimmgeräte des letzten Jahrhunderts.

Mi. 14:50    Raum 47.05

Geschichte der Akustik

**Das FREYSTEDT'sche Tonfrequenzspektrometer (1935) - ein Markstein der elektroakustischen Messtechnik. Ein Bericht zu Funktion und Restaurierung**

G. Corinth

*Mainz*

Gegenüber zeitaufwendigen mechanischen, optischen und graphisch-mathematischen Methoden brachte die Elektrotechnik neue Möglichkeiten der Schallanalyse. Filterschaltungen können einzelne Frequenzen und Frequenzbereiche hervorheben oder unterdrücken. Das Suchtonverfahren ermöglicht höchste Auflösungen bei konstanter Absolutbandbreite, allerdings auf Kosten der Analysiergeschwindigkeit. Einem Mehrkanal-Schleifenoszillographen vorgeschaltete Durchlassfilter ermöglichen die parallele Registrierung mehrerer Frequenzbereiche, eine laufende visuelle Beurteilung ist aber problematisch. E. FREYSTEDT (Zentrallabor Siemens & Halske) verbesserte dieses Verfahren im Jahre 1934 durch 27 eingangsseitig parallelgeschaltete Terzfilter aus dem Hörfrequenzbereich von 30 bis 18.000 Hz (Analyse mit konstanter Relativbandbreite), deren Ausgangssignale nach Gleichrichtung und Kurzzeitspeicherung in Ladekondensatoren durch ein motorisch angetriebenes Schaltwerk laufend abgetastet und den Vertikalablenkplatten einer Kathodenstrahlröhre zugeführt werden. Synchron wird an die Horizontal-Ablenkplatten eine entsprechend gestufte Gleichspannung angelegt. So entsteht das Abbild eines Linienspektrums. Jede Linie repräsentiert die Spitzenspannung des Frequenzbereiches einer Terz (unter Berücksichtigung der Eigenschaften der Kondensatoren und Filter). Abhängig von der Abtastrate wird so ein laufend aktualisiertes Abbild des Spektrums erzeugt, dessen zeitlicher Verlauf zusätzlich registriert werden kann. Nach langer Suche wurde ein Originalgerät des Baujahres 1937 gefunden, das

nach umfangreicher Restaurierung wieder voll betriebsfähig ist. Beschreibung und typische Anwendungen werden vorgestellt.

Mi. 15:15 Raum 47.05

Geschichte der Akustik

### **Gustav Theodor Fechner**

P. Von Gablenz und M. Blau

*Institut für Hörtechnik und Audiologie, FH Oldenburg*

Gustav Theodor Fechner (1801-1887) zählte zu den vielseitigsten und publizistisch aktivsten deutschen Gelehrten des 19. Jahrhunderts. Dem wissenschaftlichen Experiment und dem philosophischen Raisonement gleichermaßen zugewandt, eröffnete Fechner mit seinen Arbeiten zum Zusammenhang von physikalisch beschreibbaren Reizen und menschlicher Empfindung ein neues Forschungsfeld: die Psychophysik. Es war Fechners wesentliche Leistung, zur zündenden Idee auch ein methodologisch reflektiertes Grundsatzprogramm zu formulieren, das in seinem Kern bis heute Bestand hat.

Mit einfachsten Experimentalaufbauten und teils sehr umfangreichen Versuchsreihen bewies Fechner für verschiedene Sinneswahrnehmungen die Gültigkeit des Weber-Fechnerschen Gesetzes, d.h. die logarithmische Beziehung von Empfindungsstärke und Reizintensität. Fechner unternahm Experimente zur Lautheitswahrnehmung mit einem eigens konstruierten Schallpendel, beschäftigte sich mit der vermuteten Lateralisierung der Lautheitswahrnehmung und suchte nach einer Formel, die die Lautheit in Abhängigkeit von Frequenz und Schwingungsamplitude einer angeschlagenen Saite beschreibt.

Der Begründer der Psychophysik arbeitete die längste Zeit seines Lebens als klassischer Stubengelehrter, verfügte jedoch in der Universitätsstadt Leipzig über ein tragfähiges und inspirierendes wissenschaftliches Netzwerk. Der Beitrag versucht die Schwerpunkte der Forschungen Fechners in einem wissenschaftshistorischen Rückblick und - ergänzend - vor dem Hintergrund der Lebens- und Arbeitsbedingungen dieses Ausnahmewissenschaftlers zu skizzieren.

Mi. 15:40 Raum 47.05

Geschichte der Akustik

**Das schwarze Jahr 1894 der deutschen Physik und August Eduard Eberhard Kundt**K. Künzel, C. Steiger und D. Schulz*Hochschule Mittweida (FH)*

"Jäh brach das schwarze Jahr 1894 der deutschen Physik herein, das sich besonders für unsere (Physikalische) Gesellschaft verhängnisvoll auswirkte. Am 1. Januar starb im blühenden Mannesalter Heinrich Hertz. Am 21. Mai folgte ihm August Kundt, und der 8. September raubte uns den Mann, der die Spitze der deutschen Wissenschaft, den Stolz unserer Gesellschaft darstellte, zugleich einen der letzten Vertreter der klassischen Physik: Hermann von Helmholtz. Dieser Tag bezeichnet den wichtigsten Einschnitt in der Geschichte unserer Gesellschaft." So kommentierte Max Planck die Ereignisse zu Beginn des Jahres 1894. Drei große Namen in der Akustik - Heinrich Hertz, August Kundt, Hermann von Helmholtz. Wer aber war August Kundt, der am 21.05.1894 auf seinem Landsitz in Israelsdorf bei Lübeck an einem Herzleiden verstarb, welches ihn schon seit seiner Studienzeit beeinträchtigte? Wer waren seine Wegbegleiter, seine Schüler und Mitarbeiter. Welchen Einfluss hatten diese auf das Schaffen des Mitgliedes der Preußischen Akademie der Wissenschaften, August Kundt, und welches waren seine phänomenalen Erfindungen und Entdeckungen, die seit mehr als einem Jahrhundert die Fortschritte auf dem Gebiet der Akustik beflügeln. Im Beitrag soll vor Allem die Vielseitigkeit im wissenschaftlichen Schaffen des Physikers aufgezeigt werden, der wohl den meisten unter uns nur durch das Kundt'sche Rohr - wenn überhaupt - bekannt ist.

Mi. 16:30 Raum 47.05

Geschichte der Akustik

**Erwin Meyer's frühe Beiträge zur Psychoakustik**A. Kohlrausch*Philips Research Laboratories Eindhoven*

Erwin Meyer ist vielen Akustikern vor Allem als erster Direktor des 1947 an der Universität Göttingen gegründeten Dritten Physikalischen Institutes bekannt. In meinem Vortrag möchte ich den Schwerpunkt auf seine frühen Beiträge zur Psychoakustik legen, die aus seiner Zusammenarbeit mit Erich Waetzmann (bei dem er 1923 in Breslau promovierte) und später aus seiner Tätigkeit als Abteilungsvorsteher am 1928 gegründeten Heinrich-Hertz

Institut für Schwingungsforschung an der Technischen Hochschule Berlin hervorgingen. Mit Waetzmans hat er sich intensiv mit der Frage beschäftigt, wie die Abstimmbarkeit der Ohrresonatoren (Innenohrfilter) von der Frequenz abhängt (s. meinen Beitrag zur DAGA 2006). Die Arbeiten am HHI waren stärker anwendungsorientiert, und befassten sich z.B. mit der subjektiven Lautstärke von Autohupen, der Lärmmessung von Kraftfahrzeugen in der Vorbeifahrt und dem Lärmpegel in öffentlichen Gebäuden. Daneben spielte die musikalische Akustik eine wichtige Rolle, wobei vor Allem die Obertonverteilung zahlreicher Instrumente bestimmt wurde. Ein besonders wertvolles Zeitdokument ist sein Beitrag "Das Gehör" im Handbuch der Physik von 1927, in dem er auf 70 Seiten einen kompletten Überblick über den Stand der Forschung sowie die Modellvorstellungen zur Wirkungsweise des menschlichen Gehörs gibt.

Mi. 16:55    Raum 47.05

Geschichte der Akustik

### **Erwin Meyer - ein bedeutender deutscher Akustiker**

D. Guicking

*Drittes Physikalisches Institut, Universität Göttingen*

Erwin Meyer (1899-1972) hat auf fast allen Teilgebieten der Akustik Wichtiges beigetragen. Nach der Promotion bei Erich Waetzmans in Breslau über Bjerkneskräfte (1922) und zwei Jahren als Assistent bei Otto Lummer ging er Ende 1924 ans Telegraphentechnische Reichsamts nach Berlin, wo er an der Schallübertragung mit der damals ganz jungen Rundfunktechnik arbeitete. Seine Arbeitsgruppe setzte die gerade erfundenen Verstärkerrohren ein, um Messverfahren für Lautsprecher, Mikrofone und Tonabnehmer zu entwickeln und der Industrie Wege zur Verbesserung der Geräte aufzuzeigen. Auch Arbeiten zur Wirkungsweise des Gehörs, zum Bau akustischer Messräume, zur Raumakustik und zur Lärmbekämpfung begannen hier. 1928 habilitierte sich Meyer an der TU Berlin für Technische Akustik. 1929 holte Karl Willy Wagner ihn als Abteilungsleiter für Akustik an das neugegründete Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung, wo er eine große, erfolgreiche Arbeitsgruppe aufbaute. Hier erfand er die Keilabsorber für reflexionsarme Räume, entwickelte die Absorptionsgrad- und Schallleistungsmessung im Hallraum, Messverfahren zur Schallisolation und -ausbreitung in Gebäuden, untersuchte die Klangspektren von Musikinstrumenten und Glocken, sowie ab 1939 die Schallabsorption im Meerwasser. Die Entwicklung von Rippen- und Dünnschichtabsorbern

für Wasserschall setzte er nach dem Krieg am 1947 neugegründeten Dritten Physikalischen Institut in Göttingen fort, welches er rasch zu einem international hoch angesehenen Forschungsinstitut machte, auch für einige Zweige der Hochfrequenztechnik. Hier gab es weitere wichtige Beiträge zur Raumakustik (z.B. den Haaseffekt), sowie zu Ultra- und Hyperschall (Kavitation, Sonolumineszenz). Auf Meyer's Initiative entstanden auch die 'Akustische Zeitschrift' (1936-1944) und die 'Acustica' (seit 1950). Die Nachrufe nach Meyer's unerwartet frühem Tod am 6.3.1972 bezeugen, wie hochgeschätzt und auch beliebt er weltweit war.

Mi. 17:20    Raum 47.05

Geschichte der Akustik

### **Akustik und Schwingungsphysik - ein Blick auf die Angewandte Physik an der Universität Oldenburg**

V. Mellert

*Institut für Physik, Universität Oldenburg*

Eine Reihe historischer Zufälle hat dazu geführt, dass sich ein Fach Akustik an der Universität Oldenburg in einem physikalischen Fachbereich etablieren konnte. Viele Wurzeln der Akustik in Oldenburg liegen in der Angewandten Physik in Göttingen, die mit den Namen Meyer und Schroeder verbunden ist. Der Versuch, Modellkonzepte der Schwingungsphysik systematisch für physikalisch-technische Problemlösungen anzuwenden, hat zu einer charakteristischen Schwerpunktsetzung in den Oldenburger Naturwissenschaften beigetragen und den Ausbau der Neugründung vor 30 Jahren nachhaltig beeinflusst. Auch wenn der Vortrag nicht dem Anspruch einer Ideengeschichte genügen wird, so soll doch anhand einiger Beispiele aus der Entwicklung des Faches Physik in Oldenburg aufgezeigt werden, dass es wichtig ist, die Akustik als Querschnittsfach in der physikalischen und in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung und Forschung beizubehalten und auszubauen.

Mi. 17:45    Raum 47.05

Geschichte der Akustik

### **Einige Aspekte zur Geschichte der Lehre der Akustik**

E. Zenetti

*TU Berlin*

Junge Akustiker werden im Studium - aus verständlichen Gründen - immer mehr mit digitaler Technik konfrontiert. Analoge Technik und Grundlagen, wie z.B. Kybernetik, treten in den Hintergrund. Was über Basiswissen hinausgeht, gehört schon zur Geschichte.

Ein Blick in Mitschriften und Unterlagen von Lehrveranstaltungen früherer Professoren zeigt, dass auch für junge Akustiker Interessantes in diesem wertvollen Material gefunden werden kann und sich damit ein bisher relativ unbeachtetes Quellenmaterial zur neueren Geschichte der Akustik erschließen könnte.

Mi. 18:10    Raum 47.05

Geschichte der Akustik

## **Preisaufgaben in der Geschichte der Akustik**

P. Költzsch

*TU Dresden*

Im 18. und 19. Jahrhundert haben wissenschaftliche Akademien Preisaufgaben gestellt, so zum Beispiel die französischen Akademien in Paris und Bordeaux, die Berliner und die Petersburger Akademie der Wissenschaften. Unter den Preisaufgabenstellungen gab es hin und wieder auch Preisaufgaben auf akustischem Gebiet. Beispiele dafür sind Fragen nach der Differentialgleichung der Plattenschwingungen (Preisträgerin: Sophie GERMAIN 1816), nach der Konstruktion eines Instruments zur Vokal-Klangerzeugung (KRATZENSTEIN 1779), nach der Messung der Kompressibilität (Schallgeschwindigkeit) von Wasser (COLLADON 1826), nach dem Ursprung der Sprache (HERDER 1771) sowie nach der Theorie des Gehörs (BELZ 1763). Im Vortrag wird über einige dieser Preisaufgaben und die Preisträger berichtet, u.A. über die französische Wissenschaftlerin Sophie Germain, die unter einem männlichen Pseudonym an der école Polytechnique in Paris studierte, die unter diesem Pseudonym mit GAUSS über Fermats letzten Satz korrespondierte und nach der heute die Sophie-Germain-Primzahlen benannt sind. Des weiteren werden die Messungen zur Schallgeschwindigkeit von Colladon im Jahre 1826 im Genfer See beschrieben, mit einem Unterwasser-Glockenton als Sender und einem 14 km entfernten großen Hörrohr mit einem Unterwasser-Schalltrichter als Empfänger, mit dem Messergebnis für die Schallgeschwindigkeit von 1435 m/s. Und schließlich wird auf Herders Preisschrift von 1770 'Über den Ursprung der Sprache' eingegangen, die mit den berühmten Worten beginnt 'Schon als Thier, hat der Mensch Sprache.' Der Vortrag lässt die Frage offen, warum eigentlich heute - mit einer Ausnahme (die dem Autor bekannt ist) - Akademien und Fachgesellschaften derartige Preisaufgaben nicht mehr stellen!



Mittwoch Poster

Geschichte der Akustik

**Beiträge Kirchhoffs zur Akustik**C. Lauk und S.-R. Mehra*Lehrstuhl für Bauphysik, Universität Stuttgart*

Gustav Robert Kirchhoff (1824 -1887) zählt zu den bedeutendsten deutschen Physikern des 19. Jahrhunderts. Während seines kurzen Lebens beschäftigte er sich mit verschiedenen Bereichen der Naturwissenschaft. Nach dem Studium der Physik befasste er sich vor Allem mit den Grundregeln der Elektrotechnik und machte sich in erster Linie durch die Knoten- und Maschenregel einen Namen. Bereits im Alter von 28 Jahren lehrte er als außerordentlicher Professor für Experimentalphysik in Breslau. Zu dieser Zeit entstand seine Plattentheorie, die bis heute auch für die Akustik von hoher Bedeutung ist. Aufbauend auf dieser Theorie leitete Kirchhoff Lösungen auch für andere Probleme der Natur- und Ingenieurwissenschaften, her. Mit 30 Jahren wurde er nach Heidelberg berufen, wo er die besten und erfolgreichsten Jahre seines Lebens verbrachte. In dieser Zeit entstanden, in Zusammenarbeit mit Bunsen, auch seine Abhandlungen zur Spektralanalyse. 1874 wurde Kirchhoff nach Berlin berufen, wo er sich ganz der Forschung widmen konnte. Zu dieser Zeit publizierte er seine Lehrbücher in einer Reihe "Vorlesungen über mathematische Physik". Sie waren sehr beliebt und schnell vergriffen. In einem dieser Bücher, das Fragen der Technischen Mechanik abhandelte, befasste er sich auch mit den Lehrinhalten der Akustik. In den letzten Jahren seines Lebens kämpfte Kirchhoff sehr stark mit gesundheitlichen Problemen und starb im Alter von 63 Jahren. Seine Werke sind bis heute von hoher Bedeutung für die Natur- und Ingenieurwissenschaften.

Mi. 8:30 Raum 57.01

Analyse und Klassifikation

**Akustische Szenenanalyse in Hörgeräten**S. Korl*Phonak AG*

Heutige Hörgeräte nutzen eine Vielzahl komplexer Signalverarbeitungs-Algorithmen, um eine optimale Qualität der Anpassung an die Hörbedürfnisse schwerhöriger Menschen erreichen zu können. Diese Signalverarbeitungs-Algorithmen (z.B. adaptive Verstärkung, Störgeräusch-Unterdrückung oder Feedback-Unterdrückung) müssen, abhängig von der Schallsituation, unterschiedlich eingestellt werden, um in jeder Situation den gewünschten Effekt zu erzielen. Zum Beispiel möchte der Hörgeräteträger seinen Gesprächspartner im lauten Restaurant besser

verstehen und das Hintergrundgeräusch dämpfen, in einem Konzert aber perfekte Klang- und Raumqualität genießen.

Zu diesem Zweck unterstützen moderne Hörgeräte verschiedene Programme, die für unterschiedliche Situationen optimiert wurden, zum Beispiel für Sprache in Ruhe, Sprache im Störgeräusch, reines Störgeräusch oder Musik. Früher musste der Hörgeräteträger das entsprechende Hörprogramm durch Auswahl am Hörgerät oder mittels einer Fernbedienung selbst auswählen. Aktuelle Hörgeräte führen eine Klassifikation der akustischen Umgebung durch und schalten automatisch in das passende Hörprogramm.

Dazu werden in einem ersten Schritt verschiedene physikalisch-akustische Eigenschaften, wie z.B. spektrale Merkmale, Modulationen, Pitch, etc., aus dem Signal extrahiert. Im zweiten Schritt wird, basierend auf den extrahierten Merkmalen, die akustische Umgebung einer Klasse zugeordnet. Verschiedene Methoden zur Klassifikation stehen zur Verfügung (z.B. Entscheidungsbäume, Naive Bayes Klassifikator oder Hidden Markov Modelle). Im Kontext der Hörgeräteanwendung muss dabei immer die Komplexität der Methoden bzgl. Rechen- und Speicheraufwand berücksichtigt werden. Im letzten Schritt werden, basierend auf der Klassenentscheidung, die Parameter der Signalverarbeitungs-Algorithmen der Hörsituation entsprechend gesetzt.

Um eine individuelle Anpassung des Hörgerätes an die Präferenzen des Hörgeräteträgers zu ermöglichen, werden die Hörsituationen und Benutzerinteraktionen vom Hörgerät protokolliert und für die Feinanpassung herangezogen.

Mi. 8:55    Raum 57.01

Analyse und Klassifikation

## **Tuning Hidden Markov Model for Speech Emotion Recognition**

B. Vlasenko und A. Wendemuth

*O.-v.-G.-Universität Magdeburg, IESK, Kognitive Systeme*

In this article we introduce a speech emotion recognition method based on Hidden Markov Models. Low-level features, which are quite popular in Automatic Speech Recognition systems, are used in this method. Two strategies are considered and compared in this paper. Within the first strategy a one-from-all recognition model for each emotional state is constructed. A second strategy is a one-against-other recognition where each emotional state has its own model and background model (model for

other emotional states). Optimal values of the number of HMM-states and the number of Gaussian mixture components that increase robustness of speech emotion recognition system were found. For proof-of-concept experiments we use the Berlin Database of Emotional Speech (EMO-DB). Results in recognition of seven discrete emotions exceeded 83% recognition rate. As a basis of comparison the similar judgment of human decision makers rating the naturalness of emotion for the same corpus at 78.83% recognition rate was analyzed.

Mi. 9:20    Raum 57.01

Analyse und Klassifikation

### **EMOsystem: Ein Demonstrationssystem zur Stimmcharakterisierung**

M. Lugger und B. Yang

*Lehrstuhl für Systemtheorie und Signalverarbeitung, Universität Stuttgart*

Die Klassifikation paralinguistischer Eigenschaften ist ein Forschungsthema, welches in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung gewinnt. Eine Kombination dieses paralinguistischen Kanals mit dem linguistischen Kanal könnte eine signifikante Verbesserung der Erkennungsrate der Spracherkennung oder der Natürlichkeit von synthetisierter Sprache versprechen. Die Detektion des emotionalen Zustands eines Sprechers ist jedoch an sich schon von großem Interesse und wird bereits in Callcentern oder in der Unterhaltungselektronik, aber noch in stark reduziertem Maße eingesetzt. In der Forschung wird in diesem Bereich jedoch meist mit bestehenden, gut validierten Datenbanken gearbeitet. Es werden dann sowohl sprecherabhängige als auch sprecherunabhängige Klassifikationen durchgeführt. Im sprecherunabhängigen Fall kommt meist die so genannte "cross-validation" zum Einsatz. Wir versuchen allerdings neben der Arbeit mit bekannten Emotionsdatenbanken auch Live-Klassifikationen durchzuführen. Darunter verstehen wir die Analyse und Klassifikation neu aufgenommener Daten von für das System fremden Sprechern. Neben der Detektion des emotionalen Zustands des Sprechers werden auch das Geschlecht und die in der Äußerung verwendete Stimmqualität detektiert. Zur Charakterisierung der Stimme gehört ebenfalls die Ausgabe verschiedener Konturen und Kenngrößen. Dazu wurde ein System in der Simulationsumgebung MATLAB entwickelt, welches sich über eine graphische

Benutzeroberfläche steuern lässt. Hier können z.B. die Trainingsdaten, die Merkmale, die Klassifizierer gewählt oder deren Parameter gesetzt werden. Eine zweite graphische Benutzeroberfläche steht dem Benutzer zur Live-Klassifikation selbst aufgezeichneter Äußerungen zur Verfügung. Die hiermit aufgenommenen Sätze werden gleich geschnitten und mit den eingegebenen Metadaten gelabelt. So lassen sich auch relativ komfortabel neue Datenbanken erzeugen. In diesem Beitrag möchten wir unser System zur Stimmcharakterisierung vorstellen, auf die Merkmale eingehen und einige mit dem System erarbeitete Ergebnisse zur Live-Klassifikation präsentieren.

Mi. 9:45    Raum 57.01

Analyse und Klassifikation

### **Discriminative Kernel Classifiers in Speaker Recognition**

M. Katz, E. Andelic, S. Krüger, M. Schafföner und A. Wendemuth  
*O.-v.-G.-Universität Magdeburg, IESK, Kognitive Systeme*

The goal of automatic speaker recognition is to identify a speaker or to verify if a speaker is the person he claims to be. We present an overview of state-of-the-art speaker recognition systems which are usually based on speaker-dependent Gaussian Mixture Models (GMMs). In this paper we also describe different methods of integrating discriminative classifiers like the Support Vector Machine (SVM) into speaker recognition environments and show that it is possible to use the SVM methods directly on the frame-level for datasets with a small amount of speech data. On larger datasets a combination of generative and discriminative classifiers can be used. In speaker verification experiments the presented methods outperform the GMM baseline system on two speaker recognition datasets.

Mi. 10:10    Raum 57.01

Analyse und Klassifikation

### **Erfassung des glottalen Öffnungsgrades durch Messung von Formantveränderungen während der Sprachgrundperiode**

W. Wokurek

*Institut für Maschinelle Sprachverarbeitung, Universität Stuttgart*

Die Parametrisierung der Stimmqualität ist weitgehend auf indirekte Messmethoden wie inverse Filterung oder Elektrolottographie angewiesen, da die direkte Erfassung von Schalldruck und Schallschnelle nahe der Glottis derzeit nur invasiv möglich ist. In dieser Arbeit wird versucht, den Grad der glottalen Öffnung durch Messung der Veränderungen der Resonanzparameter des Vokaltrakts zu erfassen. Je weiter die Glottis geöffnet ist, um so

stärker ist der subglottale Hohlraum akustisch an den Vokaltrakt gekoppelt. Das senkt die Resonanzfrequenzen und vergrößert Dämpfungen und Bandbreiten. Die Resonanzparameter werden durch lineare Prädiktion geschätzt und deren Verläufe mit der elektrolottographischen Messungen verglichen.

Mi. 14:00    Raum 57.01

Analyse und Klassifikation

### **Analyse von 'streaming audio' - was passiert gerade im Fernsehen oder Radio?**

T. Kemp

*Sony Deutschland GmbH*

Zur Analyse des Inhalts von Fernseh- und Radiosendungen wird ein ankommender Audiodatenstrom zunächst durch eine Kurzzeit-Spektralanalyse in sich überlappende Datenrahmen zerlegt. Für jeden Datenrahmen wird ein Merkmalsvektor mit MFCC-Parametern errechnet. Zu den MFCC-Parametern werden die ersten und zweiten zeitlichen Ableitungen, sowie mehrere Merkmale aus dem Bereich des Music Information Retrieval hinzugefügt, und das Ganze durch eine PCA oder LDA orthogonalisiert. Die so entstandenen Merkmalsvektoren werden mit Mixturen von Normalverteilungen, die die Klassenwahrscheinlichkeiten approximieren, evaluiert. Die so entstandenen Klassenwahrscheinlichkeiten werden in einen Ringpuffer eingespeist und von einer dynamischen Variante des Viterbi-Algorithmus ausgewertet. Eine vergleichende Evaluation mit zwei fensterbasierten Auswertemethoden zeigt, dass die Verwendung des Viterbi-Algorithmus zu besseren Resultaten führt.

Mi. 14:25    Raum 57.01

Analyse und Klassifikation

### **Segmentierung von TV-Werbespots für Automatische Spracherkennung und Jingle-Erkennung**

B. Rettenbacher und F. Graf

*Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH*

Im EU-Projekt 'MediaCampaign' wird ein System zur automatischen medienübergreifenden Erkennung und Beobachtung von Werbe-Kampagnen entwickelt (TV, Presse, Internet). Eine Komponente dieses Systems dient der temporalen Segmentierung des Audiodatenstroms von TV-Werbespots.

In TV-Werbespots treten Sprache und Musik oft simultan auf. Der Segmentierer berücksichtigt diese Tatsache, indem Segmente der Klassen 'Sprache', 'Musik', 'Stille' und 'Sonstige Geräusche' überlappend generiert werden. Ziel ist es, den nachfolgenden

Modulen zur automatischen Spracherkennung und zur Erkennung von Jingles, homogene Sprach- bzw. Musik-Segmente zur Verfügung zu stellen.

Der Segmentierer extrahiert aus dem Audiodatenstrom fensterbasiert Merkmalsvektoren, die anschließend mit Gaussian Mixture Models klassifiziert werden. In einem weiteren Verarbeitungsschritt werden die Klassifikationsergebnisse zur Segmentbildung herangezogen. Die gefundenen Segmente werden als MPEG-7 Metadaten ausgegeben.

Der Trainingskorpus wurde domänenspezifisch basierend auf einer detaillierten Annotation generiert. Die Annotation wurde in MPEG-7 und mit Hilfe eines Mehrspur-Audioeditors durchgeführt. Die Zusammenstellung des Trainingskorpus erfolgt auf Metadatenebene durch Abbildung der Segment-Annotationen auf die Klassen des Segmentierers. Diese Vorgehensweise ermöglicht eine iterative Optimierung des Trainingskorpus.

Mi. 14:50    Raum 57.01

Analyse und Klassifikation

## **Hören Sehen Verstehen - Computergestützte Stimmanalyse in Stimmbildung und Gesangsunterricht**

M. Müller

*Stuttgart*

Vorstellung des Computerprogramms VoceVista

Kurze Einführung folgender Begriffe: Formanten, Vokalformanten, Sängerformanten

Analyse verschiedener Gesangstöne:

Welches sind die signifikanten Merkmale dieser Töne?

Können diese Merkmale Grundlage für eine Klassifikation sein?

→ Einführung des Begriffs 'Resonanzstrategie'

Präsentation verschiedener Resonanstrategien:

Am Beispiel der Frauenstimme: belting ↔ klassischer Gesang

Zwei Beispiele für verschiedene Resonanzstrategien der Tenorstimme im klassischen Gesang.

Fragestellung:

Welche Auswirkungen hat die wissenschaftliche Analyse der Gesangsstimme auf die Kommunizierbarkeit gesangspädagogischer Problemstellungen? Kann die Wissenschaft der Gesangspädagogik helfen, effizientere Arbeitsmethoden zu entwickeln?

Mi. 15:15    Raum 57.01

Analyse und Klassifikation

**Modellbasierte Signalanalyse quantitativer Ultraschallmessungen am proximalen Femur**S. Dencks<sup>a</sup>, R. Barkmann<sup>a</sup>, F. Padilla<sup>b</sup>, P. Laugier<sup>b</sup>, G. Schmitz<sup>c</sup> und C.C. Glüer<sup>a</sup><sup>a</sup> *Universitätsklinikum SH - Kiel, Medizinische Physik;* <sup>b</sup> *Laboratoire d'Imagerie Paramétrique, Univ. Curie Paris;* <sup>c</sup> *Lehrstuhl für Medizintechnik, Ruhr-Universität Bochum*

Methoden des Quantitativen Ultraschalls lassen sich zur Bestimmung des osteoporotischen Frakturrisikos benutzen. Hierbei wird ein kurzer Schallpuls mit einer Mittenfrequenz im Bereich von 500-600 kHz durch den untersuchten Knochen transmittiert. Innerhalb des EU-Projekts "FEMUS" wird diese Technik von peripheren Messorten wie der Ferse auf den zentralen, frakturkritischen Oberschenkelknochen (proximales Femur) übertragen. Bereits ex-vivo Tests zeigten, dass die herkömmliche Signalverarbeitung für die Bestimmung der Standardparameter Speed-of-Sound (SOS) und Broadband-Ultrasound-Attenuation (BUA) auf Grund der Mehrwegeausbreitung des Schalls an diesem Messort häufig versagt. Um die auswertbaren Bereiche im Knochen zu erweitern, wurde folgende neue Methode implementiert.

Die verschiedenen Signalkomponenten der Mehrwegeausbreitung werden durch Schwingungen mit Gaußscher Hüllkurve modelliert, deren Parameter über einen Kleinste-Quadrate Schätzer bestimmt werden. Für Vergleichszwecke wurden zwei verschiedene Algorithmen, Nelder-Mead und Gauss-Newton, getestet. Die Optimierung erfolgt über eine Space Alternating Expectation Maximization (SAGE), die die Schätzung überlagerter Signalkomponenten ermöglicht. SOS- und BUA-Werte werden dann aus den Modellparametern der einzelnen Signalkomponenten für die verschiedenen Ausbreitungswege berechnet.

Die Methode wurde auf die zweidimensionalen Ultraschall-Scans von 35 exzidierten menschlichen Femora angewendet. Während mit der herkömmlichen Signalverarbeitung ca. 40% der Signale nicht ausgewertet werden konnten, betrug bei dieser Methode der Anteil fehlgeschlagener Optimierungen nur 5-6%. Die über einen Scan gemittelten SOS- und BUA-Werte der Hauptsignalkomponente zeigten signifikante Korrelationen mit der Knochenmineraldichte (BMD): Die Korrelation von BUA mit BMD war moderat ( $r^2=0,69$ ), SOS korrelierte stark mit BMD ( $r^2=0,82$ ).

Die neue Methode verbessert die Anzahl der auswertbaren Signale wesentlich und erhöht damit die Glaubwürdigkeit der Korrelationen. Ihre Leistungsfähigkeit bei in-vivo Messungen wird derzeit getestet.

Mi. 15:40    Raum 57.01

Analyse und Klassifikation

### **Nonlinear contrast agent modeling with Wiener series**

M. Mleczko, M. Postema und G. Schmitz

*Lehrstuhl für Medizintechnik, Ruhr-Universität Bochum*

Ultrasound contrast agents consist of microbubbles with diameters of 1-5  $\mu\text{m}$  encapsulated by a shell. Under ultrasound insonification microbubbles oscillate nonlinearly, with resonance frequencies being within the range of diagnostic ultrasound. This nonlinearity can be utilised to improve detection, thus maximising the contrast agent to tissue ratio.

Current state-of-the-art detection methods employ heuristic schemes like summing the responses to pulses of different polarity, which suppresses the linear response and odd order nonlinearities to detect contrast agents. For the development of improved detection schemes, however, it is necessary to model the nonlinear oscillation characteristics of ultrasound contrast agents. Therefore, we propose the modelling of ultrasound contrast agents by means of Wiener series which provide an input/output description form for dynamic nonlinear systems.

This approach was tested for an ultrasound contrast agent simulated by a modified Rayleigh-Plesset equation. The contrast agent behaviour was calculated for white noise input. From this data, the coefficients of a third order Wiener series were identified with an efficient and numerically stable orthogonal search algorithm. The identified system features dynamic nonlinearity with a pronounced nonlinear bandpass-behaviour. For a sinusoidal input, the identified model approximates the contrast agent oscillation with a mean square error of 7.6%.

Similar to linear systems, the nonlinear behaviour can be described in the frequency domain. This approach enables the development of detection schemes which take into account the dynamic nonlinear properties of microbubbles.



Mi. 16:30 Raum 57.01

Analyse und Klassifikation

**Optimaler Beamformer-Entwurf unter Berücksichtigung spezifischer Mikrofoneigenschaften**M. Buck*Harman/Becker Automotive Systems GmbH*

In diesem Beitrag wird ein sehr gebräuchliches Verfahren zur Bewertung von Beamformern verallgemeinert, indem explizit die spezifischen Eigenschaften der Einzelmikrofone berücksichtigt werden. Anstatt der sonst vorausgesetzten idealen, omnidirektionalen Mikrofone können damit auch davon abweichende Fälle wie beispielsweise Richtmikrofone, unterschiedliche Mikrofone oder toleranzbehaftete Mikrofone betrachtet werden. Die generalisierte Bewertung basiert auf der Maximierung des Bündelungsgrades nach dem MVDR-Prinzip. Ausgehend von dieser Bewertung wird im vorliegenden Beitrag der Entwurf optimaler Beamformer vorgestellt, wobei insbesondere Einzelmikrofone mit ausgeprägtem Richtverhalten in Betracht gezogen werden.

Das vorgestellte Entwurfsverfahren kann zum einen dazu eingesetzt werden, um bei gegebener Array-Anordnung die Signalverarbeitung zu optimieren. Zum anderen kann die Leistungsfähigkeit von Beamformern vorab prognostiziert werden. Letzteres kann zum Entwurf von Array-Systemen ausgenutzt werden, wobei als Parameter die Mikrofonpositionen, die Richtcharakteristiken der Mikrofone sowie die Ausrichtungen der Mikrofone variabel sind.

Im vorliegenden Beitrag wird mit dem vorgestellten Verfahren demonstriert, wie ein Mikrofon-Array bestehend aus Richtmikrofonen entworfen werden kann, welches in einem Kfz-Innenraum zur Aufnahme von Sprachsignalen eingesetzt werden soll.

Mi. 16:55 Raum 57.01

Analyse und Klassifikation

**Klassifikation von Korrelationsextrema zur Laufzeitdifferenzschätzung bei mehreren Sprachquellen**J. Scheuing und B. Yang*Lehrstuhl für Systemtheorie und Signalverarbeitung, Universität Stuttgart*

Die Schätzung der Laufzeitdifferenzen ist eine häufige und wichtige Aufgabe bei Verarbeitung von Sprachsignalen, die mit einem Mikrofon-Array aufgenommen werden. Neben den klassischen Kreuzkorrelationsverfahren werden derzeit verstärkt Methoden zur blinden Schätzung von Raumimpulsantworten verfolgt, die insbesondere in halligeren Umgebungen interessant sind, deren

Ansatz jedoch von einer einzelnen Quelle ausgeht. Die Herausforderung bei Verwendung der klassischen Verfahren zur Laufzeitdifferenzschätzung mehrerer gleichzeitig aktiver Quellen besteht in der daraus resultierenden Mehrdeutigkeit der Korrelationsextrema, welche zu jenen Mehrdeutigkeiten hinzukommt, die durch Schallreflexionen im Raum und durch die Eigenschaften des Sprachsignals hervorgerufen werden.

Das in diesem Beitrag beschriebene Verfahren reduziert die Reflexionsmehrdeutigkeit unter Ausnutzung der Autokorrelierten. Die geschätzten Laufzeitdifferenzen werden dabei in durch Direkt- oder Echopfade verursachte klassifiziert. Besonders kritisch bei einer digitalen Implementierung des Verfahrens ist die begrenzte Auflösungsgenauigkeit einzelner Extrema im Hinblick auf Robustheit bei Überlagerung von Echopfaden weiterer Quellen. Hierzu werden Zuverlässigkeitsmaße eingeführt und abschließend durch experimentelle Beispiele untermauert.

Mi. 17:20    Raum 57.01

Analyse und Klassifikation

### **Schallquellenlokalisierung an bewegten Objekten**

H. Siller<sup>a</sup>, S. Guérin<sup>a</sup> und B. Barsikow<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt; <sup>b</sup>Ingenieurbüro akustik-data

Bei der Lokalisierung von Schallquellen mit Hilfe von Mikrofonarrays muss bei bewegten Objekten wie Flugzeugen, Schienen- und Straßenfahrzeugen das Auswerteverfahren angepasst werden, um den Doppler-Effekt zu berücksichtigen. Ein solches aus dem klassischen Beamforming entwickeltes Verfahren wird vom DLR seit einigen Jahren erfolgreich für die Analyse von Verkehrsflugzeugen im Überflug eingesetzt. Das Ingenieurbüro akustik-data wendet ein entsprechendes Verfahren ebenfalls seit Jahren zur Untersuchung von PKW und Nutzfahrzeugen an. Das klassische Beamforming unterliegt verschiedenen Beschränkungen in Hinsicht auf das Auflösungsvermögen und die Dynamik des Arrays. Diese lassen sich zum einen durch eine optimierte geometrische Auslegung der Mikrofonverteilung und eine hohe Anzahl von Mikrofonen verbessern, zum anderen aber auch durch erweiterte Auswertelgorithmen, die die Abbildungseigenschaften des Arrays berücksichtigen. Optimierte und an den zu untersuchenden Frequenzbereich angepasste Arrays werden beim DLR für Überflugmessungen eingesetzt. Diese Arrays sind mehrarmige Spiralarrays mit Durchmessern von bis zu 32 m und bis zu 250 Mikrofonen. Zur Untersuchung von bodengebundenen Fahrzeugen haben DLR und akustik-data gemeinsam das so genannte

Snowflake Array mit 124 Mikrofonen bei einer Größe von 3,5 x 3,5 m entwickelt. Erweiterte Auswertelgorithmen werden beim DLR seit Kurzem zur Analyse von Überflügen und bei akustikdata bei der Analyse von Straßenfahrzeugen eingesetzt. Diese Verfahren kompensieren die Abbildungseigenschaften des Mikrofonarrays mit seinen Neben- und Gitterkeulen und erlauben eine räumlich hochauflösende Analyse der Schallquellen mit einer gegenüber dem klassischen Beamforming erhöhten Dynamik. Während das klassische Beamforming bei flächig verteilten Quellen eher noch eine qualitative Methode ist, lassen sich mit den Entfaltungsverfahren die Einzelschallquellen auch quantitativ bestimmen.

Mi. 17:45    Raum 57.01

Analyse und Klassifikation

### **Wavelets zur Analyse von Impulsantworten**

R. Büssow

*Institut für Strömungsmechanik u. Technische Akustik, TU Berlin*

Der Vortrag behandelt die Verwendung der kontinuierlichen Wavelettransformation zur Analyse einer Impulsantwort. Im Kontext der akustischen Emissionsanalyse wird die Wavelettransformation mit dem Morlet Wavelet seit einiger Zeit zur Lokalisierung von Quellen eingesetzt. Im Gegensatz zur Schallausbreitung in Luft ist die Ausbreitung in Festkörpern dispersiv. Dies erschwert die Verwendung von Korrelationstechniken, um über die Zeitverschiebung eines Signals zwischen zwei Messorten einen Quellort zu detektieren. Aufgrund der Eigenschaft des Morlet Wavelet im Frequenz- und Zeitbereich eine gute Lokalisierung zu gewährleisten, ist es geeignet in dispersiven Medien eine frequenzabhängige Zeitverschiebung zu bestimmen.

Eine alternative Herangehensweise ist, die Verteilung der spektralen Anteile des Pulses zu bestimmen. Da die Dispersion des Impuls abhängig von der Distanz zur Quelle ist, lässt sich damit eine Quelle lokalisieren. Es wird ein Wavelet vorgestellt, mit dem sich die Dispersion des Puls direkt bestimmen lässt.

Mi. 18:10    Raum 57.01

Analyse und Klassifikation

### **Vibroakustisches System zur automatischen Bestimmung der Achszahl von vorbeifahrenden Kraftfahrzeugen**

M. Fellner<sup>a</sup>, F. Graf<sup>a</sup>, H. Rainer<sup>a</sup>, B. Rettenbacher<sup>a</sup>, H. Wenzel<sup>b</sup> und G. Gutenbrunner<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH; <sup>b</sup>Vienna Consulting Engineers Holding GmbH

In diesem Beitrag werden die Grundlagen für ein System zur automatischen Bestimmung der Achszahl von vorbeifahrenden Kraftfahrzeugen im höherrangigen Straßennetz mittels vibroakustischer Messmethoden erarbeitet. Die Fahrbahnvibrationen, hervorgerufen durch vorbeifahrende Kraftfahrzeuge, stellen eine überaus wichtige physikalische Messgröße dar. Diese Vibrationen werden als Informationsquelle angesehen, deren Charakteristik von der Achszahl und weiteren fahrzeugspezifischen Merkmalen wie etwa der Achslast geprägt wird. Für die Messungen wurde ein Laservibrometer als Sensor verwendet, das den enormen Vorteil einer berührungslosen Messung in sich birgt. Die Messung selbst erfolgt von Überkopfbriicken aus, kann auch im mehrspurigen Betrieb durchgeföhrt werden und föhrt damit zu keiner Beeinträchtigung des Verkehrsflusses. Zusätzlich zum Laservibrometer wurden seismische Beschleunigungsaufnehmer am Fahrbahnrand positioniert und die Messergebnisse der beiden unterschiedlichen Sensortypen am Beispiel von unterschiedlichen Fahrbahnkonstruktionen (Asphalt- und Betondecke) zu validieren. Die sichere Identifizierung der Achsfolge des Schwerverkehrs kann zur Komplettierung von Daten bezüglich der Zusammensetzung des Verkehrs in einem Untersuchungsstreckenabschnitt dienen und liefert somit Basismaterial für Studien über die Verursachung von z.B. Lärmimmission durch die Interaktion Reifen-Fahrbahn.

Mittwoch Poster

Analyse und Klassifikation

## **Monaurale und binaurale Analyse digitaler Raumimpulsantworten**

D. Extra<sup>a</sup> und J. Bitzer<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Institut für Hörtechnik und Audiologie, FH Oldenburg;* <sup>b</sup>*Institut für Hörtechnik und Audiologie, HörTech gGmbH*

Digitaler Hall bildet einen der wichtigsten Effekte in der heutigen Musikproduktion und ist in allen Preisklassen und Qualitätsstandards verfügbar. Wir präsentieren eine Reihe von Werkzeugen, mit denen eine qualitative Analyse digitaler Hallalgorithmen möglich ist. Dabei erfolgt eine Einteilung in monaurale, sowie binaurale Analysewerkzeuge. Hierbei wurden sowohl Analysen aus der Raumakustik, Psychoakustik, als auch der digitalen Signalverarbeitung genutzt. Als monaurale Werkzeuge werden unter Anderem die Dichteverteilung einer Impulsantwort als Funktion der Zeit, sowie eine Terzbandaufteilung der Nachhallzeit vorgestellt. Für die binaurale Analyse kommen klassische Maße wie die IACC, aber auch neu entwickelte Maße zur Anwendung. Zur

Verifikation der Analysetools auf ihre Tauglichkeit als Qualitätsmaße wurde ein Hörtest durchgeführt, bei dem verschiedene kommerziell erhältliche Geräte aller Preisklassen in einem 2AFC Test verglichen wurden.

Mittwoch Poster

Analyse und Klassifikation

### **Mehrkanalsignalverarbeitung zur Bestimmung der Kopfausrichtung in geschlossenen Räumen**

P. Roeske<sup>a</sup>, J. Bitzer<sup>b</sup> und U. Simmer<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Institut für Hörtechnik und Audiologie, FH Oldenburg;* <sup>b</sup>*Institut für Hörtechnik und Audiologie, HörTech gGmbH*

In vielen Fällen ist eine optimale Kenntnis der momentanen Position eines Sprechers in gegebener Raumgeometrie Voraussetzung für robuste Algorithmen zur mehrkanaligen digitalen Sprachsignalverarbeitung. Nur so ist es möglich, Sprache möglichst unverzerrt mit vorhandenen Mikrofonanordnungen aufzunehmen. Die fehlende Kenntnis über die Ausrichtung des Kopfes kann jedoch auch bei perfekter räumlicher Lokalisation zu Signalverzerrungen führen, da die akustische Abschattung des menschlichen Körpers mit steigender Frequenz für hohe Dämpfung sorgt. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Ausrichtung der Mikrofone der freien Bewegung des Sprechers in seiner Umgebung folgen soll. Um Algorithmen testen und vergleichen zu können, wurde eine Simulationsumgebung basierend auf der Spiegelquellenmethode von Allen und Berkley implementiert. Eine Erweiterung des Modells ermöglicht zudem die Richtcharakteristik des Mundes am menschlichen Kopf der simulierten Quelle aufzuprägen, um so eine realistischere Akustik zu erhalten. Für die Auswertung der Daten wurden zunächst verschiedene bestehende Algorithmen zur Sprecherlokalisierung implementiert. Darauf basierend erfolgt durch Modifikation und Erweiterung eine Schätzung der Kopfausrichtung. Dieses Poster stellt erste Ergebnisse unserer Arbeit vor. Ein Ergebnis ist, dass durch geschickte Konfiguration der Mikrofon Arrays kombiniert mit neuen Algorithmen eine Schätzung der Kopfausrichtung möglich ist. Simulationen und reale Daten zeigen die Effektivität der bisher entwickelten Lösungen.

Mittwoch Poster

Analyse und Klassifikation

**Acoustic Feature Selection for Speech Detection Based on Amplitude Modulation Spectrograms (AMS)**D. Schmidt und J. Anemüller*Medizinische Physik, Universität Oldenburg*

As acoustic devices possess evermore computing power, signal processing is influenced increasingly by machine learning techniques. E.g., hearing aids detect different listening situations by extracting psychoacoustically motivated features (spectrum, modulations...) and feeding them into a classifier. As both areas merge at the feature extraction stage, the question arises how to determine features that result in best classification performance. A poorly-picked feature set may result in over-fitting, i.e., poor performance on new signals. Demand for low power-consumption and real-time processing requires a compact but salient feature set. Furthermore, a quantitative selection of optimal features may reinforce findings concerning psychoacoustic importance of acoustic properties of sounds.

Here, a feature selection strategy for automatic speech/non-speech classification based on support vector machines is presented. Input for the selection algorithm is the amplitude modulation spectrogram (AMS) [Kollmeier and Koch, 1993], which represents modulation frequency versus center frequency as a function of time, motivated by physiological and psychoacoustical findings. Feature selection of salient modulation frequencies is performed using the sequential forward selection (SFS) algorithm which starts with an empty feature set and iteratively adds the modulation frequency band to the feature set that results in the highest increase in (cross-validation) classification performance. Thereby, a combination of modulation frequency bands that is most informative about presence of speech is identified.

Results concerning the number of modulation frequencies required for speech detection, corresponding classification accuracy and generalization to novel data are presented. Relevant modulation frequencies for speech detection are identified and compared to psychophysical findings.

Mittwoch Poster

Analyse und Klassifikation

**Support Vector Machines as Acoustic Models in Speech Recognition**S. Krüger, M. Schafföner, M. Katz, E. Andelic und A. Wendemuth  
O.-v.-G.-Universität Magdeburg, IESK, Kognitive Systeme

Speech recognition is usually based on Hidden Markov Models (HMMs), which represent the temporal dynamics of speech very efficiently, and Gaussian mixture models, which do non-optimally the classification (acoustic modeling) of speech into single speech units (phonemes). In this paper we present an overview about the use of Support Vector Machines (SVMs) for the classification task by integrating SVMs in a HMM-based speech recognition system. SVMs are very appealing due to their association with statistical learning theory and have already shown good results in pattern recognition. In our hybrid SVM/HMM system we use SVMs as acoustic models in a HMM-based decoder. We train and test the hybrid system on the DARPA Resource Management (RM1) corpus, showing better performance than HMM-based decoder using Gaussian mixtures. To reduce the effort for training of the SVMs, we also use mixtures of SVMs which scales nearly linearly with respect to the number of training vectors making it easier to deal with the large amount of speech data.

Mi. 8:30 Raum 57.02

Erhöhter baulicher Schallschutz

**Erhöhter Schallschutz / mehrstufiges Anforderungssystem in der Bauakustik**C. BurkhartAkustikbüro Schwartzenberger und Burkhart

Im Jahr 2005 hat der DEGA Fachausschuss Bau- und Raumakustik beschlossen sich dem Thema des erhöhten Schallschutzes in Verbindung mit Überlegungen bezüglich eines zukünftigen mehrstufigen Anforderungsmodells in der Bauakustik anzunehmen. Besondere Aktualität hat das Thema durch den Beschluss des Normenausschusses erfahren, den erhöhten Schallschutz in der Neufassung der DIN 4109 nicht weiterzuführen. Das mehrstufige Anforderungsmodell sieht gegenwärtig 7 Stufen vor, die Anforderungen an den baulichen Schallschutz werden unabhängig von der Bauweise an *Wohnräume* gestellt. Damit wird die bisher übliche Trennung zwischen Mehrfamilienhäusern und Reihenhäusern aufgegeben. Über die Herleitung der Anforderungen, die Hintergründe, den aktuellen Stand des Anforderungsmodells und die Anwendungsmöglichkeiten wird berichtet.

Mi. 8:55    Raum 57.02Erhöhter baulicher Schallschutz**Psychoakustische Betrachtungen zur Abstufung der Anforderungen an Schalldämm-Maße**H. Alpehi<sup>a</sup> und T. Hils<sup>b</sup><sup>a</sup>*Akustikbüro Göttingen*; <sup>b</sup>*hils consult*

Die Arbeitsgruppe 'Erhöhter Schallschutz' des Fachausschusses Bau- und Raumakustik innerhalb der DEGA erarbeitet zur Zeit Vorschläge für die Beschreibung der Schallschutzqualität von Wohngebäuden. Künftig soll in Form eines Bewertungssystems die Einordnung in ein Schallschutzniveau möglich sein. Mit der vorliegenden Untersuchung soll die Fragestellung bearbeitet werden, welche Abstufungen in einem solchen System bezüglich der Schalldämm-Maße sinnvoll sind. Dazu wird versucht eine der Wahrnehmung angepasste Stufung durch eine belastbare und nachvollziehbare Datengrundlage zu ermitteln. Als Arbeitshypothese wird das Kriterium 'halb so laut' bzw. 'doppelt so laut' angesetzt, da sie im Allgemeinen von Nutzern leicht nachvollzogen werden kann. Es werden dann Modellrechnungen für die Schallübertragung und ihre Bewertung anhand der Lautheit durchgeführt. Als Signal wurden Rauschen und Sprache betrachtet und die Ergebnisse für unterschiedliche Schalldämm-Maße und unterschiedliche Hintergrundgeräusche im Empfangsraum variiert. Die Ergebnisse werden diskutiert und es werden daraus mögliche Abstufungen abgeleitet.

Mi. 9:20    Raum 57.02Erhöhter baulicher Schallschutz**Welche Abstufung der Normtrittschall-Pegel sind bei Anforderungen an die Trittschalldämmung sinnvoll?**T. Hils*hils consult*

Ergänzend zu den Untersuchungen im Hinblick auf die Luftschalldämmung wurden die Auswertungen auch für Trittschallübertragungen erweitert.

Es werden daher Modellrechnungen für die Trittschallübertragung und ihre Bewertung anhand der Lautheit durchgeführt. Dabei wurden typische Trittschallgeräusche für Massiv- und Holzbalckendecken betrachtet und die Ergebnisse für unterschiedliche Normtrittschallpegel sowie verschiedene Hintergrundgeräusche im Empfangsraum variiert. Die Ergebnisse werden diskutiert und mögliche Abstufungen abgeleitet.



---

Mi. 9:45    Raum 57.02

Erhöhter baulicher Schallschutz

**DEGA Kriterienkatalog - Vorschlag für ein neues Klassifizierungskonzept für den Schallschutz im Wohnungsbau**R. Kurz und F. Schnelle*Kurz und Fischer GmbH*

Für die Information von Verbrauchern werden für unterschiedliche Bereiche (Energiepass von Gebäuden, Hoteleinstufung, Energieverbrauch von Haushaltsgeräten) Klassifizierungssysteme mit einer einfach verständlichen Bewertung eingesetzt. Bisher bezieht sich die Beurteilung des Schallschutzes in Gebäuden i.a. auf die isolierte Betrachtung einzelner Kenngrößen, z.B. Luftschalldämmung von Wohnungstrennwänden, Trittschalldämmung von Wohnungstrenndecken, etc. Zur schalltechnischen Bewertung von Wohnungen wurde im Rahmen einer DEGA-Arbeitsgruppe ein neues Konzept erarbeitet. Für die schalltechnische Klassifizierung wurde ein Kriterienkatalog entwickelt, der neben dem Schallschutz im Gebäude (Luft- und Trittschalldämmung, Geräusche von Wasserinstallationen und haustechnischen Anlagen, etc.) auch die Grundrissanordnung der Wohnungen sowie den Standort des Gebäudes und die Außenlärmbelastung berücksichtigt. Bei Einhaltung der Einzelkriterien werden Punkte vergeben, die sich zu einer Gesamtpunktzahl aufsummieren. Für die einfache Bewertung durch die Verbraucher wird die Einstufung des erreichten Schallschutzes in 7 verschiedene Klassen vorgenommen und das Ergebnis in einem Schallschutzpass dokumentiert.

---

Mi. 10:10    Raum 57.02

Erhöhter baulicher Schallschutz

**Schallschutzpass - Anwendung des DEGA Kriterienkatalogs mit Beispielen aus der Praxis; Teil 2**R. Kurz und F. Schnelle*Kurz und Fischer GmbH*

Es wird die Anwendung des DEGA Kriterienkataloges und das Punktesystem anhand von Beispielen aus der praktischen Anwendung näher erläutert. Die Erstellung des Schallschutzpasses kann hierbei auf Grundlage von Messwerten aber auch von Prognosewerten erfolgen. Für den Nutzer wird die gewünschte und erforderliche Transparenz über den Schallschutz im Wohnungsbau erreicht und es ist zu erwarten, dass durch die eindeutige schalltechnische Kennzeichnung von Wohnungen und Häusern

mehr Rechtsicherheit erzielt werden kann. Mit dem neuen Schallschutzpass für den Wohnungsbau besteht die berechtigte Erwartung, der Diskussion über die schalltechnische Qualität von Wohnungen eine völlig neue Dynamik zu geben.

Mi. 14:00    Raum 57.02                    Erhöhter baulicher Schallschutz

### **Überarbeitung der VDI 2719 / Bemessung der Schalldämmung von Fassaden**

U. Donner

*AkustikDonner Sachverständigenbüro*

Die VDI Richtlinie 2719 "Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen" befindet sich derzeit in der Überarbeitung. Bei der Bemessung des resultierenden bewerteten Bau-Schalldämm-Maßes von Fassaden sollen zukünftig zusätzliche Parameter einbezogen werden: Die Spektrumanpassungswerte C und Ctr (DIN EN ISO 717-1), ein Korrektursummand für den Einfluss der Fassadestruktur (EN 12354-3) und ein Korrektursummand zur Berücksichtigung des Winkels zwischen der Ausbreitungsrichtung des auftreffenden Schalls und der Flächennormalen des Bauteils. Der Korrektursummand zur Berücksichtigung des Winkels ist insbesondere bei der Ermittlung des Maximalpegels erforderlich.

Mi. 14:25    Raum 57.02                    Erhöhter baulicher Schallschutz

### **Schallschutz im Büro**

G. Hilz

*Müller-BBM GmbH*

Die Umstellung der DIN 4109 auf neue kennzeichnende Größen ist auch in weiteren Planungsnormen nachzuholen. Eine wesentliche Planungsnorm für den Schallschutz im Büro stellt die VDI Richtlinie 2569 dar. Der Vorteil für eine situationsbezogene, schallschutzorientierte Planung auf der Grundlage von nachhallzeitbezogenen Kenngrößen wird aufgezeigt. Zur wirtschaftlichen Optimierung von Bauweisen und Konstruktionen werden unterschiedliche Qualitätsniveaus vorgestellt. Als Leitgröße wird eine Störungsfreiheit für das Regelbüro definiert und unterschiedliche Vertraulichkeitsstufen für hochwertige Bürostrukturen benutzt. Eine Möglichkeit zur Berücksichtigung von unterschiedlichen raumakustischen Ausstattungsniveaus wird vorgestellt. Im Hinblick auf vorgeschlagene Klassifizierungssysteme zur differenzierten Betrachtung empfindungsrelevanter Größen im Verwaltungsbau sollen weder Obergrenzen noch Untergrenzen, son-

dern lediglich eine Grundlage für eine sinnvolle schalltechnische Qualitätsstufung aufgezeigt werden.

Mi. 14:50    Raum 57.02

Geräuschbeurteilung

### **Beurteilung der Schallimmission im Nachbarschaftsbereich - ÖAL-Richtlinie Nr. 3 (Teil 1)**

C. Lechner<sup>a</sup> und W. Talasch<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Amt der Tiroler Landesregierung*; <sup>b</sup>*Amt der Wiener Landesregierung*

In Österreich richtet sich die Beurteilung von Schallimmissionen nicht an starren, gesetzlich geregelten Grenzwerten, sondern ist eine Beweisfrage, welche nach dem Stand der Wissenschaft in den einzelnen Genehmigungsverfahren zu behandeln ist. Die ÖAL-Richtlinie Nr. 3 hat sich als Standardwerk zur Beurteilung der Schallimmission im Nachbarschaftsbereich in Österreich etabliert. Die fünfte Auflage aus dem Jahr 1986 entsprach jedoch auf Grund der Änderungen im europäischen und österreichischen Recht wie auch auf Grund der neueren wissenschaftlichen Erkenntnisse nicht mehr in allen Bereichen dem aktuellen Stand. Aus diesem Grund wurde in den letzten Jahren intensiv an der Entwicklung einer völlig neuen Beurteilungsrichtlinie für Schallimmissionen gearbeitet. Während die bisherige ÖAL-Richtlinie Nr. 3 nur für die Beurteilung von Anlagen anzuwenden war, regelt die neue Richtlinie Schallimmissionen von Anlagen wie auch von Verkehrsträgern (Straße, Schiene, Flugverkehr), Bautätigkeiten und Veranstaltungen.

Die Richtlinie zeigt ein dreistufiges Beurteilungsschema. Im ersten Schritt wird überprüft, ob die Grenze der Gesundheitsgefährdung unterschritten ist, im zweiten, ob die zu beurteilenden Schallimmissionen relevante Auswirkungen auf die Umgebung haben (planungstechnischer Grundsatz - Irrelevanzkriterium). Ist dies der Fall, ist eine individuelle schalltechnische und lärmmedizinische Beurteilung unter Berücksichtigung der akustischen und außerakustischen Parameter durchzuführen. Die Richtlinie selbst ist in Verfahrensabläufen basierend auf Flussdiagrammen aufgebaut. Bei dieser Richtlinie wurde besonders darauf geachtet, einen eindeutigen und nachvollziehbaren Beurteilungsablauf zu erzielen.

---

Mi. 15:15    Raum 57.02

Geräuschbeurteilung

**Beurteilung der Schallimmission im Nachbarschaftsbereich - ÖAL-Richtlinie Nr. 3 (Teil 2)**W. Talasch<sup>a</sup> und C. Lechner<sup>b</sup><sup>a</sup>*Amt der Wiener Landesregierung*; <sup>b</sup>*Amt der Tiroler Landesregierung*

- siehe Abstract des vorgehenden Vortrags (14:50) -

---

Mi. 15:40    Raum 57.02

Geräuschbeurteilung

**Sigma-Regelung**D. Kühner<sup>a</sup> und B. Vogelsang<sup>b</sup><sup>a</sup>*deBAKOM GmbH*; <sup>b</sup>*Niedersächsisches Umweltministerium*

Im Mai 2005 wurde vom Bundesministerium für Umwelt und Reaktorsicherheit ein Gesetzesentwurf zur Verbesserung des Schutzes vor Fluglärm in der Umgebung von Flugplätzen vorgelegt. Diese Novelle erfordert erhebliche Veränderungen des Berechnungsverfahrens der Beurteilungspegel gegenüber der AzB, sowie ein neues Verfahren zur Berechnung der NAT-Werte. Weiter enthält diese Novelle eine Vorgabe zur Berücksichtigung der jährlich schwankenden Nutzung der Bahnsysteme eines Flughafens, die als Sigma-Regelung bezeichnet wird. Im Folgenden soll die Umsetzung dieser Vorgabe in ein Berechnungsverfahren dargestellt werden.

---

Mi. 16:30    Raum 57.02

Messtechnik

**Aufbau und Erprobung eines Modellhallraums**V. Wittstock und H. Jachmann*Physikalisch-Technische Bundesanstalt*

Für prinzipielle bauakustische Untersuchungen wird an der PTB zunehmend die Modellmesstechnik angewandt. Durch eine Verkleinerung der Abmessungen um den Faktor 10 sowie eine entsprechende Vergrößerung der Frequenzen können nahezu ideale Verhältnisse erreicht werden, so z.B. bezüglich der Nebengewegfreiheit bei Längsdämmungsmessungen oder bezüglich der Homogenität der beteiligten Bauteile. Darüber hinaus entstehen bei Modelluntersuchungen wesentlich geringere Kosten als im Originalmaßstab. Für einige spezielle Fragestellungen ist es bei der Modelltechnik wichtig, neben den Luft- und Körperschallwellenlängen der beteiligten Schallfelder auch die Absorptionsgrade korrekt zu modellieren. Zur Auswahl geeigneter Materialien ist somit eine Messung des Absorptionsgrads unumgänglich, wozu ein Modellhallraum als zehnfache Verkleinerung eines

an der PTB vorhandenen Hallraums aufgebaut wurde. Es wurden zahlreiche Untersuchungen zu den akustischen Eigenschaften des Hallraums sowie zu möglichen Verbesserungen durchgeführt. Insbesondere zeigte sich, dass die verwendeten mitteldichten Faserplatten eine Lackierung erfordern, da ansonsten die Absorption bei Frequenzen bis 40 kHz zu hoch ist. Die gemessenen Nachhallzeiten des leeren Modellhallraums erfüllen mit dieser Lackierung die Anforderungen nach EN ISO 354 und weisen überdies einen ähnlichen Frequenzverlauf wie die Nachhallzeiten des Originalhallraums auf. Für Absorptionsgradmessungen ist zudem ein Test normativ vorgeschrieben, bei dem die Zahl der Diffusoren schrittweise erhöht wird, bis sich der gemessene Absorptionsgrad einer hoch absorbierenden Materialprobe nicht mehr ändert. Dies war bei einer Diffusorfläche der Fall, die ca. 8,5% der Raumbooberfläche entspricht. Der Modellhallraum ist somit für Absorptionsgradmessungen im Frequenzbereich bis zu 40 kHz qualifiziert und wurde auch bereits für erste Messungen verwendet.

Mi. 16:55    Raum 57.02

Messtechnik

### **Zur Physik bildgebender Rekonstruktion akustischer Bilder und Filme im Zeitbereich**

G. Heinz

*GFal e. V.*

Im Beitrag werden physikalische Fragen der akustischen Bildgebung im Zeitbereich diskutiert, wie sie bei der Entwicklung akustischer Kameras auftreten. Sind einlaufende Wellen mit innenliegender Wellenfront intellektuell fassbar? Betrachten wir die bizarren Eigenschaften des nur im Computer realisierbaren, sekundären Wellenfeldes bei Rekonstruktion als physikalisch real? Zusammenhänge zwischen Wellenfeld und Interferenzintegral werden für die Ansätze der Projektion  $f(t-T)$  und Rekonstruktion  $f(t+T)$  diskutiert. Typische Abbildungseigenschaften bei Überbestimmtheit, wie axialnahe Schärfe werden erörtert. Die Spezifik des sekundären Wellenfeldes wird in Bezug auf die Art entstehender Wellenfelder und deren Interferenzintegrale hinterfragt. Anhand einer Diskussion räumlicher Proportionen des Interferenzfeldes werden Risiken von Interferenzsystemen beim Übergang in den Bereich komplexer Zahlen (insbesondere bei Fouriertransformation) beleuchtet. Möglichkeiten zur Verbesserung der räumlichen Separation werden diskutiert.

Mi. 17:20 Raum 57.02

Messtechnik

**Untersuchungen zur Magnetfeldempfindlichkeit von Mikrofonen**M. Friedrich*Universität Erlangen/Nürnberg*

Wenn akustische Messungen in einem starken Magnetfeld durchgeführt werden, sind Beeinflussungen der Mikrofonsignale durch das externe Magnetfeld eine unerwünschte Störgröße. In der Literatur gibt es stark divergierende Angaben zur Beeinflussung von Messergebnissen durch äußere, zeitlich veränderliche Magnetfelder. In der Veröffentlichung werden Untersuchungsergebnisse zur Beeinflussung von Mikrofonsignalen durch starke äußere, zeitlich veränderliche Magnetfelder präsentiert. Es wird ein Messaufbau für diese Untersuchungen vorgestellt, welcher Magnetfelder großer Feldstärke erzeugen kann. Die Resultate der Charakterisierung verschiedener Mikrofone, sowohl Low-Cost-Elektret-Mikrofonkapseln als auch Referenz-Mikrofone, bezüglich ihrer Magnetfeldempfindlichkeit werden gezeigt. Die Ergebnisse weiterführender Untersuchungen zur Ursache der gemessenen Signalveränderungen werden aufgezeigt und Schlussfolgerungen für geeignete Messaufbauten in starken Magnetfeldern gezogen.

Mi. 17:45 Raum 57.02

Messtechnik

**Piezoelektret-Mikrofone mit Fluoropolymerfolien und verbesserter Temperaturstabilität**J. Hillenbrand, X. Zhang und G.M. Sessler*TU Darmstadt, Institut für Nachrichtentechnik*

Trotz ihres einfachen Aufbaus zeichnen sich Piezoelektret-Mikrofone durch sehr kleine Klirrfaktoren, hohe Grenzfrequenzen und wegen der Verwendung von Folienstapeln auch durch hohe Empfindlichkeiten aus. Der Nachteil aller bisherigen Mikrofone ist die relativ schlechte Temperaturstabilität, die auf die verwendeten zellularen Piezoelektret-Folien aus Polypropylen (PP) zurückzuführen ist. Bekanntermaßen sind die beiden Fluoropolymere Polytetrafluorethylen (PTFE) und Fluorethylenpropylen (FEP) wesentlich temperaturstabilere Elektretmaterialien als PP. Allerdings ist es bis heute nicht gelungen, bei der Herstellung von Piezoelektret-Folien das Polypropylen durch eines der genannten Fluoropolymere zu ersetzen, ansonsten eine analoge Vorgehensweise zu verwenden und damit zellulare Fluoropolymerfolien

mit statistisch verteilten Hohlräumen zu erhalten. Kürzlich konnten aber aus abwechselnd übereinander gestapelten FEP- und PTFE-Folien durch einen Pressvorgang bei hohen Temperaturen mit Hilfe eines Metallgitters zelluläre Verbund-Folien mit einer regelmäßigen Anordnung der Hohlräume hergestellt werden. Nach Koronaaufladung zeigten diese Folien Piezokonstanten von einigen 100 pC/N im Audiobereich. Nach einem Temperprozess nimmt die Piezokonstante der Folien bei 90°C nur noch um 3% pro Tag ab. Mit den Folien wurden Mikrofone gebaut und akustische Freifeld-Messungen durchgeführt. Es ergaben sich bei Einfolien-Mikrofonen Empfindlichkeiten von bis zu 3 mV/Pa bei 1 kHz.

Mi. 18:10    Raum 57.02

Messtechnik

### **Die Bioakustische Registrierung der Atemgeräusche bei Patienten mit Rhinosinuitis**

V. Gross, B. Bort, R. Koch, C. Reinke, S. Kleemann und U. Köhler  
*Uniklinik Marburg, TransMit-Zentrum für Bioakustik und Atemphysiologie*

Die chronische Rhinosinuitis ist verbunden mit einer verstärkten Sekretbildung und mit einer Obstruktion der nasalen Atemwege. Während des Schlafes in liegender Position fließt das Sekret aus den nasalen Bereichen in den Hals. Der zähe eitrige Ausfluss wird von den Patienten als "Kloß im Hals" beschrieben. Zusätzlich beklagen die Patienten Heiserkeit und den zunehmenden Drang sich zu räuspern. Dieser Symptom-Komplex wird auch als PNDS (post nasal drip syndrome) bezeichnet. Gehäuft treten auch nächtliche akustische Symptome wie Husten, Giemen und Schnarchen auf, ebenso gehäuftes Schlucken. Bisher konnte bei der Bewertung dieser Symptome nur der subjektive Eindruck der Patienten oder der Bettpartner erfragt werden. Wir haben ein Gerät entwickelt, mit dem es möglich ist, die akustischen Symptome während einer ganzen Nacht aufzuzeichnen. Dies kann auch im häuslichen Umfeld der Patienten unter alltäglichen Bedingungen erfolgen. Die Aufzeichnung der nächtlichen Atemgeräusche erfolgt mit vier akustischen Sensoren direkt von der Körperoberfläche (2 am Rücken, 1 tracheales- und ein Außenmikrofon) ähnlich einem elektronischen Stethoskop. Die akustischen Signale werden anschließend mittels einer standardisierten computergestützten audiovisuellen Methode bewertet, welche sich bereits in früheren Studien bewährt hat. Bis jetzt wurden nächtliche Atemgeräusche bei 18 Patienten mit Rhinosinuitis aufgezeichnet. Über 80% der Patienten zeigten gehäuft Schlucken. Etwa

70% der Patienten zeigten Giemen und Rhonchus, etwa 20% Hustenereignisse. Mit Hilfe unserer Methode ist es möglich, die akustischen Symptome objektiv im Zeitverlauf zu erfassen. Eine qualitative Bewertung und erstmalig auch eine quantitative Bewertung der akustischen Symptome einer ganzen Nacht ist möglich. Dem Untersucher stehen damit zusätzliche Informationen zur Verfügung.

Mittwoch Poster

Messtechnik

### **Durchführung und Auswertung akustischer Messungen mit MATLAB**

M. Domke<sup>a</sup>, P. Holstein<sup>b</sup> und A. Schreiber<sup>c</sup>

<sup>a</sup>*Ingenieurbüro Akustik & Audiotechnik*; <sup>b</sup>*Fraunhofer Institut für Werkstoffmechanik Halle (IWMH)*; <sup>c</sup>*HTWK-Leipzig*

MATLAB eignet sich mit seiner matrixorientierten Datenstruktur sehr gut als offenes System für die Auswertung von (mehrkanaligen) akustischen Signalen. Durch Nutzung seiner effizienten mathematischen Algorithmen kann ein Anwender schnell und effektiv ein Postprocessing zur Auswertung seiner Messdaten vornehmen. Zur Durchführung der Messung selbst muss eine geeignete Verbindung zwischen MATLAB und der Messhardware hergestellt werden. Professionelle Soundkarten erlauben mit Abtastraten von bis zu 192 kHz und Quantisierungen von bis zu 24 Bit die Durchführung akustischer Messungen mit einer Qualität, die für viele Anwendungen geeignet ist. Zur Durchführung von Messungen unter MATLAB wurden Funktionen in Form von DLL-Dateien erstellt, die eine Abfrage bzw. ein Einstellen der Parameter der Soundkarte sowie die Ausgabe von Anregungssignalen und das Aufnehmen von Messsignalen ermöglichen. Diese lassen sich wie gewöhnliche Funktionen im Command Window von MATLAB aufrufen. Der Zugriff auf die Soundkarte erfolgt über die vom Hersteller mitgelieferte ASIO API mit samplesynchroner Ein- und Ausgabe mehrerer Kanäle. Weitere einfache Funktionen für erste Auswertungsschritte und eine grafische intuitive Bedienoberfläche sind ebenfalls im erstellten Funktionspaket enthalten.

Mittwoch Poster

Messtechnik

### **Messung der Bodenimpedanz im Freiland**

R. Kruse, P. Rong und V. Mellert

*Institut für Physik, Universität Oldenburg*

Die Bodenimpedanz hat einen wesentlichen Einfluss auf die Schallausbreitung, insbesondere bei Entfernungen bis ca. 100



m. Zu ihrer Bestimmung sind *in-situ* Verfahren besonders geeignet. Die für Straßenoberflächen und Schallschutzwände üblichen Verfahren wie ISO 13472-1 und CEN/TS 1793-5 (Adrienne-Verfahren) beruhen auf der Annahme ebener Wellen und sind daher wenig geeignet für tiefe Frequenzen und flache Einfallswinkel. Mit dem Standard ANSI S1.18-1999 (*Template Method for Ground Impedance*) ist ein Verfahren gegeben, um aus der Transferfunktion zwischen zwei über der untersuchten Oberfläche positionierten Mikrofonen die Absorberkennwerte des Bodens und somit die Impedanz zu bestimmen. Dieses erfolgt durch Vergleich der Transferfunktion mit vorberechneten Spektren für div. Absorberparameter(-kombinationen) und Geometrien. Im Zuge der aktuellen Revision dieses Standards ist eine Direktbestimmung der Impedanz mittels eines verbreiteten Schallfeldmodells (Nobile, Hayek 1985) vorgesehen. Die Autoren haben in diesem Zusammenhang eine Reihe von Messungen im Freiland und im Labor ausgeführt, um die Zuverlässigkeit des vorgeschlagenen Verfahrens zu prüfen. Besondere Beachtung fanden hierbei die Eignung für tiefe Frequenzen sowie die Bestimmung einer besonders fehlerunempfindlichen Messgeometrie.

Mittwoch Poster

Messtechnik

### **Vorstellung eines mobilen Prüfstandes zur Messung der Akustik von Bedienelementen**

A.S. Treiber und G. Gruhler

*Hochschule Heilbronn, Automotive Competence Center*

Auf der Suche nach markentypischem Klang und hoher Bedienungssicherheit arbeiten Kraftfahrzeughersteller (unter Anderem auch) an der akustischen Optimierung der Bedienelemente im Fahrzeug. Um zu gewährleisten, dass Hersteller und Zulieferer vergleichbare Messungen durchführen, müssen neben der Messmethode ebenfalls die akustische Umgebung und die Art, wie das Testobjekt betätigt und gelagert wird definiert sein. Wegen der geringen Abmessungen und der Frequenzen im kHz-Bereich kann jedoch auf einen großen und teuren Messraum verzichtet werden, um Freifeldbedingungen im interessierenden Frequenzbereich zu gewährleisten. In der vorliegenden Arbeit wird ein an der Hochschule Heilbronn entwickelter kompakter mobiler Prüfstand für rotatorische und translatorische Bedienelemente vorgestellt. Dieser ist mit einem geräuscharmen automatischen Betätiger ausgestattet und ermöglicht mit der zugehörigen Software die automatisierte, reproduzierbare Messung und Bewertung von Luft- und Körperschall.

Mittwoch Poster

Messtechnik

**Photoacoustic measurements of ammonia by a telecommunication diode laser**M. Angelmahr<sup>a</sup>, A. Miklós<sup>b</sup> und P. Hess<sup>c</sup><sup>a</sup>*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*; <sup>b</sup>*Steinbeis Transferzentrum Angewandte Akustik*; <sup>c</sup>*University of Heidelberg*

A distributed-feedback (DFB) telecommunication diode laser radiating at  $1.53\ \mu\text{m}$  was used for photoacoustic (PA) detection of ammonia molecules in the gas phase. The frequency of the diode laser was adjusted to an absorption line of ammonia and modulated at the first longitudinal resonant frequency (3.8 kHz) of the cylindrical resonator of the photoacoustic cell. For noise reduction a differential method with two acoustic resonators and a lock-in amplifier was used. To increase the Q factor of the cell electro-polished stainless steel resonators were applied. For reducing the adsorption problem of the polar ammonia molecule, the remaining surface of the cell was covered with a  $30\ \mu\text{m}$  Teflon coating. The adsorption behavior of ammonia with different gas flows was examined in detail. With this small system, it is possible to perform fast trace gas measurement of ammonia in the parts per million (ppmV) concentration range. The sensitivity of the photoacoustic cell could be determined to  $5.0 \times 10^{-9}\ \text{Wcm}^{-1}$  ( $\text{S/N} = 1$ ). The photoacoustic ammonia sensor could be applied for measurement and control of ammonia concentrations in exhaust gases of vehicles, of industrial plants, and for monitoring ammonia emissions by livestock farming.

Mittwoch Poster

Messtechnik

**Photoacoustics: an acoustic method for trace gas measurements**A. Miklós<sup>a</sup>, M. Angelmahr<sup>b</sup> und J. Angster<sup>b</sup><sup>a</sup>*Steinbeis Transferzentrum Angewandte Akustik*; <sup>b</sup>*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

The photoacoustic (or optoacoustic) effect, the generation of sound by the absorption of pulsed or modulated light has been known since the famous experiments of Alexander Graham Bell in 1880. Scientific and practical applications of the photoacoustic technique have been considerably promoted by the invention of laser, which is an almost ideal light source for photoacoustics. Recently, photoacoustic detectors play an increasing role in trace gas detection and analysis. The sensitivity of a small, simple and cheap photoacoustic detector is only slightly smaller than that

of a very sophisticated and expensive optical system equipped with a multipass optical absorption cell and a cooled infrared detector. The performance of a photoacoustic trace gas detector depends mostly on its acoustical design. However, the majority of the published or commercially available photoacoustic detectors are acoustically not optimized. Considerable improvement in the sensitivity could be achieved by using better acoustic designs and more sophisticated measurement and data evaluation methods. The PA research in the Fraunhofer Institute of Building Physics is targeted to the development of specific, acoustically optimized PA detectors for each important application fields of the PA technique, such as trace gas measurement and analysis in air; emission control of exhaust gases of vehicles and industrial combustion; detection of poisonous gases, drugs and explosives, monitoring and control of process gases, etc.

Mittwoch Poster

Messtechnik

### **Modellmessungen und Ultraschall**

M. Brodbeck und S.-R. Mehra

*Lehrstuhl für Bauphysik, Universität Stuttgart*

Bis vor wenigen Jahren waren akustische Modellmessungen die einzige Möglichkeit, reale akustische Situationen zu simulieren. Nachdem die Computer immer leistungsfähiger wurden und die Anwendungssoftware die Simulationsaufgaben übernahm, geriet die Modellmesstechnik fast in Vergessenheit. Da die physikalischen Vorgänge realitätsgetreu nachgebildet werden können, stellen die Modellmessungen nach wie vor eine gute Alternative zu den sehr komplexen Computerberechnungen dar. Damit der Aufwand für die Modellierung und der Platzbedarf für die Messdurchführung nicht zu groß werden, muss der Modellmaßstab sehr klein gewählt werden. Da die Wellenlängen des anregenden Schalls entsprechend der Geometrie des Messgebiets maßstabsgerecht verkleinert werden muss, müssen die zu untersuchenden Frequenzen im Ultraschallbereich liegen. Im Rahmen des Vortrags werden Ergebnisse von Modellmessungen vorgestellt, die im Maßstab 1:100 durchgeführt wurden. Es wird auch gezeigt, wie und zu welchem Zweck solche Modellmessungen zukünftig eingesetzt werden können.

Mittwoch Poster

Messtechnik

**Multifunktionales Kundtsches Rohr**W. Schneider, K. Bay, M. Leistner und G. Babuke*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

Mit traditionellen Kundtschen Rohren werden die Eigenschaften von Absorbern bei senkrechtem Schalleinfall bestimmt. Eine schon vorhandene Weiterentwicklung verwendet einen quadratischen Querschnitt mit  $200 \times 200 \text{ mm}^2$  und ermöglicht die Untersuchung von strukturierten Absorbern und Resonatoren. Durch weitere Modifikationen mit Einsatz einer Mehrmikrofontechnik und Analyse nach dem FFT-Verfahren kann das Anwendungsfeld erweitert werden. Damit stehen neben den klassischen Größen Absorptionsgrad, komplexer Impedanz und Reflexionsfaktor neue Kenngrößen, wie Schalldurchgang, Transferfunktionen vor und hinter der Probe, Bestimmung von Absorberimpedanz und Ausbreitungskonstante sowie die Bestimmung der dynamischen Steifigkeit mit Lautsprecheranregung zur Verfügung. Das Poster zeigt den Aufbau und die Bestandteile des multifunktionalen Kundtschen Rohres sowie die Steuerungs- und Analysesoftware, mit der alle Messungen erfasst und ausgewertet werden können.

Mi. 8:30 Raum 57.03

Physik der Musikinstrumente II

**Intensity of Acoustic Radiation Measurement on Persian Musical Instruments**L. Tronchin*DIENCA - CIARM, University of Bologna*

The Intensity of Acoustic Radiation (IAR) represents a novel vibro - acoustic parameter recently defined in musical acoustics and measured especially on musical Instruments. IAR is able to properly relate vibration of sound chests in musical Instruments (normally determined by means of modal analysis) with sound emission from the body. In this paper IAR and modal analysis of some Iranian musical instruments was presented, and compared with similar results achieved in other Western Europe musical Instruments. Analysing IAR in the Persian Musical Instruments with reference to western (Italian) string and percussion Instruments, a different frequency response was found. IAR resulted slightly uncorrelated with FRF in Iranian musical Instruments, whereas in Italian instruments a higher correlation was found. Finally, a comparison among IAR, FRF and modal analysis in Iranian and Italian musical Instruments was presented.

Mi. 8:55    Raum 57.03

Physik der Musikinstrumente II

**Formantenbestimmung von Fagottklängen**T. Grothe, J. Baumgart und R. Grundmann*TU Dresden, Institut für Luft- und Raumfahrttechnik*

Als Formant bezeichnet man einen Frequenzbereich im Spektrum, in dem die Amplituden benachbarter Teiltöne besonders verstärkt werden. Formanten stellen somit Maxima in der Hüllkurvendarstellung eines Klangspektrums dar. Lage und Intensität der Formanten sind charakteristische Merkmale von Instrumentenklängen. Ziel der Untersuchungen war die Analyse von Klangspektren des Fagotts hinsichtlich tonhöhenunabhängiger Formantbereiche, wie sie bei Sängern festgestellt wurden. Zur Tonerzeugung wurde eine Anblasvorrichtung eingesetzt, die es ermöglicht, Töne auf dem Fagott unter definierten Anblasparametern zu erzeugen. Dadurch war eine sehr gute Wiederholbarkeit der Experimente gesichert. Auf verschiedenen Fagotten wurden Töne unterschiedlicher Tonhöhe gespielt und aufgezeichnet. Nach der Spektralanalyse eines kurzen periodischen Teils dieses Klangereignisses wurde ein energetisches Histogramm mit der Bandbreite der Grundtonfrequenz erzeugt. Dabei wurden alle Schalleistungen in einem Frequenzband aufsummiert und dem jeweiligen Partialton zugeordnet. Die Überlagerung dieser diskreten Spektren von Einzelklängen kann durch einen geeigneten Glättungsalgorithmus in eine kontinuierliche, stetige Funktion überführt werden. Diese stellt einen Formantenverlauf dar in dem alle Einzelexperimente berücksichtigt sind. Nach der Normalisierung der Klangspektren der Einzeltöne auf den Gesamtschalldruckpegel zeigte sich im Frequenzbereich über 1 kHz eine deutliche Abhängigkeit der Obertonzusammensetzung von der Grundtonhöhe. Ein gemittelter Formantenverlauf, von dem die Spektren aller aufgezeichneten Klänge im Bereich des Hauptformanten um nicht mehr als 5 dB abweichen, ließ sich bereits durch Auswertung weniger tiefer Töne bestimmen.

Mi. 9:20    Raum 57.03

Physik der Musikinstrumente II

**Anregungsvorrichtung mit künstlichen Lippen für Fagotte**S. Hille, J. Baumgart und R. Grundmann*TU Dresden, Institut für Luft- und Raumfahrttechnik*

Bei Fagotten verfügt der Spieler über eine Reihe von Möglichkeiten mit Lippen, Blasdruck und Mundhöhle Einfluss auf die Klangfarbe und Tonhöhe des Instrumentes zu nehmen. Lippenspannung und Lippendruck, die Position der Lippen selbst sowie auch

der Hohlraum der Mundhöhle des Spielers haben einen starken Einfluss auf das Schwingverhalten des Rohrblattes und somit auf den erzeugten Ton. Um den Einfluss von Lippen und Mundhöhle näher zu untersuchen wurde ein künstlicher Bläser konstruiert, der die natürlichen Verhältnisse darstellt und reproduzierbare Ereignisse zulässt. Damit wurden verschiedene Ansatzparameter wie Lippenkraft, Lippenspannung, Mundhöhlenvolumen etc. simuliert und hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die abgestrahlten Klänge untersucht.

Mi. 9:45 Raum 57.03

Physik der Musikinstrumente II

### **Zur Tragfähigkeit von Musikinstrumenten**

G. Ziegenhals

*Institut für Musikinstrumentenbau, Zwota*

Die Zielstellung der im Vortrag beschriebenen Arbeiten bestand in der Objektivierung der Eigenschaft "Tragfähigkeit" von Musikinstrumenten. Es wird auf drei wesentliche Aspekte eingegangen:

- Die Definition der Tragfähigkeit im Ergebnis von Musikerbefragungen,
- reine Schallleistungsbetrachtungen von Solist und Ensemble,
- die Analyse von 20 eigenen Solokonzertaufnahmen unter definierten Bedingungen.

Aufgrund der vom Musiker im normalen Spielbereich erzeugbaren Schallleistungen und unter Beachtung der durch die Spielposition eines Solisten entstehenden Schallausbreitungsvorteile gegenüber dem Orchester ist es mit allen gängigen Orchesterinstrumenten möglich sich über das Orchester zu erheben, wenn das Orchester zwei Dynamikstufen unter dem Solisten spielt. Die typische Kombination ist dabei Orchester im piano, Solist im forte. Diese Kombination findet sich auch in den allermeisten Passagen der von uns betrachteten Partituren. Die Metallblasinstrumente können das auch bei nur einer Dynamikstufe Unterschied erreichen. Die Konzertaufnahmen fanden unter gleichzeitiger Verwendung von zwei Kunstköpfen in der Regel während der Hauptproben statt. Verglichen werden Passagen: Orchester allein, Solist allein und beide gemeinsam. Alle Soloinstrumente markieren sich im Zusammenspiel durch ihre typischen Formanten, wobei einzig die Violine einen wirklich das Orchester überstrahlenden Formanten aufweist. Insgesamt muss man feststellen, dass sich die Solisten, im Gegensatz zur verbreiteten Meinung von Musikern, ohne die Hilfe von Komposition, Arrangement und Dirigat nicht durchsetzen könnten, was sich in der Regel bereits in der stark reduzierten Besetzung bei Solokonzerten widerspiegelt.

Mi. 10:10    Raum 57.03

Physik der Musikinstrumente II

**Top and Back Plate Vibration Patterns and Frequency Response of Violin**Z. Otčenasek*Academy of Performing Arts, Prague*

The top plate and the back plate vibration patterns of the violin were visualized by the electronic speckle interferometer (ES-PI). The violin was artificially driven by the Dünwald exciter. At each excited particular frequency the time series of the vibration pattern images was recorded and next this particular series was collected in one animated picture. Also the far field frequency response of the violin was measured in anechoic room. The animated vibration pictures were assigned to the course of the frequency response. The patterns were compared and discussed.

Mi. 14:00    Raum 57.03

Physik der Musikinstrumente II

**Virtuelle Blasinstrumente - die Impulsformung als wiederentdeckte Klangsynthesetechnik**M. Oehler<sup>a</sup> und C. Reuter<sup>b</sup>*<sup>a</sup>Institut für angewandte Musikwissenschaft und Psychologie, Köln; <sup>b</sup>Musikwissenschaftliches Institut - Universität zu Köln*

Innerhalb dieses Beitrags wird die Digitale Impulsformung als eine Klangsynthesemethode für Blasinstrumente präsentiert. Der Kerngedanke dieses Prinzips ist, dass jeder Blasinstrumentenklang im Grunde auf seine Anregungsimpulse zurückführbar ist (Schwingungen der anregenden Rohrblätter oder Lippen), die sich unabhängig von der Grundtonhöhe stets nach den gleichen Gesetzmäßigkeiten verhalten und in denen sich klanglich die Schumannschen Klangfarbengesetze widerspiegeln. Umgesetzt wurde dieses Prinzip erstmals Ende der 1970er Jahre in dem von Jobst Fricke, Wolfgang Voigt und Jürgen Schmitz am Musikwissenschaftlichen Institut der Universität zu Köln entwickelten Variophon. Dieser Blassynthesizer, der auf dem damals neuartigen Syntheseprinzip der Impulsformung beruht, wird nun innerhalb eines von der DFG geförderten Projektes als Digitales Variophon in einer verbesserten Ausführung rekonstruiert. Ziel des Projektes ist es nicht nur, einen verbesserten Blassynthesizer zu erhalten, bei dem, entgegen sonst gebräuchlicher Blassynthesetechniken, ein einziger Blaswandler ausreicht, um alle klanglichen Nuancen (z.B. Klangfarbenmodulation) wie auf einem richtigen Instrument zu erzeugen. Es geht vor Allem auch darum, speziell

eine Experimentierumgebung für die Analyse und Synthese von (Blas-)Instrumentenklängen zu schaffen. Die Fagott- und Oboenmodule des Digitalen Variophons sind bereits innerhalb von NI Reaktor implementiert und stimmen in ersten Hörtests und akustischen Analysen klanglich überzeugend gut mit den Klängen von den jeweils originalen Instrumenten überein.

Mi. 14:25    Raum 57.03

Physik der Musikinstrumente II

### **Klangkopplung zwischen simultan gespielten Instrumenten - ein Messverfahren für natürliche Musikinstrumente und klangliche Qualitätsmerkmale**

R. Mores<sup>a</sup> und T. Smit<sup>b</sup>

<sup>a</sup>HAW Hamburg, Fakultät Design Medien Information; <sup>b</sup>pdex, Leer

Aufnahmen simultan gespielter natürlicher Musikinstrumente werden im Vergleich zu separaten Aufzeichnungen als brillanter, präsenter, plastischer und klarer empfunden. Dieses Papier untersucht die Ursachen dieser Klangunterschiede und die Wirkung gegenseitiger Kopplungen: Während der Aufnahme einer einzelnen Gitarre wird das Studio mit definierten Sinustönen beschallt und gezielt auf das Instrument gekoppelt (Simultantonaufzeichnung), um die wechselseitigen Beeinflussungen zweier ansonsten simultan gespielter Gitarren nachzubilden. Die individuellen Anpassungsreaktionen der Akustikgitarren auf unterschiedliche eingebrachte Simultantöne werden in einem veränderten Verlauf der Teiltöne identifiziert, insbesondere in den Phasen des Einschwingens und des Ausklingens. Diese sind ursächlich für die genannten Urteile zur Klangqualität geben aber zudem Aufschluss über die relative Güte einer Gitarre. Spezifische Analysewerkzeuge stellen die unterschiedlichen Simultantonresistenzen im Zeit- und Frequenzbereich dar und ermöglichen nicht nur eine qualitative Einwertung des Instruments, sondern zudem Aussagen über seine möglichen Einsatzgebiete, etwa eine klangspezifische Einteilung nach Soloinstrumenten und Ensembleinstrumenten. Dieses Verfahren der Simultantonaufzeichnung beinhaltet einen Paradigmenwechsel bei der akustischen Analyse von Musikinstrumenten: Werden ansonsten äußere Störeinflüsse von einem Device-under-Test ferngehalten, um möglichst nur das Instrument zu vermessen, werden hier erst die eingekoppelten Simultantöne einige der Eigenschaften eines Instruments aufzeigen, die für die Klangbildung relevant sind und der Aufführungspraxis entsprechen.



Mi. 14:50    Raum 57.03

Physik der Musikinstrumente II

**Schallbilder und Schallfilme von Musikdarbietungen - von aufsteigenden und abhebenden Klängen**G. Heinz<sup>a</sup> und F. Blutner<sup>b</sup><sup>a</sup>GFal e.V.; <sup>b</sup>Synotec Psychoinformatik GmbH

Was macht eine Orgel so mächtig? Besaß Johann Sebastian Bach ein geheimes Wissen über die Komposition von Schallbildern? Wie gut können wir Musik orten? Wieviel von dem, was eine akustische Kamera sieht, hören wir mit zwei Ohren? Und wie sind die Mechanismen zu erklären, die zum Abheben einer Stimme führen?

Visuelle Begriffsprägungen sind bestimmend für musikalische Erörterungen. Im Konzert heben Stimmen ab, oder sie zerfließen. Umgangssprachlich wirken Instrumente akustisch groß oder klein, sie atmen oder verschmelzen, versinken oder kleben fest. 'Wie ein Blitz beendet der Paukenschlag den ersten Satz. Die Geige danach klingt zart wie eine Frauenstimme'. Die Welt musikalischer Termini ist voll von sphärischen Bezügen: Töne sind hoch oder tief; der Begriff des 'Klangraumes' deutet an, dass Musik mehr ist als Klang.

Durch Zufall entdeckten Knut Becker, Friedrich Blutner und Gerd Heinz 2001, dass gehörte 'musikalische Bilder' einen physikalischen Hintergrund besitzen können.

Mit einer akustischen Kamera wurden in der Folgezeit Aufnahmen aus verschiedenen Bereichen der Musik gesammelt. Lassen sich tatsächlich die von geschulten Hörern beschriebenen Effekte beobachten?

Erste Erklärungsansätze werden versucht. Neben Beugung, Reflexion und Raumresonanz werden auch bislang unbekannte kompositorische Regeln vermutet. Beobachtete Ortskurven entziehen sich niederkanaligen Hypothesen. Nicht zuletzt offenbaren erste Aufnahmen großer Orchester, in welche Richtung sich die Übertragungstechnik zu entwickeln hätte: Musikalische Bilder benötigen viel mehr als zwei Kanäle, um unverzerrt in den Wiedergaberaum gelangen zu können.

Mi. 15:15    Raum 57.03

Physik der Musikinstrumente II

**Klangmodellierungsansätze und Ergebnisse für Gamelaninstrumente des lauten Stils**A. Sontacchi, F. Zotter und R. Höldrich*Institut für Elektronische Musik und Akustik, Graz*

Ein Teilgebiet unseres Projekts "Virtual Gamelan Graz" (VGG) beschäftigt sich mit der Klangmodellierung ausgewählter Gamelan Instrumente. Da am Ende eine echtzeitfähige interaktive Implementierung eines Gamelanorchestersters steht, ist primär eine datenreduzierte Klangrepräsentation erforderlich, wobei eine originalgetreue Klangqualität angestrebt wird. Dieses Vorhaben ist an zwei Vorgaben geknüpft: die Steuerbarkeit der Stimmung und Klangfarbe, sowie die Zuordnung von Teiltönen zu unterschiedlichen Abstrahlungseigenschaften des Instrumentes.

Zur Klanganalyse werden folgende drei Techniken vorgeschlagen: Auto Regressive Moving Average Modell mit Frequency Zooming (FZ-ARMA), Warped Spectral Model (WSM) und Empirical Mode Decomposition (EMD).

Bei FZ-ARMA Modeling werden die Instrumente als lineare dynamische Systeme betrachtet. Dabei werden die Annahmen getroffen, dass der Klang einzelne Teiltöne mit fixer Frequenz (Moden) enthält, diese voneinander unabhängig sind und angeregt werden können. Da von Stabilität ausgegangen werden kann, klingen diese Teiltöne im homogenen Fall ab.

Bei WSM wird die Frequenzauflösung des menschlichen Gehörs bei der Nachbildung von Klängen herangezogen. Dadurch kann die Anzahl der erforderlichen Teiltöne drastisch gesenkt werden. Die Auswertung erfolgt in zwei Richtungen: Teiltonzerlegung und Verfolgung von Amplitude und Frequenz (deterministischer, schmalbandiger Anteil), sowie Auswertung des Restsignals (stochastischer, breitbandiger Anteil).

Die EMD Methode zerlegt das zu untersuchende Signal in so genannte Intrinsische Mode Funktionen (IMF). Für die Berechnung der tatsächlich vorhandenen Spektralkomponenten werden aus den reellen IMFs analytische Signale gebildet und durch Ableitung der Phase nach der Zeit die Momentanfrequenzen errechnet (Hilbert-Huang-Spektrum). Die Problematik der begrenzten Frequenzauflösung wird durch einen neuen Ansatz gelöst.

Als Ergebnis werden die jeweiligen Vor- und Nachteile der untersuchten Verfahren skizziert.

Mi. 15:40    Raum 57.03

Physik der Musikinstrumente II

**Bewegung als Ursprung der Musik - Alexander Truslit's frühe Studien zur Musikwahrnehmung**M. HaverkampKöln

Nachdem Fragen der Wahrnehmung einzelner Geräuschphänomene und Klänge im Rahmen psycho-akustischer Untersuchungen ausführlich behandelt wurden, stellt sich zunehmend die Frage, wie die komplexen Integrationsprozesse des Wahrnehmungssystems beschrieben werden können. So werden zunehmend auch Fragen der spektralen und zeitlichen Gruppierung von Klanggestalten diskutiert. Der Musikwissenschaftler Alexander Truslit (1889 - 1971) hat insbesondere zur Entstehung der durch musikalische Strukturen ausgelösten Bewegungsvorstellung interessante Experimente durchgeführt und versucht, allgemeine Prinzipien der Musikwahrnehmung, Interpretation und Komposition abzuleiten. In diesem Zusammenhang ist auch das von ihm entwickelte System der Visualisierung der Bewegungsvorstellung und die Extraktion von Grundformen bemerkenswert. Während Truslit's Arbeiten in Deutschland weitgehend in Vergessenheit gerieten, wurden sie im Ausland zur Optimierung von Algorithmen zur Musikwiedergabe auf Grundlage digitalisierter Partituren herangezogen.

Truslit veröffentlichte 1938 das Buch 'Gestaltung und Bewegung in der Musik' mit zahlreichen Notenbeispielen und Visualisierungen. Dies ist offenbar das erste Werk zur Musikwahrnehmung, dem Klangbeispiele auf 3 Schallplatten (Schellack, 78 upm) beigefügt wurden - lange vor den mit Hörbeispielen unterstützten Lehrwerken von Zwicker, Terhardt, Bregman und anderen.

Die Präsentation bringt das von Truslit erarbeitete Material in Zusammenhang mit den von ihm veröffentlichten Klangbeispielen und ermöglicht so Einblick und Einhören in diese frühen Versuche der Analyse einer Interaktion von Hören, Sehen und Bewegungswahrnehmung.

Mi. 16:30 Raum 57.03

Bauakustik I

**Einfluss des Scherbens auf die Schalldämmung von Mauerwerk**M. Schneider und H.-M. Fischer*Hochschule für Technik Stuttgart, Fakultät für Bauingenieurwesen, Bauphysik und Wirtschaft*

Die Schalldämmung von Mauerwerk wird in aller Regel aus der flächenbezogenen Masse des Bauteils berechnet. In den letzten Jahren sind immer wieder Fälle bekannt geworden bei denen die Schalldämmung homogener massiver Wände zum Teil deutlich unter dem rechnerisch zu erwartenden Schalldämm-Maß liegt. Als Ursache für die verminderte Schalldämmung wird eine geringe Biegesteifigkeit der Wand vermutet. Um Unterschiede in der Steifigkeit verschiedener Mauerwerksmaterialien messtechnisch zu ermitteln, wurde in einem ersten Schritt der E-Modul aus der Lage der ersten Eigenfrequenz der Longitudinal- und Biegeschwingung von Stabproben aus typischem Mauerwerksmaterialien (Kalksandstein, Ziegel, Poren- und Leichtbeton) bestimmt. In einem zweiten Schritt wurde der E-Modul aus der Laufzeitdifferenz an kleinen Wandscheiben aus Mauerwerk ermittelt. Das untersuchte Mauerwerk unterschied sich dabei in Material, Format und der Vermörtelung. Weiterhin wurden die Eigenschwingungsformen der Wandscheiben durch eine Modalanalyse ermittelt. Wird der an den Wandscheiben gemessene E-Modul bei einer FEM-Berechnung verwendet, ergibt sich eine gute Übereinstimmung mit den messtechnisch ermittelten Eigenschwingungsformen. Weiterhin werden Berechnungen zur Schalldämmung von Mauerwerkswänden unter Berücksichtigung des ermittelten E-Moduls, mit Messungen im Prüfstand verglichen.

Mi. 16:55 Raum 57.03

Bauakustik I

**Aktueller Stand zur Planung der Schalldämmung von Gebäuden mit leichten Ziegelaußenwänden**A. Meier und G. Hilz*Müller-BBM GmbH*

Bei der Planung der Schalldämmung z.B. von Mehrfamilienwohngebäuden ist die Anwendung des Nachweisverfahren nach DIN 4109 nicht zulässig, sofern die Außenwände monolithisch aus resonanzbehafteten leichten Ziegeln erstellt werden. Auch ohne Schallschutznachweis wurden und werden Wohngebäude aus solchen Ziegeln erstellt. In den letzten Jahren tritt eine zunehmende Anzahl von schalltechnischen Schadensfällen auf.

Die Bemühung der Ziegelindustrie zur Verbesserung der Schalldämmung solcher Wände scheint nun zu greifen, wie aktuelle Ergebnisse aus Prüfstandsmessungen zeigen. Es besteht die Frage, ob die verbesserten Ziegel nun für den Einsatz in Mehrfamilienwohngebäuden uneingeschränkt bzw. unter bestimmten Randbedingungen geeignet sind.

Der Beitrag fasst den aktuellen Stand zusammen. Anhand von Prüfstands- und Baumessungen soll geklärt werden, ob das Prognoseverfahren gemäß DIN EN 12354 für eine entsprechende Anwendung als Nachweisverfahren im Planungsprozess geeignet ist. Die Ergebnisse werden auch mit den veröffentlichten Erkenntnissen anderer Institute verglichen. Ggf. werden Vorschläge zur Schaffung von Planungssicherheit bzw. notwendigen Zulassungsangaben der Ziegel diskutiert.

Mi. 17:20    Raum 57.03

Bauakustik I

### **Flankendämmung von elastisch entkoppelten Gipswandbauplatten**

A. Ruff, M. Schneider und H.-M. Fischer

*Hochschule für Technik Stuttgart, Fakultät für Bauingenieurwesen, Bauphysik und Wirtschaft*

Im modernen Geschosswohnungsbau werden vielfach Gipswandbauplatten für nicht tragende massive Innenwände verwendet. Betrachtet man das Verhalten der Gipswände als flankierende Bauteile, dann ist aufgrund ihrer relativ geringen flächenbezogenen Masse mit einer geringen Direktschalldämmung und damit verbunden mit einer verminderten Schall-Längsdämmung zu rechnen. Allerdings werden die Gipswände nicht starr mit dem Baukörper verbunden, sondern durch elastische Randstreifen, zum Beispiel aus Kork oder Bitumen, von den Trennbauteilen entkoppelt. Der Einbau der Randstreifen erfolgt umlaufend an allen Anschlusskanten der Wände und soll vor Allem die Rissbildung an den Wandanschlüssen verhindern. Durch diese Entkopplung ergibt sich allerdings gegenüber dem massiven Stoß eine höhere Stoßstellendämmung und damit auch eine höhere Flankendämmung der Gipswände. Im Rahmen eines an der Hochschule für Technik, Stuttgart, laufenden Forschungsprojekts wurden Schallmessungen in einem Mehrfamilienhaus mit elastisch entkoppelten Innenwänden aus Gipswandbauplatten durchgeführt. Die Gipswandbauplatten hatten eine flächenbezogene Masse von 90

kg/m<sup>2</sup> und waren mit Kork-Randstreifen entkoppelt. Bei den Messungen wurde in horizontaler und vertikaler Richtung die resultierende Schalldämmung zwischen den Räumen, die Flankendämmung der an der Schallübertragung beteiligten Bauteile sowie die Stoßstellendämmung ermittelt. Parallel hierzu wurden vergleichbare Aufbauten im Labor der HfT für die horizontale Übertragung im Flankenprüfstand und für die vertikale Übertragung im Kombiprüfstand realisiert. Die resultierenden Schalldämm-Maße der Trennbauteile, die Flankendämm-Maße der Gipswände und die Stoßstellendämm-Maße konnten hierbei unter Laborbedingungen untersucht werden.

Mi. 17:45    Raum 57.03

Bauakustik I

### **Bauakustische Dämpfungseffekte**

C. Kling

*Physikalisch-Technische Bundesanstalt*

Dämpfungsmechanismen werden in der Bauakustik bisher nicht systematisch genutzt. Untersuchungen haben gezeigt, dass dadurch hinsichtlich der Schalldämmung im Hochbau ein großes Potential ungenutzt bleibt. Daher werden im Fachbereich "Angewandte Akustik" der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) Dämpfungseinflüsse in der Bauakustik untersucht. Ziel des Forschungsprojektes ist es, die Wirkung von Dämpfungsmechanismen auf die Schalltransmission im Hochbau zu analysieren. Insbesondere soll der Einfluss auf die Messung der Schalldämmung im Prüfstand untersucht und eine Differenzierung nach Eigenschaften des Prüflings und des Prüfstandes, z.B. Energieableitung über Nebenwege oder Stoßstellen, vorgenommen werden. Verschiedene Trennwände wurden am Modell eines maßstabsgetreu abgebildeten Wandprüfstandes untersucht und die wichtigsten Dämpfungseffekte in Form von Verlustfaktoren bilanziert. Neben Messungen im Prüfstandsmodell sind dazu auch Untersuchungen an Materialproben notwendig, um materialspezifische Eigenschaften wie Elastizitätsmodul und Materialdämpfung zu bestimmen. Als vorteilhaft hat sich die Beschreibung mit viskoelastischen Kenngrößen erwiesen. Der Vortrag behandelt den Stand des Projekts und geht auf aktuelle Ergebnisse ein.

Mi. 18:10 Raum 57.03

Bauakustik I

**Zur Berechnung der Unsicherheit bauakustischer Einzahlwerte**V. Wittstock*Physikalisch-Technische Bundesanstalt*

Die Ergebnisse bauakustischer Messungen fallen meist in Form von Frequenzspektren an. Zur Kommunikation von Produkteigenschaften werden dagegen so genannte Einzahlwerte verwendet, wie z.B. das bewertete Schalldämm-Maß  $R_W$  oder die Summe aus bewertetem Schalldämm-Maß und Spektrum-Anpassungswert  $C$  oder  $C_{tr}$ . Die Einzahlwerte werden durch Anwendung genormter Verfahren aus den spektralen Ergebnissen berechnet. Es ist nun von großem Interesse, wie sich die spektralen Unsicherheiten in der Unsicherheit des Einzahlwerts widerspiegeln. Um dies zu untersuchen, wurden analytische Verfahren zur Berechnung der Unsicherheit der Einzahlwerte entwickelt. Eine Verifizierung dieser Verfahren mit Monte-Carlo Rechnungen zeigte, dass die analytischen Verfahren gut anwendbar sind, wenn auf die in der Bewertungsnorm vorgeschriebene Beschränkung der Stellenzahl verzichtet wird. Anschließend wurden die entwickelten Verfahren auf eine vorliegende Datenbank angewendet, die aus 1869 Einzelergebnissen von z.B. Ringversuchen besteht. Der Vorteil ist hierbei, dass gemessene Unsicherheiten mit berechneten verglichen werden können. Es zeigte sich, dass die unter Annahme von positiver Korrelation berechneten Unsicherheiten immer über den gemessenen Unsicherheiten liegen. Eine rechnerische unkorrelierte Überlagerung der spektralen Unsicherheiten führt dagegen zu einer Unsicherheit, die meist unter den gemessenen Unsicherheiten liegt. Es gibt jedoch einige wenige Fälle, in denen negative Korrelation auftritt. Die gemessene Unsicherheit liegt dann noch unter der für den unkorrelierten Fall berechneten. Die auftretenden Korrelationseffekte beeinflussen somit die Unsicherheit des Einzahlwerts ganz erheblich. Eine Vorhersage der Korrelation aufgrund der dominierenden Frequenzbereiche oder der Einzahlwerte selbst ist leider nicht möglich. Damit kann für die Praxis beim derzeitigen Kenntnisstand nur empfohlen werden, entweder einen Maximalwert der Unsicherheit unter Annahme voller Korrelation zu berechnen oder aber gemittelte Unsicherheiten aus Ringversuchen als Schätzwert für die Unsicherheit zu verwenden.

Mittwoch Poster

Bauakustik I

**Auswirkung der Mineralfaserplatte Multipor als Wärmedämmung auf Massivbauteilen aus Porenbeton und Kalksandstein**K. Naumann*Xella Technologie- und Forschungsgesellschaft mbH*

Wohn- und Gewerbebauten im Massivbau erhalten aus Gründen des Wärmeschutzes häufig ein Wärmedämm-Verbundsystem (WDVS) an der Außenseite des Gebäudes. Herkömmliche WDVS aus Polystyrol oder mineralischem Faserdämmstoff können sich ungünstig auf das Schalldämm-Maß der massiven Außenwandkonstruktion auswirken. Neben diesen klassischen Baustoffen gibt es seit einigen Jahren auch die massive Mineralfaserplatte "Multipor". Diese erreicht einen Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda=0,045\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  und kann auch als Dämmschicht in einem WDVS eingesetzt werden. Schalltechnische Untersuchungen an Konstruktionen mit der Mineralfaserplatte "Multipor" haben ergeben, dass sich die Schalldämmung durch das besondere Resonanzverhalten nicht verschlechtert. Darüber hinaus zeigen sich im tieffrequenten Bereich zum Teil bessere Schalldämm-Maße, als bei anderen WDVS aus Polystyrol oder Faserdämmstoffen. Dies wirkt sich beispielsweise beim Schallschutz z.B. gegen tieffrequenten Verkehrslärm positiv aus. In diesem Vortrag werden die Auswirkungen der Mineralfaserplatte "Mutipor" auf das Schalldämm-Maß von Massivwänden vorgestellt. Untersucht wurden neben der Schalldämmung auch die Auswirkungen auf die Schall-Längsdämmung eines flankierenden Außenbauteils mit einer Innendämmung aus Multipor.

Mittwoch Poster

Bauakustik I

**Vorsatzschalen in Theorie und Praxis**A. Buchele und L. Weber*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

Vorsatzschalen zählen zu den Standardkonstruktionen in der Bauakustik und werden zur Verbesserung der Schalldämmung einschaliger Bauteile (z.B. Massivwänden) eingesetzt. Obwohl sie schon seit langem bekannt sind, bestehen in Bezug auf ihre akustischen Eigenschaften noch viele offene Fragen. Insbesondere ist es bislang nicht möglich, die frequenzabhängige Schalldämmung einer Vorsatzschalen-Konstruktion für die praktische schalltechnische Auslegung mit hinreichender Genauigkeit zu prognostizieren.



Um die akustischen Eigenschaften von Vorsatzschalen näher zu untersuchen, wurden zahlreiche Messdaten systematisch ausgewertet und mit theoretischen Berechnungsmodellen aus der Literatur verglichen. Dabei konnten Beiträge zur Lösung bislang offener Fragen (z.B. der Wechselwirkung zwischen Vorsatzschale und Grundbauteil) geleistet werden. Des weiteren wurde ein praxistaugliches Verfahren entwickelt, um die Verbesserung der Schalldämmung durch Vorsatzschalen mit erheblich höherer Genauigkeit vorherzuberechnen.

Mittwoch Poster

Bauakustik I

### **Eigengeräusche von Mikrofonschwenkanlagen**

S. Efinger und L. Weber

*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

Bei bauakustischen Messungen erfolgt die räumliche Mittelung des Schallpegels in den Messräumen üblicherweise mit Hilfe von Mikrofonschwenkanlagen, bei denen das an einem Schwenkarm befestigte Mikrofon durch einen Motor auf einer geneigten Kreisbahn bewegt wird. Motor und Getriebe erzeugen jedoch Eigengeräusche, die bei sensiblen Messungen wie z.B. akustischen Untersuchungen an haustechnischen Installationen oder Messungen an hochschalldämmenden Konstruktionen, nicht unerhebliche Störungen hervorrufen können.

Es wurden verschiedene Typen von Mikrofonschwenkanlagen unterschiedlicher Hersteller auf ihre Geräuschentwicklung untersucht. Hierbei wurden Probleme bei der Motorkapselung, durch Reibungsgeräusche des Antriebsriemens sowie durch Brems- und Beschleunigungsgeräusche bei Umkehr der Bewegungsrichtung festgestellt. Des weiteren erwiesen sich das Ausbalancieren von Mikrofon und Schwenkarm und die Führung des Mikrofonkabels als wichtige akustische Einflussgrößen. Es wird über die gewonnenen Erfahrungen und die unter verschiedenen Betriebs- und Aufstellungsbedingungen gemessene Schallabstrahlung berichtet.

Mi. 8:30 Raum 57.04

Körperschall in Gebäuden II

### **Wie kann die Trittschallübertragung leichter Treppen prognostiziert werden?**

A. Drechsler, J. Scheck und H.-M. Fischer

*Hochschule für Technik Stuttgart, Fakultät für Bauingenieurwesen, Bauphysik und Wirtschaft*

Im Februar 2006 wurde ein Kooperationsprojekt an der Hochschule für Technik Stuttgart, Fakultät für Bauingenieurwesen,

Bauphysik und Wirtschaft zur schalltechnischen Simulation und Optimierung leichter Treppen abgeschlossen. Neben der akustischen Optimierung war die Erarbeitung eines praktikablen Modells zur Berechnung und Prognose der schalltechnischen Eigenschaften leichter Treppen wesentliche Aufgabenstellung des Projektes. Basierend auf der Analyse der Körperschallübertragung wurden Methoden zur Charakterisierung von Treppen als Körperschallquellen entwickelt, welche Eingangsdaten für eine Prognose der Übertragung in Bausituationen liefern. Neben einer physikalisch vollständigen Charakterisierung durch freie Schnelle und Admittanz wurde die Empfangsplattenmethode, die zur Charakterisierung von haustechnischen Anlagen entwickelt wurde, erfolgreich auch bei leichten Treppen angewandt. Für die Prognose der Körperschallübertragung im Gebäude wurde auf das Rechenverfahren der DIN EN 12354 Teil 2 zurückgegriffen. Im Beitrag wird das Prognosemodell erläutert und auf die erreichbare Genauigkeit eingegangen.

Mi. 8:55    Raum 57.04

Körperschall in Gebäuden II

### **Fluid-structure interaction in domestic piping systems**

T. Alber<sup>a</sup>, H.-M. Fischer<sup>b</sup> und B. Gibbs<sup>c</sup>

<sup>a</sup>*HfT Stuttgart (now at ZF Lenksysteme GmbH);* <sup>b</sup>*Hochschule für Technik Stuttgart, Fakultät für Bauingenieurwesen, Bauphysik und Wirtschaft;* <sup>c</sup>*University of Liverpool, Acoustic Research*

Valves like water taps are sources of air-, structure- and fluid-borne sound simultaneously. All of these source components can contribute to the resultant sound pressure generated in the room containing the valve. Importantly, the structure- and fluid-borne components are the dominant contributions to the sound pressure in rooms removed from the source.

Although the fluid-borne emission of water taps is of interest for manufacturers in the design process, it is the structure-borne sound emitted into the building structure that can cause annoyance of residents. This paper reports on a research project at the University of Applied Sciences Stuttgart in co-operation with the University of Liverpool. The aim of the project is to develop procedures for predicting the sound pressure level of water appliances when installed in buildings, using as input data laboratory measurements of the fluid-borne sound emission into pipe systems.

Mi. 9:20 Raum 57.04

Körperschall in Gebäuden II

**Messung und Beurteilung von Nutzergeräuschen**F. Schnelle und R. Kurz*Kurz und Fischer GmbH*

In der gutachterlichen Praxis treten häufig Fälle auf, in denen sich die Bewohner von Gebäuden über die Nutzergeräusche aus benachbarten Wohnungen beschweren. Z.B. beeinträchtigt ein täglicher "Weckruf" durch die Betätigung von Rollläden in angrenzenden Wohnungen in erheblichem Maß den schalltechnischen Komfort einer Wohnung. Ein besonderes Merkmal der Nutzergeräusche ist, dass in Abhängigkeit der Tätigkeit unterschiedliche Körperschallanregungen von Bauteilen auftreten.

Die Beurteilung der Messungen von Nutzergeräuschen anhand bestehender Regelungen ist wegen der fehlenden verbindlichen Angaben in deutschen Normen und Richtlinien mit Schwierigkeiten verbunden. Zur bauakustischen Klassifizierung von Wohnungen ist die Einführung eines neuen Schallschutzkonzeptes geplant. Aufgrund der erheblichen Störwirkung müssen Nutzergeräusche in diese Beurteilung unbedingt mit einbezogen werden. Die Messung von Nutzergeräuschen mit einer "Nachahmung" von Nutzertätigkeiten weist Probleme hinsichtlich der Reproduzierbarkeit der Maximalpegel auf. Aus diesem Grund wird für messtechnische Untersuchungen der Einsatz eines Kleinhammerwerkes als Ersatzschallquelle vorgeschlagen. Ein Vorteil der Anwendung des Kleinhammerwerkes gegenüber Ersatzschallquellen mit Einzelstoßanregung liegt darin, dass entsprechend dem üblichen Vorgehen bei bauakustischen Messungen im Empfangsraum ein mittlerer Schalldruckpegel im Raum bestimmt wird.

Zur Beschreibung von Bauteilen gegenüber der Empfindlichkeit durch Körperschallanregung von Nutzertätigkeiten wird der Körperschallpegel  $L'_{\text{K}}$  verwendet. Das Vorgehen für die Auswertung entspricht den Messungen der Trittschalldämmung bei Anregung mit dem Normhammerwerk. Hinsichtlich der Übereinstimmung von Spektren realer Nutzergeräusche und der Anregung mit dem Kleinhammerwerk tritt die gleiche Problematik wie bei Gehgeräuschen und der Anregung mit dem Normhammerwerk auf.

Zur Einordnung in das neue Schallschutzkonzept der Klassifizierung von Wohnungen werden für die Bewertung von Nutzergeräuschen abschließend Vorschläge für den bewerteten Körperschallpegel  $L'_{\text{K,w}}$  angegeben.

Mi. 9:45 Raum 57.04

Körperschall in Gebäuden II

**Rohrschalldämpfer aus Aluminium-Membranen**U. Ackermann*Fachhochschule Südwestfalen, Iserlohn*

Wickelfalzrohre mit ovalem Querschnitt werden im Estrich verlegt, um Niedrigenergiehäuser zu be- und entlüften. Die Wände bestehen aus 0,4 mm dicken Aluminium-Membranen. Liegen die Rohre frei, bilden die Breitseiten einen tieffrequenten Plattenresonator, dessen Schwingungen mit der Hand deutlich spürbar sind. Schwingendes Aluminium hat keine innere Reibung, und kann deshalb der Schallwelle keine Energie entziehen. Bei Wickelfalzrohren dagegen treten Reibungsverluste im Falz auf, wodurch eine hohe Schallabsorption erreicht wird. Durch das Aufbringen von Zusatzmassen kann die Resonanzfrequenz verschoben werden und der Resonator in mehr als einer Oktave wirken.

Mi. 10:10 Raum 57.04

Körperschall in Gebäuden II

**Körperschalldämmung eines Bürogebäudes gegen U-Bahntunnel - Schwingungsentkopplung und Langzeitverhalten**W. Teuber und E.J. Völker*Institut für Akustik und Bauphysik, Oberursel*

Materialien zur Schwingungsentkopplung finden seit längerer Zeit Anwendung zwischen Tunnelbauwerken und angrenzenden Wohn- / Geschäftshäusern. Es besteht die Frage, inwieweit Umwelteinflüsse auf das Dämmmaterial und dessen Lage im Grundwasser langfristig zur Erhöhung der Schwingungsbelastung am Gebäude führen. Messergebnissen aus 1996 und an gleicher Position der Gebäude-Außenwand 2006 werden gegenübergestellt und verglichen. Resultate und Bedingungen der Messungen sind zusammen mit Aufbau sowie Eigenschaften verwendeter Dämmlagen beschrieben.

Mi. 14:00 Raum 57.04

Virtuelle Akustik

**Design und Realisierung von virtueller Akustik für ein Augmented-Reality-Labor**F. Völk, S. Kerber, H. Fastl und S. Reifinger*AG Technische Akustik, MMK, TU München*

In diesem Beitrag wird ein System vorgestellt, das es erlaubt, virtuelle akustische Umgebungen mit bis zu acht verschiedenen ruhenden oder bewegten Schallquellen zu generieren.

Dazu werden Quellsignale mit vorher in ähnlicher Konstellation gemessenen Raumimpulsantworten gefaltet und über Kopfhörer wiedergegeben. Die Auswahl der zur aktuellen Hörsituation passenden Impulsantworten geschieht dynamisch, wozu ein Trackingsystem ständig Position und Blickrichtung des Nutzers ermittelt.

Die Realisierung erfolgte auf Softwarebasis, um eine einfache Integration in Augmented-Reality-Umgebungen zu ermöglichen. Virtuelle akustische Szenen können entweder von einer graphischen Benutzeroberfläche aus oder mittels eines definierten Netzwerkbefehlssatzes über Ethernet zusammengestellt werden.

Das komplette System läuft als eigenständiges Modul und kann somit sowohl zur Generierung virtueller akustischer Umgebungen als auch zur Durchführung psychoakustischer Experimente unter Berücksichtigung von Kopfbewegungen benutzt werden.

Mi. 14:25 Raum 57.04

Virtuelle Akustik

**Echtzeitfähiger Nachhallschätzer für virtuelle Umgebungen**D. Schröder, P. Dross und M. Vorländer*Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen*

Eine Erweiterung multimodaler virtueller Umgebungen stellt die korrekte raumakustische Simulation dar. Gerade bei der Darstellung von virtuellen Räumen, wie z. B. einem Theater, einem Konzertsaal oder einer Kirche, unterstützt der auditive Stimulus den räumlichen Eindruck des visuell dargebotenen. Im Gegensatz zur Qualität der visuellen Komponente fehlt es der raumakustischen Simulation allerdings immer noch an einer realistischen und zumindest perzeptiv korrekten Darstellung, wenn die Bedingungen der Echtzeit erfüllt werden sollen.

Eine der markantesten akustischen Größen eines Raumes ist sein Nachhall, da er ihm seine individuelle Klangcharakteristik verleiht. Theoretisch sollte der späte Nachhall einen sehr hohen Diffusitätsgrad aufweisen. In Echtzeit-Systemen wird daher,

aufgrund der begrenzten Rechenzeit, der späte Nachhall kostengünstig durch einen exponentiell abklingenden Nachhallschwanz simuliert, wobei beim Bau der binauralen Filter von einer directionalen Gleichverteilung der empfangenen Schallenergie ausgegangen wird. Die Praxis zeigt allerdings, dass die Annahme eines völlig diffusen Schallfelds in einer Vielzahl von Raumtypen, z.B. Flachräume, Korridore, L-Form, usw., nicht gültig ist. Möglich auftretende Flatter-Echos oder verzerrte Nachhallkurven würden daher unerkant bleiben.

Für eine verbesserte Echtzeit-Auralisation bieten sich Verfahren der geometrischen Raumakustik an, die mittlerweile durch den Einsatz von z.B. BSP-gestützten Suchalgorithmen die Bedingungen der Echtzeit in gewissen Grenzen erfüllen. Vorgestellt wird die Implementierung und Evaluierung eines echtzeitfähigen Nachhallschätzers. Zeitliche und spektrale Informationen über den empfangenen Schall werden dabei zur Laufzeit in den momentanen Filterbau einbezogen, wodurch eine realistischere Auralisation der virtuellen Umgebung ermöglicht wird.

Mi. 14:50    Raum 57.04

Virtuelle Akustik

## **Near-Field HRTFs**

T. Lentz

*Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen*

For creating virtual sound scenes, spatially distributed sources are essential to achieve a high degree of realism. One solution is the binaural synthesis. To provide virtual sources at any position, a HRTF database is required for adding the spatial cues to audio signals. Beside the spatial information, the distance of the source to the listener is very important, especially in a dynamic reproduction system, where the listener has the possibility to change his position and thus the distance to the virtual source.

In case of simulating sources located closer to the listener's head the simple level-dependent distance correction according to the spherical wave attenuation is not sufficient for a realistic representation. For this reason a listening tests was conducted to evaluate, in a first step, the area around the head in which special near-field HRTFs are required.

For a dynamic reproduction system it is essential to provide a variation of all spatial parameters such as azimuth, elevation and distance without audible artefacts for the listener. Thus, as a second step, the spatial resolution has to be specified to find a good tradeoff between the postulated inaudible artefacts and the amount of data which has to be present in a dynamic binaural

synthesis system. A special focus will be put on the tree dimensional fading and / or interpolation regarding azimuth elevation and distance.

Mi. 15:15    Raum 57.04

Virtuelle Akustik

## **An Analytic Secondary Source Selection Criteria for Wave Field Synthesis**

S. Spors

*Deutsche Telekom Laboratories*

Wave field synthesis (WFS) is a spatial sound reproduction technique that facilitates a high number of loudspeakers to create a virtual auditory scene for a large listening area. It overcomes most of the limitations of stereophonic reproduction, like e.g. the sweet-spot. The physical basis of WFS is based by the Kirchhoff-Helmholtz integral. This basic principle states that a distribution of dipole and monopole sources placed around the listening area is sufficient for perfect recreation of a desired virtual scene inside the listening area. For a practical implementation of this principle it is desirable to discard one of the source types. Typically the dipole sources are removed, since monopole sources can be realized reasonable well by closed loudspeakers. However, removing the dipole sources requires to sensibly select the sources used for the reproduction of a particular sound field. Only those sources whose propagation direction coincides with the local propagation direction of the virtual wave field at the source position should contribute to the reproduction. In previous publications of the author this secondary source selection criterion was formulated non-mathematically and introduced into the theory by way of a window function. This contribution proposes to use the sound intensity vector field of the virtual source wave field in order to determine the local propagation direction. It will be shown how the secondary source selection criteria can be formulated analytically based on this measure. The suitability of the proposed approach will be shown by simulations.

Mi. 15:40 Raum 57.04

Virtuelle Akustik

**Entwicklung eines achtkanaligen Lautsprechermoduls für die Wellenfeldsynthese**A. Goertz<sup>a</sup>, M. Makarski<sup>a</sup>, C. Moldrzyk<sup>b</sup> und S. Weinzierl<sup>c</sup><sup>a</sup>*Audio & Acoustics Consulting Aachen*; <sup>b</sup>*Visaural*; <sup>c</sup>*TU Berlin, Fachgebiet Audiokommunikation*

Die Wellenfeldsynthese erfordert eine große Anzahl kleiner, dicht zueinander angeordneter Lautsprecher. Für diese Anwendung wurde ein spezielles achtkanaliges Lautsprechermodul entwickelt, das als 2-Wege System mit kleinen Breitbandlautsprechern in einem Abstand von 10 cm arbeitet und unterhalb von 200 Hz durch größere Tieftonlautsprechern in 40 cm Abstand ergänzt wird. In vertikaler Richtung sind je drei Breitbandlautsprecher zur Verbesserung des Richtverhaltens übereinander angeordnet. Die Ansteuerung erfolgt über ein integriertes DSP-Endstufen Modul mit reichhaltigen Möglichkeiten der Signalverarbeitung. Für eine möglichst exakte Gleichheit aller Wege werden individuell eingestellte FIR-Filter eingesetzt, die zusätzlich noch eine linearphasige Entzerrung der Lautsprecher ermöglichen. Präzise arbeitende Limiter schützen die Lautsprecher und erlauben eine optimale Auslastung des Systems, ohne dass Verzerrungen wahrnehmbar werden. Neben den rein technischen Aspekten wurde bei der Entwicklung des Moduls auf eine einfache Handhabung und die Möglichkeit der Herstellung zu einem günstigen Preis geachtet.

Mi. 16:05 Raum 57.04

Virtuelle Akustik

**Wellenfeldsynthese für einen großen Hörsaal**C. Moldrzyk<sup>a</sup>, A. Goertz<sup>b</sup>, M. Makarski<sup>b</sup>, W. Ahnert<sup>c</sup>, S. Feistel<sup>c</sup> und S. Weinzierl<sup>d</sup><sup>a</sup>*Visaural*; <sup>b</sup>*Audio & Acoustics Consulting Aachen*; <sup>c</sup>*Acoustic Design Ahnert*; <sup>d</sup>*TU Berlin, Fachgebiet Audiokommunikation*

In Berlin wurde ein großer Hörsaal mit 700 Plätzen und einem horizontalen Umfang von etwa 100 m mit einem umlaufenden Lautsprecherarray ausgestattet. 840 Audiokanäle werden über 105 achtkanalige Lautsprechermodule wiedergegeben. Passend zur Raumgröße und dem Nutzungsprofil des Hörsaals entsprechend wurde ein neues Lautsprechersystem entworfen, das durch die Verwendung eines 2-Wege Systems und einer zusätzlichen Bündelung des Richtverhaltens durch je drei in vertikaler Richtung übereinander angeordnete Breitbänder einen hohen Direktschallpegel anstrebt. Die Schallpegelverteilung im Raum



und das Aliasing des Arrays wurde durch eine Simulation mit 3D-Lautsprecherdaten im raumakustischen Modell (EASE) berechnet und durch Messungen vor Ort überprüft.

Mi. 16:30    Raum 57.04

Virtuelle Akustik

### **Raumakustische Konzeption von Wiedergaberräumen für Wellenfeldsynthese am Beispiel eines Hörsaals der TU Berlin**

T. Behrens<sup>a</sup>, W. Ahnert<sup>a</sup> und C. Moldrzyk<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Acoustic Design Ahnert*; <sup>b</sup>*Visaural*

Beim Ausbau eines großen Hörsaals der TU Berlin zum Wiedergaberaum für eine Wellenfeldsyntheseinstallation mit 840 Kanälen wurde eine weitreichende raumakustische Umgestaltung erforderlich. Der Vortrag geht auf die in EASE durchgeführte Planungskonzeption hinsichtlich raumakustischer Anforderungen wie Soll-Nachhallzeiten und Schallführung ein und stellt diese den Bestands- und Abschlussmessergebnissen gegenüber. An diesem Beispiel wird die grundsätzliche raumakustische Konzeption von Wiedergaberräumen für virtuelle Akustik in Form einer Wellenfeldsyntheseinstallation gezeigt.

Mi. 17:20    Raum 57.04

Signalverarbeitung

### **Entwurf nichtrekursiver Fractional-Delay-Filter mit breitbandig ebener Gruppenlaufzeit**

M. Eichler und A. Lacroix

*Institut für Angewandte Physik, Universität Frankfurt*

Fractional-Delay-Filter (FD-Filter) erlauben die zeitliche Verschiebung eines Signals um Bruchteile eines Abtastwertes durch Interpolation. Solche Filter werden u.a. zur kontinuierlichen, breitbandigen Variation von Signallaufzeiten in der Sprachverarbeitung, der Array- und Musiktechnologie eingesetzt. In diesem Beitrag wird ein analytischer Ansatz zum Design von FIR-FD-Filtern vorgestellt, der als Spezialfall den aus der Literatur bekannten Maximally-Flat-Design-Ansatz enthält, welcher auch als Lagrange-Interpolation bezeichnet wird. Im Gegensatz zu diesem kann jedoch durch Optimierung eines zusätzlichen Parameters unter Zugrundelegung eines geeigneten Fehlermaßes der Frequenzbereich annähernd linearer Phase und somit konstanter Gruppenlaufzeit signifikant ausgedehnt werden. Auf diese Weise werden Bandbreiten erreicht, die denen bekannter (rekursiver) Allpass-FD-Filter gleicher Ordnung entsprechen, mit dem Vorteil einer Halbierung des Rechenaufwandes.

Mi. 17:45    Raum 57.04

Signalverarbeitung

**Aktive Schallreduktion ohne Sekundärstreckenmodell mit dem Time-Averaged-Error Algorithmus**

K. Kochan, D. Sachau und S. Böhme

*HSU / Universität der Bundeswehr Hamburg*

Die aktive Schallreduktion basiert auf der Überlagerung eines Primärschallfeldes mit einem Sekundärschallfeld. Dieses durch Sekundärlautsprecher ausgesendete Sekundärschallsignal wird gegenwärtig mit dem weit verbreiteten Filtered-x Least Mean Square (FxLMS) Algorithmus berechnet. Nachteil des FxLMS-Algorithmus ist, dass er ein Modell der Sekundärstrecke benötigt. Die Leistungsfähigkeit des Reglers ist dabei von der Qualität dieses Modells abhängig. Bei einer Änderung der Sekundärstrecke z.B. durch Positionsänderung des Fehlermikrofons muss das Modell nachgeführt werden. Notwendig wäre dazu ein rechenintensives Online-Sekundärstreckenidentifikationsverfahren. Hierbei kann der Fehler des Sekundärstreckenmodells unter Umständen so groß werden, dass Instabilität des Reglers eintritt. In diesem Vortrag wird der neue Time-Averaged-Error (TAE) Algorithmus zur Lösung dieses Instabilitätsproblems durch Vermeidung eines Sekundärstreckenmodells vorgestellt. Der TAE-Algorithmus nutzt dabei die besonderen Eigenschaften eines näherungsweise stationären harmonischen Schallfeldes. Der FxLMS-Algorithmus nutzt zur Approximation des Fehlerflächengradienten stochastische Werte des gefilterten Referenz- und des Fehlersignals. Abweichend davon approximiert der TAE-Algorithmus die Fehlerfläche über die blockweise zeitliche Mittelung des quadratischen Fehlersignals. Entlang dieser Fehlerfläche findet die Optimierung der Filterkoeffizienten des adaptiven FIR Filters statt. Zur Optimierung wird hier ein direktes Optimierungsverfahren eingesetzt, welches durch sukzessives Austesten die optimalen Filterkoeffizienten findet. Das Optimierungsverfahren arbeitet ableitungsfrei, dennoch erreicht der TAE-Algorithmus durch ein geschicktes Verfahren zur Wahl der Suchrichtungen und Schrittweite vergleichbare Konvergenzgeschwindigkeit zum FxLMS-Algorithmus. Der TAE-Algorithmus arbeitet mit dem beschriebenen Verfahren sehr stabil, selbst wenn das Fehlermikrofon im Raum bewegt wird. Die Idee des TAE-Algorithmus sowie die analytischen Beschreibung und erste experimentellen Ergebnisse werden präsentiert.

Mi. 18:10 Raum 57.04

Signalverarbeitung

**Contactless dependance interactive objects**

R.K. Ing und D. Cassereau

*Laboratoire Ondes et Acoustique, Paris*

During the last years, it has been shown that the acoustic impulse response of an object excited at a point A and detected at another point B is generally unique. This unicity can be exploited in conjunction with a correlation process to realize an acoustic imaging system which - using a single sensor - authorizes a rigid object to be sensitive to mechanical impacts and allows to spatially locate these contacts. The problem of such a device is the imaging process dependence on the type of contact, and more precisely the temporal form of the excitation generated by the impact.

The new processing method presented in this paper is devoted to cancel this dependence. Using a second sensor on the object, this new method allows to compensate and remove the effects of the temporal form of the excitation on the performances of the imaging system.

A comparison between the two processes, with and without compensation, will be shown in the simple case of a rectangular plate. Their advantages and drawbacks will be pointed out.

Mittwoch Poster

Signalverarbeitung

**Look to Talk: Embedded Face Localization for Activating Speech Recognition**X. Kong<sup>a</sup>, J.F. Guitarte Perez<sup>b</sup> und K. Lukas<sup>b</sup><sup>a</sup>*Munich University of Technology*; <sup>b</sup>*Siemens AG*

In this paper we present a highly efficient solution to activate speech recognition and to enhance its performance by utilizing visual information. The idea of 'Look to Talk' employs a face localization algorithm which detects the face when the user is close enough to an appliance and looks at it. This substitute of the traditional 'Push to Talk' system makes the usage more convenient and user interface friendlier, as no manual interaction is required. After the face localization an embedded lip finding and tracking algorithm is applied, which detects the movement of the lips and activates the speech recognition. This solution improves the recognition results significantly and avoids interferences from the surrounding, especially in multi-user and acoustically noisy environments. The face localization algorithms are dedicated to low-resource platforms and can therefore be embedded in various appliances like ticket vending machines or household equipment.

Mi. 8:30 Raum 57.05

Binaurales Hören II

**Robustheitsanalyse von mehrkanaligen binauralen Hörgerätealgorithmen mit Hilfe von psychoakustischen Bewertungsmaßen**

T. Rohdenburg, V. Hohmann und B. Kollmeier

*Medizinische Physik, Universität Oldenburg*

Normalhörende können die räumliche Information über ein Signal, die in tiefen Frequenzen im Wesentlichen in der interauralen Zeitdifferenz (ITD) kodiert ist, zur Unterdrückung von Störgeräuschen ausnutzen und damit eine Verbesserung der Sprachverständlichkeit gegenüber monaural (bzw. diotisch) dargebotenen Signalen erreichen. Auch Hörgeschädigte können von der räumlichen Information profitieren; daher ist eine Erhaltung der ITD bei der Verarbeitung durch Hörgerätealgorithmen wünschenswert. Bei beidseitiger Hörgeräteversorgung existiert bei den heutigen Hörgerätealgorithmen (ohne Verbindung zwischen den Hörgeräten) das Problem, dass die ITD unter realen Bedingungen durch die unabhängige Verarbeitung im rechten und linken Hörgerät verzerrt wird und damit die räumliche Information verloren geht. Dies liegt daran, dass in der Praxis häufig die dem Algorithmendesign zugrunde liegenden Modellannahmen verletzt sind. Neuere mehrkanalige Störgeräuschreduktionsverfahren setzen eine Verbindung zwischen linkem und rechtem Hörgerät voraus und versuchen so die interaurale Phase in den relevanten Frequenzbereichen zu erhalten. Auch bei diesen Algorithmen ist die Leistungsfähigkeit und die Robustheit abhängig von den Abweichungen der Modellannahmen. In dieser Studie werden die betrachteten Algorithmen hinsichtlich der Abweichungen der angenommenen Mikrofonabstände des Mikrofonarrays, Pegelschwankungen der Mikrofonausgänge sowie einer fehlerhaften Ausrichtung auf das Nutzsignal analysiert. Weiterhin wird die Leistungsfähigkeit der betrachteten Algorithmen im Bezug auf verschiedene reale Störsignale und den Einfluss von Schallreflexionen und Nachhall untersucht. Zur Bewertung der Leistungsfähigkeit und Robustheit werden neben klassischen Bewertungsmaßen für Raum-Zeit-Filter auf psychoakustischen Modellen basierende Bewertungsmaße definiert und verwendet (siehe Beiträge IWAENC 2005, 2006). Die hier betrachteten Algorithmen sind nicht-adaptive und adaptive superdirektive Beamformer mit binauralem Postfilter sowie ein mehrkanaliges Wienerfilter mit binauralem Ausgang, die auf ein 6-kanaliges Mikrofonarray bestehend aus zwei gekoppelten dreikanaligen Hörgeräten angepasst werden.

Mi. 8:55 Raum 57.05

Binaurales Hören II

**Effect of Different Frequency Mappings on Speech Intelligibility for CI 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>*Institut für Schallforschung, Wien;* <sup>b</sup>*ENT-Department*

The current generation of cochlear implants (CI) is not optimized for sound localization. However, improving sound localization ability should not hinder a cochlear implant's main function, to help the listener understand speech. The Oldenburger Satztest was used to test speech intelligibility in quiet and at different noise levels with CI and normal hearing (NH) listeners using a CI simulation. The experimental parameters that were varied were the number of analysis channels (M) and the number of electrodes or synthesis channels (N). Both "matched" ( $M = N$ ) and "unmatched" ( $M \neq N$ ) conditions were tested. It was found that for the matched conditions the number of electrodes can be decreased from twelve to eight and speech intelligibility is hardly affected, even for the lowest signal-to-noise ratios. It was also found that for the unmatched conditions speech intelligibility was insensitive to small spectral changes but not large ones. The results have implications for new mapping strategies for CI listeners.

Mi. 9:20 Raum 57.05

Binaurales Hören II

**Binaural pitch perception and binaural unmasking in hearing-impaired listeners**

T. Dau, S. Santurette und O. Strelcyk

*Centre for Applied Hearing Research, Technical University of Denmark*

While binaural processing and perception in normal hearing listeners have been investigated in a number of experimental and modelling studies, effects of hearing impairment on binaural performance appear to be less understood. In the present study, the effects of hearing impairment on the perception of binaural-pitch stimuli were investigated. Several experiments were performed, including detection and discrimination of binaural pitch, and melody recognition using different types of binaural pitches. Most of the listeners could perceive all types of binaural pitches immediately but with less salience compared to normal hearing listeners. Listeners with central auditory deficits were unable to perceive any binaural pitch at all. Additional experiments investigated the mutual correlation between performance in binaural-pitch

perception, measures of audibility, frequency selectivity, binaural unmasking and speech-in-noise intelligibility. The performance of the listeners in the binaural pitch tasks was not correlated with audibility. Reduced frequency selectivity clearly impeded the perception of binaural-pitch stimuli as well as the performance in binaural unmasking experiments. In particular, those listeners with poor speech-in-noise intelligibility were typically those with the poorest binaural performance. The binaural data in hearing-impaired listeners could not be accounted for by the (modified) equalization cancellation model but suggest a contrast enhancement operation at the level of the "residual activation spectra" of the model. Overall, binaural-pitch stimuli might be very useful both in terms of auditory modelling and within clinical diagnostics for detecting specific deficiencies in the auditory system.

Mi. 9:45    Raum 57.05

Binaurales Hören II

### **Experimente und Modellrechnungen zur binauralen spektralen Selektivität**

M. Nitschmann<sup>a</sup> und J.L. Verhey<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Graduiertenkolleg Neurosensorik, Universität Oldenburg;* <sup>b</sup>*AG Neurosensorik, Institut für Physik, Universität Oldenburg*

Auf der letzten DAGA wurde der Unterschied der Pegelabhängigkeit des binauralen Gewinns zwischen Bandstop- und Breitbandmaskierungsexperiment bei einer Signalfrequenz von 500 Hz dargelegt [Nitschmann, M., und Verhey, J.L., *Spektrale Effekte beim binauralen Hören, Fortschritte der Akustik - DAGA 2006*, 79-80]. In einem ersten Schritt wurden die Parameter eines Modells der 'effektiven' auditorischen Signalverarbeitung an die gemessenen diotischen Schwellen angepasst. Zur Simulation der dichotischen Schwellen war die Annahme eines verschlechternden Mehrkanalprozesses notwendig. In dem vorliegenden Beitrag werden Ergebnisse weiterer psychoakustischer Experimente zur spektralen Selektivität, nämlich Bandstopexperimente bei verschiedenen Mittenfrequenzen und Experimente mit einem schmalbandigen Maskierer mit fester Mittenfrequenz als Funktion der Signalfrequenz (Maskierungsmuster), vorgestellt und mit Modellvorhersagen verglichen.

Mi. 10:10 Raum 57.05

Binaurales Hören II

**Messungen und Simulationen zur Kombination monauraler und binauraler Effekte**B. Epp<sup>a</sup> und J.L. Verhey<sup>b</sup><sup>a</sup>*Graduiertenkolleg Neurosensorik, Universität Oldenburg;* <sup>b</sup>*AG Neurosensorik, Institut für Physik, Universität Oldenburg*

Die Mithörschwelle eines Sinustones in Anwesenheit eines Rauschmaskierers wird im Wesentlichen von seiner Rauschenergie im auditorischen Filter an der Signalfrequenz bestimmt. Die Mithörschwelle kann jedoch deutlich verbessert werden, wenn der Maskierer komoduliert ist, d.h. kohärente Pegelschwankung über Frequenzen hinweg aufweist. Dieser einohrige (monaurale) Effekt wird "Comodulation Masking Release" (CMR) genannt. Die Mithörschwelle kann auch verbessert werden wenn das Signal eine Phasenverschiebung zwischen den Ohren, so genannte interaurale Phasendifferenzen, aufweist. Dieser Effekt ist als "Binaural masking level difference" (BMLD) bekannt.

In diesem Beitrag werden Experimente zu CMR und BMLD vorgestellt, bei denen sowohl der binaurale Parameter der interauralen Signalphasendifferenz als auch der monaurale Parameter der Komodulation systematisch variiert wurden. Die Ergebnisse dieser und der schon berichteten Experimente (Epp und Verhey, DAGA 2006, 297-298) auf eine direkte Kombination monauraler und binauraler Verarbeitung hin, was auf eine serielle Anordnung der zugrunde liegenden Prozesse schließen lässt. Auf Basis dieser Annahme wurde ein Modell entwickelt, welches in der Lage ist, die wesentlichen Aspekte der Messergebnisse vorherzusagen.

Mi. 14:00 Raum 57.05

Binaurales Hören II

**Perceptual equalization in near-speaker panning**

B. Seeber und E. Hafter

*Department of Psychology, University of California at Berkeley*

In recent years, extensive work has been done on spatial sound reproduction techniques involving multiple loudspeakers. While many studies on panning focus only on directional reproduction, we ask if panning can truly replace a loudspeaker placed between two speakers spaced 7.5 deg or 15 deg apart. This requires not only that panned direction and speaker position correspond, but also that source width, loudness, timbre, and temporal aspects are equally reproduced. Comparisons in an anechoic chamber between panned sources and sounds played from a

loudspeaker at the panned location revealed small perceptual differences, primarily in timbre. These stemmed from the effects of the head.

In order to examine the errors in panning, signals were shaped with FIR-filters derived with three different approaches:

(1) Compensation filters were determined from a listening experiment in which the level of narrow band noises was found to yield equal loudness with and without panning.

(2) Level compensation was done based on panning simulations with KEMAR-HRTFs, or

(3) with a spherical head model.

Listening tests showed that all approaches succeeded in reducing perceived panning errors to near inaudibility. This talk will address the link between the remaining perceptual error and the spectral and temporal composition of the sounds, the sound direction, and the panning angle. Additional listening tests showed that level roving or the introduction of reflections rendered panning errors inaudible. We conclude that a simple equalization is sufficient to render panned sources from nearby speakers perceptually equivalent to real sources.

Mi. 14:25 Raum 57.05

Binaurales Hören II

## **Psychoakustische Experimente zur Untersuchung der Wahrnehmung Doppler-behafteter Signale**

C. Störig und C. Pörschmann

*Fachhochschule Köln, Institut für Nachrichtentechnik*

Die Entfernungswahrnehmung ortsfester Schallquellen wird für mittlere und große Entfernungen maßgeblich von der Hörerfahrung dominiert. Hierbei werden die Lautheit der wahrgenommenen Schallquelle und Einflüsse der Dissipation ausgewertet. Für bewegte Schallquellen können darüber hinaus zeitliche Änderungen der Lautheit, zeitliche Änderungen der Hörereignisrichtung, sowie Einflüsse des Dopplereffekts Auswirkungen auf die Entfernungswahrnehmung haben. Die im Rahmen einer Diplomarbeit durchgeführten psychoakustischen Experimente befassen sich mit der Entfernungswahrnehmung und damit verbunden mit der Wahrnehmung der Geschwindigkeit einer linear bewegten Schallquelle. Ziel der Untersuchungen ist es, den Einfluss der Bewegung von Schallquellen auf die Entfernungswahrnehmung genauer zu untersuchen und zu beschreiben. Als Grundlage für die Experimente dienen Geräusche eines frontal am Hörer vorbeifahrenden Pkws, die mit einem Kunstkopfmikrofon und einem Kugelmikrofon, bei vier unterschiedlichen Geschwindigkeiten und in



fünf verschiedenen Entfernungen zur Straße aufgezeichnet wurden. Auf diese Weise wird eine Trennung der monauralen Parameter (Amplitudenhüllkurve, Dopplereffekt) von den binauralen Parametern (ITD, ILD) zur Untersuchung der Geschwindigkeitswahrnehmung ermöglicht.

Die folgenden Fragestellungen sollen mit Hilfe der psychoakustischen Experimente untersucht werden: Wie hängt die Entfernungswahrnehmung im Moment der Vorbeifahrt von der Lautheit, der Geschwindigkeit der Lautheitsänderung, der zeitlichen Änderung der Hörereignisrichtung und dem Einfluss des Dopplereffekts ab? Welche Wirkung haben die zeitliche Änderung der Hörereignisrichtung und der Lautheit, sowie der Dopplereffekt auf die Wahrnehmung der zurückgelegten Wegstrecke des Fahrzeugs? Wie unterscheidet sich die absolute Beurteilung der Geschwindigkeit unter Darbietung diotischer und dichotischer Stimuli?

Im Rahmen des Vortrags werden die Ergebnisse der oben aufgeführten Experimente diskutiert.

Mi. 14:50    Raum 57.05

Binaurales Hören II

### **3D-Raumklangabbildungen mittels Mehrkanal-Kopfhörer - zur Optimierung der portablen Surround-Sound-Tonwiedergabe**

F.M. König

*Ultrason AG*

Die kopfbezogene Beschallung erhielt die vergangenen Jahre durch die miniaturisierende Entwicklung sowie Vermarktung von datenreduzierten, digitalen Tonsignalwiedergabe-Formaten gemäß "mp3" einen ungeahnten Boom. Stereokopfhörer, die zunächst als "add on Zubehör" galten, wanderten in den Mittelpunkt - auch der Kritik: Die Im-Kopf-Lokalisation, keine Vorneortung (kontrovers zur neutralen Klangfarbe), geschweige denn Entfernungswahrnehmung, wenn keine individuellen Höranatomie-Merkmale beim Kopfhörerhören genutzt werden. Eine erste Frage ergibt sich: Wie kann man mit bestehenden Mitteln möglichst kostengünstig den geplanten Stereo-Nachfolger, nämlich 'mp3-surround', 3D-Sound entlocken? Soll oder kann überhaupt binaurales DSP im Gerät als Preset (auf Basis 'aller', gegebener Kopfhörer und Ohrformen) erfolgreich verwendet werden? Dazu stehen heute diskrete Home-Cinema-Mehrkanal-Tonformate, wie 5.1 DOLBY DIGITAL<sup>TM</sup>, 5.0 DTS<sup>TM</sup>, THX<sup>TM</sup>, DAB u.s.w. zur Verfügung. Gleich zur nächste Frage: Sind diese unverändert überhaupt für eine Raumklang-Kopfhörer-Tonwiedergabe

geeignet? Während der letzten AES Convention's und 28. AES Conference wurden u.a. Probleme des 'richtigen', lautsprecherkompatiblen Downmixes dieser Tonformate auf 2.0 (stereo) diskutiert. Als aktuelle Vorgabe gelten derzeit bekannte Verfahren, wie jene unter den Kürzeln SRS<sup>TM</sup>, DOLBY-HEADPHONE<sup>TM</sup>, Headtracking, ENSONIDO<sup>TM</sup> (gemäß "mp3 surround") oder HEARO<sup>TM</sup>. Desgleichen gilt auch für die PC-basierte Gaming-Industrie, bei welcher eine 7.1-Sound-Card zur Tonwiedergabe inzwischen "normal" ist! Wäre es nicht einfacher, die Ohrmuschel direkt bei der Beschallung mittels spezieller 4-Kanal-Kopfhörer (getrennte Front-/Rear-Stereohörereignisse mittels dezentrale Schallwandler-Anordnung) seitens 4.0 Formate sowie vereinfachtem Downmix anzubieten? Zusammengefasst entstehen viele Fragen, welche mit diesem Beitrag angerissen und auch nur teilweise beantwortet werden können. Wesentlich erscheint, dass die produzierte Raumklangerbeit des Tonmeisters durch eine bestimmte Tonwiedergabetechnik am Ohr beim Hörkonsumenten nicht verstümmelt ankommt!

Mi. 15:15    Raum 57.05

Binaurales Hören II

## **Binaurale Messungen an Studiomonitoren**

M. Makarski und A. Goertz

*Audio & Acoustics Consulting Aachen*

Ein groß angelegter Test von professionellen Studiomonitoren wurde als Anlass genommen, neben den Standardmessungen im reflexionsarmen Raum (Achsenfrequenzgang, Maximalpegel, Paargleichheit, Störabstand und Directivity in horizontaler und vertikaler Richtung) auch einige experimentelle Messungen der Lautsprecher mit einem Kunstkopf in Abhörposition vorzunehmen. Obwohl die Standardmessungen bereits eine gute Korrelation zu Hörtests aufweisen, sind zusätzliche physikalisch messbare Kriterien für die Beurteilung von Lautsprechern unbedingt wünschenswert. Der Einsatz eines Kunstkopfes als Messgerät ist deswegen aussichtsreich, weil die Aussenohrphysik und deren Bedeutung für das räumliche Hören recht gut erforscht ist. Damit enthält eine Kunstkopfmessungen eine Fülle an zusätzlichen Informationen und es besteht die Hoffnung genau hiermit die Beurteilung eines Lautsprechers weiter zu objektivieren. Es werden die Messergebnisse und Auswertungen der Kunstkopfmessungen präsentiert. Im Mittelpunkt des Beitrages steht die Fragestellung, ob der Kunstkopf ein geeignetes Messgerät darstellt, um die Standardmessungen durch einen zweiten Satz binauraler Messungen und Auswertungen ergänzen zu können.

Mi. 16:05 Raum 57.05

Psychoakustik I

**Untersuchungen zur aufschreckenden Wirkung (startling) synthetischer Geräusche**H. Fastl, S. Kerber und N. Guzsany*AG Technische Akustik, MMK, TU München*

In einer Pilotstudie wurde die aufschreckende Wirkung (startling) von synthetischen Schallreizen untersucht. Dabei wurden bei Breitbandrauschen folgende Reizparameter variiert:

- 1) Größe des Pegelanstiegs (5...40 dB) über einen Grundpegel von 45 dB bei 10 ms Anstiegszeit
- 2) Pegelanstieg um 30 dB für Grundpegel von 40...55 dB sowie Pegelanstieg um 20 dB für Grundpegel von 50...65 dB bei 10 ms Anstiegszeit
- 3) Anstiegszeit von 1...300 ms für 35 dB Pegelanstieg und 50 dB Grundpegel

Für die in der Pilotstudie gewählten Parametervariationen spielt die Größe des Pegelanstiegs für die aufschreckende Wirkung die entscheidende Rolle. Anstiegszeiten zwischen 1 und 10 ms führen zu recht ähnlichen startling-Reaktionen, die bei etwa 200 ms Anstiegszeit nur mehr die Hälfte betragen.

Als erster Ansatz für die Modellierung der aufschreckenden Wirkung von Geräuschen scheint die Betrachtung des Hubs der Perzentillautheit N5 erfolgversprechend.

Mi. 16:30 Raum 57.05

Psychoakustik I

**Psychoakustische Eigenschaften von Fibonacci-Folgen**J. Sokoll und S. Fingerhuth*Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen*

Die im Jahre 1202 von Fibonacci aufgestellte Zahlenfolge ist eine der interessantesten Sequenzen der Zahlentheorie. Die Folge kann dann durch die so genannten Fibonacci-Zahlen und durch eine binäre Folge von Nullen und Einsen dargestellt werden. Wenn solch eine Fibonacci-Sequenz als Audio-Datei abgespielt wird, ergibt sich ein sehr disharmonischer Klang. Dies ist begründet durch die 'fastperiodische', 'selbstähnliche' Eigenschaft der Binärfolge. Das Verhältnis der Nullen und Einsen konvergiert gegen den Goldenen Schnitt, ebenso die spektralen Haupt- und Außenlinien in ihren Frequenzen und ihren Amplituden.

Durch einen Wavetable Synthesizer können die Fibonacci-Folgen mit verschiedenen Abtastraten abgespielt werden. Die subjektiven Tonhöhenempfindungen der resultierenden Klangergebnisse wurden mittels Hörversuchen unter psychoakustischen Aspekten charakterisiert.

Mi. 16:55 Raum 57.05

Psychoakustik I

**Tonales Volumen und Offenheit zeitlich veränderlicher Schalle**H. Löschke*Vogtl. Förderverein für Musikinstrumentenbau und Innovation*

Die Beurteilung der Klangfarbe von Musikinstrumenten mit gängigen psychoakustischen Merkmalen stellt sich in der Praxis als zu wenig aussagekräftig heraus. Zwar sind Lautheit, Schärfe und Rauigkeit häufig ausreichend um Anspiele zu unterscheiden, jedoch treten bei der verbalen Charakterisierung häufig weitere Attribute auf, für die keine marktüblichen Messmittel existieren. Bereits V.BISMARCK stellte für stationäre Klänge neben dem Klanfarbenattribut Schärfe zwei weitere unabhängige Faktoren heraus, die mit den Attributen "compact, boring, narrow, closed, dead" bzw. "full" belegt sind. In der Literatur sind hierfür die Modelle "Offenheit" von VALENZUELA und "tonales Volumen" (STE-VENS, THOMAS und CABRERA) zu finden. Das Modell für die Offenheit zeigte sich bei der Beurteilung von Klavierklängen als wirksam. Für die Untersuchungen zum tonalen Volumen wurden bisher nur stationäre Signale verwendet. Die Anwendbarkeit der in der Literatur gefunden Modelle für tonales Volumen auf nicht stationäre Signale wird in diesem Beitrag untersucht. Dazu werden die Ergebnisse von Hörversuchen mit verschiedenen Instrumentenanspielen sowie einigen synthetischen Signalen den Modellrechnungen entgegengestellt.

Mi. 17:20 Raum 57.05

Psychoakustik I

**Combined contribution of roughness and sharpness to the unpleasantness of modulated band pass noise.**R. Weber und R. Eilers*Institut für Physik, Universität Oldenburg*

In the tradition of the Zwicker school the effect of subjectively judged roughness and sharpness on sensory unpleasantness has been studied in the frequency region from 500 to 3000 Hz. The actual study investigates the combined influence of roughness and sharpness on the unpleasantness in a more lower frequency region using the paired comparison method. 24 signals are synthesized for the test. Eight band pass noises, each two octaves broad, with centre frequencies ranging from 300 to 1500 Hz are amplitude modulated by three different degrees of modulation depths (modulation frequency 70 Hz). All noises are adjusted to the same loudness. In a complete comparison test 20 subjects

judge the more unpleasant one of a pair of noises because the noises do not sound extremely well. Every subject performs the 276 comparisons during three test sessions. The results of these tests will be presented. It was surprising to see that about two thirds of the subjects showd a minimum of unpleasantness in the frequency region around 500 Hz. So an optimal sharpness region exists for them and the unpleasantness does not only increase for higher sharpness but also for lower sharpness values that is for lower frequency noise. (Presumably the presentation will be given in German).

Mi. 17:45    Raum 57.05

Psychoakustik I

### **Effects of duration and S/N ratio of partially masked sinusoids on judged tonal contents**

H. Hansen, R. Weber und V. Mellert

*Institut für Physik, Universität Oldenburg*

The determination of tonal content is a prevalent issue in the context of sound design but also in annoyance/noise problems. In order to integrate the duration and level dependency of tonal components into a reliable, objective measure of pitch salience of weak tonal components in noise the following experiments are conducted. The tonal components in noise presented vary in length and in level. 13 stimuli are judged by 40 subjects in a complete pair comparison. The data obtained are modeled by probabilistic choice models. An one-dimensional choice model, i.e. BTL model, must be rejected in favor of a more general elimination-by-aspect model (Zimmer et al., 2004; Tversky, 1979). The results are the following: (1) No saturation of pitch salience is reached in an duration interval from 250 ms to 2000 ms with equal level. (2) The subject's judgment aspects are identified by modeling the choice behavior: A "click" aspect describes the sound being too short having a clear pitch and a "S/N-ratio" aspect indicates the equivalent duration of a tonal component. No apparent "duration" aspect is identified. Furthermore a possible subjective distinction of tonal phenomena classes will be discussed. (The presentation will be given in German)

Mi. 18:10 Raum 57.05

Psychoakustik I

**Räumliche Trennung der Repräsentation von Pegel und Signal-Rauschverhältnis im auditorischen Kortex**S. Uppenkamp<sup>a</sup> und S.M.A. Ernst<sup>b</sup><sup>a</sup>Medizinische Physik, Universität Oldenburg; <sup>b</sup>AG Neurosensorik, Institut für Physik, Universität Oldenburg

Maskierungsexperimente sind seit langer Zeit ein wichtiges Werkzeug der Psychoakustik, um sowohl periphere als auch zentrale Verarbeitungsmechanismen im Gehör zu untersuchen. Bislang ist jedoch noch nicht endgültig verstanden, wie die wesentlichen physikalischen Signalparameter Pegel, zeitliche Struktur und Spektrum in die Wahrnehmungsgrößen Lautstärke bzw. Hörbarkeit eines Testsignals transformiert werden. In der hier vorgestellten Studie wurde funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT) verwendet, um die Repräsentation von Pegeländerungen und Änderungen des Signal-Rauschverhältnisses (S/N) im auditorischen Kortex zu untersuchen. Hierzu wurden kurze Melodien aus fünf Sinustönen (zwischen 440 und 587 Hz) bei maskierendem Rauschen für S/N von -18 dB bis +24 dB in 6 dB Schritten präsentiert. Für kleine S/N (-18, -12, -6 dB) ist der gesamte (durch das Rauschen bestimmte) Pegel näherungsweise konstant. Die "Hörbarkeit" des Tones nimmt mit dem S/N zu. Für ein S/N von 0 dB und darüber ist der Ton immer gut hörbar, und die wahrgenommene Änderung ist in erster Linie eine Änderung der gesamten Lautstärke, jetzt bestimmt durch den Pegel des Tones. Diese qualitative Trennung der Wahrnehmung von S/N- und Lautstärkeänderungen ist mit fMRT auf Ebene des Kortex nachweisbar. Die Regionen, deren Aktivierung spezifisch an Änderungen des Gesamtpegels gekoppelt ist (hauptsächlich in *Platum temporale*) und die Regionen, in denen die Aktivierung mit dem Signal-Rauschverhältnis variiert (hauptsächlich am lateralen Ende von *Gyrus temporalis transversus*) zeigen nur eine sehr geringe Überschneidung. Die Ergebnisse können als ein Hinweis auf unterschiedliche Kodierungsmechanismen für die generelle Lautstärke und die Hörbarkeit von periodischen Signalen gedeutet werden.

Mi. 8:30 Raum 57.06

Hydroakustik

**Tieffrequente Anregung von Schiffsstrukturen mit Luftschall**E. Schmidtke, J. Abshagen und V. Nejedl*Forschungsanstalt der Bundeswehr für Wasserschall und Geophysik*

Die Schiffsakustik spielt im Marineschiffbau eine herausragende Rolle. Das Verständnis der wesentlichen Einflussfaktoren auf den abgestrahlten Wasserschall wird dabei immer wichtiger, zunehmend auch bei tiefen Frequenzen. Im Rahmen von Seeversuchen wurde gezeigt, dass tieffrequenter Luftschall großflächige Bereiche der Schiffsstruktur gut anzuregen vermag. Bei diesen Versuchen wurden in den unter der Wasserlinie liegenden Sektionen einer Barkasse (ca. 45 t, konventioneller Rumpf) und des neuen Forschungsschiffes FS PLANET (ca. 3500 t, SWATH-Bauweise) gezielt schmal- und breitbandige Luftschallsignale erzeugt und außenbords der abgestrahlte Wasserschall gemessen und ausgewertet. Parallel dazu wurde in beiden Fahrzeugen in der Nähe der jeweiligen Luftschallquelle der Körperschall an der Schiffsaußenhaut aufgezeichnet, auf der Barkasse mit üblichen Körperschallaufnehmern und auf FS PLANET mit einer neuen fest eingebauten Körperschallüberwachungsanlage (131 Kanäle). Die an beiden Schiffen gewonnenen Ergebnisse werden einander gegenübergestellt und verglichen.

Mi. 8:55 Raum 57.06

Hydroakustik

**Realisierungswege zur mobilen akustischen Unterwasserkommunikation**I. Nissen*Forschungsanstalt der Bundeswehr für Wasserschall und Geophysik*

Der Unterwasserschallkanal zeichnet sich gegenüber terrestrischer Übertragungskanäle, beispielsweise dem Mobilfunk, durch einen Zuwachs des Störungsmaßes um zwei bis drei Größenordnungen aus. In mobilen Anwendungen im Wasser werden die Zeit- und Frequenzverzerrungen nochmals ausgedehnt, so dass die Signalverarbeitung zur Kompensation der Fadingprozesse neuen Herausforderungen gegenüber steht. In dem Kurzvortrag werden die Szenarien und mögliche adaptive Realisierungswege, wie

- Beistellung von A-priori-Wissen durch Modellierung und Datenbanken,

- Echtzeitvermessung des Schallkanals durch Piloten im Zeit-, Frequenz- und Raumfenster,
  - Nutzung der entsprechenden Diversitäten und
  - Time-Reversal-Ansätze
- kurz dargestellt.

Mi. 9:20    Raum 57.06

Hydroakustik

### **Ein Boundary-Elemente-Tool zur Berechnung der akustischen Streuung von Seeminen**

R. Burgschweiger<sup>a</sup>, M. Ochmann<sup>a</sup> und B. Nolte<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Technische Fachhochschule Berlin, Fachbereich II;*

<sup>b</sup>*Forschungsanstalt der Bundeswehr für Wasserschall und Geophysik*

Mit Hilfe der Boundary-Elemente-Methode (BEM) soll die Rückstreustärke von Objekten berechnet werden, die sich in einem Fluid befinden und auch teilweise oder ganz im Sediment versunken sein können.

Zu diesem Zweck wird ein BE-Programm entwickelt, das einen dreidimensionalen Pre- und Postprozessor enthält, mit dem die geometrische Situation von Objekten im Übergangsbereich zwischen flüssigen und festen Strukturen einschließlich der Definition der zu betrachtenden Objekte, der umgebenden Strukturen wie Wasser und Boden sowie der zugehörigen Material- und Berechnungsparameter beschrieben werden kann.

Das Programm kann große und komplexe Strukturen mit mehr als 100.000 Oberflächenelementen verwalten und bereits vorhandene Nastran- oder Ansys-Modelle importieren.

Der Preprozessor erzeugt durch entsprechende Vernetzungsalgorithmen geschlossene geometrische Oberflächennetze, die als Datengrundlage für die nachfolgenden numerischen BEM-Berechnungen dienen.

Zur eigentlichen Berechnung können alle verfügbaren externen Rechner - sogenannte Calculator-Hosts - eingesetzt werden, auf denen eine spezielle Calculator-Anwendung läuft. Den Calculator-Hosts wird die jeweilige Aufgabenstellung durch eine auf TCP/IP-basierende Interprozesskommunikation vom Pre-/Postprozessor übermittelt.

Die Calculator-Anwendung ist im Hinblick auf Leistung optimiert und weitestgehend betriebssystemunabhängig. Sie kann als sog. Dienst im Hintergrund laufen und aus der Ferne vom Pre-/Postprozessor verwaltet werden. Dieses Konzept ermöglicht eine leichte Erweiterbarkeit und auch die Einbindung externer Gleichungslöser.



Der Pre-/Postprozessor fragt die Rechenergebnisse von den Calculator-Hosts ab, übergibt sie an die zugehörigen Streukonfigurationen und ermöglicht deren grafische Darstellung und Auswertung.

Akustische Rückstreuberechnungen an einfach geformten Streukörpern mit einer hohen Anzahl von Oberflächenelementen sollen die Effizienz eines solchen parallel arbeitenden BEM-Programms demonstrieren.

Mi. 9:45    Raum 57.06

Hydroakustik

### **Full Coupling of the Finite Element and Fast Boundary Element Method for Structural-Acoustic Problems**

D. Brunner<sup>a</sup>, M. Fischer<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*

Structural vibrations lead to the emission of acoustic sound resulting in a significant reduction of comfort during the use of a product. Therefore the simulation of structural-acoustic behavior is of great importance to predict the vibro-acoustic behavior of the system. In this contribution, thin structures are modelled by means of the finite element method (FEM). The system matrices are set up by a commercial finite element program and are then automatically imported into the research code Calsonitus, where the surrounding fluid, which is governed by the Helmholtz equation, is modelled by the boundary element method (BEM). In case of thin and flexible structures and fluids with high densities, the influence of the acoustic pressure on the excited structure must not be neglected. In such applications the acoustic field must be fully coupled to the vibrating structure. The total system matrix, containing both the FE- and BE-matrices is solved with an iterative GMRES solver, which is accelerated by a block preconditioner. The main bottleneck in terms of memory and computing time is the BE matrix, which for standard BEM is fully populated. To overcome this restriction the fast multilevel multipole algorithm is used to compute the matrix-vector product required by the solver. The applicability of the proposed method is discussed by an example problem comparing the simulated results with an analytical solution.

Mi. 10:10 Raum 57.06

Hydroakustik

**Einfluss der Propellereigenschaften auf die Wasserschallabstrahlung eines Schiffes am Beispiel des Forschungsschiffes Planet**A. Homm*Wehrtechn. Dienststelle WTD71*

Das Forschungsschiff Planet der Wehrtechnischen Dienststelle für Schiffe und Marinewaffen - WTD 71, Eckernförde und der Forschungsanstalt der Bundeswehr für Wasserschall und Geophysik - FWG, Kiel, wurde speziell für akustische Messungen entwickelt und soll daher hohen Anforderungen an die Wasserschallabstrahlung genügen. Die Planet wurde mehrfach dynamischen Vermessungen bei der hydroakustischen Messstelle der WTD 71 in Aschau unterzogen. Dabei wurden jeweils Überläufe mit verschiedenen, durch die Prüfspezifikation vorgegebenen Fahrtzuständen gemessen. Da die geforderten Schallpegel nicht eingehalten wurden, kam es zu diversen Modifikationen an den Propellern, überwiegend an der Austrittskante (Antisingkanten) bis zu einem kompletten Neuentwurf mit hochdämpfendem Werkstoff. Die Auswirkungen der Modifikationen auf die Wasserschallabstrahlung des Schiffes werden anhand einiger ausgewählter Beispiele präsentiert.

Mittwoch Poster

Hydroakustik

**Acoustic-Structure Simulation of Passive Fluid Pulsation Dampers**J. Koreck, M. Maess und L. Gaul*Institut für Angewandte und Exp. Mechanik, Universität Stuttgart*

This work investigates the simulation of noise reduction in piping systems by passive pulsation dampers. Two methods are applied to model both inline and side-branch resonators, namely the transfer matrix method (TMM) in 1D, and the finite element method (FEM) in 3D. The FE models include a full acoustic-structure coupling in order to accurately include the coupling between sound waves in the fluid path and structural waves in the piping structure. This work compares the insertion losses for the damper elements, and it is shown that the results agree for most frequencies. However, the TMM models do neither have the capacity of including the influence of structural resonances nor acoustic-structure coupling on the sound transmission through the pipe. At

some frequencies, considerable errors occur by using TMM models. For these reasons, the FE models allow more accurate predictions for tuning purposes and damper design. Moreover, it is possible to integrate attached structural components consistently into the FE models, such as mounts or attached panels. This possibility supports the simulation of sound and vibration phenomena of piping systems in combination with their environment. As a result, the insertion loss is evaluated directly for structural responses, which are a main reason for undesired airborne sound radiation and structural failure.

Mi. 14:00    Raum 57.06    Sprache/Audio in intell. Umgebungen

### **Telephone-Based Spoken Dialog System Using HTK-based Speech Recognizer**

K.T. Mengistu und A. Wendemuth

*O.-v.-G.-Universität Magdeburg, IESK, Kognitive Systeme*

In order to construct proper acoustic, language and semantic models of a practical dialog system, one must define the task and application domain of the system. In the absence of prior knowledge of the application domain, a framework that can be used for various tasks and spoken languages becomes essential. In this paper, we describe such a framework. Our purpose is to bring the power and flexibility of HMM-based speech recognizers into the world of spoken dialog systems.

The framework comprises of an ISDN telephone network interface to deliver calls into the system, VoiceXML for dialog authoring, an ATK/HTK-based speech recognizer, a semantic interpreter, a TTS engine, a means for response generation, and a Database interface. At the core of the system is the VoiceXML platform OptimTalk that consists mainly of a VoiceXML Interpreter, and a CCXML interpreter.

Given an application domain, one can build the appropriate robust acoustic models using HTK and have a working speech recognizer integrated in a dialog system framework. Our framework requires one only to specify the required recognition resources; namely, HMM Models and pronunciation lexicon in the configuration file of our ATK-based speech recognizer. Grammar data are written along with the VoiceXML dialog scripts for each dialog and only the grammar for the initial dialog should be specified in the configuration file. We developed a separate grammar component supporting HTK's native grammar format and made use of ATK's dynamic grammar enabling feature to allow changing grammar dynamically with the dialog.

---

Mi. 14:25    Raum 57.06    Sprache/Audio in intell. Umgebungen

---

### **Information discovery using distant speech recognition**

F. Metzke

*Deutsche Telekom Laboratories*

Continuous incremental improvements of basic technologies lead to the wide-scale deployment of automatic speech recognition (ASR) applications such as dictation or speech dialog systems several years ago. The business case however is usually based on efficiency, instead of an added value for the user such as new services or an improved experience.

This is due to the fact that ASR is still not mature enough for applications which require either very low word error rates or the parsing of complete utterances, particularly if audio quality is generally low. Still, even moderately accurate speech recognition can be very useful in 'walk in' situations and for 'topic spotting' applications: here, ASR using distant microphones represents a non-intrusive technology which can be used as a barrier-free modality to initiate interaction of users with multi-modal devices, for example information kiosks. An ASR enabled kiosk could detect conversations matching its domain in its vicinity and proactively invite users to explore its contents by non-disturbing methods, for example by flashing pictures of products or exhibits on the screen. Once the initial discovery of information is achieved by ASR, further interaction could happen via touch or keyboard for robustness and speed.

In this paper we therefore describe recent work focusing on distant speech recognition as an enabler for multi-modal interaction with devices, allowing easy discovery of devices, capabilities, and content by non-expert users.

---

Mi. 14:50    Raum 57.06    Sprache/Audio in intell. Umgebungen

---

### **Hearing at Home**

J.-E. Appell<sup>a</sup>, V. Hohmann<sup>b</sup>, A. Schulz<sup>a</sup> und A. Hein<sup>a</sup>

<sup>a</sup>OFFIS - Institut für Informatik; <sup>b</sup>Universität Oldenburg

The Hearing at Home (HaH) project focuses on the needs of the hearing impaired in home environments. Formerly separated devices like personal computer, hi-fi systems, TV, digital camera, telephone, fax, intercom and services like internet access, VoIP, Personal Information Management (PIM), pay TV and home automation grow together to be accessible via a TV set connected to a PC or set-top box that implements interfaces to network gateways as well as to home automation scenarios. Thereby, the

TV becomes the central Home Information and Communication (HIC) platform of the household linking together most of the acoustic inputs listened to by the hearing impaired in his home environment. The HIC platform to be researched and developed in the HaH project will support the hearing impaired with easy to fit Supportive Audio Signal Processing (SASP) and visual support for lip reading on the TV screen. HaH is an IST FP6-STREP project executed under the strategic objective Ambient Assisted Living (AAL) for the Ageing Society. Members of the Consortium are OFFIS (coordinator, Germany), KTH (Sweden), HörTech (Germany), Viataal (Netherlands), Telefonica I+D (Spain) and ProSyst (Germany).

Mi. 15:15    Raum 57.06    Sprache/Audio in intell. Umgebungen

### **Projekt Amigo - Sprachsignalverarbeitung im vernetzten Haus**

J. Schmalenströer, R. Häb-Umbach und E. Warsitz  
*Universität Paderborn, Fachg. Nachrichtentechnik*

Ziel des integrierten Projektes Amigo ("Ambient Intelligence for the networked home environment") im 6. EU Rahmenprogramm ist die Verbindung der Bereiche Unterhaltungselektronik, Haushaltsgeräte, mobile Kommunikationsgeräte und Computer in der vernetzten Hausumgebung. Hierzu wird eine quelloffene, standardisierte und interoperable Middleware zur Verbindung von Geräten und Bereitstellung von Diensten entwickelt. Amigo ist als kontextbewusstes System mit einer intelligenten, multi-modalen Benutzerschnittstelle angelegt. Neben expliziten Benutzereingaben, wie Sprach- und Gestenerkennung, wird das System auch implizite Informationen gewinnen und auswerten. Metadaten über Themengebiete bei Gesprächen, Nutzergewohnheiten und soziale Komponenten können somit für neue, attraktive Dienste kombiniert werden. Sprache, als natürlichste Art der Kommunikation, bildet eine der Kernkomponenten der Amigo Benutzerschnittstelle. Unsere Aufgabe hierbei ist neben der Aufnahme und Auswahl der akustischen Signale, der Störunterdrückung und Echounterdrückung auch die Bestimmung von impliziten Benutzereingaben aus den akustischen Signalen. Diese Kontextinformationen werden in der akustische Szenenanalyse aus den Audiosignalen gewonnen. Die bekannte Fragestellung "Wer spricht Wann" wird hierbei von uns um die Positionsinformation "Wo" erweitert. Metadaten sind hierbei Sprachaktivitätsdetektion, Sprecherwechselerkennung, Sprecherpositionsschätzung und Sprecheridentifikation. Randbedingung für Algorithmen

im Amigo System ist eine näherungsweise echtzeitfähige Laufzeit der Algorithmen bei niedrigen Latenzzeiten. Die von uns eingesetzten Verfahren kombinieren Informationen der verschiedenen Komponenten der akustischen Szenenanalyse zur Verbesserung der Metadaten.

Mi. 15:40    Raum 57.06    Sprache/Audio in intell. Umgebungen

**FABIAN - An instrument for software-based measurement of binaural room impulse responses in multiple degrees of freedom**

A. Lindau, S. Weinzierl und H.-J. Maempel  
*TU Berlin, Fachgebiet Audiokommunikation*

A newly designed Head and Torso Simulator for the Fast and Automatic Binaural Impulse response AcquisitionN (FABIAN) is introduced, whose orientation can be controlled in multiple degrees of freedom via a servo-motorized neckjoint, while the torso as a whole can be rotated on a motorized turntable device. It is equipped with a software application controlling head and body movements and conducting impulse response measurements using swept sine technique with additional noncyclic IR-deconvolution. The quality of different sets of impulse responses acquired in a concert-hall-like environment is evaluated by a paired comparison listening test with subjects differentiating between natural and auralised soundfields. Thus, the relevance of tilting movements can be assessed for horizontal and elevated sound sources.

Mi. 16:30    Raum 57.06    Sprache/Audio in intell. Umgebungen

**Ein rückwärtskompatibles räumliches Telefonkonferenzsystem mit automatischer Sprechergruppierung**

J. Ahrens, A. Raake, S. Spors und J. Ajmera  
*Deutsche Telekom Laboratories*

Die Verwendung von herkömmlicher Telefontechnik in Kommunikationsszenarien wie Telefonkonferenzen führt zu verminderter Verständlichkeit der Teilnehmer und vermindertem Komfort. Die Hauptursachen dafür liegen in dem Verlust der räumlichen Merkmale und der reduzierten Bandbreite der Signale. Die Übertragung mehrerer paralleler Sprachsignalströme zu einem Empfänger ermöglicht hingegen eine räumliche Wiedergabe eines solchen Szenarios. Eine einfache Möglichkeit der räumlichen Darstellung stellt die binaurale Wiedergabe über Kopfhörer dar. Die bedeutendsten Vorteile liegen dann in der vereinfachten Identifikation sowie der vereinfachten Unterscheidbarkeit der einzelnen

Sprecher durch den Hörer. Um Rückwärtskompatibilität zu bestehenden Übertragungstechniken wie dem klassischen Festnetz zu gewährleisten, die die parallele Übertragung mehrerer Sprachkanäle nicht erlauben, schlagen wir ein System vor, das automatische Sprecheridentifizierung mit anschließender räumlicher Darbietung des entsprechend segmentierten Datenstroms kombiniert. Im Endgerät werden Sprecherwechsel im Datenstrom, der die Signale aller Teilnehmer beinhaltet, detektiert, Sprecher identifiziert, und der Datenstrom wird entsprechend segmentiert. Die einzelnen Sprecher werden dann in einer virtuellen auditiven Umgebung räumlich verteilt wiedergegeben. Dieses kombinierte System wurde implementiert mit dem Ziel, die Identifikation der Sprecher für den Hörer zu erleichtern. Eine erste Evaluierung des Systems bestätigt diese These. Verglichen wurde die Fähigkeit der Hörer die einzelnen Stimmen bei diotischer Wiedergabe, sowie räumlicher Wiedergabe mit automatischer bzw. idealer Segmentierung zu identifizieren. Die besten Ergebnisse wurden bei räumlicher Wiedergabe nach idealer Segmentierung erzielt, gefolgt von der räumlichen Wiedergabe mit automatischer Segmentierung. Am schlechtesten war das Ergebnis bei diotischer Wiedergabe.

Mi. 16:55    Raum 57.06    Sprache/Audio in intell. Umgebungen

### **Vorhersage und Kontrolle der Sprachverständlichkeit in räumlich dargebotenen Audio-Konferenzschaltungen**

A. Raake<sup>a</sup>, B.F. Katz<sup>b</sup> und G. Perez<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Deutsche Telekom Laboratories*; <sup>b</sup>*LIMSI-CNRS, Orsay (F)*

Heutige Telekonferenzsysteme sind gekennzeichnet durch eine schmalbandige Übertragung und das Zusammenmischen der Sprachsignale der Konferenzteilnehmer bei den einzelnen Empfängern. Mit Voice over Internet Protocol (VoIP) rückt die Beseitigung dieser Einschränkungen zunehmend näher: Zum einen ist mit VoIP eine einfache Erweiterung des übertragenen Frequenzbereichs der Sprache von 300-3400 Hz auf 50-7000 Hz oder weiter möglich. Zum anderen können bei VoIP in wesentlich einfacherer Weise als beim heutigen Mobilfunk oder dem klassischen Festnetz mehrere Sprachkanäle gleichzeitig zu einem Empfänger übertragen werden. Werden die unterschiedlichen Sprachkanäle mittels räumlicher Audio-Wiedergabemethoden dargeboten, werden Telekonferenzen möglich, die zunehmend Merkmale einer realen Konferenzsituation aufweisen. Dabei können die

einzelnen Teilnehmer mittels Binauraltechnik oder Mehrkanal-Lautsprecherwiedergabe räumlich voneinander getrennt dargeboten werden.

Bei einer räumlichen Audio-Konferenz hängt die Sprachverständlichkeit von unterschiedlichsten Faktoren ab. Der Beitrag gibt einen Überblick über diese Faktoren und zeigt einen Ansatz, Szene und Übertragung hinsichtlich der Sprachverständlichkeit für ein gegebenes Sprecher-Hörer-Paar zu optimieren. Zu diesem Zweck wird ein einfaches Modell zur Vorhersage der Sprachverständlichkeit in virtuellen Konferenzräumen vorgestellt. Es basiert auf der Schätzung des so genannten Speech Reception Thresholds (SRT), d.h. der 50% Verständlichkeitsschwelle bei festem Störschallpegel. Die Vorhersagegenauigkeit des Modells wird anhand der Ergebnisse mehrerer Sprachverständlichkeitstestreihen erörtert. Ausgehend von diesen Messergebnissen werden konzeptionelle Schwachstellen und mögliche Verbesserungen des Vorhersagealgorithmus diskutiert.

Mi. 17:20    Raum 57.06    Sprache/Audio in intell. Umgebungen

### **ECircus: Spoken Interaction of Autonomous Agents in Educational Virtual Environments**

C. Weiss<sup>a</sup>, L.C. Oliveira<sup>a</sup>, A. Paiva<sup>b</sup> und E. Andre<sup>c</sup>

<sup>a</sup>*Institute INESC-ID, L2F, Lisboa (P)*; <sup>b</sup>*GAIPS, INESC-ID, Lisboa (P)*; <sup>c</sup>*Institut für Informatik, Universität Augsburg*

ECircus is an ongoing interdisciplinary EU-project focusing on novel conceptual models and innovative technology to support social and emotional learning through role-play and affective engagement for Personal and Social Education. Main aspects are to create a virtual environment for emotional and social learning focusing on the domains of bullying and refugee integration.

This paper describes our work integrating automatic speech generation into an virtual enviroment where autonoumous agents are enabled to interact by natural spoken language. As we are adresssing an elementary school environment one specification of the generated voice was building an age-corresponding young school kids voice. The second specification adressses building a low-ressource speech generatipon system which is capable to run on older school computers but is still fast enough in response time to guaranty a fluent conversation between the agents. Third requirement was including audio-visual synchronisation with the agents.

The article focus problems arising in building unit-selection based childs' voice TTS and shows alternative methods to childs voice



recording by deploying voice transformation methods. Furthermore we describe the speech generation system itself and point out possible implementation issues in building non-controlled speech interaction in virtual environments.

Mi. 17:45    Raum 57.06    Sprache/Audio in intell. Umgebungen

### **Enhancing the Flexibility of a Multimodal Smart Home Environment**

T. Dimopoulos<sup>a</sup>, S. Albayrak<sup>a</sup>, G. Lehmann<sup>a</sup> und S. Möller<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Dai Labor TU Berlin*; <sup>b</sup>*Deutsche Telekom Laboratories*

The smart home offers a new opportunity to augment people's lives with ubiquitous computing technology providing enhanced communications, awareness, and functionality. A natural way of interaction in such a smart home is via a spoken natural-language dialogue: It is easy to learn, hands-free, and accessible from any place in the household or outdoors. However, speech-only interaction is less effective than the multimodal face-to-face interaction that humans are used to. In order to compensate for this disadvantage, the system should appear more "intelligent", e.g. in the form of a "home assistant", which should hide the complexity of the appliances through an intuitive interface.

A first speech-based home assistant was developed in the EU-funded IST project INSPIRE. In this talk, we present the results of recent work aiming at enhancing the system at two points:

(1) The user interface was made more flexible by coupling it to a VoiceXML platform which provides remote or local voice interaction in a unified, standards-based fashion.

(2) The system's modularity was leveraged by extending it with an abstract, protocol-independent device control mechanism.

The results of these extensions are expected to facilitate the interaction in this type of "intelligent" environment, and finally to provide better acceptance of such environments in general.

Mi. 18:10    Raum 57.06    Sprache/Audio in intell. Umgebungen

### **Evaluierung einer intelligenten Hausumgebung durch Modellierung von Benutzerverhalten**

S. Möller und K.-P. Engelbrecht

*Deutsche Telekom Laboratories*

Je mehr Möglichkeiten bestehen, Umgebungen durch Einsatz von Sprachtechnologie "intelligent" zu gestalten, desto stärker steigt der Bedarf an einer schnellen und ökonomischen Evaluierung. Üblicherweise umfasst eine adäquate Evaluierung zwei

Aspekte: Die Überprüfung der Leistung der beteiligten Systemkomponenten (z.B. Spracherkennung, Sprachverstehen, Dialogführung und Sprachausgabe), sowie die Quantifizierung verschiedener Qualitätsaspekte aus Benutzersicht, wie bspw. der Effizienz, des Komforts, der Gebrauchstauglichkeit sowie der Akzeptanz. Da sich Qualität als Ergebnis eines Wahrnehmungs- und Beurteilungsprozesses ergibt, bedarf es zur Messung der oben genannten Qualitätsaspekte i.A. kontrollierter (Labor-) Experimente mit Versuchspersonen.

Im hier vorgestellten Beitrag soll ein neuer Weg beschritten werden, um Qualität und Gebrauchstauglichkeit mit nur minimalem Einsatz von Versuchspersonen schon in der Designphase zu quantifizieren. Dazu wurde Benutzerverhalten im Umgang mit einer Sprachsteuerung für Hausgeräte analysiert und "fehlerhaftes" Verhalten, welches zu einer unnötigen Verlängerung der Interaktion führt, phänotypisch klassifiziert. Es wurden vier Klassen von Fehlern extrahiert, welche nun mit Hilfe eines Benutzermodells explizit generiert werden sollen. Dadurch können das Verhalten des Systems bei nicht optimalem Benutzerverhalten quantifiziert und Vorhersagen für die Benutzbarkeit getroffen werden. Im Vortrag werden die Möglichkeiten und Grenzen dieser automatisierten Evaluierungsmethode aufgezeigt, und es wird die Übertragbarkeit auf andere (z.B. webbasierte und multimodale) Systeme diskutiert.

Mittwoch Poster

Sprache/Audio in intell. Umgebungen

### **Telephonie und Schwerhörigkeit - Erste Ansätze zur Bewertung von Störgrößen die auf der Empfangsseite erzeugt werden**

J. Krebber und U. Eggert

*TU Dresden, Institut für Akustik und Sprachkommunikation*

In modernen Telekommunikationsnetzen treten eine Vielzahl von unterschiedlichen Störgrößen auf. Diese Störgrößen können ganz unterschiedlicher Natur sein, wie z.B. das stationäre Leitungsrauschen oder zeitveränderliche Paketverluste bei Voice over Internet Protocol (VoIP) Übertragungsstrecken. Alle Störgrößen tragen in einem bestimmten Umfang zur wahrgenommenen Qualität einer Telefonübertragungsstrecke bei, sei es nun durch "Ausbleiben" oder Vorhanden sein einer entsprechenden Störgröße.

Um den qualitativen Einfluss von Störgrößen zu bestimmen oder vorherzusagen gibt es unterschiedliche Modelle. Die bislang verwendeten Modelle sind ausschließlich für normal hörende Personen aufgestellt und überprüft worden, nicht jedoch für Schwerhörige. Dieser Beitrag schildert Versuche und Ergebnisse zur Erweiterung der Modelle für Schwerhörige als Benutzergruppe. Der Schwerpunkt der Untersuchung liegt auf den Beeinträchtigungen, die auf der Empfängerseite entstehen können, wie z.B. Umgebungslärm, ein zu geringer Hörkapselschalldruckpegel oder ein ungünstiger Rückhörfadpegel. Die durchgeführten Versuche werden beschrieben und die gewonnen Ergebnisse diskutiert. Ein Ziel dieses Beitrages soll es sein, erste grundsätzliche Empfehlungen in Bezug auf Schwerhörigkeit und Telephonie aufzuzeigen.

Mittwoch    Poster

Sprache/Audio in intell. Umgebungen

### **Infrarot- und Funksysteme - drahtlose Tonübertragung in öffentlichen Räumen nicht nur für Schwerhörige**

H. Seidler

*Hör- und Umweltakustik Dresden*

Zur drahtlosen Übertragung von Sprache und Musik nutzt man in öffentlichen Räumen induktive Höranlagen, oftmals aber auch Infrarot- oder Funkhöranlagen.

Neben der Verwendung als mehrkanaliges Übersetzersystem bieten diese Systeme ohne Frage praktische Vorteile für schwerhörige Personen. Gerade wenn Mobilität im Vordergrund steht oder ungünstige Umgebungsbedingungen den Einsatz induktiver Höranlagen verhindern, zeigen Infrarot- und Funkanlagen deutliche Vorteile. Auch sie erlauben es, mit wirkungsvoller Unterdrückung der Umgebungsstörgeräusche das Nutzsignal unter Verwendung vorhandener Tontechnik direkt zum Ohr des Hörers zu übertragen und damit eine hohe Sprachverständlichkeit zu sichern. Dafür ist dann bei Hörgeräteträgern die verlustfreie Übertragung zum Hörsystem erforderlich.

Wann sind diese Systeme geeignet? Welche Vorteile stehen welchen Problemen gegenüber? Was ist bei der Planung zu beachten? Wann sind die individuellen Hörgeräte nutzbar und wann nicht? Wie ist der Stand der Technik und welche Perspektiven eröffnen sich aus neuen, digitalen Übertragungstechniken?

Der Vortrag soll Antworten auf diese und ähnliche Fragen geben und sich der Thematik kompakt und präzise nähern.

Mittwoch Poster

Sprache/Audio in intell. Umgebungen

**Akustogramme - Grundlagen der Gestaltung von Klangzeichen-Systemen**S. Weber*akustikon - produkt klang gestaltung*

Ähnlich der Verwendung von visuellen Piktogramm-Systemen zur nonverbalen Verständigung werden immer häufiger gezielt Systeme von Klangbildern und akustischen Signalen als Kommunikationsschnittstelle für Produkte oder öffentliche Räume entwickelt (z.B. PC-Soundschemata, Signal- und Klingeltöne bei Telefonen, Warnsignale im Kfz).

Wesentliche Aspekte für eine funktionale Gestaltung von Klangzeichen sind u.a. eine gute Erkennbarkeit der Signale vor dem "akustischen Hintergrund", eine möglichst intuitive Deutbarkeit der Botschaft sowie die Schaffung von Eindeutigkeit bei der Darstellung von Navigations- oder Warnhinweisen.

Darüber hinaus ist für eine hohe Nutzerakzeptanz die Auswahl zum Objekt passender und für die gewünschte Funktion geeigneter Klangmaterialien unumgänglich. Die Sounds müssen neben der funktionalen Eignung geeignete Assoziationen beim Rezipienten hervorrufen und gleichzeitig wesentliche Qualitäten des Objekts, wie z.B. Wertigkeit, Markenzugehörigkeit usw. vermitteln. Nicht zuletzt soll eine ansprechende ästhetische Anmutung erzielt werden.

Bei Systemen aus mehreren Klängen kommt die Darstellung des Systemcharakters als weiterer Gestaltungsaspekt hinzu. Was im visuellen Zeichensystem durch Vereinheitlichung in Farbe, Grundform und Abstraktionsgrad gelingt, muss im akustischen durch die Schaffung eines "Akustischen Rahmens" ermöglicht werden.

Der Vortrag stellt Möglichkeiten und Ansätze für Akustogramm-Systeme anhand praktischer Beispiele vor. Es werden grundlegende Richtlinien für die gestalterische Herangehensweise dargestellt, hierbei fließen Erfahrungen aus zahlreichen Gestaltungsprojekten und aus der Lehrtätigkeit an der Burg Giebichenstein, Hochschule für Kunst und Design in Halle ein.

## Fachvorträge und Poster am Donnerstag

Do. 8:30    Raum 38.02

Thermo- und Strömungsakustik II

### **Bestimmung der Schallintensität aeroakustischer Quellen**

C. Hahn<sup>a</sup>, S. Becker<sup>b</sup>, M. Kaltenbacher<sup>a</sup> und R. Lerch<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Lehrstuhl für Sensorik, Univ. Erlangen-Nürnberg;* <sup>b</sup>*Lehrstuhl für Strömungsmechanik, Univ. Erlangen-Nürnberg*

Im Bereich der experimentellen Aeroakustik besteht Bedarf an Meßverfahren zur direkten Erfassung der Schallintensität.

Die bislang verwendeten Methoden zur Bestimmung der Schallintensität basieren auf der Messung des Schalldrucks an zwei benachbarten Punkten und einer Näherung der Schallschnelle über Berechnung des Druckgradienten. Der nachteilige Umbau der Sonden, je nach untersuchtem Frequenzbereich, als auch die große Bauform dieser Geräte werden von der hier verwendeten Schallintensitätssonde (Microflown 1/2" pu sound probe) vermieden. Da hierbei die Schallschnelle direkt erfasst wird, kann in Verbindung mit einem integrierten Druckmikrofon lokal die Schallintensität gemessen werden.

Zur Bestimmung der Phasendifferenz und der Empfindlichkeit der verwendeten Sensoren wird vorab eine Kalibrierung in einem kurzen Kundt'schen Rohr durchgeführt. Dieses ist im Frequenzbereich von 20 Hz - 4 kHz einsetzbar.

Nach Verifikation der Kalibrierung wird die Anwendung auf zwei aeroakustische Problemstellungen erweitert.

Der erste Fall besteht in der Untersuchung der Schallerzeugung eines auf einer Platte montierten, umströmten Vierkantzylinders (Seitenlänge 2 cm, Höhe 12 cm). Die Untersuchung der Richtcharakteristik und des aktiven Anteils der Schallintensität des Zylinders erfolgen für Reynoldszahlen im Bereich von 13000 - 40000 bei Hiebtonfrequenzen im Bereich von 50 Hz - 150 Hz.

Im zweiten Fall wird die Lärmentstehung an einer vorwärtsspringenden Stufe (Stufenhöhe 12 mm) bei einer Anströmgeschwindigkeit von 30 m/s ( $Re=24000$ ) betrachtet. Auch hierbei erfolgt eine Bestimmung der Richtcharakteristik und des aktiven Anteils der Schallintensität.

Die Untersuchungen erfolgten im Rahmen eines durch die Bayerische Forschungsförderung geförderten Projektes.

---

Do. 8:55    Raum 38.02    Thermo- und Strömungsakustik II

---

**Bestimmung der instationären Kraft auf der Blende im Klimaanlage-rohrsystem eines Flugzeuges**

D. Hofmann und C. Spehr

*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt*

Die Klimaanlage eines Flugzeuges ist neben dem Grenzsicht-lärm und den Triebwerken eine wesentliche Komponente des Kabineninnengeräusches. Hierbei führen die aus Gewichtsgründen klein gehaltenen Rohrdurchmesser zu hohen Strömungsgeschwindigkeiten, die auf eingebaute Rohrkomponenten wie Blenden und Krümmer treffen. Die Wechseldruckbeaufschlagung kompakter Objekte (Blenden) durch turbulent strömende Luftmassen und die damit verbundene instationär wirkende Kraft auf der Blendenoberfläche führt an dieser Stelle zur Entstehung von Schalldruckschwankungen. In der hier vorgestellten Studie wurde die instationäre Kraft auf der Blende mit verschiedenen Methoden gemessen, über Druckbohrungen auf der Blendenoberfläche, mittels an der Blende angebrachter piezoelektrischer Kraftsensoren und über direkt auf der Oberfläche angebrachter Mikrofone. Damit eine Aussage über den Zusammenhang zwischen der instationären Kraft auf der Blende und der Schallemission getroffen werden kann, wird die Kraft mit dem gemessenen Schalldruck stromabwärts der Blende einer Korrelationsanalyse unterzogen. Eine zweite Studie mit dem Titel "Schallentstehung an Klimaanlage-rohrkomponenten in Abhängigkeit von der stromaufwärts erzeugten Turbulenz" wurde zeitgleich zu dieser bearbeitet und bezieht sich zum Teil auf gleiche Messergebnisse.

---

Do. 9:20    Raum 38.02    Thermo- und Strömungsakustik II

---

**Schallentstehung an Klimaanlage-rohrkomponenten in Abhängigkeit von der stromaufwärts erzeugten Turbulenz**

T. Ahlefeldt und C. Spehr

*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt*

Klimaanlagen in Flugzeugen können besonders hinsichtlich erhöhter Komfortansprüche eine störende Lärmquelle darstellen. Um Gewicht zu sparen besitzen die Rohrsysteme einen kleinen Durchmesser weshalb hier hohe Fluidgeschwindigkeiten auftreten. Eine der Hauptauslegungskomponenten zur Regulierung des Luftstromes stellen Blenden dar, welche ein wichtiges Element hinsichtlich des generierten Strömungslärms darstellen.

Der Schallentstehungsmechanismus steht hierbei in einem deutlichen Zusammenhang mit der, durch die vorhergehenden Blenden erzeugten Turbulenz vor der Blende.

Ziel der experimentellen Studie war die Bestimmung von signifikanten Strömungsparametern für die Vorhersage des Strömungslärms an einer Rohrblende. Der Versuchsaufbau besteht aus zwei Rohrkomponenten, von der die erste (stromaufwärts gelegene) eine möglichst leise Verwirbelung erzeugen soll, die an der zweiten Komponente zur Schallentstehung führt. Der Einfluss unterschiedlich starker Turbulenzen auf die Schallentstehung kann so durch die Variation des Abstandes der beiden Rohrkomponenten untersucht werden.

Unter Verwendung unterschiedlicher Innendurchmesser der Blenden und der Variation der Vorturbulenz bei verschiedenen Anströmgeschwindigkeiten wurden Kenngrößen wie der auftretende Druckverlust an der Blende, das Strömungsfeld vor der Blende sowie die abgestrahlte Schallleistung ermittelt. Diese Kenngrößen wurden zur ermittelten Schallleistung in Beziehung gesetzt. Die abgestrahlte Schallleistung wurde über zwei unterschiedliche Verfahren (EN ISO 3745 und EN ISO 5136) ermittelt, um diese hinsichtlich des Messaufwandes und ihrer Aussagefähigkeit zu beurteilen.

Eine zweite Studie mit dem Titel "Bestimmung der instationären Kraft auf der Blende im Klimaanlageanlagenrohrsystem eines Flugzeuges" wurde zeitgleich zu dieser bearbeitet und bezieht sich zum Teil auf gleiche Messergebnisse.

Do. 9:45    Raum 38.02

Thermo- und Strömungsakustik II

### **Experimentelle Untersuchung der Schallentstehung an porösen Profilen**

T. Geyer, E. Sarradj und C. Schulze

*Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Institut für Verkehrstechnik*

Die Schallentstehung bei der Umströmung von Tragflügelprofilen ist eine der wichtigsten aeroakustischen Lärmquellen. Der Vortrag präsentiert erste Ergebnisse einer Untersuchung des Einflusses einer Porosität auf das Umströmungsgeräusch von Profilen. Zu diesem Zweck wurde ein Profil aus einem porösen Material, charakterisiert durch seine Porosität  $\sigma$  sowie seine Strömungsresistenz  $\Xi$ , gefertigt und im aeroakustischen Windkanal untersucht. Der dabei gemessene Schalldruckpegel wurde mit dem Schalldruckpegel bei der Umströmung eines glatten, nicht porösen Profils verglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl

der Schalldruckpegel als auch die spektrale Zusammensetzung des gemessenen Schalls durch den Einsatz des porösen Materials beeinflusst werden.

Do. 10:10    Raum 38.02    Thermo- und Strömungsakustik II

### **Charakterisierung Tonaler Geräuschanteile bei Freilaufenden Radialventilatoren**

D. Wolfram und T. Carolus

*Universität Siegen, Institut für Fluid- und Thermodynamik*

Freilaufende Radialventilatoren (ohne Spiralgehäuse) werden in großen Stückzahlen in der Geräte-, Verkehrs- und Raumlufttechnik eingesetzt. Neben einer Verbesserung des Wirkungsgrads rückt für die Hersteller dabei vor Allem die Minimierung der Geräuschemission vermehrt in den Mittelpunkt des Interesses. Breitbandigem Rauschen sind hier immer wieder subjektiv besonders störende tonale Geräuschanteile überlagert. Gezielte konstruktive Eingriffe am Laufrad zur Reduktion dieser Töne setzen das bislang noch nicht vollständig vorhandene Verständnis ihrer aeroakustischen Quellen voraus. Beispielsweise produzieren einige Laufräder ausgeprägte Töne mit der Schaufelpassierfrequenz (BPF) und ihren höheren Harmonischen, obwohl die Umfangsmachzahl sehr niedrig ist und Mechanismen wie die Interaktion des Laufrads mit einer Gehäusezunge fehlen. Es können jedoch auch immer wieder Töne beobachtet werden, deren Frequenzen offensichtlich nicht mit der BPF in Zusammenhang stehen. In einem ersten Schritt zur Detektierung der tonalen Geräuschquellen werden mit Hilfe einer Dimensionsanalyse aus möglichen Einflussparametern dimensionslose Kennzahlen zur Charakterisierung der Töne abgeleitet. Durch gezielte Variation dieser Kennzahlen wird im Anschluss daran ihr tatsächlicher Einfluss auf die Tonentstehung experimentell ermittelt. Dazu werden drei geometrisch ähnliche gehäuselose Radialventilatoren unterschiedlicher Baugröße bei verschiedenen Betriebsparametern akustisch vermessen.

Do. 14:00    Raum 38.02    Music Processing

### **Audio Matching für symbolische Musikdaten**

F. Kurth, M. Mueller und C. Fremerey

*Universität Bonn, Institut für Informatik III*

In diesem Beitrag wird die Aufgabenstellung des Audio Matching auf den Fall symbolisch vorliegender Musikdaten (z.B. Partitur-



oder MIDI-Daten) erweitert. Ausgangspunkt des klassischen Audio Matching Problems ist eine große Musikdatenbank, die typischer Weise mehrere verschiedene CD-Aufnahmen desselben Musikstücks enthält, wobei jede solche Aufnahme von unterschiedlichen Interpreten und in eventuell verschiedenen Besetzungen eingespielt wurde. Ist nun die Anfrage in Form eines kurzen Audioausschnitts einer bestimmten Interpretation gegeben, so sollen automatisch alle entsprechenden Ausschnitte in den anderen Interpretationen gefunden werden. Um nun auch symbolische z.B. durch OMR (Optical Music Recognition) gewonnene Musikdaten untereinander und mit den Audiodaten vergleichbar zu machen, werden sowohl die Symbol- als auch die Audiodaten in eine gemeinsame 'Mid-Level'-Darstellung transformiert. Hierzu verwenden wir Chroma-basierte CENS-Merkmale, die den groben Harmonieverlauf eines Musikstücks beschreiben. Weiterhin stellen wir ein auf den CENS-Merkmalen basierendes Matching-Verfahren vor, das einen hohen Grad an Robustheit sowohl gegenüber klanglichen und zeitlichen Variationen in den Audiodaten als auch gegenüber bei OMR-Verfahren üblicherweise auftretenden Erkennungsfehlern aufweist. Unser Matching-Verfahren bildet damit die Grundlage für robuste und praktikable Navigationstechniken in inhomogenen und fehlerbehafteten Musikdatenbeständen.

Do. 14:25    Raum 38.02

Music Processing

### **Musical Alignment Using Globally Optimal Short-Time Dynamic Time Warping**

H. Kaprykowsky<sup>a</sup> und X. Rodet<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH;* <sup>b</sup>*IRCAM, Paris*

Dynamic Time Warping (DTW) aligns two sequences by time warping them optimally. Global optimization is done using whole sequences. This can be very demanding in terms of calculation costs and memory requirements which means the sequence length that is possible to align is limited. In this paper a novel algorithm Short-Time Dynamic Time Warping (STDTW) is presented, which requires much less memory because optimization is done iteratively on smaller portions of the sequences. The particularly remarkable property of the algorithm is that it finds the same globally optimal solution, under some weak hypothesis as the classical DTW algorithm. As an example, STDTW is applied to Musical Alignment which links events in a musical score and

points on a audio performance time axis. It also provides an interesting insight into the structure of sequences to be aligned.

Do. 14:50 Raum 38.02

Music Processing

### **Automatisierte Strukturanalyse für Musikstücke**

M. Mueller, F. Kurth und M. Clausen

*Universität Bonn, Institut für Informatik III*

Eine zentrale Aufgabe des Music Information Retrieval (MIR) ist die Entwicklung effizienter Such- und Navigationssysteme, die es dem Benutzer erlauben, einen Musikdatenbestand bezüglich unterschiedlichster musikrelevanter Aspekte zu durchsuchen. Die automatische Musikdatenerschließung zur Erzeugung von Annotation und zur Verlinkung semantisch in Beziehung stehender Daten spielt dabei eine entscheidende Rolle. In diesem Beitrag widmen wir uns der Fragestellung der inhaltsbasierten Strukturanalyse von Musikstücken. Hierbei geht es um die automatische und effiziente Erkennung von sich innerhalb eines Musikstücks wiederholenden Strukturen unter Zulassung gewisser musikalischer Variationen. Eine Hauptschwierigkeit bei dieser Aufgabe besteht darin, dass musikalisch ähnliche Abschnitte erhebliche Variationen hinsichtlich Eigenschaften wie Dynamik, Klangfarbe, der Spielweise von Notengruppen (z.B. Triller, Verzierungsnoten, Arpeggien), Tonhöhe (z.B. Modulationen), oder Tempo (z.B. Artikulation, Ritardandi, Accelerandi) aufweisen können. Wir beschreiben ein Verfahren, das für harmoniebasierte Musik selbst bei Vorliegen von erheblichen Variationen gute Resultate erzielt. Weiterhin stellen wir einen erweiterten Audio-Player vor, durch den die extrahierten Strukturdaten zur effizienten Navigation innerhalb eines Musikstücks genutzt werden können; so kann zum Beispiel ein Benutzer beim Musikhören mittels einer geeigneten Schnittstelle ohne umständliches Spulen direkt an die Refrainstellen innerhalb eines Lieds oder direkt zur Rekapitulation innerhalb eines Sonatenhauptsatzes springen.

Do. 15:15 Raum 38.02

Music Processing

**Erstellen einer Trainings- und Test-Datenbasis für die Klassifikation der Stimmung in Musik**J. Skowronek, M. McKinney und S. Van De Par*Philips Research Laboratories Eindhoven*

Die automatische Musik-Klassifikation basierend auf einer Analyse der Audiosignale ist eine Basistechnologie für Anwendungen, die Benutzern helfen, ihre elektronisch gespeicherten Musiksammlungen zu durchsuchen bzw. zu verwalten. Da die Stimmung der Musik ('music mood') ebenfalls als ein Suchkriterium in solchen Anwendungen verwendet wird, könnte die automatische Klassifikation der Stimmung bzw. der Emotionen in der Musik helfen, die erforderlichen Metadaten für derartige Anwendungen zu generieren.

Für die automatische Musikklassifikation spielen die Definition und die Zusammenstellung einer geeigneten Trainings- und Test-Datenbasis eine wichtige Rolle. In einer experimentellen Studie mit Fokus auf die Klassifikation der Stimmung in Musik gingen wir darum zwei Fragestellungen nach: Wie kann man Musikstücke auswählen, die Emotionen ausreichend stark ausdrücken, so dass Hörer ein solches Musikstück einer Kategorie von Stimmungen, einem 'Moodlabel', zuordnen können? Wie kann man solche Kategorien von Stimmungen, solche Moodlabels, auswählen, so dass Hörer diese einfach gebrauchen können um die Stimmung der Musik zu beschreiben und sodass Hörer eine gewisse Übereinstimmung zeigen, wenn sie Musikstücke mit Hilfe der Kategorien beurteilen?

Dieser Konferenzbeitrag beschreibt das durchgeführte Experiment und präsentiert und diskutiert die Ergebnisse.

Do. 15:40 Raum 38.02

Music Processing

**HMM-basierte Klassifikation von Musikinstrumenten des gleichen Typs**M. Eichner und U. Feldmann*TU Dresden, Institut für Akustik und Sprachkommunikation*

In unserem Beitrag stellen wir ein Verfahren zur automatischen Klassifikation von Musikinstrumenten vor. Im Gegensatz zu anderen Arbeiten auf diesem Gebiet beschäftigen wir uns nicht mit der Bestimmung des Instrumententyps, sondern versuchen ein bestimmtes Instrument innerhalb einer Gruppe von Instrumenten desselben Typs zu identifizieren. Zu diesem Zweck haben wir

einen HMM-basierten Erkenner mit verschiedenen Soloanspielen der zu klassifizierenden Instrumente trainiert. Mögliche Anwendungen des Verfahrens sehen wir u.A. in der Qualitätsüberwachung bei der Fertigung von Musikinstrumenten. Ausgangsbasis für diese Untersuchungen bildet eine im Vorfeld erstellte Datenbasis, welche aus Aufnahmen von Solomusikstücken für die Instrumente Konzertgitarre, Geige, Trompete und Klarinette besteht. Für jeden Instrumententyp haben wir 600 Aufnahmen unter den folgenden variierenden Bedingungen durchgeführt: (a) 10 Instrumente, (b) 2 Räume (reflexionsarmer und halliger Raum), (c) 3 Solomusikstücke, (d) 5 Spieler und (e) 2 Wiederholungen. Die Stücke haben eine Länge von ca. 30 s und enthalten nur wenige polyphone Stellen. Mit dieser Datenbasis wurden ebenfalls Experimente zur subjektiven Qualitätsbeurteilung von Instrumenten durchgeführt, um die Urteile von Hörern und instrumentell ermittelte Maße in Beziehung setzen zu können. Die HMM-basierte Identifikation eines Instruments aus einer Gruppe von 10 gleichartigen Instrumenten liefert für Gitarren eine Erkennungsrate von ca. 99%, für die Identifikation einer Geige aus zehn Geigen 96%.

Do. 16:05    Raum 38.02

Music Processing

### **Transients detection and modelling in audio signals**

F.X. Nsabimana und U. Zölzer

*HSU / Universität der Bundeswehr Hamburg*

In this paper, we present a time domain frame based approach for transient detection and modelling of audio signals. Most audio signals are mainly composed of two parts: a deterministic and a stochastic part. The deterministic part of an audio signal consists of sinusoids, while noise and transients represent the stochastic part. Although, the Spectral Modelling Synthesis approach proposed by Smith and Serra improves the originally Sinusoidal Modelling proposed by McAulay and Quatieri by taking into account the stochastic part, it does not make any differentiation between noise and transients. Since transients do not fit well into that noise model, they therefore need their own model. Our time domain frame based approach is using linear prediction to calculate the prediction error of an audio signal. Since sudden changes in audio signals, like transients, remain unpredictable, the prediction error will show transients more accentuated in transient parts of the audio signal. Based on that assumption, we build an adaptive threshold based on envelope detection of the obtained prediction error. The threshold function is kept constant in transient's areas

and follows the signal elsewhere. It somehow works with the concept of a voice activity detector. If a complete transient or a beginning of transients is detected in one frame, it will automatically be separated. A three components model is built and transients are thus left to their own model. With that technique we succeed in detecting and separating several transients in different types of audio signals.

Do. 8:30    Raum 38.03

Statistische Energieanalyse

### **Modellierung einer Werkzeugmaschine mit der Statistischen Energieanalyse**

E. Sarradj<sup>a</sup>, M. Quickert<sup>b</sup> und B. Kranz<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Institut für Verkehrstechnik*; <sup>b</sup>*Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik*

Das Verfahren der Statistischen Energieanalyse (SEA) ist in der Vergangenheit vor Allem im Bereich des Fahrzeugbaus für die Berechnung der hochfrequenten Körper- und Luftschallausbreitung erfolgreich verwendet worden. Im Beitrag wird die Anwendung der SEA im Bereich des Maschinenbaus am Beispiel einer Stanzmaschine gezeigt.

Die Erstellung des SEA-Modells für Körperschall erfolgte anhand vorhandener CAD-Daten und eines Finite-Elemente-Modells. Die notwendigen Eingangsparameter für die Anregung und Dämpfung wurden aus Messungen gewonnen. Die Modellierung und Berechnung erfolgte mit Hilfe der Software FreeSEA.

Abschließend werden die Berechnungsergebnisse für die abgestrahlte Schallleistung und den Körperschall Messergebnissen gegenübergestellt. Die Schlussfolgerungen hinsichtlich der Lärminderung an der Maschine werden diskutiert.

Do. 8:55    Raum 38.03

Statistische Energieanalyse

### **SEA-Modellierung von Doppelwandstrukturen**

A. Peiffer und S. Tewes

*EADS Corporate Research Centre*

Die Modellierung von Doppelwandstrukturen durch die Statistische Energie Analyse (SEA) ist für die Beschreibung praktisch relevanter Wandstrukturen sehr wichtig. Aber gerade dieser Systemaufbau zeigt besonders die Grenzen der SEA Methode auf, da eine realistische Beschreibung der akustischen Transmission mehrere sogenannte indirekte Pfade erfordert. Damit werden

einige Grundannahmen der SEA verletzt, die einen rein resonanten Energietransfer voraussetzen. Anhand einer einfachen Doppelwandstruktur deren Kavität vollständig mit Glaswolle ausgefüllt ist werden verschiedene Modellstrategien untersucht. Das betrifft besonders den Doppelwandpfad, sowie die Berechnung der akustischen Eigenschaften der Doppelwandkavität. Die Simulationsergebnisse werden mit Messungen und FEM Berechnungen verglichen.

Do. 9:20 Raum 38.03

Statistische Energieanalyse

### **EFM-Modellierung einer Flugzeugdoppelwandstruktur**

S. Tewes und A. Peiffer

*EADS Corporate Research Centre*

In vielen praxisrelevanten Berechnungen des Schalldurchgangs durch komplexe Strukturen spielt sowohl der Luft- also auch der Körperschallpfad eine wesentliche Rolle. Ein typisches Beispiel stellt der Schalldurchgang durch eine Flugzeugdoppelwandstruktur dar, in der äußere Störungen über Strukturverbindungen und das Doppelwandluftvolumen übertragen werden können. Während der Luftschallpfad mittels der SEA-Methode normalerweise gut vorausgesagt werden kann, ist eine präzise Beschreibung der Kopplungsverlustfaktoren des Körperschallsystems durch die einfache Beschreibung der Systeme nicht möglich. Eine Möglichkeit, die SEA-Modelle hinsichtlich dieser Problematik zu verbessern, stellt die so genannte "Energy Flow Method" (EFM) dar, mittels derer kritische SEA-Parameter basierend auf einer geeigneten FE-Strukturmodellierung genauer bestimmt werden können.

Als Anwendung dieser Methode wird die Berechnung des Schalldurchgangs durch eine Flugzeugdoppelwand betrachtet. Die Modellstruktur besteht aus einem Rumpfausschnitt an dem mittels weicher Aufhängungselemente die Kabinenverkleidung angebracht ist. Die Simulationsergebnisse einer klassischen SEA-Modellierung werden mit den Ergebnissen eines verbesserten SEA-Modell verglichen, welches die EFM-Beschreibung der Struktur enthält.

Do. 9:45 Raum 38.03

Statistische Energieanalyse

**Akustischen Eigenschaften von Flugzeugstruktur bei Anregung durch turbulente Grenzschicht**D. Redmann und A. Peiffer*EADS Corporate Research Centre*

Die voranschreitende Entwicklung in der Luft- und Raumfahrt mit einerseits höheren Reisegeschwindigkeiten und andererseits effizienteren und gleichzeitig leiseren Triebwerken führt dazu, dass sich die turbulente Grenzschicht bei modernen Flugzeugen zu einer der dominierenden Schallquellen etablierte. Für die Voraussage der akustischen Eigenschaften einer Struktur kann somit das Schalldämm-Maß bezogen auf die turbulente Grenzschichtanregung als geeignetes Kriterium angesehen werden. Das neue Verfahren kombiniert dabei die Vorteile einer analytischen Beschreibung der Bewegungsgleichung für die Struktur mit der Kopplung an verschiedene statistische Anregungsformen (Diffusfeld, turbulente Grenzschicht). Die Verknüpfung wird anhand einer "joint acceptanel" Funktion des spektralen Modells eines Druckfeldes realisiert. Mit dieser Methode ist es möglich, unterschiedliche Turbulenzmodelle in die Bestimmung des Transmission Loss zu integrieren und die Ergebnisse miteinander zu vergleichen. Zur Validierung wurde das Verfahren mit AutoSEA-Berechnungen und experimentellen Resultaten verglichen und zeigte dabei eine sehr gute Übereinstimmung.

Do. 10:10 Raum 38.03

Statistische Energieanalyse

**Coupled FE-SEA vibro-acoustic analysis of floating floors for trains**L. Baurès und U. Orrenius*Bombardier Transportation*

Prediction tools implementing Finite Element Methods (FEM) and Statistical Energy Analysis (SEA) methods are widely used for analyzing and solving vibro-acoustic problems in the industry. However, the use of separate software for different frequency ranges implicates loss of time and computational resources. In addition the frequency range for which neither numerical nor statistical models are applicable can be quite wide. A theory allowing the coupling of these two methods has been recently presented and implemented in commercial software. For structural sources, effects of the receiving structure on the input power can be accounted for, like in standard FE analysis. In comparison with FEM, the hybrid method is able to provide results at higher frequencies with

less computation demand. After a brief review of the underlying theory, a model of a floating floor, typically used in railway cars is presented. Considerations driving the subsystems' partitioning into SEA or FEM subsystems are explained. The application of coupled FE SEA methodology for computation of SEA coupling loss factors of rubber joints is discussed specifically. The computed vibration isolation and sound insulation are presented and compared to measured results. Finally the advantages of using a hybrid FE-SEA method instead of separate SEA or FE models are discussed briefly.

Do. 14:00    Raum 38.03

Statistische Energieanalyse

### **Vibro-acoustic optimisation process based on hybrid SEA modelling of a trimmed body vehicle**

T. Bartosch, G. Müller und T. Eggner

*Magna Steyr Fahrzeugtechnik AG & Co KG*

The hybrid SEA modelling technique based on the well known power injection method is an essential technique which is required for the build up of trimmed body complete vehicle SEA models which are able to predict air- and structure borne noise sources with sufficient accuracy. We outline our MATLAB based modelling and integration techniques which are used in order to build up and validate hybrid AutoSEA models of trimmed body vehicles.

The optimisation task only makes sense with respect to SEA model excitation which represents a realistic load case. Therefore an effective power source estimation process based on a roller dynamometer measurement which is able to determine engine and rolling noise sources is shown. Instead of a transient SEA analysis we use a piecewise stationary approach for the calculation of SEA run-up data.

MAGNA Steyr's vibro-acoustic optimisation process is shown using a compact class vehicle as an example. This process is based on the vibro-acoustic potential analysis which selects the most sensitive model parameters, then calculates the vibro-acoustic potentials and last but not least provides target values of these parameters. It turns out that these data are representing an effective interface between system supplier and material supplier in order to optimise vibro-acoustic concepts and components.



Do. 14:25    Raum 38.03

Statistische Energieanalyse

**Sensitivitätsanalyse und Optimierung der Trimeigenschaften mittels SEA**S. Brandl<sup>a</sup>, I. Hauer<sup>a</sup>, H.-H. Pribsch<sup>a</sup> und T. Eggner<sup>b</sup><sup>a</sup>ACC Gesellschaft für Akustikforschung m.b.H.; <sup>b</sup>Magna Steyr Fahrzeugtechnik AG & Co KG

Auf Grund der ständig wachsenden Anforderungen des Marktes ist eine Verkürzung der Durchlaufzeiten im Entwicklungsprozess ein wichtiges Ziel der Automobilindustrie. Eine Möglichkeit diese Vorgabe zu erreichen ist eine Automatisierung von Optimierungsvorgängen. Die Anwendung mathematisch basierter Optimierungsverfahren kann dabei einen wichtigen Beitrag leisten. Basierend auf der Statistischen Energie Analyse (SEA) wurden dazu am ACC im Rahmen eines Forschungsprojektes mit MAGNA STEYR Fahrzeugtechnik ein Verfahren zur Unterstützung des Entwicklungsprozesses erarbeitet. Hauptaugenmerk wurde darin auf die Beurteilung und Optimierung des Verhaltens von Ausstattungsteilen gelegt. Dabei wurden die Parameter Absorption, Dämpfung und Schalldämmmaß verwendet um die Ausstattungsteile in SEA geeignet beschreiben zu können. Für das Identifizieren von Optimierungspotentialen wurde zuerst eine Sensitivitätsanalyse entwickelt. Mit ihrer Hilfe kann eine Reihung geeigneter Maßnahmen zur Reduktion des Innengeräusches durch Veränderungen der Eigenschaften von Ausstattungsteilen erstellt werden. Dadurch wird der Troubleshootingprozess zur Reduktion des Innenraumgeräusches, im Vergleich zum bestehenden Vorgang, systematisiert und vereinfacht, was zu einer Verkürzung der Entwicklungszeiten beiträgt. Darüber hinaus wurde ein mathematisches Optimierungsverfahren in die vorhandene SEA Umgebung integriert. Dadurch wird es möglich optimale Lösungen für vorgegebene Anforderungen zu berechnen. Dabei können unter Anderem Faktoren wie Einbautiefe, Gewicht und Kosten berücksichtigt werden. Die vorgestellten Verfahren sind programmtechnisch umgesetzt und können nicht nur im Automobilbereich sondern überall, wo SEA Modelle Verwendung finden, eingesetzt werden. Präsentierte Sensitivitätsanalysen und Optimierungen können ab sofort von den Projektpartnern durchgeführt werden.

Do. 14:50 Raum 38.03

Statistische Energieanalyse

**Path Sensitivity and Uncertainty Propagation in SEA**

R. Büssow und B. Petersson

*Institut für Strömungsmechanik u. Technische Akustik, TU Berlin*

This work addresses the differentiation of the inverse coupling matrix with respect to a coupling or damping loss factor. It applies to two central questions in conjunction with Statistical Energy Analysis (SEA).

The first concerns optimisation problems for which a sensitivity factor is proposed, based on a simple Taylor series. The factor shows the sensitivity of the vibrational energy flow to a certain coupling loss factor and hence the associated path.

The second question where the differentiated inverse coupling matrix applies is the investigation of the propagation of uncertainties in input quantities in a statistical energy analysis. This enables a variance calculation for primary the energies of the subsystems. The approach can be used to establish a variation range for the results from an SEA analysis.

Generic configurations with different transmission paths are investigated employing numerical implementations of the approaches. Both procedures are applicable for systems of arbitrary size.

Do. 15:15 Raum 38.03

Statistische Energieanalyse

**OpenSourceSEA - Projektfortschritt und Verifikationsberechnungen für die Schalltransmission von Sandwichpaneelen**S. Callsen<sup>a</sup>, O. Von Estorff<sup>a</sup> und A. Peiffer<sup>b</sup>*<sup>a</sup>Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Modellierung und Berechnung; <sup>b</sup>EADS Corporate Research Centre*

Aufgrund des großen Interesses von Anwendern und Entwicklern akustischer Berechnungsverfahren an einer offenen Softwareplattform, die es erlaubt gemeinschaftlich SEA basierte Berechnungsalgorithmen zu implementieren und zu nutzen, wurde vor einiger Zeit die Entwicklung des JAVA-Tools OpenSourceSEA initiiert. Aufbauend auf den Ausführungen zur DAGA 2006, bei denen die Grundstruktur der neuen Software aufgezeigt wurde, erfolgt im Rahmen dieses Beitrags die Vorstellung der inzwischen

umgesetzten weiteren Berechnungsmöglichkeiten. Ziel ist es zudem, eine Diskussion in Bezug auf zukünftige Weiterentwicklungen anzuregen und Möglichkeiten zur Mitarbeit und Unterstützung des Vorhabens aufzuzeigen. Um die neuen Einsatzmöglichkeiten von OpenSourceSEA sowie die aktuell implementierten Erweiterungen darstellen zu können, werden zunächst die zugrunde liegenden theoretischen Ansätze aufgezeigt, die für die Berechnung von Sandwichstrukturen gewählt wurden. Zudem werden die Berechnungsansätze, die zur Bestimmung der SEA Parameter benötigt werden, vorgestellt. Anhand von Berechnungen realer Sandwichstrukturen, wie sie unter anderem im Flugzeugbau eingesetzt werden, erfolgt abschließend eine Verifikation von OpenSourceSEA mit Hilfe eines kommerziellen SEA-Tools und einem elementbasierten Berechnungsansatz sowie eine Validierung der Ergebnisse durch Messdaten.

Do. 15:40    Raum 38.03

Statistische Energieanalyse

### **Mobility Based Modeling for Mid-frequency Vibration Transmission**

K. De Langhe

*LMS International*

Structure-borne vibration transmission is often a major source of vehicle and machinery noise. Vibration isolation and damping treatments can be effective in reducing structure-borne noise, but may add unnecessary weight and cost if not properly designed. Simulation models make it possible to conduct trade-off studies and to develop optimum treatments. Finite element models can be used successfully at lower frequencies where global modes dominate the structural response. At mid and high frequencies where humans are most sensitive to intruding noise, finite element models become too large and other methods of analysis are more practical. At high frequencies, statistical energy analysis - SEA - is commonly used. SEA models are particularly useful for airborne noise transmission. SEA models can also be used at mid-frequencies where structure-borne noise is often dominant. However, the accuracy of these models at lower frequencies can be poor. This paper introduces a mobility-based approach for mid-frequency analysis of vibration transmission and structure-borne noise. The approach allows the dynamic system being studied to be divided into coupled substructures and acoustic spaces. Vibration and acoustic energy transmission between these coupled subsystems is then formulated in terms of the mechanical and acoustic mobilities of the subsystems. The accuracy

of the mobility-based analysis is largely controlled by the accuracy of the mobility functions used to define the model. These mobility functions can be obtained from measurement, from finite element models, or in simple cases from analytical expressions. The paper concludes with an example of vehicle noise prediction.

Do. 16:05    Raum 38.03

Statistische Energieanalyse

### **Investigation of Possibilities for Improvement of Hybrid SEA Models with the Integration of Measurement Data**

T. Eggner, G. Müller und T. Bartosch

*Magna Steyr Fahrzeugtechnik AG & Co KG*

In order to increase the reliability of analytical SEA models there will be measured parameters as damping loss factors and coupling loss factors integrated into the model to get a hybrid SEA model. This model, based on experimental and geometrical subsystem data, is used for the simulation of the vibro acoustic behaviour. One of the challenges of the hybrid approach exists in the modelling of so-called triple couplings (fluid structure fluid), especially if only sub-paths of the entire coupling were measured. Here advices to possible modelling strategies are to be given by measurement and simulation comparisons. A second point lights up possibilities for the reduction of the measurement effort: Beside from obviously advantages such as cost and time saving it concerns here mainly the not always ensured measurability of certain SEA subsystems. It is to be analysed by measuring comparisons whether the coupling loss factor determinations can be done by the measurement of only one of the two directions, if certain characteristics of the joined subsystems of the transmission path are known.

By the introduced improvements the integration of the measuring model into the analytic SEA model can increase the prediction quality of the hybrid SEA model

Do. 8:30    Raum 47.01

Raumakustik II

### **Vergleichende Untersuchung raumakustischer Konzepte für Mehrpersonenbüros**

E. Schröder<sup>a</sup> und U. Schanda<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Müller-BBM GmbH; <sup>b</sup>Fachhochschule Rosenheim

Zur raumakustischen Planung von Mehrpersonenbüros gibt es vielerlei Richtlinien und Regelwerke. Das Grundkonzept für Mehrpersonenbüros, welches in diesen Regelwerken implizit steckt, beinhaltet den klassischen Büroausbau mit vollflächig schallabsorbierenden Decken und Stellwänden. Dieses Konzept

hat sich bewährt. Aus wirtschaftlichen Gründen erfolgt seit einigen Jahren die Kühlung und teilweise auch die Beheizung von Mehrpersonenbüros vermehrt über thermisch aktivierte Stahlbetondecken. Zur thermischen Wirksamkeit dieser Decken ist ein Strahlungsaustausch zwischen der Unterseite der Stahlbetondecken und den Mitarbeitern des Büros notwendig. Die Decke steht somit für schallabsorbierende Maßnahmen nur noch sehr eingeschränkt zur Verfügung. Alternativ zum o. g. klassischen Büroausbau wird in Mehrpersonenbüros mit thermisch aktivierten Stahlbetondecken zunehmend ein sog. Trennwandkonzept umgesetzt. Dabei wird auf die Schallabsorption an der Decke vollständig verzichtet, dafür aber raumhohe, beidseitig hochschallabsorbierende Stellwände ausgeführt. Um das Trennwandkonzept im Verhältnis zum klassischen Konzept aus akustischer Sicht beurteilen zu können, wurde eine vergleichende Untersuchung der beiden Konzepte für Mehrpersonenbüros durchgeführt. Als zusätzlicher Aspekt wurde die Wirkung von tieffrequenten Absorbern auf die akustischen Verhältnisse betrachtet. Zur Beurteilung der unterschiedlichen Bürokonzeppte wurden Hörversuche durchgeführt. Hierzu wurden die raumakustischen Verhältnisse durch Messungen von Impulsantworten in realen Bürosituationen erfasst und nachträglich auralisiert. Mit diesem Verfahren sind die unterschiedlichen Bürosituationen direkt miteinander vergleichbar. Es werden die Verfahren und Ergebnisse der Untersuchung vorgestellt.

Do. 8:55 Raum 47.01

Raumakustik II

## **Überarbeitung der VDI 2569 / Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro**

U. Donner

*AkustikDonner Sachverständigenbüro*

Die VDI 2569 "Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro" wird derzeit überarbeitet. In der Diskussion befindet sich ein neues Anforderungsprofil an Büroräume, das sich an der tatsächlichen Geräuschbelastung und der damit verbundenen Störung am konkreten Arbeitsplatz orientiert. Das Anforderungsprofil lehnt sich an die Ausführungen an, welche in den Arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen Nr. 123 und 124 der BAuA dargestellt sind. Es ist beabsichtigt, eine Klassifizierung von leeren, gebrauchsfähigen Büroräumen und von Büroarbeitsplätzen einzuführen. Der Nachweis in der Planung erfolgt durch Berechnungen. Bei bereits ausgeführten Räumen kann eine Überprüfung durch Messungen erfolgen.

Do. 9:20 Raum 47.01

Raumakustik II

**Klassenraumakustik: Umsetzung einer Studie**B. Becker<sup>a</sup> und J. Nickel<sup>b</sup><sup>a</sup>*Deutsche Rockwool Mineralwoll GmbH & Co. OHG*; <sup>b</sup>*Rockwool International*

Die Ergebnisse der hier vorgestellten Untersuchung behandeln die praxisgerechte Umsetzung einer ganzheitlichen Schulstudie ('Moderner Klassenraum'-Projekt: 20030025 Hörzentrum Oldenburg, Dr. Markus Meis/ Nov.2003). In dieser Studie wurden die positiven Resultate der optischen, akustischen und baulichen Renovierung auf die Lehr- und Lernbedingungen für Schüler und Lehrer durch objektive Messungen und Befragungen aller Beteiligten dokumentiert. Die Erfahrungen der genannten Studie wurden im Rahmen einer anstehenden Brandschutzsanierung für eine Grundschule umgesetzt. Es sollten neben den geforderten Brandschutzanforderungen auch die Anforderungen an den alltäglichen rauen Schulalltag und darüber hinaus die raumakustischen Anforderungen (Empfehlung der Nachhallzeit DIN 18041:2004) erfüllt werden. Dieser Beitrag beschreibt den Projektverlauf von den ersten Kontakten zu Schule und Behörden, der Erstellung eines Musterraumes und der anschließenden Umsetzung für die gesamte Schule. Ziel des Projektes war es zu zeigen, dass die praxisgerechte Umsetzung einer wissenschaftlichen Studie mit erheblichen Verbesserungen der Raumakustik weit über die gesetzlichen Mindestanforderungen hinaus auch mit einem vertretbaren finanziellen Aufwand möglich ist. Es werden Berechnungs- und Messergebnisse für die Nachhallzeiten vor und nach der Sanierung vorgestellt.

Do. 9:45 Raum 47.01

Raumakustik II

**Einsatz von Mineralfaserakustikdecken in Unterrichtsräumen - Erfahrungen aus der Praxis**J. Zander, F. Schnelle und R. Kurz*Kurz und Fischer GmbH*

Unter Kostengesichtspunkten werden in Unterrichtsräumen häufig vollflächig schallabsorbierende Unterdecken aus Mineralfaserakustikplatten als alleinige raumakustische Maßnahme ausgeführt. Mit der Aktualisierung der DIN 18041 im Jahr 2004 wurden die Anforderungen an die Nachhallzeiten in Unterrichtsräumen verschärft. Vor diesem Hintergrund wird in jüngster Zeit verstärkt der Einsatz hochschallabsorbierender raumakustischer Unterdecken aus Mineralfaserakustikplatten propagiert.

Für ein Sanierungsvorhaben von Schulen mit engem finanziellem Budget wurden vergleichende raumakustische Untersuchungen beim Einsatz unterschiedlicher Mineralfaserakustikplatten durchgeführt. Der raumakustische Erfolg hängt bei der Verwendung hochschallabsorbierender Deckenplatten stark von der Diffusität der Unterrichtsräume ab.

Do. 10:10 Raum 47.01

Raumakustik II

### **Zur Raumakustik eines kreisrunden Kuppelbaus mit einer seitlichen und einer zentralen Bühne und Hinweis auf Beschallungstechnik**

E.-J. Völker und W. Teuber

*Institut für Akustik und Bauphysik, Oberursel*

Am Beispiel der Kulturhalle Ochtendung wird verdeutlicht, dass ein kreisrunder Kuppelsaal im Sinne der "gezielten Akustik" für viele Veranstaltungen des Nutzers im Sinne eines Mehrzweckraumes gebaut werden kann. Die Autoren machen deutlich, dass bei diesem Saal mit 32 m Durchmesser und einer Kuppelhöhe von 12 m mit sehr gezielten Maßnahmen gearbeitet werden muss. Diese beziehen sich vor Allem auf die Verfolgung gefährlicher Schallreflexionen, ihrer Umlenkung oder ihrer Verdeckung durch zwischengestellte Reflektoren. Die Stärkung von günstigen Direktschallanteilen ist einbezogen. Dabei spielt die Anordnung von Lautsprechern eine wichtige Rolle, wenn die Raumakustik Lautsprechererschall unterstützt. Vergleiche mit ähnlichen Bauten werden angestellt.

Do. 14:00 Raum 47.01

Raumakustik II

### **Reflexionsarme Messräume - Dimensionierung nach Anforderung**

G. Babuke, P. Brandstät, W. Schneider und X. Zhou

*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

Die Güte eines Schallmessraumes wird maßgeblich durch die Art der reflexionsarmen Schallauskleidung bestimmt. Zu den Anforderungen der Norm ergeben sich aus den unterschiedlichen Messanforderungen der Nutzer wiederum unterschiedliche Anforderungen bezüglich des Freifeldes und der erwünschten unteren Grenzfrequenz. Daher wird vorab jeder Prüfraum seiner jeweiligen Nutzung entsprechend ausgelegt. Nach 10 Jahren Erfahrung mit alternativen Raumauskleidungen zeigt der Beitrag an ausgewählten Beispielen den Weg von den spezifischen Anforderungen, der Auslegung und Simulation von den geometrischen Raumdaten und den akustischen Kennwerten des Materials, der

Absorberaufbauten bis hin zur Abnahmemessung. Es werden die bei der Abnahmemessung ermittelten Freifeldeigenschaften des Messraumes denen der Auslegung gegenüber gestellt und diskutiert.

Do. 14:25    Raum 47.01

Raumakustik II

### **Messtechnische Analyse der richtungsabhängigen Eigenschaften eines Raumes**

C. Pörschmann

*Fachhochschule Köln, Institut für Nachrichtentechnik*

Es wird ein Verfahren zur messtechnischen Erfassung der akustischen Eigenschaften von Räumen vorgestellt. Mit Hilfe eines drehbaren linienförmigen Mikrophonarrays ist es möglich, das Schallfeld eines Raumes mit einer geringen Anzahl von Mikrophonen durch eine sequentielle Abtastung einzelner Drehwinkel zu erfassen. Für jedes Mikrophon und jede Winkelposition des Arrays wird die Raumimpulsantwort ermittelt. Durch die sequentielle Abtastung der einzelnen Winkelpositionen ergibt sich zwar eine längere Messdauer, allerdings ist dadurch eine sehr hohe Anzahl von Messpunkten möglich. Das Messergebnis wird durch eine sequentielle Abtastung nicht beeinflusst, solange der Raum während der Messung nicht verändert wird, die Raumimpulsantworten also zeitinvariant sind. Neben dem geringen Aufwand durch eine geringere Anzahl an Mikrophonen hat das Messverfahren den Vorteil, dass eine Kalibrierung der Mikrophonfrequenzgänge nur für vergleichsweise wenige Mikrophone erforderlich ist. Aus der Überlagerung der einzelnen Impulsantworten für die jeweiligen Mikrophonpositionen kann das Schallfeld nach den Verfahren der Wellenfeldanalyse oder mit Hilfe von Beamforming in dem gesamten Raum berechnet werden. Durch eine geeignete Analyse können sowohl die Positionen der Direktschallquellen als auch die Positionen der Spiegelschallquellen in dem berechneten Schallfeld ermittelt werden. Pilotuntersuchungen, die an der Fachhochschule Köln durchgeführt wurden, zeigen die prinzipielle Einsetzbarkeit dieser Methode. Rückwürfe des Schalls können bezogen auf ihren Eintreffzeitpunkt und ihre Eintreffrichtung mit Erfolg versprechender Genauigkeit bestimmt werden. Eine quantitative Auswertung und eine Optimierung des Verfahrens sind Teil von Folgeuntersuchungen im Rahmen eines geplanten Projektes. Grundsätzlich ermöglicht das Verfahren eine Unterstützung bei der raumakustischen Auslegung von Räumen und kann als Ergänzung zu "klassischen" Raumsimulationsverfahren eingesetzt werden.



Do. 14:50 Raum 47.01

Raumakustik II

**Analyse von Messunsicherheiten raumakustischer Parameter**P. Dietrich und I. Witew*Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen*

Jede Messung einer physikalischen Größe ist mit einer gewissen Unsicherheit belastet, die diesem Messergebnis zugeordnet werden sollte. Ohne die Angabe einer solchen Unsicherheit sind Messergebnisse, z.B. von verschiedenen Messteams, untereinander nicht vergleichbar. Um die Bestimmung der Unsicherheiten in allen messtechnischen Bereichen zu vereinheitlichen, wurde daher von der ISO/BIPM der Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen (engl. GUM) entwickelt. Dieser wird bereits in vielen Bereichen der Messtechnik nicht nur angewandt, sondern teilweise wird die Anwendung durch entsprechende Normen auch gefordert.

In der Raumakustik zeigen bestehende Messergebnisse von Parametern, wie etwa der Nachhallzeit oder des Klarheitsmaßes, die in der Norm ISO 3382 definiert sind, Abweichungen beim Vergleich von Ergebnissen unterschiedlicher Messteams oder von Wiederholungsmessungen in einem zu untersuchenden Raum. Diese Abweichungen sind teilweise größer als die hörbare Wahrnehmungsschwelle (just noticeable difference, jnd). Das Ziel einer guten raumakustischen Messung sollte allerdings ein Ergebnis sein, dessen zugeordnete Messunsicherheit kleiner als die Wahrnehmungsschwelle des entsprechenden Parameters ist. Daher besteht Bedarf, die auftretenden Beiträge zur Unsicherheit einheitlich zu analysieren und ihren Anteil an der Gesamtunsicherheit zu bestimmen.

Dieser Beitrag stellt einen Ansatz zur Unsicherheitsanalyse dar. Es wird ein skalierbares, lineares Ursache-Wirkungs-Modell vorgestellt, mit dessen Hilfe die Gesamtunsicherheit eines raumakustischen Parameters detailliert bestimmt werden kann. Durch spezielle Experimente, die auf das Modell abgestimmt sind, ist es möglich, Hauptunsicherheitsbeiträge messtechnisch zu erfassen, um anschließend den Unsicherheitsbereich der Messergebnisse GUM-konform angeben zu können.

Do. 15:15 Raum 47.01

Raumakustik II

**Holographische Modalanalyse mit skalierbarem Kugelarray**A. Schlesinger<sup>a</sup>, G. Del Galdo<sup>b</sup>, B. Albrecht<sup>c</sup>, S. Husung<sup>d</sup>, J. Lotze<sup>b</sup>, H.-P. Schade<sup>c</sup> und M. Haardt<sup>b</sup><sup>a</sup> *TU Delft, Acoustical Imaging and Sound Control*; <sup>b</sup> *TU Ilmenau, FG Nachrichtentechnik*; <sup>c</sup> *TU Ilmenau, Institut für Medientechnik*; <sup>d</sup> *TU Ilmenau, FG Konstruktionstechnik*

Das Problem der Modalanalyse in der raumakustischen Praxis ist der geringe Informationsgehalt aus punktuell vorgenommenen Messungen der Raumimpulsantwort. Grund dafür ist die orts- und quellenabhängig hohe Varianz der zu erfassenden Schallfeldgrößen. Die richtungsbezogene raumakustische Untersuchung wird möglich durch ein skalierbares Ein-Mikrophon-Array. Dieses tastet durch Mehrfachmessung eine Kugeloberfläche ab und bildet so ein "virtuelles" Kugelarray. Dieses Analyseverfahren bietet Vorteile gegenüber den heute verbreiteten und standardisierten Messmethoden, welche den Raum nur an einzelnen Positionen aufmessen und nach Mittelung der Messergebnisse oftmals nur allgemeine Beurteilung der Raumakustik ermöglichen. Mit Hilfe von Oberflächen-Arrays kann das Eigentonnnetz im modalen Frequenzbereich sichtbar gemacht und quantifiziert werden. Bestimmt durch die obere Grenzfrequenz des modal charakterisierten Schallfeldes, allgemein als Schröderfrequenz bekannt, werden die Messpositionen skaliert und eine Kugeloberfläche räumlich abgetastet. Die Extrapolation des Schallfeldes im Gültigkeitsbereich der Array-Anordnung wird durch Reihenzerlegung des Schallfeldes in Sphärische Harmonische und Multiplikation mit Sphärischen Besselfunktionen im zugehörigen Fourierraum erreicht. Auf Grundlage des extrapolierten Schalldrucks wird eine holographische Bildgebung des Schallfeldes vorgenommen. Die akustische Planung und Analyse kritischer Räume, vor Allem im tieffrequenten Bereich, ist mit dem vorgestellten Ansatz über ein Raumvolumen exakt quantifizierbar.

Erste Simulationen und experimentelle Messungen haben die theoretischen Annahmen und die praktische Anwendbarkeit des vorgestellten Messverfahrens nachweisen können.

Do. 15:40 Raum 47.01

Raumakustik II

**Dodekaeder-Lautsprecher mit variabler Richtcharakteristik**G. Behler*Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen*

Dodekaeder-Lautsprecher sind in der bauakustischen und raumakustischen Messtechnik Standard-Geräte, die für die Anregung von Räumen benötigt werden. Für umfassende Untersuchungen in der Raumakustik reichen die Anforderungen handelsüblicher Lautsprecher kaum aus. Daher wurden im ITA in der Vergangenheit Systeme entwickelt, die eine bessere Abstrahlcharakteristik und einen erweiterten Frequenzbereich zur Verfügung stellen. Manchmal ist eine omni-direktionale Richtcharakteristik jedoch nicht sinnvoll, z.B. bei der Messung des STI, wobei die Richtcharakteristik eines Sprechers benötigt wird. Weitere Anwendungen in der Raumakustik sind schnell gefunden, so z.B. die Messung von Raumimpulsantworten für die Anregung mit bestimmten Instrumenten. Zweifelsohne wäre es wünschenswert, wenn für die verschiedenen Anwendungen nicht eine Vielzahl unterschiedlicher Quellen, sondern eine Quelle mit hinreichend genau einstellbarer Richtcharakteristik verfügbar wäre. Dodekaeder-Lautsprecher besitzen 12 Wandler auf einer Kugeloberfläche, so dass eine erhebliche Variation der Richtcharakteristik möglich ist. Die Schwierigkeit besteht allerdings darin, die komplexen, frequenzabhängigen Gewichtungsfaktoren für die einzelnen Systeme zu bestimmen. Als Zielvorgabe dienen experimentell ermittelte Richtfunktionen von z.B. Musikinstrumenten. Über geeignete Optimierungsverfahren werden die Gewichtungsfaktoren so eingestellt, dass eine minimale Abweichung zwischen Ziel- und Quellfunktion eintritt. Die Vorgehensweise wird vorgestellt und erste Ergebnisse der Optimierung für einzelne Instrumente und Sprecher werden gezeigt.

Do. 16:05 Raum 47.01

Raumakustik II

**Bestimmung des Dissipations- und Transmissionsgrades dünner, endlicher Schichten bei senkrechtem Schalleinfall**X. Zhou, H. Drotleff, M. Leistner und T. Zhang*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

Für die akustische Beschreibung dünner Schichten z.B. aus Textilien im Raum genügt in einigen praktischen Fällen der Bezug zum Strömungswiderstand oder bei geschlossenen Folien zur flächenbezogenen Masse. Bei anderen Anwendungen bleiben allerdings Fragen offen und die Optimierung bedarf eines

genaueren Herangehens. In verallgemeinerter Form gilt die Bilanz, dass die Summe aus Reflexionsgrad, Dissipationsgrad und Transmissionsgrad konstant ist. Als häufig direkt untersuchte Größe setzt sich danach der Absorptionsgrad aus der Summe von Dissipations- und Transmissionsgrad zusammen. Ist auch letzterer bekannt, lässt sich die Dissipation berechnen. Diese Beziehung wird mit Beispielen für senkrechten Schalleinfall rechnerisch und experimentell illustriert. So kann anhand des Transmissionsgrades etwa die Abschirmungswirkung einer dünnen Vorsetzschale abgeschätzt werden. Zugleich wird der Verbesserungsspielraum quantifizierbar, um eine möglichst hohe Dissipation zu erreichen. Als praktischer Einsatzfall dient das Absorptionsvermögen von textilen Vorhängen und mikroperforierten Folien als freie Flächenelemente im Raum. Beispielhaft wird auch die Schalldämmung von biegesteifen Schichten berechnet und im Vergleich zum Massegesetz erörtert.

Donnerstag Poster

Raumakustik II

## **Untersuchungen zur Bestimmung der Spiegelschallquellen aus der richtungsabhängigen Raumimpulsantwort**

I. Stichler

*Fachhochschule Köln, Institut für Nachrichtentechnik*

Die Akustik eines Raumes wird maßgeblich durch die Reflexionen der Schallwellen bestimmt, welche von einem Schallereignis in dem Raum ausgehen. Es wird ein Verfahren vorgestellt, das mit einem schwenkbaren Mikrophonarray die ortsabhängigen Raumimpulsantworten eines schon bestehenden Raumes ermittelt. Durch Überlagerung der mit dem Mikrophonarray gemessenen Raumimpulsantworten ist es möglich, die Positionen der Spiegelschallquellen (virtuelle Quellen) annähernd genau zu bestimmen, welche unter Anwendung der geometrischen Akustik je eine einzelne Reflexion beschreiben. Im Unterschied zu Raumsimulationsprogrammen werden bei diesem Messverfahren alle realen Parameter des Raumes automatisch erfasst (Geometrie, Oberflächeneigenschaften der Wände).

Im Rahmen einer Diplomarbeit wurden eine Reihe von Messungen der raumakustischen Eigenschaften verschiedener Umgebungen mit Hilfe des Mikrophonarrays durchgeführt und unterschiedliche Verfahren zum Auffinden der Spiegelschallquellen untersucht. Dabei sollten möglichst auch Reflexionen höherer Ordnung erfasst werden. Ein Ziel der Arbeit war es, Parameter zu finden, die für das automatisierte Auffinden der Spiegelschallquellen genutzt werden können.

Eine Herausforderung der Arbeit bestand darin, dass die Positionen der Spiegelschallquellen aus einer hohen Anzahl von Messdaten in dem 3-dimensionalen Raum ermittelt werden müssen. Es muss bei der Auswertung berücksichtigt werden, dass die Rückwürfe realer Wände auch diffus reflektierte Anteile aufweisen. Im Rahmen der Arbeit wurde versucht auf geeignete Weise diffuse Reflexionen von geometrischen Reflexionen zu trennen und somit die Rückwürfe zu kategorisieren.

Es werden die bisher eingesetzten Verfahren zum Auffinden der Spiegelschallquellen erläutert und die Messergebnisse vorgestellt.

Donnerstag Poster

Raumakustik II

### **Die Akustik der Stadthalle Biberach nach einer Brandschutzsanierung**

R. Wack und H. Drotleff

*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

Der Theatersaal der 1978 fertig gestellten Stadthalle besaß gute akustische Bedingungen für Sprachdarbietungen - für Musik war er zu stark bedämpft. Dabei ist er architektonisch konsequent für eine Mehrzwecknutzung konzipiert, mitsamt Bühnenturm, Orchestergraben und Hubpodien im Parkett. Auch das angrenzende Foyer lässt sich mittels Hubwänden ankoppeln, sodass sich zu den 550 Sitzplätzen im Parkett und auf dem Rang noch weitere 320 bestuhlen lassen. Die notwendig gewordene Sanierung wurde daher auch zu einer akustischen Umgestaltung genutzt, die der Musikdarbietung bessere Verhältnisse ermöglichen soll: Eine schalldurchlässige GitterrostDecke erschließt nun das dahinter liegende Volumen, die Raumbedämpfung ist im mittel- und hochfrequenten Bereich reduziert und die Schalllenkung von der Bühne verbessert. Dabei mussten Echobildungen an den parallel stehenden Wänden des sechseckigen Raumes vermieden werden. Nach der ersten Nutzungsphase werden die Ergebnisse vorgestellt.

Donnerstag Poster

Raumakustik II

### **Interferenz von breitbandigen Geräuschen bei der akustischen Abnahme von Freifeldräumen**

X. Zhou, G. Babuke, R. Wack und T. Zhang

*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

Die unvermindert hohe Bedeutung akustischer Produkteigenschaften hat in den letzten Jahren zur Errichtung zahlreicher

Freifeld- und Halbfreifeldräume für akustische Messungen geführt. Vorbeifahrt-, Rollen- und Motorprüfstände gehören dazu genauso wie Messräume für Kühlschränke, Waschmaschinen und Computer. Zur Feststellung der Eignung solcher Räume wird messtechnisch geprüft, inwieweit die Schallpegel von den idealen Werten des Entfernungsgesetzes abweichen. Entsprechend den Anforderungen an den Raum werden dabei als Prüfsignale entweder Terzrauschen oder Einzeltöne verwendet. Die gemessenen Abweichungen vom Entfernungsgesetz sind jedoch von der Art des Prüfsignals abhängig. Anhand von Beispielen wird ein Rechenmodell vorgestellt, mit dem die Überlagerung zweier breitbandiger Signale abgeschätzt werden kann. Daran lassen sich die Auswirkungen der Wahl des Prüfsignals auf die Abnahmemessungen erkennen.

Do. 8:30 Raum 47.02

KFZ-Antriebsgeräusche II

### **Untersuchung der Schallabstrahlung des Verbrennungsmotors zur Optimierung der Transferpfadanalyse**

P. Heck<sup>a</sup>, A. Franck<sup>a</sup> und R. Sottek<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen;* <sup>b</sup>*HEAD acoustics GmbH*

Ein wichtiges Ziel in der Automobilentwicklung ist es, schon vor der Prototypfertigung möglichst exakte Aussagen darüber treffen zu können, welche Eigenschaften das Fahrzeug haben wird. Dies gilt auch für die akustische Betrachtung von Fahrzeugen. Ein Ansatz einer ganzheitlichen Beschreibung der akustischen Eigenschaften von Fahrzeugen stützt sich auf die Betrachtung des Gesamtsystems durch seine Einzelkomponenten. Zur akustischen Beschreibung dieser Komponenten werden geeignete Quellgrößen und Übertragungsfunktionen (akustische Transferpfade) genutzt. Diese sollten so gewählt werden, dass die Einzelkomponenten möglichst genau beschrieben werden können und ein Austausch zwischen Simulationsergebnissen und Messdaten möglich ist. In vorangegangenen Arbeiten wurde gezeigt, dass im Falle der Schallabstrahlung des Verbrennungsmotors die Quellbeschreibung durch die Oberflächenschnelle geschehen sollte. In der vorgestellten Arbeit werden Ansätze entwickelt, mit denen der Volumenfluss des Verbrennungsmotors als Luftschallquelle im eingebauten Zustand bestimmt werden kann. Außerdem wird am Beispiel der Ansaugung gezeigt, wie sich durch die verbesserte Modellbildung der Schnittstelle zwischen Quellgröße und Transferpfad, die oben erwähnten Forderungen erfüllen lassen.

Do. 8:55 Raum 47.02

KFZ-Antriebsgeräusche II

**On-line Roughness Analysis in a Virtual Car Sound Synthesis Environment**

O. Flores Santiago<sup>a</sup>, K. Janssens<sup>b</sup>, H. Van Der Auweraer<sup>b</sup>, P. Van De Ponsele<sup>b</sup> und S. Ahrens<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*LMS Deutschland GmbH*; <sup>b</sup>*LMS International*

One of the goals of NVH engineers in automotive industry is to design vehicles with a pleasing interior sound quality. Roughness is known as one of the most important sound quality features. The auditory perception of roughness is determined by temporal fluctuations in the envelope of the sound. It is well known that amplitude modulations related to adjacent engine harmonics contribute to the roughness of a vehicle sound.

In recent research, a new order-based roughness algorithm was developed and integrated in a real-time Virtual Car Sound (VCS) synthesis environment with virtual modification capabilities. This roughness algorithm reconstructs the sound envelope per critical band in an analytical way from the order amplitudes, phases and frequencies. The most time-demanding operations (e.g. critical band filtering, Hilbert transform, etc.) of the classical roughness models are not longer needed, which makes the algorithm extremely fast and applicable in real-time. Another very interesting element is the link which is established between the roughness and the deterministic order components of the sound.

The integration of this algorithm in an on-line sound synthesis environment is absolutely unique. The capability to modify order components and get an immediate feedback of their impact on roughness helps sound engineers to design a vehicle sound with improved sound quality.

The presented work consists of two parts. The first part explains the new roughness algorithm and compares its calculation results with those of the classical approach. The second part demonstrates its on-line capabilities in VCS and shows its unique value to target sound design.

Do. 9:20 Raum 47.02

KFZ-Antriebsgeräusche II

**Ein optimiertes Verfahren zur Bestimmung der Motorgeräuschanregung in Bezug auf Verbrennung und Mechanik**R. Arndt<sup>a</sup>, M. Katter<sup>a</sup>, F. Brandl<sup>b</sup> und J. Veit<sup>b</sup><sup>a</sup>ACC Gesellschaft für Akustikforschung m.b.H.; <sup>b</sup>AVL List GmbH

Die steigenden Anforderungen an die Reduktion von Kraftstoffverbrauch und Emissionen führen großteils zum Einsatz härterer Verbrennungsverfahren. Damit einher geht auch der Anstieg des Verbrennungsgeräusches. Im Gegensatz dazu steht der Kundenwunsch nach Komfort und Geräuschreduktion. Um entsprechende Akustikmaßnahmen zur Motorgeräuschverringerung bewerten zu können, ist die Kenntnis der Anregung durch die Verbrennung sowie durch die Mechanik an Otto- und Dieselmotoren im Detail erforderlich.

Die bestehenden Verfahren zur Ermittlung des Verbrennungsgeräusches beruhen entweder auf einem offenen Steuergerät zur Modifikation der Verbrennungsanregung oder es sind komplexe Auswerteverfahren (z.B. Regressionsanalysen) notwendig. Diese Verfahren benötigen zum einen einen hohen Zeitaufwand bzw. es ist nur eine geringe Genauigkeit erreichbar.

Im Rahmen eines von AVL beauftragten Forschungsprojektes bei ACC wurde in Zusammenarbeit mit AVL ein Verfahren erarbeitet, mit dem auf Basis der zeitgleich gemessenen Zylinderdruckanregung und Luftschallabstrahlung die Anteile von Verbrennungs- und mechanischem Geräusch sowie die Strukturübertragungsfunktionen schnell und einfach bestimmt werden können. Erfolgreich wurde dafür eine Methode, die die Kohärenz zwischen Zylinderdruckanregung und Luftschall bewertet, entwickelt.

In diesem Vortrag wird das Verfahren erläutert und es wird gezeigt, welche Signalbearbeitung (Filterung, Fensterung,...) zum Erhalt optimaler Ergebnisse vorgenommen wird.

Das Verfahren wurde programmtechnisch in Matlab umgesetzt, d.h. die Analyse von Verbrennungs- und mechanischem Geräusch kann daher bei AVL an Diesel- und Ottomotoren sehr schnell und effizient vorgenommen werden.



Do. 9:45 Raum 47.02

KFZ-Antriebsgeräusche II

**Verfahren zur Ermittlung von belastbaren Körperschall-Zielwerten im Rahmen der Pkw-Getriebeentwicklung**

T. Voehringer

*ZF Friedrichshafen AG*

Fahrzeughersteller und ihre Zulieferer stehen immer häufiger vor dem Problem, bereits in der frühen Entwicklungsphase belastbare Zielvorgaben für die Körperschallemission eines Aggregats zu definieren, die letztlich zu einem optimalen akustischen Produkt führen sollen. Hier wird ein Verfahren vorgestellt, das solche Zielvorgaben unter Berücksichtigung von vereinfachenden Annahmen liefern kann.

Es wird angenommen, dass das gewünschte Zielgeräuschniveau für eine neue Fahrzeuggeneration anhand von Innenraummessungen an bestehenden Serienfahrzeugen ermittelt werden kann. Außerdem soll die maßgebliche akustische Übertragungseigenschaft des Fahrzeugs auf einen dominanten Übertragungsweg reduziert werden können und näherungsweise konstant bleiben. In Form einer Pseudo-Transferfunktion (PTF) wird diese Übertragungseigenschaft gemessen. Diese PTF kann in einem TPA-Synthese Modell als Faltungskern für die Zielgeräusche dienen, so dass dann maximal zulässige Körperschallpegel ermittelt werden, beispielsweise für ein Getriebe nahe der Lagerstelle. Die Zielvorgaben für das Aggregat hängen also maßgeblich von den angenommenen Übertragungseigenschaften des Fahrzeugs ab. Daher erscheint es im Abstimmungsprozess zwischen OEM und Zulieferer sinnvoll, den Zielvorgaben jene Übertragungseigenschaften explizit zugrunde zu legen.

Do. 10:10 Raum 47.02

KFZ-Antriebsgeräusche II

**Neue Wege der Geräuschdiagnose im Service**M. Popp<sup>a</sup>, N. Burg<sup>a</sup> und G. Mauer<sup>b</sup><sup>a</sup>*DaimlerChrysler AG*; <sup>b</sup>*HEAD acoustics GmbH*

Für die Diagnose von Geräuschbeanstandungen im Service existiert bis heute keine einheitliche Vorgehensweise und sie ist durch ein hohes Maß an Subjektivität geprägt. Ein objektiviertes Vorgehen wurde beispielhaft für Geräuschbeanstandungen aus dem Unterbodenbereich entwickelt, die auf einen Defekt an der Abgasanlage zurückzuführen sind. Das Verfahren ersetzt das subjektive Befunden und ermöglicht eine objektive Diagnose. Die somit erreichte Verbesserung der Diagnose stellt sicher, dass nur

im Fehlerfall ein Austausch der Abgasanlage erfolgt. Die Grundlage hierfür wird durch einen Algorithmus gebildet, welcher eine Klassifizierung der beiden Abgasstränge durch Analyse von Beschleunigungsdaten vornimmt. Dieser Algorithmus ist als Softwaremodul realisiert und in eine geführte Prüfung eingebunden. Diese Prüfung wurde in das, bisher hauptsächlich für die Steuergerätediagnose verwendete Diagnose-Assistenz-System eingebettet. Das hier vorgestellte Prinzip, soll in Zukunft auch für die geführte Diagnose bei weiteren Geräuschbeanstandungen angewandt werden.

Do. 14:00    Raum 47.02

Fluglärm

### **Lärm in der Flugzeugkabine und seine Wirkung auf den Passagier**

S. Buss und R. Weber

*Universität Oldenburg*

In einer Zeit zunehmenden Flugverkehrs spielt der Komfort der Passagiere in der Flugzeugkabine eine größere Rolle. Verschiedene Umgebungsfaktoren wirken sich auf den Komfort aus. Dazu zählen neben Klima, Luftqualität, Sitzkomfort und Service auch die Geräusche in der Flugzeugkabine. Die aerodynamisch erzeugten Geräusche bilden zusammen mit den Geräuschen von Triebwerk und Klimaanlage die dominierenden Schallfeldanteile in der Kabine.

In zwei Simulatoren wurden Flüge simuliert. Dabei wurde bei variierten Umgebungsfaktoren Schallpegel, Temperatur und Luftfeuchtigkeit mit Hilfe von Fragebögen der Passagierkomfort ermittelt. Es wurden sowohl die Wahrnehmung der Umgebungsvariablen, der Komfort sowie das Wohlbefinden der Passagiere erfragt.

Im Vortrag wird speziell der Einfluss verschiedener Schallpegel in den Flugzeugkabinensimulatoren auf die Passagierantworten im Fragebogen vorgestellt. Dabei werden die Bewertungen des Schalls und des Komforts berücksichtigt sowie das von den Passagieren beurteilte Wohlbefinden.

Do. 14:25 Raum 47.02

Fluglärm

**Vergleich der Auswirkung vibroakustischer Einflussgrößen auf Kabinen-Personal in realen und Simulator-Flügen**N. Freese, I. Baumann und V. Mellert*Universität Oldenburg*

Im Rahmen des EU-geförderten HEACE-Projekts ([www.heace.org](http://www.heace.org)) wurden Experimente zu den möglichen Auswirkungen von Umweltparametern am Arbeitsplatz auf die Crew von Verkehrsflugzeugen durchgeführt. Ziel des Projektes war die Entwicklung eines "human response models".

Die Experimente wurden sowohl in Simulatoren als auch in realen Langstrecken-Flügen durchgeführt.

Neben physikalischen Parametern wie zum Beispiel Schall / Vibrationen, Luftqualität und -temperatur wurden zusammen mit Projektpartnern Daten von Versuchspersonen durch physiologische Messungen (wie z.B. Cortisol-Spiegel und Herzfrequenz) und durch Fragebögen erhoben.

Verschiedene Indikatoren wurden durch statistische Methoden aus den erhobenen Daten entwickelt. Sie sind Bestandteil des sich in der Entwicklung befindlichen umfassenden Modells zur Vorhersage menschlicher Reaktion auf Umweltparameter in Flugzeuginnenräumen.

Vorgestellt wird ein Vergleich der Resultate aus den vibroakustischen Daten der realen Flüge mit denen der Simulationsversuche.

Do. 14:50 Raum 47.02

Fluglärm

**Vibro-acoustical conditions for cockpit and cabin crew during long-haul flights**M. Bellmann<sup>a</sup>, H. Remmers<sup>a</sup> und A. Röder<sup>b</sup><sup>a</sup>*Institut für technische und angewandte Physik - itap GmbH;*<sup>b</sup>*EADS Deutschland GmbH*

The environmental conditions (e.g., vibro-acoustical condition) were measured during 12 long-haul flights in the context of the EU project HEACE. The measurements were conducted at the working places of cockpit and cabin crew. However, one main output of the HEACE project is the generation of a Human Response Model - based on ANN (Artificial Neural Network) and statistical approaches - which obtain as input not only the environmental parameters but also additional information from questionnaires and medical data evaluations. First, this study gives an overview

about the above mentioned measurement campaign. The analysis of the environmental recordings is presented thereafter where we are concentrated on the vibro-acoustic aspects. Furthermore, a developed calculation procedure for generating a representative vibro-acoustic input vector for ANN and statistical approaches is shown. One major part of the calculation procedure is the data mining because more than 10 GB of vibro-acoustic were recorded. Additionally, the calculation procedure of the input vector based on psycho-acoustical and -physical aspects. That means that the preprocessing of vibro-acoustic data regards in some kind the human frequency and level resolution of loudness and vibration perception as well as the sensitivity of roughness and sharpness by the auditory system. The length of the ANN input vector is upward/downward sizeable depending on the amount of information included in the time signals, which has perceptual relevance during validation. [HEACE is funded by the European Community under the 'Competitive and Sustainable Growth' Program, Project Nr. GRD1-2001-40118.] Präsentation wird auf deutsch gehalten.

Do. 15:15    Raum 47.02

Fluglärm

### **Standardisierte akustische Quellendaten für Fluglärmrechnungen (SAND)**

W. Krebs<sup>a</sup>, M. Balmer<sup>b</sup> und E. Lobsiger<sup>c</sup>

<sup>a</sup>EMPA (CH) - Materials Science & Technology; <sup>b</sup>Bundesamt für Umwelt - BAFU; <sup>c</sup>Lobsiger Consulting

Die Ergebnisse von Fluglärmrechnungen, welche mit unterschiedlichen Programmen durchgeführt wurden, weichen oft markant voneinander ab. Den größten Einfluss auf die resultierende Belastung haben dabei die den einzelnen Flugzeugtypen zugeordneten akustischen Quellendaten. Die von Berechnungsprogrammen verwendeten Quellendaten sind jedoch meistens programmspezifisch und können wegen den unterschiedlichen Datenstrukturen nicht ohne Weiteres miteinander verglichen oder gar von anderen Programmen verwendet werden. Um sicher zu stellen, dass Fluglärmrechnungen, welche mit unterschiedlichen Rechenverfahren durchgeführt werden, gleichwertige Ergebnisse liefern, hat das Bundesamt für Umwelt BAFU die Entwicklung eines zentralen, nicht programmspezifischen Datensatzes in Auftrag gegeben (siehe folgenden Beitrag von M. Balmer et al., SAND: Empfehlung Fluglärmrechnungsverfahren). Mit dem neu entwickelten Quellendatensatz SAND (Swiss Aircraft

Noise Database) werden die für Fluglärmberechnungen relevanten akustischen Kennzahlen in einer allgemeinen, maschinenlesbaren Form bereitgestellt. Der Datensatz wurde unabhängig von real existierenden Berechnungsprogrammen entwickelt und enthält alle für eine Fluglärmberechnung erforderlichen akustischen Kennzahlen. In der bereitgestellten Form können die Daten nicht direkt mit real existierenden Rechenverfahren verwendet werden. Vielmehr sollen mit Hilfe der vorgegebenen Kennzahlen die in einzelnen Programmen eingesetzten Quellenmodelle derart modifiziert und kalibriert werden, dass mit den zum jeweiligen Rechenverfahren gehörenden Datensätzen die vorgegebenen Kennzahlen möglichst genau wiedergegeben werden. Die Struktur und Darstellungsform der Quelldaten werden vorgestellt und es werden einzelne Beispiele präsentiert.

Do. 15:40    Raum 47.02

Fluglärm

### **Swiss Aircraft Noise Database (SAND) als Teil der Empfehlung für Fluglärmberechnungsverfahren**

M. Balmer<sup>a</sup>, F. Abbühl<sup>a</sup>, D. Hiltbrunner<sup>b</sup> und W. Krebs<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Bundesamt für Umwelt - BAFU; <sup>b</sup>Bundesamt für Zivilluftfahrt - BAZL; <sup>c</sup>EMPA (CH) - Materials Science & Technology

Fluglärmimmissionen werden gemäß schweizerischer Lärmschutz-Verordnung (LSV) grundsätzlich rechnerisch ermittelt. Dies schließt eine Ermittlung via Messungen zwar nicht vollkommen aus, dennoch kommt der Berechnung ein großer Stellenwert zu. Die LSV übergibt dem Bundesamt für Umwelt BAFU die Aufgabe, geeignete Berechnungsverfahren zu empfehlen. Die Arbeitsgruppe zur Ausarbeitung einer entsprechenden Empfehlung geht von folgender Ausgangslage aus: Berechnungen werden heute mit den beiden Programmen FLULA der EMPA sowie dem IMMPAC durchgeführt, einer unabhängigen Entwicklung des Physikers E. Lobsiger. Keines von beiden gilt als schweizerisches Referenzprogramm. U.A. werden folgende Zielsetzungen für die Empfehlung angestrebt: Unter Beachtung der Methodenfreiheit soll kein Referenzverfahren festgelegt werden. Aus Gründen der Vollzugskontinuität sollen die beiden Programme FLULA und IMMPAC Eingang in die Empfehlung finden. Darüber hinaus sollen genormte Verfahren aufgenommen werden. Damit soll die Möglichkeit Fluglärmimmissionen zu berechnen, nicht von staatlicher Seite auf zwei Büros begrenzt werden. Um die Gleichwertigkeit verschiedener Verfahren bzw. Programme in

Bezug auf rechtlich relevante Ergebnisse sicher zu stellen, wurden mit der standardisierten Testumgebung SANCTE verschiedene Programme miteinander verglichen. Die Bereitstellung von standardisierten akustischen Quelldaten Swiss Aircraft Noise Database SAND als zwingend notwendiger Teil der Empfehlung für Fluglärmberechnungsverfahren ergab sich als ein Fazit aus diesen Vergleichsrechnungen. Siehe Beitrag von W. Krebs et al. (vorhergehender Vortrag um 15:15 Uhr)

Do. 16:05    Raum 47.02

Fluglärm

### **Lärmbelästigung und Lebensqualität im Umfeld des Frankfurter Flughafens**

D. Schreckenberga, M. Meisb und U. Felscher-Suhr<sup>a</sup>

<sup>a</sup>ZEUS GmbH; <sup>b</sup>Hörzentrum Oldenburg GmbH

Im Zuge der Ausbauplanungen des Frankfurter Flughafens wurden die Auswirkungen von Flugverkehrsgeräuschen auf Belästigung, Wohn-, und Umweltqualität sowie gesundheitsbezogener Lebensqualität im Umfeld des Frankfurter Flughafens untersucht. Die Feldstudie wurde im Auftrag des Regionalen Dialogforums Flughafen Frankfurt durchgeführt. Zu den untersuchten Fragestellungen zählen die Auswirkungen des Fluglärms auf diese Variablenkomplexe im Sinne von Dosis-Wirkungs-Beziehungen; der Einfluss des Berechnungsverfahrens (100/100-Methode vs. Realverteilung) auf die Pegel-Belastigungsbeziehung; die Identifikation lärmsensibler Tageszeiten und die Erwartungen zum Flughafenausbau.

2312 Anwohner des Frankfurter Flughafens wurden im Zeitraum April bis Jahresende 2005 in persönlichen Interviews zu ihren Wohn- und Lebensbedingungen befragt. Ein Teilsample von 200 Probanden nahm an einer "Vertiefungsstudie" teil, in der vier Tage mehrmals am Tag die Fluglärmbelästigung und jeden Morgen die Schlafqualität protokolliert wurde. Für alle Probanden wurden individuelle Immissionspegel durch Flug-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche bestimmt.

Es konnten Unterschiede in Abhängigkeit der Flugverkehrsgeräuschbelastung im psychischen Wohlbefinden und dem Beschwerdedruck gefunden werden, die aber nicht im Sinne von Dosis-Wirkungs-Beziehungen zu interpretieren sind. Der nächtliche Fluglärm hingegen beeinflusst pegelabhängig die subjektive Schlafqualität und Einschlafdauer. Die für die Lärmbelästigung aufgestellte Dosis-Wirkungskurve liegt über der metaanalytisch gewonnenen Dosis-Wirkungskurve von Miedema & Oudshoorn

(2001), entspricht aber Ergebnissen neuerer Lärmwirkungsstudien. Eine erhöhte Lärmbelastung bei gleichem Pegel konnte für Nachtrandzeiten ermittelt werden. Die erwarteten Veränderungen durch den Flughafenausbau hängen eng mit der aktuellen Lebensqualität und der Fluglärmbelastung zusammen. Je nach verwendetem Berechnungsverfahren unterscheiden sich die Pegel-Belastungsbeziehungen statistisch signifikant bei allerdings geringer Effektstärke. Insgesamt können beide Verfahren (100/100-Methode vs. Realverteilungsverfahren) nicht als ungeeignet zur Beschreibung von Dosis-Wirkungs-Beziehungen verworfen werden.

Do. 8:30 Raum 47.03

Lärmschutz II

### **Vorschläge zur Verschärfung der Lärmgrenzwerte von Verkehrsflugzeugen**

T. Myck<sup>a</sup> und B. Vogelsang<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Umweltbundesamt; <sup>b</sup>Niedersächsisches Umweltministerium

Die zulässigen Geräuschemissionen von Luftfahrzeugen sind international im Anhang 16, Band I, zum Luftfahrtabkommen der Internationalen Zivilluftfahrt-Organisation ICAO geregelt. Die ICAO hat im Jahr 2001 eine Verschärfung der Lärmgrenzwerte für zivile Unterschall-Strahlflugzeuge und schwere Propellerflugzeuge beschlossen. Es wurde ein Lärmgrenzwert festgelegt, der 10 dB unter der Summe der im Kapitel 3 des ICAO-Anhangs 16 festgelegten drei Lärmgrenzwerte liegt. Die Lärmgrenzwerte gelten für neue Luftfahrzeugmuster, die ab dem 1. Januar 2006 zugelassen werden. Diese Luftfahrzeuge werden allgemein als Kapitel-4-Flugzeuge bezeichnet, weil die Lärmvorschriften in einem neuen Kapitel 4 des ICAO-Anhangs 16 festgelegt sind.

Die Kapitel-4-Lärmgrenzwerte werden bereits heute von zahlreichen Luftfahrzeugen erreicht bzw. unterschritten. Um trotz eines weiter deutlich zunehmenden Luftverkehrs zukünftig eine Verringerung der Fluglärmbelastung an den Flughäfen zu erzielen, ist eine Verschärfung der Lärmgrenzwerte für strahlgetriebene Verkehrsflugzeuge dringend notwendig. Das Umweltbundesamt hat deshalb ein Forschungsvorhaben an das Öko-Institut e.V. vergeben, in dem fundierte Vorschläge zur Fortschreibung der Lärmgrenzwerte für diese Flugzeuge erarbeitet werden sollten. Das Vorhaben hat insbesondere ergeben, dass mittelfristig eine Herabsetzung des neuen Kapitel-4-Lärmgrenzwerts um bis zu 22 dB technisch realisierbar ist. Die Auswirkungen der vorgeschlagenen Grenzwertabsenkung auf die Fluglärmsituation an Flughäfen

mit unterschiedlichem Verkehrsaufkommen und verschiedenem Flugzeugmix werden vorgestellt.

Do. 8:55 Raum 47.03

Lärmschutz II

### **Zur angeblich drastischen Minderung der Schutzwirkung von persönlichen Gehörschutzmitteln bei Verkürzung der Tragezeit**

H. Strasser

*Universität Siegen, Arbeitswissenschaft/Ergonomie*

Persönliche Gehörschutzmittel, die z.B. eine Dämmwirkung von 30 dB besitzen und einen gefährlichen Tages-Lärmexpositionspegel von 110 dB(A) auf einen, für das Gehör erträglichen Restschallpegel von 80 dB(A) reduzieren, weisen nach den Prognosen von nationalen und internationalen Normen (z.B. VDI 2560, DIN EN 458, AS/NZS 1269, NIOSH, 1998) angeblich gravierende Schutzverluste auf, wenn sie nur kurze Zeit in einer 8-h-Schicht nicht getragen werden. Eine Tragepause von nur 5 min schwäche die Wirkung bereits um mehr als 10 dB und 1 h führe zu einer Restschutzwirkung von gerade noch 9 dB. Bei Gehörschutzmitteln mit einer geringeren Dämmwirkung hielten sich die Schutzverluste dagegen eher in Grenzen. Gehörschutz mit einer, heute durchaus erzielbaren Dämmwirkung von 35 dB wird dagegen absurder Weise noch schlechter eingestuft. Die angeblichen Verluste der Dämmwirkung sind übrigens unabhängig vom Tages-Lärmexpositionspegel. Die prognostizierten drastischen Schutzverluste stützen sich einzig und allein auf mathematische Berechnungen und die Energie-Äquivalenz, ein Paradigma, das aus ergonomischer Sicht der Problematik keineswegs angemessen ist. Mit beispielhaften Plausibilitäts-Berechnungen und signifikanten Ergebnissen aus experimentellen Trageversuchen unter Lärmbelastung wird gezeigt, dass diese unreflektierte, geradezu "blinde" Anwendung eines physikalischen Prinzips, das auf der Dosismaxime und dem Halbierungsparameter  $q = 3$  beruht, zu Fehlinterpretationen führt und nicht im Sinne von Herstellern und Nutzern von wirklich guten Gehörschutzmitteln sein kann. Persönlicher Gehörschutz verspricht zwar mitunter mehr, als er halten kann, bzw. das was nach Normen und Richtlinien an Schutzwirkung ausgewiesen wird, fällt eher zu hoch aus. Andererseits sollte aber die bei seriöser Betrachtung real vorhandene Schutzwirkung von wirklich guten Gehörschutzmitteln nicht "schlecht geredet" werden.



Do. 9:20 Raum 47.03

Lärmschutz II

**Geräusche von Trendsportanlagen - Beachvolleyball, Bolzplätze, Inline-Skaterhockey und Streetball**C. Fend<sup>a</sup> und A. Wellhöfer<sup>b</sup><sup>a</sup>ACCON GmbH; <sup>b</sup>Bayerisches Landesamt für Umwelt

Immer wieder entwickeln sich neue Sportarten. Städte und Gemeinden wollen diesen Trends folgen und ihren Jugendlichen entsprechende Sportplätze zur Verfügung stellen. Damit diese Anlagen in der Nachbarschaft nicht zu unverträglichen Immissionen führen, sind bereits im Planungsstadium schalltechnische Prognoseberechnungen notwendig. Häufig gibt es dafür jedoch keine oder nur wenige Angaben zu Geräuschemissionen. Daher wurden im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umwelt und mit Finanzierung durch das Bayerische Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz die Geräuschemissionen für verschiedene Trendsportarten ermittelt.

Das Untersuchungsvorhaben wird vorgestellt. Die Messungen, Erhebungen und Auswertungen werden erläutert und die ermittelten Emissionskennwerte und deren maßgebliche Einflussgrößen diskutiert. Eine Vorgehensweise zur Ermittlung eines effektiven Impulshaltigkeitszuschlags KI\* wird vorgestellt, die die bei Messungen nach 18. BImSchV in der Praxis auftretenden Schwierigkeiten (kein Impulshaltigkeitszuschlag für die Geräusche der menschlichen Stimme) umgehen kann. Abschließend werden Hinweise für die Beurteilung gegeben und mögliche Lärmschutzmaßnahmen aufgezeigt.

Do. 9:45 Raum 47.03

Lärmschutz II

**Lärminderung durch Photovoltaiksysteme auf Schießständen**E. Buchta*Institut für Lärmschutz, Düsseldorf*

Bei der Suche nach geeigneten Standorten für Photovoltaiksysteme (PV-Systeme) bieten sich auch Schießstände an. Schießstände haben den Vorteil, dass keine weiteren Sicherungsmaßnahmen für die PV-Systeme erforderlich sind. Gleichzeitig steht eine große Fläche zur Verfügung (z.B. Schießstand Typ C mit einer Fläche von ca. 33 m Breite und 300 m Länge ergibt eine Fläche von ca. 9.900 m<sup>2</sup>). Das gesamte Photovoltaiksystem ist für Wartungsarbeiten leicht zugänglich. Die baulichen Veränderungen eines Schießstandes durch ein zusätzliches PV-System ziehen auch Änderungen in der Akustik nach

sich. Durch früher vorgenommene Deckelung der Schießstände (Rasterdecken) konnte bereits eine deutliche Dämpfung der Schießgeräusche nachgewiesen werden /1/. Daher ist auch bei der Erweiterung des Schießstandes um ein Photovoltaiksystem mit einer Dämpfung zu rechnen. Im Vortrag wird eine Prognose der zu erwartenden Dämpfungen gegeben.

/1/ Buchta, E.; Hirsch, K.-W.: 'Optimierung der Schallminderung von Rasterdecken an Schießständen' Fortschritte der Akustik, Wien 1990, S. 525-528

Do. 10:10 Raum 47.03

Lärmschutz II

### **Lärmminderung durch Temporeduzierung**

S. Langner

*KSZ Ingenieurbüro GmbH*

Zur Verringerung der Lärmbelastung in einer innerstädtischen verkehrsbelasteten Straße mit enger geschlossener Randbebauung wurde aufgrund von Beschwerden der Anwohner Tempo 30 angeordnet. In dieser Straße werden Kfz-Verkehr und Straßenbahnverkehr auf einer gemeinsamen Fahrbahn geführt. Die Anwohner beschwerten sich vor allen über die Schallimmissionen vorbeifahrender Straßenbahnen. Aufgrund der gegenseitigen Beeinflussung von Straßenbahnen und Kfz-Verkehr sowie durch beidseitig parkende Kfzs weichen die realen gefahrenen Geschwindigkeiten von den zulässigen Höchstgeschwindigkeiten ab. Es sollte deshalb meßtechnisch die Wirksamkeit der Tempo 30 - Anordnung überprüft werden und mit den theoretischen möglichen Minderungen verglichen werden. Die Auswertung erfolgte gesondert für Straßenbahnen und Kfz-Verkehr sowie für beide Verkehrsmittel zusammen. Dieser Vortrag zeigt die Durchführung und die Ergebnisse dieser Untersuchung auf.

Do. 14:00 Raum 47.03

Lärmschutz II

### **Abschirmung von Baustellenlärm durch Schallschirme aus Folien und Membranen**

I. Haltenorth<sup>a</sup>, L. Weber<sup>a</sup>, P. Leistner<sup>a</sup> und S.-R. Mehra<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Fraunhofer-Institut für Bauphysik; <sup>b</sup>Lehrstuhl für Bauphysik, Universität Stuttgart

Zur Minderung von Baustellenlärm kommen neben Maßnahmen an den Emittenten auch temporäre Maßnahmen auf dem Ausbreitungsweg oder am Immissionsort in Frage. Da der Geräuschpegel vieler Baumaschinen und -geräte in den vergangenen Jahren erheblich abgesenkt wurde, ist hier nur noch ein geringes

Verbesserungspotenzial vorhanden. Maßnahmen am Immissionsort (z.B. Schallschutzfenster) sind zumeist aufwändig und wenig praktikabel. Daher wurden an der Universität Stuttgart und dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik im Rahmen eines Forschungsvorhabens neuartige Abschrirmeinrichtungen zur Minderung von Baulärm auf dem Ausbreitungsweg untersucht. Für den Einsatz auf Baustellen müssen die Einrichtungen flexibel, montagefreundlich, kostengünstig und robust sein.

Schallschirme aus Folien und Membranen erfüllen diese Anforderungen. Aufgrund ihrer geringen Masse erfolgt neben der Schallbeugung jedoch auch ein Schalldurchgang durch die Wandung der Schirme, der ihre Wirksamkeit unter Umständen beeinträchtigen kann. Aus diesem Grund wurde die Abschrirmwirkung von Schallschirmen aus Folien und Membranen unter verschiedenen Einsatzbedingungen näher untersucht. Die Untersuchungen erfolgten sowohl durch rechnerische Simulation als auch durch akustische Messungen in Prüfständen, im Freien und auf Baustellen. In dem Vortrag wird über den erstmaligen praktischen Einsatz von aufblasbaren Schallschirmen aus Membranen auf Baustellen berichtet. Des Weiteren wird die akustische Wirkung der Schirme mittels Messungen und Tonaufnahmen mit einem Kunstkopf dokumentiert.

Do. 14:25    Raum 47.03

Lärmschutz II

### **Minischallschutzwände - Ökologischer Vergleich von Systemen aus Kunststoff und Beton**

S. Albrecht, B. Wittstock und M. Fischer

*Lehrstuhl für Bauphysik, Universität Stuttgart*

Lärmschutzmaßnahmen sind aufwändig und ziehen häufig Beeinträchtigungen, wie die Abschattung von Grundstücken, nach sich. Um diese Beeinträchtigungen gering zu halten werden im Bereich des Schienenverkehrs Minischallschutzwände eingesetzt und weiterentwickelt. Ziel ist, die Lärmemissionen direkt an der Entstehungsstelle, dem Rad-Schiene-Bereich, zu mindern. Die Minischallschutzwand ist direkt neben dem Gleiskörper montiert und soll möglichst viel des im unteren Zugteil entstehenden Luftschalls absorbieren. Sie bietet auf Grund ihrer geringen Höhe von ca. 50 cm zudem die Möglichkeit neben schweren Werkstoffen wie Beton oder Glas, wie sie bei herkömmlichen Schallschutzwänden eingesetzt werden, Kunststoff als Konstruktionsmaterial einzusetzen. Ein weit verbreiteter Einsatz bedingt einen hohen Material- und Energieeinsatz durch Herstellung, Montage, Transport und Verwertung, was neben der Re-

duktion der Schallemissionen andere Einflüsse auf die Umwelt mit sich bringt. Diese Einflüsse können mit der Methode der Ökobilanz quantifiziert werden. Die Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung vergleicht zwei Systeme aus Beton und Kunststoff mit der Methode der Ökobilanz durch ökologische Analyse der Herstellungsphase, der Transporte, der Montage, der Nutzungsphase sowie der Verwertungsphase hinsichtlich der ökologisch relevanten Wirkungskategorien Treibhauspotential, Versauerungspotential, Überdüngungspotential, Chemisches Photooxidantienbildungspotential ("Sommersmog") sowie des Primärenergieverbrauchs, um die umweltlichen Vor- und Nachteile der konkurrierenden Systeme beurteilen zu können. Der Vergleich wird dabei gemäß der Ökobilanzrichtlinie bezogen auf die Erfüllung derselben Funktion, die im Lastenheft mit der Reduktion des Luftschalls um mindestens 5 dB(A) angegeben ist, geführt. Dies bildet die Grundvoraussetzung für den objektiven umweltlichen Vergleich. Der Vortrag beschreibt die methodische Vorgehensweise sowie die umweltrelevanten Aufwendungen und die resultierenden Umweltauswirkungen der beiden Schallschutzsysteme im Vergleich.

Do. 14:50 Raum 47.03

Lärmschutz II

### **Lärmhypothek: Anreizsystem zur Lärmreduktion**

J. Menk, H. Bögli, F. Abbühl und A. Hauser

*Bundesamt für Umwelt - BAFU*

Verkehrsinfrastrukturen verursachen häufig übermäßig Lärmimmissionen. In der Schweiz sind mehrere hunderttausend Personen über dem Immissionsgrenzwert (IGW) belastet. Auch nach Abschluss der Sanierungen der Verkehrsanlagen werden übermäßige Lärmimmissionen bei sämtlichen Verkehrsträgern verbleiben. Einer der Gründe dafür ist, dass das Umweltschutzgesetz (USG) und die Lärmschutz-Verordnung (LSV) die Möglichkeit der Gewährung von Erleichterungen bei den Lärmschutzauflagen vorsehen, wenn Maßnahmen zur Lärmreduktion unverhältnismäßig wären oder ihr gewichtigere Interessen des Ortsbild-, Natur- und Landschaftsschutzes oder der Verkehrs- und Betriebssicherheit entgegenstehen.

Erleichterungen könnten zwar zeitlich begrenzt gewährt werden, doch kommt dies in der Praxis kaum zur Anwendung, so dass aus umweltrechtlicher Sicht für den Verursacher keine weiteren Anreize mehr bestehen, den Lärm zu vermindern.

Eine abschreckende Wirkung für Lärmverursacher können die insbesondere beim Fluglärm zur Diskussion stehenden Entschädigungszahlungen für lärmbelastete Immobilien haben. Die Entschädigungszahlungen werden aufgrund des Enteignungsrechts ausgerichtet und müssen in jedem einzelnen Fall eingeklagt werden. Mit einer vollumfänglichen Entrichtung der Entschädigungen besteht aber für den Lärmverursacher in diesem Bereich kein wirtschaftlicher Anreiz mehr, seine Lärmemissionen zu verringern, obwohl die Bevölkerung weiterhin vom Lärm betroffen ist.

Eine Lösung wäre der Einsatz von wirtschaftlichen Instrumenten, welche eine Verringerung oder Vermeidung von Lärm grundsätzlich bezahlt machen. So könnte Lärm bzw. Ruhe im übertragenen Sinn als Hypothek betrachtet werden, da der Lärmverursacher das Gut "Ruhe" von den Lärmbetroffenen ausleiht. Die Lärmhypothek könnte nur durch eine Verminderung der Lärmbelastung 'zurückzahlbar' werden, wobei die Betroffenen das Recht hätten, diese zu verzinsen. Damit würde ein zusätzlicher Anreiz zur Lärmreduktion geschaffen, und die Betroffenen würden für die erduldete Lärmbelastung entschädigt.

Do. 15:15 Raum 47.03

Lärmschutz II

### **Drehklangarme Axialventilatoren durch Optimierung konstruktiver Parameter**

W. von Heesen

*Müller-BBM GmbH*

Das Betriebsgeräusch von Axialventilatoren wird dominiert von ausgeprägten harmonischen Einzeltönen, die durch Interferenz zwischen den rotierenden Laufschaufeln und den ortsfesten Leit-schaufeln verursacht werden (interaction noise). Die Drehklangkomponenten breiten sich in angeschlossenen zylindrischen Rohrleitungen in Form von sogenannten 'spinning modes' aus. Durch geeignete Wahl der Parameter Laufschaufelzahl, Leit-schaufelzahl, Drehzahl und Kanaldurchmesser ist es möglich, die Cuton-Frequenz der vom Ventilator erzeugten Moden über die Signalfrequenz zu heben. In diesem Fall wird die Schallenergie mit zunehmendem Abstand vom Ventilator exponentiell gedämpft. Die grundlegende Theorie wird kurz dargestellt und es wird ein Optimierungsverfahren beschrieben. Anhand eines Versuchsventilators wird das Verfahren experimentell verifiziert. Dabei werden durch geringfügige Drehzahländerungen Pegelmin-derungen von 20 dB beim Drehklanggrundton und 15 dB beim ersten Oberton erreicht. Darüberhinaus wird die Wirksamkeit des

Verfahrens an weiteren Beispielen aus der Praxis gezeigt. Bei einem großen Industrieventilator mit einer Antriebsleistung von 2,3 MW und einem Laufraddurchmesser 2,9 m wurde durch geeignete Wahl der Laufschaufelzahl eine Minderung des Drehklanggrundtons bei 100 Hz um mehr als 40 dB erreicht.

Do. 15:40 Raum 47.03

Lärmschutz II

### **Diffuse Noise Field Generation Using a Minimum Number of Loudspeakers**

F. Prasetyo

*DaimlerChrysler AG*

Diffuse noise field simulation is of interest as one component for recreating complex noise scenarios, as e.g., for vehicle cabins or airplane cabins. In the first part of this contribution we discuss the definition of diffuse noise fields and measurement methods for verifying their properties. In the second part we discuss methods for reproducing approximately diffuse noise fields by a minimum number of loudspeakers including ongoing research on in-car noise simulation.

Diffuseness of noise field can be defined by its homogeneous pressure, its zero intensity vector and its sinc-shaped coherences inside the area of interest. Measurements inside running cars confirm that the in-car background noise can stand as an example of a diffuse noise field.

Ideally, generating diffuse sound fields calls for the superposition of infinitely many plane waves. In practice, the reproduction methods aims at reproducing noise fields which approximate homogeneous sound pressure, zero intensity vector and sinc-shaped coherence. The problem of reproducing homogenous sound pressure and the zero intensity vector can be solved intuitively by distributing the loudspeaker evenly surrounding the area of interest and by using uncorrelated noise sources. The coherence's sinc-shape, however, cannot be solved intuitively. For simplification, only the 2-D case, i.e. reproduction in a plane, is considered. Analytical calculation shows that to get sinc-shaped coherence at small distances, few loudspeakers suffice. It can also be shown that spherical waves can be used to reproduce a diffuse noise field.

Do. 16:05 Raum 47.03

Lärmschutz II

**Passiver Schallschutz: Erfassung und Darstellung passiver Schallschutzmaßnahmen an großen europäischen Verkehrsflughäfen**H. Arps*Öko-Institut e. V., Darmstadt*

Das Thema passiver Schallschutz an Flughäfen nimmt im Rahmen der Diskussionen zum Lärmschutz eine wichtige Stellung ein und wird zukünftig, aufgrund der einheitlich prognostizierten Wachstumsraten im Luftverkehr, vermutlich noch an Bedeutung gewinnen. Die Recherche, Erfassung und Darstellung passiver Schallschutzmaßnahmen umfasst den aktuellen Stand zu Förderprogrammen an insgesamt 23 europäischen Flughäfen. Zum ersten Mal liegt damit eine Dokumentation vor, die einen Vergleich zwischen den unterschiedlichen Methoden, Kriterien und Maßstäben zur Umsetzung der Förderprogramme ermöglicht, um z.B. Anhaltspunkte für die Ausgestaltung zukünftiger Schallschutzprogramme zu erhalten. Die Studie beschreibt für jeden ausgewählten Flughafen nach Möglichkeit eine Darstellung zum aktuellen Stand des passiven Schallschutzes, über den Charakter des Schutzprogramms (freiwillig, Gesetzesauflage etc.), über die Form der konkreten Umsetzung sowie Ausgestaltung und beschreibt den definierten Schutzstatus (Schutzgebiet und Schutzziel).

Der Stand zur Umsetzung sowie Planung der Förderprogramme variiert an den betrachteten Standorten sehr stark untereinander. Während an einzelnen Flughäfen für Schutzmaßnahmen kein Bedarf gesehen wird bzw. kein Programm geplant ist, sind an anderer Stelle differenzierte Lärmschutzkonzepte entwickelt und umgesetzt worden. Für die internationalen Verkehrsflughäfen in Deutschland sind fast durchgängig über das (veraltete) Fluglärmggesetz hinausgehende Regelungen getroffen worden. Die Regelungen basieren teilweise auf freiwilligen Programmen, teilweise auf Vorgaben durch die zuständigen Behörden oder Gerichte. Die definierten Richtwerte unterscheiden sich ebenso je nach Flughafen. Hinsichtlich der verwendeten Methoden (z.B. Darstellung der Betriebsrichtungsverteilung, Berücksichtigung Bodenschall) zur Bemessung der Schutzprogramme existieren ebenso deutliche Unterschiede. Die Flughäfen im europäischen Ausland weisen ebenso ein sehr differenziertes Bild auf.

Do. 8:30 Raum 47.05

Lärmwirkung

**Geräuschbelastung von Musiklehrern**R. Paulsen*Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz - BGIA*

Musiker gehören zu einer Berufsgruppe, die das Risiko einer arbeitsbedingten Lärmschwerhörigkeit hat. Musik wird zwar üblicherweise nicht als Lärm empfunden, trotzdem können die zum Teil sehr hohen Schalldruckpegel auf Dauer das Gehör schädigen. Gleichzeitig erfordert das Musizieren ein gutes und genaues Gehör, was persönliche Schutzmaßnahmen (Gehörschutz) schwierig macht. Nicht nur Orchestermusiker sind regelmäßig hohen Geräuschbelastungen ausgesetzt, sondern auch Musiklehrer im Einzel- oder Gruppenunterricht an Musikschulen und Konservatorien. Dabei ist noch zu berücksichtigen, dass sie meistens auch noch außerhalb des Unterrichts musizieren, wenn sie in Orchestern oder Bands tätig sind. Berichtet wird über eine Reihe von personenbezogenen Messungen an Musiklehrern einer Musikschule. Gemessen wurde während der Unterrichtsstunden für eine Reihe von verschiedenen Instrumenten. Unterrichtet wurden Anfänger bis hin zu Fortgeschrittenen.

Do. 8:55 Raum 47.05

Lärmwirkung

**Hörschwellen von Jugendlichen und Geräuschbelastungen in der Freizeit**D. Schulz, K. Künzel und M. Schlaffke*Hochschule Mittweida (FH)*

Vor allem während der letzten zwei Jahrzehnte wird in einer großen Anzahl von Studien über eine Verschlechterung der Hörfähigkeit schon bei jungen Menschen berichtet. Diese Erscheinungen werden vor Allem mit veränderten Lebensbedingungen und Lebensgewohnheiten in Verbindung gebracht, bei Jugendlichen speziell mit Schallbelastungen im Freizeitbereich. In diesem Zusammenhang diskutiert man insbesondere den Einfluss von Diskothek- und Konzertbesuchen sowie das laute Musikhören über Kopfhörer, zum Teil auch mit kontroversen Ergebnissen und Schlussfolgerungen. Diese Aspekte waren auch Teil einer 1996 bis 2005 durchgeführten Längsschnittstudie mit Schülern der 7. - 10. Klasse einer Mittelschule. Mit Hilfe eines Hochtonaudiometers wurde jährlich die Entwicklung des Hörvermögens untersucht. Daneben sind mittels Befragung geräuschrelevante Aspekte des Freizeitverhaltens erhoben sowie Tendenzen und



Zusammenhänge ermittelt worden. Diese Untersuchungen werden durch ein derzeit laufendes studentisches Projekt ergänzt, bei welchem die Häufigkeit und die typischen Schalldruckpegel bei der Nutzung tragbarer Wiedergabegeräte bei Schülern und Studenten erfasst werden sollen.

Do. 9:20 Raum 47.05

Lärmwirkung

### **NOIDESc: Automatische Lärmbewertung von Zugsvorbeifahrten**

W. Deutsch

*Institut für Schallforschung, Wien*

Ziel des Projekts "NOIDESc" ist es, zusätzlich zu den auf gemittelten Pegelwerten basierenden Bewertungen von Lärmsignalen, automatisch berechenbare Deskriptoren zu finden, die dem subjektiven Eindruck der Ähnlichkeit der Schallereignisse nahe kommen. An einem typischen Immissionspunkt an einer häufig befahrenen Bahnstrecke wurden Tonaufnahmen über einen Zeitraum von ca. 3 Wochen (0 bis 24 Uhr) automatisch hergestellt und in einer Tondatenbank abgelegt. Mit Hilfe eines semiautomatischen Segmentierungsverfahrens wurden insgesamt ca. 18000 Schallereignisse extrahiert, wovon etwa 6000 auf Zugsvorbeifahrten fallen, ca. 12000 stammen vom Straßenverkehr. Neben den üblichen Schallereignisparametern wie LA,1, Dauer, Häufigkeitsverteilung usw. wurden u.a. folgende spektrale Kennwerte aus dem ereignisgemittelten Schmalbandspektrum berechnet: spektrales Zentroid, Slope, Skew, 1/3-Oktave-Bandpegel. Der zeitliche Verlauf wurde mittels des Spectral Flux und die Auswertung von Modulationsspektrogrammen beschrieben. Die PCA der 1/3 Oktav-Bandpegel ergibt eine überwiegende Komponente, die dem Über-Alles-Pegel entspricht und 2 weitere, die als spektrale Features interpretiert werden können. Nach den bisher bearbeiteten Daten zeigt sich als Hauptergebnis konsistent, dass neben Ereignisdauer und Intensität (Pegel) die hinreichende Beschreibung der spektralen Verteilung erforderlich ist. Zusätzlich sind Transients und Modulationseffekte einzubinden.

Do. 9:45 Raum 47.05

Lärmwirkung

**Temporäre Hörschwellenverschiebung durch Geräusche in einer Flugzeugkabine?**I. Baumann, N. Freese, B. Jütz und P. Rong*Universität Oldenburg*

Ist während eines 8-Stunden Fluges bei einer Dauergeräuschbelastung von etwa 74 dB(A) mit einer temporären Hörschwellenverschiebung zu rechnen? Diese Frage wurde in einer Teiluntersuchung während eines umfassenden Komfort- und Gesundheitstests in einem Flugsimulator im Rahmen des EU-Projekts ICE ([www.ice-project.eu](http://www.ice-project.eu)) untersucht. Dazu wurden bei ca. 80 Passagieren die individuellen Hörschwellen jeweils vor und nach einem simulierten "8-Stunden Flug" gemessen. Während des "Fluges" waren die Passagiere einer flugzeugtypischen Lärmbelastung von im Mittel 74 dB(A) ausgesetzt (ca. 60 Personen). Eine Kontrollgruppe (ca. 20 Personen) erfuhr während einer gleichen Flugdauer eine reduzierte Lärmbelastung von 64 dB(A). Die Messung der Hörschwellen wurde mit einem modifizierten Békésy-Verfahren auf handelsüblichen Notebooks (mit externer Soundkarte sowie geschlossenem Kopfhörer) in einem separaten ruhigen Raum (ca. 40 dB(A) Hintergrundpegel) durchgeführt. Das verwendete Verfahren zeichnet sich durch eine höhere Messgenauigkeit im Vergleich zu den Messungen mit handelsüblichen Audiometrie geräten aus. Die Ergebnisse der Untersuchung werden vorgestellt.

Do. 10:10 Raum 47.05

Lärmwirkung

**Integration von Lärmwirkungen in umweltliche Lebenszyklusanalysen**B. Wittstock, S. Albrecht, M. Fischer und J. Pflieger*Lehrstuhl für Bauphysik, Universität Stuttgart*

Die Umwelt als Lebensgrundlage und Basis einer Gesellschaft und Wirtschaft wird durch vielfältige Effekte beeinflusst und verändert. Mit der Methode der Lebenszyklusanalyse bzw. Ökobilanz werden Umwelteffekte eines Produktes, eines Prozesses oder einer Dienstleistung quantitativ über den gesamten Lebensweg von der Rohstoffgewinnung über die Produktion und Nutzung bis zur Verwertung dargestellt. Lärm stellt einen bedeutenden Umwelteffekt dar, der in Lebenszyklusanalysen bis heute

nur in wenigen Einzelfällen berücksichtigt wird. Bestehende Ansätze zur Integration von Lärmwirkungen in Lebenszyklusanalysen beschränken sich auf die Berücksichtigung von Straßenverkehrslärm als gesundheitliche Belastung für betroffene Personen, ausgedrückt durch eine zusätzliche Lärmbelastung je gefahrenem Transportkilometer. Die Lärmwirkungen werden hierbei häufig als "verlorene Lebensjahre" durch frühzeitigen Tod, Krankheit oder Unfall angegeben. Umweltwirkungen durch Lärm entstammen jedoch nicht ausschließlich dem Straßenverkehrslärm, sondern können Wirkungen durch eine Vielzahl nebeneinander bestehender Lärmquellen umfassen. Diese Wirkungen beschränken sich nicht auf Gesundheitsschädigungen, sondern stellen Störungen für Ökosysteme und für den Menschen ohne direkte (Gesundheits-) Schädigung dar. Eine große Herausforderung in der Quantifizierung und Bewertung von Umweltwirkungen durch Lärm stellt zum einen die starke Abhängigkeit des Schallereignisses von Ort und Zeit, zum anderen die Nichtlinearität des Schalls dar. Dies erschwert die Aggregation von Umweltwirkungen durch Lärm. Der Vortrag stellt dar, dass Lärm aufgrund seiner großen, auch volkswirtschaftlichen Bedeutung als Umwelteffekt auf einer allgemeingültigen Basis in die Methode der Lebenszyklusanalyse integriert werden sollte. Hierzu ist bestehendes Wissen aus dem Bereich der Lärmbewertung mit Wissen aus dem Bereich der Lebenszyklusanalyse zusammenzuführen.

Donnerstag Poster

Lärmwirkung

### **Impulslärmwirkungen: Hypoxieereignis und Organreaktion in Konformität mit Genregulation, Apoptose und biochemischen Parametern**

S. Siegmann, K. Siegmund und E. Borsch-Galetke

*Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin, Universität Düsseldorf*

Methode: Untersucht wurden Reaktionen von 25 Probanden auf Impulsschallbelastungen. Bestimmungsgrößen: Fingerpuls, Blutgase, Adrenalin, Noradrenalin und Magnesium im Plasma und Urin. Ebenso erfolgte eine Genprofilanalyse beschallter humaner Zellen. Ergebnisse: Mittels Genprofilanalyse lässt sich eine signifikante Aufregulation in den beschallten Zellen für HIF1A nachweisen, die als Antwort auf eine Hypoxie angesehen werden kann. Keine signifikante, aber eine "im Trend" messbare Aufregulation findet sich auch für das Gen VDR3, das im Zusammenhang mit einer "Vertäubung" zu sehen ist. Die gemessene Hypoxie kann über die Katecholaminwirkung und Beeinflussung

des Magnesiumtransportes erklärt werden: Die durch den Schalldruck ausgelöste Verschiebung des Magnesiums in den Extrazellarraum und der konsekutive Einstrom von Calcium in die Zelle führt neben einer Gefäßkonstriktion zu einem Abfall des Sauerstoffpartialdrucks im Blut. Die elektromechanischen Kopplungsprozesse bewirken einen erhöhten Verbrauch an Energie für die Aktivierung der Vesikel-/Membran-ATPase. Die Folge ist eine gerade im Bereich der Zellen sich einstellende energetische Erschöpfung an ATP mit nachfolgender Zellschädigung. Was den intrazellulären Transportmechanismus betrifft sind 7 Gene in den Zellkulturen nachzuweisen, die hierfür codieren und nach Belastung aufreguliert waren. Die erforderliche ATP-Resynthese erfordert zusätzlich Sauerstoff, die Hypoxie wird verstärkt. Die katecholamininduzierte Gefäßkontraktion führt ebenfalls zu einer Erniedrigung des Sauerstoffgehaltes in den Organen. Insbesondere die Zellen der Gefäßendothelien der Lunge reagieren auf Schalldruck empfindlich. Schlussfolgerungen: Das Wechselspiel der untersuchten und verändert objektivierten biochemischen Wirkparameter, welche zur Gefäßkonstriktion, zum Energieverbrauchs und Absinken des Sauerstoffpartialdruckabfalls führt und die signifikant nachweisbare genregulierte Hypoxie bei nur "trendmäßig regulierten Vertäubung", die insgesamt zu einem Organschaden führen können, kann mit diesem Modell beschrieben werden.

Donnerstag Poster

Lärmwirkung

## **Ein Fragebogen zum Erleben der akustischen Umwelt**

G. Notbohm

*Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin, Universität Düsseldorf*

Lärmempfindlichkeit wird als wichtiger Moderator von Lärmwirkungen angesehen und entsprechend per Fragebogen erfasst. In der Soundscape-Forschung werden Lärmereignisse aber als Ausschnitte aus der gesamten akustischen Umwelt mit ihren komplexen psychischen, sozialen und ökologischen Bezügen verstanden. Damit stellt sich die Frage, ob nicht auch die individuelle Disposition zu bestimmten Reaktionen auf akustische Ereignisse differenzierter zu betrachten ist.

Zur Überprüfung dieser Hypothese wurde unter testtheoretischen Gesichtspunkten eine Itemliste entwickelt und an einer Stichprobe von insgesamt 1.126 Personen überprüft. In der faktorenanalytischen Auswertung wurden vier Faktoren ermittelt, die sich wie folgt charakterisieren lassen: 'kritische Einstellung zu (Umwelt-)

Lärm', 'Aktivierung durch Musik', 'Lärmempfindlichkeit und Gestörtheit durch Lärm', 'Wertschätzung von Ruhe und natürlichen Lauten'.

Aus den individuellen Ausprägungen dieser Skalen ließen sich clusteranalytisch neun verschiedene Cluster gewinnen, die sich durch bestimmte Konstellationen dieser Faktoren als Typen akustischen Erlebens charakterisieren lassen, z.B. als 'emotional lärmgestört', 'musikbesessen' oder 'desinteressiert an der akustischen Umwelt'.

Die Faktoren wie auch die Cluster zeigen inhaltlich plausible Zusammenhänge mit den Angaben zu Verhaltensweisen und Empfindungen der Personen in ihrem akustischen Alltag. Eine weitere Validierung der Itemliste in zukünftigen Untersuchungen ist wünschenswert. Konzeptionell interessant ist auf jeden Fall die in den Faktoren angesprochene Multidimensionalität des Erlebens der akustischen Umwelt.

Donnerstag Poster

Lärmwirkung

### **Wirkungen von Nachhall und Hintergrundgeräuschen auf Sprachverständnis und kognitive Leistungen in verschiedenen Altersgruppen**

M. Klatte<sup>a</sup>, J. Bastian<sup>a</sup>, M. Meis<sup>b</sup> und B. Noack<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Universität Oldenburg, Institut für Psychologie; <sup>b</sup>Hörzentrum Oldenburg GmbH; <sup>c</sup>MediasPro Medientechnik GmbH

Die Fähigkeit zum genauen Hinhören und verstehenden Zuhören ist eine entscheidende Voraussetzung für das schulische und vorschulische Lernen. In Alltagssituationen wie dem Schulunterricht findet das Zuhören häufig unter ungünstigen Hörbedingungen wie Hintergrundgeräuschen und Nachhall statt. Das Sprachverstehen von Kindern wird durch solche Faktoren stärker beeinträchtigt als das Erwachsener. Die vorliegenden Studien erlauben jedoch keine Vorhersage über die Wirkungen spezifischer raumakustischer Bedingungen in verschiedenen Altersgruppen. Bei der Operationalisierung des Hörverstehens konzentrierte man sich sehr auf die Leistung beim Nachsprechen von Silben und Wörtern, d.h. auf die Informationsaufnahme. Wirkungen der Hörbedingungen auf die Speicherung und Verarbeitung der Information wurden kaum betrachtet. Auch diese Prozesse können durch ungünstige akustische Bedingungen beeinträchtigt werden. In einer experimentellen Studie werden die Wirkungen von Nachhall und Hintergrundgeräuschen auf das Verstehen, Behalten und Verarbeiten von sprachlicher Information in verschiedenen Altersgruppen geprüft. Die Datenerhebung erfolgt im

Kommunikations-Akustik-Simulator im Hörzentrum Oldenburg, in welchem die raumakustischen Charakteristiken realer Klassenräume simuliert werden. Erste Ergebnisse zu den Wirkungen der raumakustischen Bedingungen auf die Leistungen von Grundschulkindern und Erwachsenen werden berichtet.

Do. 14:00    Raum 47.05

Tieffrequenter Schall

### **Tiefe Frequenzen sind nicht gleich tiefe Frequenzen - Tieffrequente Geräuschanteile und deren (Lärm-)Wirkungen**

K. Genuit

*HEAD acoustics GmbH*

Die Bedeutung von tiefen Frequenzen auf das Wohlbefinden von Betroffenen erfährt aktuell eine berechtigte und zunehmende Aufmerksamkeit. Die akustische Umwelt weist auf Grund vielfältiger technischer Geräuschquellen wesentliche Beiträge im tieffrequenten Bereich auf. Zur Beurteilung des subjektiven Empfindens dieser Geräuschanteile stellt sich die Betrachtung der Schalldruckpegel der Terzspektren im tieffrequenten Bereich als unzureichend heraus. Vor allem der in der Regel verwendete A-bewertete Schalldruckpegel unterschätzt die Relevanz der tiefen Frequenzen für das subjektive Empfinden. Auch die Differenzbildung aus unterschiedlichen Frequenzbewertungen und die DIN 45680 (Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschmissionen) ist nicht ausreichend; so werden damit beispielsweise keine zeitlichen Strukturen erfasst. Darüber hinaus können tieffrequente Signalanteile neben dem Höreindruck auch zu subliminalen Effekten führen, die sich in Stress, Übelkeit und Unwohlsein äußern. Folglich unterschätzt die alleinige Betrachtung der gehörmäßigen Belastung ohne die Berücksichtigung weiterer induzierter physiologischer Belastungen bei den Betroffenen die Bedeutung der tiefen Frequenzen. Anhand von ausgewählten Beispielen wird gezeigt, wie tonale oder stochastische, modulierte oder unmodulierte tieffrequente Anregungen je nach Spektralbereich unterschiedliche Auswirkungen zur Folge haben können.

Do. 14:25    Raum 47.05

Tieffrequenter Schall

### **Beurteilung von schnell veränderlichen, impulshaltigen tieffrequenten Geräuschen**

S. Martinez und R. Job

*TÜV Rheinland Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH*

Das bisherige Beurteilungsverfahren nach DIN 45680 ist auf die Analyse tieffrequenter Geräusche ohne und mit Einzeltönen ausgerichtet. In diesem Beitrag wird beispielhaft über Messungen

in der Nachbarschaft einer Schmiede berichtet. Die Geräusche sind tieffrequent, ohne ausgeprägte Einzeltöne jedoch impuls-haltig und treten rasch wiederholt auf. Das bisherige Beurteilungsverfahren liefert als Ergebnis: "Anforderungen eingehalten". Wir sind der Ansicht, dass im Beurteilungsverfahren nach DIN 45680 die Aspekte Impulshaltigkeit, stark veränderlicher Dynamikbereich nicht ausreichend berücksichtigt sind. Es wird ein Lösungsvorschlag erörtert, der sich an der Methodik der TA Lärm orientiert.

Do. 14:50    Raum 47.05

Tieffrequenter Schall

### **Überarbeitung der DIN 45680 - aktueller Stand**

C. Maschke<sup>a</sup> und R. Borgmann<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*FBB-Maschke*; <sup>b</sup>*Bayerisches Landesamt für Umwelt*

Im September 2005 wurde die Überarbeitung der DIN 45680 "Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft" begonnen. Die DIN 45680 soll an vorliegende Erfahrungen und neue Regelwerke (z.B. DIN ISO 226) angepasst werden. Dargestellt wird der Stand der Überarbeitung.

Do. 15:15    Raum 47.05

Tieffrequenter Schall

### **Die Verarbeitung von tieffrequentem Schall durch Gehörm-delle**

D. Krahé

*Bergische Universität Wuppertal, Bereich Nachrichtentechnik*

Es ist kein Geheimnis, dass tieffrequenter Schall einschlägigen Richtlinien gemäß nicht ausreichend problemgerecht beurteilt wird. Aus diesem Grund steht z.B. eine Überarbeitung der DIN 45680 an. Die Aufmerksamkeit gilt dabei vornehmlich dem Merkmal der Fluktuation, die als besonders störend empfunden wird. Es stellt sich die Frage, ob komplexere Verfahren, die auf Gehörm-dellen basieren, eher in der Lage sind, die Wirkung von tieffrequentem Schall in adäquater Weise zu bewerten. Diese Verfahren modellieren u.a. Adaptionsvorgänge, die bei der Wahrnehmung und Empfindung insbesondere hinsichtlich der Fluktuation eine Rolle zu spielen scheinen. Dieser Frage und der Frage, inwieweit sich anhand der Modelle gewonnene Erkenntnisse in handhabbare Messvorschriften umsetzen lassen, soll im Vortrag nachgegangen werden.

Do. 15:40 Raum 47.05

Tieffrequenter Schall

**Ein modifiziertes Messverfahren zur Beurteilung tieffrequenter Geräusche**U. Donner<sup>a</sup> und J. Feldmann<sup>b</sup><sup>a</sup>*AkustikDonner Sachverständigenbüro*; <sup>b</sup>*Institut für Strömungsmechanik u. Technische Akustik, TU Berlin*

Die DIN 45680 "Messung und Bewertung tieffrequenter Geräusche in der Nachbarschaft" befindet sich derzeit in der Überarbeitung. Es gibt eine Vielzahl von Fällen, bei denen die derzeitige Bewertung nicht der tatsächlich auftretenden Störung gerecht wird. Dies beruht im Wesentlichen auf der Übertragung von im Schallimmissionsschutz üblichen Messverfahren mit Bewertungen, die auf Terzanalysen und Mittelungspegeln beruhen. Bei tieffrequenten Geräuschen treten oftmals Interferenzen zwischen benachbarten Frequenzen auf, die durch Terzanalysen nicht in jedem Fall ausreichend erfasst werden. Auch das für tieffrequente Geräusche typische An- und Abschwellen wird derzeit nicht ausreichend berücksichtigt. Diese Problempunkte sind aus der Messung und Bewertung von Erschütterungen bekannt. Es wird ein Mess- und Bewertungsverfahren vorgestellt, dass sich an der Vorgehensweise der DIN 4150 "Erschütterungen im Bauwesen" orientiert und an die akustischen Anforderungen angepasst ist.

Do. 16:05 Raum 47.05

Tieffrequenter Schall

**Zur Lösung raum- und bauakustischer Probleme bei tiefen Frequenzen**H. Fuchs<sup>a</sup> und X. Zha<sup>b</sup><sup>a</sup>*Weil im Schönbuch*; <sup>b</sup>*Böblingen*

Die Lärmbekämpfung an technischen Quellen und auf dem Ausbreitungsweg des Schalls zum jeweiligen Immissionsort gelingt bei hohen und mittleren Frequenzen relativ leicht z.B. mit porösen/faserigen Schallabsorbern, -dämpfern und -schirmen sowie schweren oder mehrschaligen Trennelementen. Dagegen fällt es oft schwer, die entsprechende Aufgabe bei tiefen Frequenzen (etwa unter 250 oder 125 Hz) zu lösen. In den letzten Jahren wurden Tiefen-Schlucker entwickelt, die ihre breitbandige Wirkung auf engstem Raum entfalten. Mit neuen marktgerechten Varianten lassen sich jetzt vielfältige Probleme des Schallschutzes und der akustischen Behaglichkeit auch unter besonders beengten Verhältnissen (z.B. in engen Kanälen und kleinen oder flachen Räumen) besser lösen. Mit praktischen Anwendungen in



konkreten Beispielen werden innovative Möglichkeiten der Lärm-minderung aufgezeigt, insbesondere für kommunikationsintensiv genutzte Räume im Schulungs- und Dienstleistungsbereich.

Do. 8:30    Raum 57.01

Ultraschall

### **Entwicklung breitbandiger Referenz-Membranhydrophone**

V. Wilkens und W. Molkenstruck

*Physikalisch-Technische Bundesanstalt*

Hydrophonmessungen sind fundamental für die Bestimmung und die Deklaration der Schallabgabe von medizinischen Ultraschallgeräten. Die korrekte Vermessung von breitbandigen Impulsen, wie sie von diagnostischen Schallköpfen emittiert werden, erfordert Hydrophone mit einer flachen Übertragungsfunktion über einem sehr großen Frequenzbereich. Auch für die Impulsentfaltungsmethode zur Kompensation nichtidealer Übertragungsfunktionen, die zukünftig Bestandteil der Normen für Hydrophonmessungen sein wird, sind Kalibrierdaten über einem großen Frequenzbereich und in Betrag und Phase Voraussetzung. Es werden daher zurzeit von mehreren Kalibrierlaboratorien Bemühungen unternommen, die Frequenzbereiche der Hydrophonkalibrierung zu erweitern.

Um die verschiedenen weiter- und neuentwickelten Kalibrierverfahren der PTB untereinander und international mit Verfahren anderer Metrologieinstitute vergleichen zu können, wurden spezielle, besonders breitbandige Referenz-Membranhydrophone mit geringem Empfängerdurchmesser (Elektrodendurchmesser: 200  $\mu\text{m}$ ) konstruiert und hergestellt. Durch die Verwendung einer sehr dünnen piezoelektrischen Folie (Dicke: 9  $\mu\text{m}$ ) zusammen mit einer besonders breitbandigen Differentialverstärkerelektronik konnte dabei ein deutlich größerer nutzbarer Frequenzbereich als bei derzeit kommerziell erhältlichen Hydrophonen realisiert werden. So ist der Frequenzgang bis 40 MHz extrem glatt, die Dickenresonanz liegt bei etwa 105 MHz, und es deutet sich eine nutzbare Bandbreite bis über 140 MHz an. Allerdings sind bislang Kalibrierdaten oberhalb von 70 MHz noch nicht primär rückführbar. Gerade für die Erweiterung und Verifikation der Kalibrierverfahren steht aber nun ein wichtiges Hilfsmittel bereit. Neben der Verwendung als Sekundärnormal können Hydrophone dieser Bauart natürlich auch direkt zur Exposimetrie am Medizinprodukt vorteilhaft eingesetzt werden.

Do. 8:55 Raum 57.01

Ultraschall

**Akustisch reflexionsholographische Luftultraschallinterferometrie**H. Fischer und R. Tutsch*TU Braunschweig, Institut für Produktionsmesstechnik*

Da in einem akustischen Hologramm neben den Amplituden auch die Phaseninformationen von Schallwellen aufgezeichnet werden, ist eine logische Weiterentwicklung in der Anwendung der Holographie die sogenannte Interferenzholographie, oder wie diese auch oft bezeichnet wird, die holographische Interferometrie, mit welcher Verformungen eines Objekts erfasst werden können. Das Prinzip der Interferenzholographie basiert auf der Tatsache, dass über die Phasenaufzeichnung der augenblickliche, dreidimensionale Zustand eines Objekts bei der Aufnahme eines Hologramms konserviert wird. Man ist somit in der Lage, den Zustand eines Objekts mit denjenigen zu anderen Zeitpunkten durch eine Überlagerung der Objektwellen direkt zu vergleichen und etwaige Zustandsänderungen zu erfassen.

In diesem Beitrag wird eine Versuchsanordnung vorgestellt, mit der akustische Hologramme im niederfrequenten Ultraschallbereich aufgenommen werden können und die Ergebnisse der interferometrischen Deformationserfassung präsentiert. Der Versuchsaufbau besteht dabei aus einem Ultraschallwandler, einem Reflektor einfacher Geometrie und einem Messmikrophon, das sich über eine Positioniereinheit in einer Abtastebene verschieben lässt.

Do. 9:20 Raum 57.01

Ultraschall

**Kriterium zur Unterscheidung zwischen linearer und nichtlinearer Akustik**D. Olszewski*DaimlerChrysler AG*

Die gemeinhin bekannte Wellendifferentialgleichung für die Ausbreitung akustischer Wellen in Luft gilt ausschließlich für kleine Druck- und Dichteschwankungen. In diesem Fall wird die Druck-Dichte-Relation der Luft linearisiert und ihre nichtlinearen Eigenschaften werden vernachlässigt. Man spricht daher von "linearer Akustik". Im Falle größerer Amplituden wird dagegen ein nichtlinearer Ansatz verwendet, der die Druck-Dichte-Relation bis zu Termen zweiter Ordnung berücksichtigt. Die Unterscheidung zwischen der Anwendung linearer oder nichtlinearer Theorie ist zuweilen schwierig, da der Übergang oft fließend ist und

auch schwache akustische Wellen während ihrer Ausbreitung durch nichtlineare Einflüsse signifikant beeinflusst werden können, wenn sie nur weit genug fortschreiten. Diese Arbeit stellt ein Kriterium auf, das eine Unterscheidung für harmonische planare Wellen ermöglicht. Dabei werden sowohl dämpfende Eigenschaften der Luft als auch deren Nichtlinearität der Druck-Dichte-Relation bis zu zweiter Ordnung berücksichtigt. Das Unterscheidungskriterium wird aus zwei verschiedenen Sichtweisen dargestellt: Vom Ort der Schallquelle aus wird beurteilt, ob die abgestrahlte Welle auf ihrem Ausbreitungsweg Einflüssen unterliegen wird, die eine Anwendung der nichtlinearen Theorie erfordern; vom Ort eines Beobachters auf dem Ausbreitungsweg der Schallwelle wird, abhängig von den bis zu diesem Ort zu berücksichtigenden Einflüssen, über die Anwendung der entsprechenden Theorie entschieden. Beide Beurteilungen lassen sich zu einem gemeinsamen Kriterium zusammenfassen und orientieren sich an Minimalbedingungen für die Anwendung parametrischer Ultraschalllautsprecher.

Donnerstag Poster

Ultraschall

### **Optimierung des Schallfeldes in einem sonochemischen Laborreaktor durch numerische Simulation**

T. Huber<sup>a</sup>, S. Langer<sup>b</sup>, G. Brenner<sup>a</sup> und U. Peuker<sup>a</sup>

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

Aufgrund der zunehmenden Bedeutung von Nanopartikeln für technische Anwendungen ist es notwendig, diese in deutlich größeren Mengen als bisher herstellen zu können. In diesem Zusammenhang könnte der Verwendung von Ultraschall in Fällungsreaktoren eine große Bedeutung zukommen, da diese eine gezielte Prozessführung bei hohen Produktionsraten von Nanopartikeln ermöglichen. Ziel ist es, das Strömungs- und Schallfeld im Reaktor mit numerischen Verfahren zu optimieren, damit die verschiedenen Stoffströme der Edukte im richtigen Verhältnis im Bereich hoher Ultraschallleistung vermischt werden, um die gewünschten Umsatzraten zu erzielen. Die Modellierung von sonochemischen Reaktoren erfordert insbesondere die Modellierung der Kavitation durch akustische Felder. Die Formulierung eines umfassenden Modells, bei dem beispielsweise der Umsatz eines Reaktors bei gegebenen Reaktionen zuverlässig vorhergesagt wird, ist derzeit allerdings noch nicht möglich. Gründe hierfür sind z.B. die Nichtlinearität der Kavitation und offene Fragen bei der Modellierung des Einflusses der Strömung auf den Transport

von Kavitationsblasen. Zunächst wurde daher eine Studie durchgeführt, bei der das Schallfeld im Inneren eines Reaktors näherungsweise durch Lösung der linearen Wellengleichung im Frequenzbereich mittels der Finiten-Elemente Methode numerisch simuliert wird. Durch die in diesem Verfahren notwendige Gebietsdiskretisierung lässt sich problemlos die Inhomogenität der Flüssigkeit modellieren, die Berücksichtigung von Dämpfungseffekten aufgrund der Kavitation ist durch die Implementierung einer komplexen Wellenzahl möglich. Ziel ist es, ein Schallfeld mit einer lokal begrenzten Zone sehr hoher Schalldrücke zu erzeugen, die sich im Inneren des Reaktors in einer gewissen Entfernung von der Berandung und von Einbauten befindet, um dem Verschleiß von Reaktor und Sonotrode vorzubeugen.

Donnerstag Poster

Ultraschall

### **Sensorelektronik zur Bestimmung von Reflexionen sensoroberflächennaher Schichten**

T. Vössing, J. Rautenberg und B. Henning

*Universität Paderborn, Elektrische Messtechnik*

In der Ultraschallmesstechnik ist der Einsatz des Impuls-Echoverfahrens verbreitet. Wird nur ein Ultraschallwandler eingesetzt, benötigt man für das sequentielle Senden und Empfangen einen Sende-/Empfangsumschalter. Häufig werden aber nicht nur Impulse gesendet, sondern auch sogenannte Bursts, die aus mehreren Wellenzügen bestehen. Die während des Sendebetriebs empfangenen Ultraschallwellen, die z.B. durch Reflexionen von nahe gelegenen Hindernissen entstehen, können bei diesen umschaltenden Systemen nicht ausgewertet werden. In diesem Beitrag wird eine Sensor-Interface-Elektronik vorgestellt, die das gleichzeitige Senden und Empfangen von Ultraschallsignalen mit nur einem Ultraschallwandler erlaubt. Die dazu erforderliche Trennung von Sende- und Empfangssignal wird durch einen Richtkoppler ermöglicht, der mit vergleichsweise geringem technischem Aufwand aus Breitbandübertragern aufgebaut ist. Eine geeignete Dimensionierung für die verkoppelten Übertrager wurde durch die Analyse der zugehörigen Streumatrix dieses Aufbaus gefunden. Die Arbeitsweise sowie die Bedeutung der Anpassung der Tore des Richtkopplers wird anhand der Ankopplung verschiedener Medien an den Wandler erläutert. Die angekoppelte akustische Last beeinflusst dabei auch die elektrischen Eigenschaften des Sensors. Durch den Einsatz dieser Sensorelektronik wird es möglich, Reflexionen in unmittelbarer

Nähe der Sensoroberfläche aufzunehmen, ohne dass z.B. Vorlaufkörper eingesetzt werden müssen. Möglichkeiten zur selbsttätigen Abstimmung der Sensorelektronik auf den angeschlossenen Ultraschallwandler bzw. dessen Parameteränderungen werden diskutiert.

Donnerstag    Poster

Ultraschall

### **Stark gerichtete Audio-Beschallung mittels modulierten Ultraschall-Strahlungsdrucks**

D. Olszewski und K. Linhard

*DaimlerChrysler AG*

Parametrische Ultraschalllautsprecher erzeugen einen stark gerichteten Audio-Schallstrahl unter Verwendung kleiner Wandleraperturen verglichen mit der Audiowellenlänge. Hierzu wird ein mit dem Audiosignal amplitudenmodulierter Ultraschallträger in Luft emittiert. Bei hohem Ultraschallpegel führen nichtlineare Eigenschaften der Druck-Dichte-Relation der Luft zur Selbst-Demodulation des Audiosignals. Vor der Schallquelle baut sich dadurch ein Endfire-Array virtueller Quellen auf, welches das Audiosignal stark gerichtet abstrahlt. Messungen an Ultraschalllautsprechern ergeben oftmals Audio-Schalldrücke, die deutlich über den theoretisch zu erwartenden Werten liegen. Diese Abweichung ist umso größer, je näher sich das Mikrofon an der Schallquelle befindet. In vorangegangenen Untersuchungen wurde dieser Effekt meist als Messfehler eingestuft, der mit einer zusätzlichen Demodulation im Mikrofon erklärt wurde. Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Messungen zeigen jedoch, dass die durch nichtlineare Mikrofon-Eigenschaften herbeigeführte Demodulation ebenfalls nicht ausreicht, um die Abweichung zu erklären. Stattdessen wird hier der akustische Strahlungsdruck betrachtet, der offenbar einen zusätzlichen Beitrag zum parametrisch erzeugten Audio-Schalldruck generiert. Dieser Beitrag nimmt mit zunehmender Entfernung von der Schallquelle ab, während der parametrisch erzeugte Anteil zunächst ein Maximum erreicht und dann erst abfällt. Folglich wird die Möglichkeit beschrieben, den akustischen Strahlungsdruck gezielt für eine stark gerichtete Audiobeschallung zu nutzen. Der schwierigen technischen Realisierbarkeit stehen die Vorteile im Vergleich zum parametrischen Ultraschalllautsprecher gegenüber, welche aus einer noch stärkeren Richtwirkung und einer fehlenden Frequenzabhängigkeit des erzeugten Audio-Schalldrucks bestehen.

Do. 9:45 Raum 57.01

Fahrzeugaeroakustik

**Reifen-Fahrbahn-Geräusch und Umströmungsgeräusch von Kraftfahrzeugen**M. Helfer*Forschungsinstitut FKFS, Stuttgart*

Während gesteigerte Aktivitäten auf dem Gebiet der Antriebs- und Reifen-Fahrbahn-Geräusche bereits in den 1960er und besonders 1970er Jahren zu verzeichnen waren, begann die intensive Forschungs- und Entwicklungsarbeit auf dem Gebiet der Umströmungsgeräusche erst gegen Ende des vergangenen Jahrhunderts. Hierbei lag ein deutlicher Schwerpunkt auf der Reduzierung der Innengeräusche zur Steigerung des Fahrkomforts. Nur wenige Untersuchungen beschäftigten sich mit den aerodynamischen Außengeräuschen. Hierbei handelt es sich jedoch lediglich um Abschätzungen, bei denen nie ein direkter Vergleich zwischen Straßenfahrt und Windkanal durchgeführt wurde. Um zu einer gesicherten Datenbasis zu kommen wird hier zum ersten Mal detailliert für unterschiedliche Fahrzeugtypen aufgezeigt, unter welchen Betriebsbedingungen das aerodynamisch erzeugte Außengeräusch jeweils eine dominierende Rolle spielt und welche Hauptgeräuschquellen hierfür verantwortlich sind. Hierzu wurden bei mittleren und hohen Geschwindigkeiten Messungen im aeroakustischen Windkanal und auf Testgeländen durchgeführt.

Do. 10:10 Raum 57.01

Fahrzeugaeroakustik

**Aeroakustik der neuen Mercedes-Benz CL-Klasse**G. Algermissen*DaimlerChrysler AG*

An die Mercedes-Benz CL-Klasse werden allerhöchste Ansprüche bezüglich geringen Windgeräuschen gestellt. Diese können nur befriedigt werden, in dem über den gesamten Produktentstehungsprozess hinweg konsequente aeroakustische Entwicklung betrieben wird. Letztere beginnt in der Konzeptfindung und endet bei der Serienfertigung am Band. Die wichtigsten Entwicklungsschritte und Maßnahmen am Fahrzeug werden angesprochen. Eine Besonderheit ist der Einsatz eines neuen flächenerfassenden Hohlspiegels im Aeroakustikwindkanal zur quantitativen Bewertung der aeroakustischen Quellen. Mit seiner Hilfe konnte eine aeroakustisch besonders günstige Form gefunden werden. Die Summe aller Bemühungen fruchtete in einem Fahrzeug, das sich in der Luxus-Klasse mit äußerst geringen Windgeräuschen an die Spitze setzt.

Do. 14:00 Raum 57.01

Fahrzeugaeroakustik

**Experimentelle Aeroakustik in der frühen Fahrzeugentwicklungsphase**J. Ocker*Porsche AG*

Die Aeroakustik spielt bei der Entwicklung neuer Fahrzeuge eine zunehmend wichtige Rolle. Ursächlich für das Windgeräusch im Innenraum ist die sehr komplexe Fahrzeugumströmung. Die meisten Analysen zur Beurteilung der aeroakustischen Güte beziehen sich auf Kunstkopfmessungen im Fahrzeuginnenraum. Dies setzt aber Fahrzeuge oder Prototypen voraus, die auf einem technisch repräsentativen Stand sind. In einer frühen Entwicklungsphase stehen solche Versuchsträger in der Regel nicht zur Verfügung.

Wichtige Designmerkmale eines Fahrzeuges, wie z.B. die Gestaltung der A-Säule, werden aber gerade in dieser frühen Phase definiert. Da diese Bauteile und Komponenten die Fahrzeugumströmung stark beeinflussen, ist ihre aeroakustische Beurteilung sehr wichtig. Innengeräusch-Untersuchungen sind dafür aus den beschriebenen Gründen nicht geeignet. Daher müssen Methoden eingesetzt werden, mit denen die Beschreibung des Strömungsfeldes und damit der aeroakustischen Schallquellen möglich ist.

Die zur Beschreibung des Strömungsfeldes derzeit eingesetzten experimentellen Methoden und Simulations-Tools (CFD, CAA) erfordern jedoch einen teilweise sehr hohen Zeit- und Kostenaufwand.

Der Vergleich zu einer Methode, basierend auf neuartigen Oberflächenmikrofonen, soll unter Berücksichtigung des erforderlichen Aufwands zeigen, welche Vor- und Nachteile die Methoden aufweisen, um belastbare aeroakustische Bewertungen und Vergleiche von Versuchs- und Fahrzeugvarianten durchzuführen.

Do. 14:25 Raum 57.01

Fahrzeugaeroakustik

**Aeroakustik von Fahrzeugklimageräten**K. Augustin, M. Paul, M. Späh, F. Brotz und M. Schrumpf*Behr GmbH & Co. KG*

Klimageräte stellen aufgrund ihrer Komplexität, verursacht durch immer weitreichendere Funktion und immer weniger zu Verfügung stehenden Bauraums, hohe Anforderungen an die thermodynamische, aerodynamische und aeroakustische Auslegung.

Dabei nimmt die Aeroakustik eine besondere Stellung ein, da hier unterschiedliche Schallquellen im Klimagerät betrachtet werden müssen. Dazu zählen das Klimagebläse, Wärmetauscher, Umlenkungen und Luftführungen inkl. Absperklappen und Luftleit-elementen zur Erzeugung einer gewünschten Temperaturschichtung. Da sich Ausströmer aus der Klimaanlage in den Fahrzeuginnenraum in unmittelbarer Nähe der Fahrzeuginsassen befinden, wird aeroakustische Geräuschentwicklung hier als besonders störend empfunden.

Der Vortrag beschreibt moderne experimentelle und numerische Methoden, die zu einer Verbesserung des akustischen Komforts der Klimaanlage eingesetzt werden.

Do. 14:50    Raum 57.01

Fahrzeugaeroakustik

### **Der Einfluss turbulenter Strömung auf das Fahrzeuginnen- geräusch - ein Vergleich zwischen Straßen- und Windkanal- messung**

M. Riegel

*Forschungsinstitut FKFS, Stuttgart*

Die Entwicklung bezüglich des Windgeräusches im Innenraum von Fahrzeugen erfolgt vorzugsweise in aeroakustischen Windkanälen unter reproduzierbaren Strömungsverhältnissen. Die Strömung im Stuttgarter 1:1-Windkanal weist beispielsweise bei leerer Messstrecke einen Turbulenzgrad  $Tu$  kleiner als 0,3% auf. Das durch die Umströmung des Fahrzeugs verursachte Windgeräusch ist abhängig von Geschwindigkeit und Richtung der Anströmung. Der Strömungsvektor ist unter realen atmosphärischen Bedingungen jedoch örtlich und zeitlich nicht konstant. Bei Straßenmessungen ergibt sich der Anströmungsvektor aus der vektoriellen Überlagerung der Fahrzeuggeschwindigkeit und der atmosphärischen Windgeschwindigkeit. Aufgrund der unterschiedlichen klimatischen Bedingungen und örtlichen Verhältnisse (z.B. Bäume, Leitplanken, Fahrzeuge und Bodenerhebungen) variieren die Strömungsverhältnisse und Turbulenzgrade sehr stark. Geschwindigkeitsänderungen wirken sich auf das Innengeräusch in einer Änderung des Schalldruckpegels aus, das Schallsignal wird also amplitudenmoduliert. Eine Änderung der Anströmungsrichtung hat dagegen eine Änderung der Frequenzzusammensetzung zur Folge, da sich die lokalen Umströmungsverhältnisse am Fahrzeug bei Schräganströmung (z.B. A-Saeule, Spiegel) verändern. Das Innengeräusch erfährt in diesem Fall (neben der Amplitudenmodulation) eine Frequenzmodulation. Die niederfrequenten Amplitudenmodulationen werden



vom menschlichen Gehör besonders empfindlich als fluktuierendes Geräusch wahrgenommen und können vom Menschen als unangenehmer empfunden werden im Vergleich zu konstanten Geräuschen. Für die Entwicklungsarbeit im Windkanal gilt es zu klären, inwieweit Turbulenzen in der Anströmung Einfluss auf die gemittelten Geräuschspektren haben, und ob die turbulente Strömung für die Entwicklungsarbeit bezüglich des Windgeräusches relevant ist. Hierfür werden Möglichkeiten zur Simulation realitätsnaher Anströmbedingungen im Windkanal erörtert.

Do. 15:15    Raum 57.01

Fahrzeugaeroakustik

### **Aeroakustik in turbulenter Anströmung - Windkanal und Strassenmessungen**

H. Miehling

AUDI AG

Aeroakustik ist zu einem wichtigen Qualitätsmerkmal vor Kunde geworden. Die Messungen im Windkanal mit niedrigem Turbulenzgrad zeigen nur in den gemittelten Spektren gute Übereinstimmung zu Messungen auf der Strasse. Qualitativ zeigen sich beim Abhören aber Unterschiede im Windgeräusch auf der Strasse und im Windkanal. Um diese Unterschiede besser zu verstehen, hat Audi zusammen mit dem Windkanal Pininfarina (Italien) umfangreiche Straßenmessungen und Messungen in beiden Windkanälen (Audi und Pininfarina) durchgeführt. Die Anströmung auf das Fahrzeug wurde dabei mit einer Cobra-Sonde gemessen; gleichzeitig wurde dazu mit einem Kunstkopf das Fahrzeuginnengeräusch aufgezeichnet. Bei den Straßenmessungen wurden typische turbulente Anströmbedingungen, wie sie von atmosphärischem Wind oder Verkehr produziert werden, untersucht. Die Auswirkung dieser turbulenten Anströmung auf die Aeroakustik im Fahrzeug wird anhand von verschiedenen akustischen Größen (Schwankungsstärke, Loudness, Modulationsanalyse) aufgezeigt. Im Windkanal Pininfarina wurden Messungen an denselben Fahrzeugen mit den Turbulenz-Generatoren (TGS) durchgeführt und mit den Straßenmessungen verglichen. Dies sowohl für die Strömungsparameter, wie auch für die akustischen Größen. In einem bei Audi durchgeführten Hörvergleich wurden die Straßenmessungen mit den Messungen im Windkanal unter turbulenter Anströmung verglichen.

Do. 15:40 Raum 57.01

Fahrzeugaeroakustik

**Aeroakustiksimulation mit Hilfe numerischer Methoden**M. Oswald*Fluent Deutschland GmbH*

Die Präsentation behandelt die Voraussetzungen zur Durchführung von direkter Aeroakustiksimulation mit Hilfe der Navier-Stokes-Gleichungen (computational aeroacoustics, CAA). Ergänzt wird dies durch die Behandlung weiterer Modellierungsmöglichkeiten, wie z.B. Akustikanalogien nach Ffowks-Williams und Hawkins (FWH). Es werden Vorgehensweisen und Limitierungen zur Durchführung von Aeroakustiksimulationen im Allgemeinen und im Speziellen mit der Software FLUENT vorgestellt. Zuletzt soll ein Überblick über die jüngsten stationären Methoden und Turbulenzkorrelationen, die in die Software FLUENT Einzug gefunden haben, gegeben werden (stochastic noise generation and radiation, SNGR). Eine Reihe von praxisnahen Beispielen zu den diversen numerischen Modellen runden die Präsentation ab.

Do. 16:05 Raum 57.01

Fahrzeugaeroakustik

**Untersuchung der Kopplungseffekte Innenraum-Kofferraum beim Schiebedachwummern an Hand eines SAE-Modells**R. Blumrich<sup>a</sup>, D. Freed<sup>b</sup> und B. Crouse<sup>b</sup><sup>a</sup>*Forschungsinstitut FKFS, Stuttgart;* <sup>b</sup>*Exa Corporation*

Das Schiebedachwummern ist bei Pkw ein starker Effekt mit zum Teil erheblicher Minderung des Insassenkomforts. Hierbei wird die Luftmasse im Innenraum des Pkw durch die Überströmung der Öffnung zu Schwingungen angeregt und bei passender Geschwindigkeit in Resonanz gebracht. Die Kopplung des Innenraums mit dem Kofferraum hat einen Einfluss auf diesen Effekt. Zum besseren Verständnis dieses Einflusses und für die richtige Simulation des Wummerns sind mit einem SAE-Fahrzeugmodell mit Schiebedachöffnung und Hohlraum in verschiedenen Konfigurationen experimentelle Untersuchungen durchgeführt worden, begleitet durch entsprechende Simulationen. Die Trennwand zwischen Innenraum und Kofferraum wurde u.A. in starrer Ausführung mit und ohne definierte Verbindungsluftkanäle und als flexible Wand eingesetzt. Hiermit konnten Kopplungseffekte über Luft und über die Trennwand untersucht werden. Es werden die Ergebnisse dieser Untersuchungen und Vergleiche zwischen Experiment und Simulation gezeigt.

Do. 8:30    Raum 57.02    Messung, Ortung und Visualisierung

## **Methoden zur Schallfeldkartierung mit Mikrofonarrays, ein Überblick**

J. Schmitz

*Brüel & Kjaer GmbH*

Der aufkommende Wunsch, Schallfelder wie mit einem Fotoapparat oder einer Kamera festzuhalten, grafisch über einem hinterlegten Foto der Quellenanordnung darzustellen und für Entwicklungsszenarien von schallabstrahlenden Quellen/Flächen zu verwenden, führte in den letzten Jahren zu immer fortschrittlicheren Techniken. Solche Schallfeldkartierungen helfen, schallabstrahlende Vorgänge besser zu verstehen, Schallquellen zu lokalisieren und zu bewerten, oder die Wirksamkeit von Konstruktions- und Designänderungen bzw. gezielt angewandter Minderungsmaßnahmen zu überprüfen. Sicherlich gibt es noch weitere Motivationen, solche Techniken einzusetzen. Mittlerweile kann der Anwender aus verschiedenen erprobten Methoden die für seine Aufgabenstellung geeignete auswählen. Wichtige Kenngrößen wie Frequenzbereich, Auswertedynamik, örtliche Auflösung, Messaufwand und welche Schallfeldparameter sind verfügbar helfen ihm hierbei. Verschiedene Mikrofonanordnungen werden vorgestellt, die folgenden Methoden eingehender erläutert:

Schallintensitätsmesstechnik; schon länger bekanntes Verfahren für Messungen im Umfeld von abstrahlenden Schallquellen, automatisierbar mit Positioniereinrichtungen für Mikrofonsonde.

Akustische Nahfeldholografie (NAH); Messungen dicht vor der Quelle und Berechnungen für Nah- und Fernfeld. Sehr gute örtliche Auflösung, hohe Dynamik, drehzahl- und drehwinkelabhängige Ergebnisse. Durch speziellen SONAH-Algorithmus sind neuerdings kleine, handhaltbare Arrays in Echtzeit anwendbar, konturnahe Kartierung möglich.

Fernfeldprinzip Beamforming; Mikrofonarrays für einfache und schnelle Messungen. Hohe Dynamik, gute örtliche Auflösung. Frequenzbereich abhängig vom Arraydurchmesser (niedrigere Frequenzen erfordern größere Arrays).

Kombination von Fern- und Nahfeldprinzipien; SONAH-Algorithmus ermöglicht Kombination von NAH und Beamforming mit einem Arrayaufbau, dadurch großer Frequenzbereich realisierbar.

---

Do. 8:55    Raum 57.02    Messung, Ortung und Visualisierung

### **Schallquellenlokalisierung - Vergleich unterschiedlicher Verfahren und Systeme**

R. Joest und D. Patsouras

*AKsys GmbH*

Zur Lokalisierung einzelner Schallquellen bieten sich grundsätzlich unterschiedliche Verfahren an. Diese sind zum Teil schon lange Zeit etabliert, es gibt aber neuere Array-basierte Ansätze, die erst in den letzten Jahren auf den Markt kamen und deren Entwicklung bzw. Erweiterung noch andauert. Bei den Array-Systemen sind algorithmisch unterschiedliche Ansätze verfügbar. Einen möglichen Ansatz stellt das Beamforming dar, eine weitere Möglichkeit ist die Schallfeld-Holografie. Unter gewissen Voraussetzungen lassen sich diese Ansätze mit ein und demselben Array verwenden. In dieser Untersuchung werden zwei Array-Systeme (zum einen reines Beamforming, zum anderen eine Kombination aus Beamforming und Holografie) im Vergleich zu den Messungen mit einer p-p-Intensitätssonde betrachtet. Dabei werden sowohl die Ortsauflösung der einzelnen Systeme über der Frequenz (sowie der damit verbundene nutzbare Frequenzbereich), als auch die Möglichkeit der Verifizierung von akustischen Maßnahmen im Automobilbereich betrachtet und vergleichend dargestellt.

---

Do. 9:20    Raum 57.02    Messung, Ortung und Visualisierung

### **Lokalisierung kohärenter und nichtkohärenter Schallquellen mit akustischer Nahfeldholographie und Beamforming**

W. Henze und M. Liesegang

*O.-v.-G.-Universität Magdeburg, Institut für Mobile Systeme*

Es werden Messungen zur Lokalisierung von Schallquellen ausgewertet. Dabei kommen die akustische Nahfeldholographie und das Beamformingverfahren zum Einsatz. Es erfolgt ein Vergleich bei Anregung mit kohärenten und nichtkohärenten Signalen.

Do. 9:45    Raum 57.02    Messung, Ortung und Visualisierung

### **Aussagekräftige Interpretation von Schallfeldkartierungen mittels SONAH und Conformal Mapping**

C. Hundeck

*Brüel & Kjaer GmbH*

Es wird eine Methode vorgestellt, die eine eindeutige Lokalisation von Schallquellen auf Strukturen ermöglicht. Dies erleichtert die Interpretation auch für 'akustische Laien'.

Die klassische Nahfeldholografie (NAH) wurde in den 80er Jahren eingeführt und findet heute noch in vielen Bereichen ihre Anwendung. Die Methode der NAH wurde durch gewachsene Anforderungen in den letzten Jahren durch einige speziell erweiterte Algorithmen (SONAH) deutlich verbessert und ermöglicht hierdurch ganz neue Anwendungsgebiete. Hierzu werden die Einschränkungen der klassischen Methode und die Vorteile der erweiterten Methode in Bezug auf Frequenzbereich, Auflösung, Messausrüstung und -aufwand erläutert. In Kombination mit einer komfortablen Struktureroassung, Positionserfassung des verwendeten Arrays und der Zuordnung der einzelnen Holografien auf die erfasste Struktur, ergibt sich das sogenannte Conformal Mapping. Die auf die Struktur berechnete Schallfeldkartierung von Schallintensität, -druck oder Partikelschnelle ergibt ein optimales Werkzeug zur Fehlersuche und für Produktoptimierungen.

Do. 10:10    Raum 57.02    Messung, Ortung und Visualisierung

### **Non-contact evaluation of acoustic micro phenomena in nasality using acoustic holography SONAH**

E.-U. Saemann<sup>a</sup> und M. Ptok<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Continental Aktiengesellschaft*; <sup>b</sup>*Medizinische Hochschule Hannover*

Several methods of quantifying nasal or denals speech have been proposed. All methods, though valuable for certain aspects of nasality, have failed to be truly useful for clinical purposes, partly because they do not allow differentiating between different aspects of nasality or they work in a contact mode. The latter proved to be a severe drawback in examining small children, e.g. with cleft palate prior to surgery to reduce nasality.

Acoustic holography is known to be useful for studying any instant, i.e. transient or averaged periods of a radiated sound field in detail. Specifically, analyses of sound fields generated by microphenomena such as the effects of individual parts of complex

sound are possible. Theoretically, these features set the stage to make acoustic holography an ideal candidate for analysis of complex sound fields irradiating from lips and nares.

The paper presents first results of acoustic holography measurements to analyse quantitative and qualitative aspects of nasal and denasal speech sounds.

Do. 14:00    Raum 57.02    Messung, Ortung und Visualisierung

### **Dreidimensionale akustische Kartierungen mit kugelförmigen Mikrofonarrays**

D. Döbler und A. Meyer

*GFal e. V.*

Beamformingsysteme zur schnellen, bildgebenden Analyse von komplexen Schallquellen sind seit einigen Jahren auch in der industriellen Anwendung Stand der Technik. Vereinfachend wird dabei angenommen, dass sich die zu analysierenden Schallquellen in einer Ebene vor dem Array befinden. Reale Objekte hingegen weisen häufig komplex tiefenstrukturierte Oberflächen und demnach auch tiefenstrukturierte Schallquellen auf, so dass bei der Approximation auf eine Ebene Messfehler auftreten, die sich in Form von Pegelverfälschungen, verzerrter Lokalisation und Aliasingeffekten im Messergebnis manifestieren. In Innenräumen ist mit der Kartierung auf nur einer Ebene das Schallfeld nicht komplett zu erfassen. Mit herkömmlichen, zweidimensionalen Arrays ist eine 3D-Kartierung nur eingeschränkt möglich. Zur Aufhebung dieser Einschränkungen ist in der GFal die dreidimensionale akustische Kartierung entwickelt worden. Im Beitrag werden zunächst die Anforderungen an die Arraygeometrie und die weitere erforderliche Hardware vorgestellt. Die Erweiterung des Beamforming auf dreidimensionale Oberflächen erfordert ein entsprechendes 3D-Modell. Es wird dargestellt, welchen Ansprüchen dieses Modell genügen muss, wie die Koordinaten des Arrays bezüglich des 3D-Modells einfach und praxistauglich ermittelt werden können und welche Anpassungen der Algorithmen zur Kartierung erforderlich sind. Es folgt eine Gegenüberstellung von zwei- und dreidimensionaler Kartierung, eine Diskussion der Vor- und Nachteile sowie der möglichen Messfehler anhand von Anwendungsbeispielen.

Do. 14:25    Raum 57.02    Messung, Ortung und Visualisierung

**Erweiterung von Beamforming-Verfahren mittels synchronisierter Mehrfachmessungen und angepasster Filterung**

M. Kern und H. Opfer

*Volkswagen AG*

Mit einem Mikrofon-Array und einer nachgeschalteten Signalverarbeitung, z.B. Beamforming, lassen sich Schallereignisse bestimmten Einfallrichtungen und damit auch Quellorten zuordnen. Die Güte der Ergebnisse im "akustischen" Bild hängt neben anderen Einflussfaktoren im Wesentlichen von der Dynamik und dem örtlichen Auflösungsvermögen des Messsystems ab. In dieser Studie wird untersucht, inwieweit mittels synchronisierter Mehrfachmessungen und einer zusätzlichen angepassten Filterung der Mikrofonsignale eine Verbesserung der Ortsauflösung und Dynamik erreicht werden kann. Anhand von Beispielmessungen und ersten Ergebnissen werden diese Ansätze hinsichtlich einer erweiterten Einsatzfähigkeit der Akustischen Kamera diskutiert.

Do. 14:50    Raum 57.02    Messung, Ortung und Visualisierung

**Beamformingmessungen an einer Stanzmaschine zur Ermittlung wesentlicher Teilquellen**

M. Quickert, M. Gnauck und B. Kranz

*Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik*

Bei der Untersuchung der Schallabstrahlung einer Stanzmaschine wurde festgestellt, dass Frequenzbestandteile oberhalb von 2000 Hz nicht allein durch Schwingungen des Maschinengestells erklärbar sind. Zur Ermittlung der Quellen der höherfrequenten Geräuschbestandteile wurde deshalb das Beamforming eingesetzt. Im Beitrag wird die Anwendung des Beamformings an der Bearbeitungsmaschine dargestellt.

Im Vortrag wird die Versuchsplanung und -durchführung erläutert und weiter wird auf die erfolgreiche Ermittlung der Schallquellen durch A-B-Vergleiche eingegangen.

Abschließend werden die Schlußfolgerungen aus den Versuchsergebnissen hinsichtlich der Lärminderung an der Maschine diskutiert.

Do. 15:15    Raum 57.02    Messung, Ortung und Visualisierung

### **Untersuchungen zur tomographischen Rekonstruktion bei der interferometrischen Schallfeldmessung**

L. Bahr und R. Lerch

*Lehrstuhl für Sensorik, Universität Erlangen-Nürnberg*

Schallfeldmessungen in der Ultraschalltechnik werden traditionell mit Hydrophonen durchgeführt, die mittels Linearverfahreinheiten entlang eines Messgitters bewegt werden. Dabei wird an jedem Messpunkt das Schallfeld des Ultraschallwandlers reproduziert. Konstruktive Eigenschaften von Hydrophonen gehen dabei negativ ins Messergebnis ein. Ein zu großes Verhältnis der sensitiven Fläche zur Wellenlänge macht eine punktuelle Messung unmöglich. Das Instrument selbst befindet sich im Schallfeld und beeinflusst dieses. Wir stellen ein interferometrisches Messverfahren vor, das mittels tomographischer Rekonstruktion orts aufgelöste Messungen des Schalldrucks erlaubt. Grundlage des Verfahrens ist die akusto-optische Wechselwirkung in fluiden Medien; der Brechungsindex und damit die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Laserlichts hängt proportional vom Schalldruck ab. Bedingt durch das Messprinzip geht der Schalldruck allerdings in Form eines Wegintegrals in das Messsignal des Interferometers ein. Dieses lässt sich als Radon-Transformation auffassen und mit Methoden der Tomographie invertieren. Unsere Untersuchungen zeigen, dass die Wahl des tomographischen Algorithmus einen entscheidenden Einfluss auf das Signal-Rausch-Verhältnis des rekonstruierten Schallfeldes hat. Wir vergleichen aus diesem Grund zunächst die Rekonstruktionsmethoden, d.h. die gefilterte Rückprojektion und inverse Abel-Transformations-Algorithmen, mit Hilfe von simulierten Daten, bei denen wir den Rauschanteil beliebig steuern können. In einem zweiten Schritt werden rekonstruierte Schalldruckverläufe aus Messungen Hydrophonmessungen und Schallfeldsimulationen gegenübergestellt. In diesen Simulationen dienen Messungen der Oberflächenschwingung des Ultraschallwandlers, welche mit einem Laser-Scanning Vibrometer durchgeführt wurden, als Randbedingung. Aus dieser Gegenüberstellung soll die Einsatzmöglichkeit der interferometrischen Schallfeldmessung bewertet werden.



Do. 15:40    Raum 57.02    Messung, Ortung und Visualisierung

### **Simulation und experimenteller Modelltest einer Schallintensitätssonde mit aktivem Freifeld**

T. Kletschkowski und D. Sachau

*HSU / Universität der Bundeswehr Hamburg*

Um störenden Lärm erfolgreich bekämpfen zu können, müssen zunächst die Orte des Schalleintrags identifiziert werden. Die Lokalisierung von Lärmquellen stellt insbesondere in geschlossenen Räumen wie Flug- oder Kraftfahrzeugkabinen eine besondere Schwierigkeit dar, da sich im Gegensatz zum Freifeld stehende Wellen ausbilden. Im Bereich niedriger Frequenzen ist hierfür nur ein geringer Energieeintrag erforderlich. Daher werden für Messungen in Innenräumen üblicherweise absorbierende Dämpfungsmaterialien eingebracht, um künstlich Freifeldbedingungen zu erzeugen. Dieses Vorgehen stellt den gegenwärtigen Stand der Technik dar. Es ist jedoch äußerst zeit- und kostenintensiv. Weiterhin verändert es die Raumcharakteristik und erschwert somit eine exakte Lokalisierung der Lärmquellen. Im Folgenden wird daher ein Vorschlag zur Realisierung einer Schallintensitätssonde mit aktivem Freifeld vorgestellt, der sich zur Lösung des oben beschriebenen Problems eignet.

Untersuchungsgegenstand ist das Modell einer neuartigen Schallintensitätssonde mit aktiv erzeugtem Freifeld. Es beruht auf einer Röhrenkonstruktion, die innenliegende Mikrophone und Lautsprecher weitestgehend vom umgebenen Schallfeld abschirmt. Wird die Röhre in Wandnähe platziert, dringt somit nur lokaler Schall des zu vermessenden Bereichs ein. Vom Messpunkt ausgehend bildet sich ein eindimensionales Schallfeld im Röhreninneren aus. Dieses wird über Lautsprecher derart beeinflusst, dass innerhalb der Röhre ein Freifeld entsteht. Die elektrovibroakustische Simulation der eindimensionalen Schallausbreitung im Sondeninneren ermöglicht die Entwicklung eines adaptiven Reglers, der auf einer Separation des stehenden Wellenfeldes in hin- und rücklaufende Anteile beruht. Durch Auslöschung der rücklaufenden Welle, wird aktiv ein Freifeld erzeugt. Die Ergebnisse experimenteller Untersuchungen an einem Demonstrator bestätigen die instantane Wirksamkeit des vorgeschlagenen Konzeptes bei tonaler und, nach Erweiterung des Reglers, breitbandiger Erregung.

Do. 16:05    Raum 57.02    Messung, Ortung und Visualisierung

---

### **Influence of the static pressure on the sensitivity of quarter-inch condenser microphones**

T. Fedtke, N. Bouaoua und M. Brandt

*Physikalisch-Technische Bundesanstalt*

The sensitivity of condenser microphones depends on the environmental conditions (static pressure, temperature and humidity). They influence the acoustic properties of the air between the diaphragm and the back-plate of the condenser microphone. For a precise and repeatable free-field reciprocity calibration of condenser microphones, the measurements should be carried out in a controlled environment (23 °C and 101.325 kPa). Because of the non-controlled static pressure inside the anechoic room, a microphone sensitivity correction for the changes in static pressure is required. Those corrections are a function of frequency. The pressure sensitivity coefficients for quarter-inch condenser microphones type Brüel and Kjær 4939 were determined inside a closed pressure vessel, over the barometric pressure range from 90 kPa to 106 kPa, by using the electrostatic actuator method. The maximum static pressure coefficient was 0.2 dB/kPa at 95 kHz. An empirical equation for the static pressure coefficient as a function of frequency for this type of microphone has been developed.

Donnerstag    Poster    Messung, Ortung und Visualisierung

---

### **Untersuchungen zu einem hersteller- und typunabhängigen Verfahren zur Kalibrierung von Schallintensitätssonden im akustischen Freifeld**

A. Kunadt

*Spektra Schwingungstechnik und Akustik GmbH Dresden*

Die Kalibrierung von Schallintensitätssonden erfolgt zumeist konventionell mit Hilfe spezieller Kalibratoren, die nach dem Prinzip der akustischen Druckkammer arbeiten. In der Praxis werden Schallintensitätssonden jedoch hauptsächlich in freifeldähnlichen Umgebungen eingesetzt. Die Empfindlichkeit der Intensitätssonden im praktischen Einsatz kann sich dabei deutlich von den bei der Druckkammer-Kalibrierung ermittelten Werten unterscheiden. Zudem ist eine Kalibrierung von Schallschnellewandlern mit den existierenden Kalibratoren nicht möglich. Als Weiterentwicklung der Kalibrierdienstleistungen der Spektra Schwingungstechnik und Akustik GmbH Dresden wurden daher Untersuchungen zur hersteller- und typunabhängigen Freifeldkalibrierung von

Schallintensitätssonden durchgeführt. Im Vergleich zur Einpunkt-Druckkammerkalibrierung von Schallintensitätssonden kann mit dem entwickelten Verfahren der Empfindlichkeitsverlauf im Frequenzbereich 250 Hz bis 10 kHz bestimmt werden. Ebenso werden die Restintensität und der Einfluss des Sondaufbaus auf die Empfindlichkeit der Wandler im akustischen Freifeld gemessen. Mit dem entwickelten Verfahren werden sowohl etablierte Zweimikrofonsonden als auch Schallschnellewandler kalibriert. Die Grundlage dafür bietet das von der Spektra GmbH Dresden entwickelte und DKD-zertifizierte Kalibriersystem CS18AK.

Do. 8:30    Raum 57.03

Bauakustik II

### **Einfluss von Raumgeometrie und Schallabsorption auf die Schalldämmung**

M. Sommerfeld und V. Wittstock

*Physikalisch-Technische Bundesanstalt*

Die Schalldämmung von Wänden ist abhängig von der modalen Struktur der beteiligten Luft- und Körperschallfelder. Um diese Effekte und deren Auswirkungen auf die Bestimmung des Schalldämm-Maßes zu untersuchen, wurden im Rahmen eines vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) geförderten Projektes Modellmessungen an einem nebenwegsfreien Modellprüfstand im Maßstab 1:8 durchgeführt. Durch eine verschiebbare Rückwand im Prüfstand wurden Variationen des Luftschallfelds erreicht und somit der Einfluss der Raumgeometrie auf die Schalldämmung analysiert. Als Prüflinge dienten zwei Bauteile (biegesteif und biegeweich), die in verschiedenen Geometrien untersucht wurden. Bei der ersten Geometrie sind Sende- und Empfangsraum unterschiedlich groß (Prüfstandsgeometrie). Die zweite beinhaltet nahezu identisch große Prüfräume, was der tatsächlichen Situation in Gebäuden entspricht (Baugeometrie). Die dritte Prüfstandsgeometrie stellt einen Sonderfall der zweiten dar, bei der die Raumtiefe so gewählt wurde, dass über die Luftschallwellenlänge genau eine Eigenschwingung des Trennbauteils angeregt wird (Spezialgeometrie). Es konnte gezeigt werden, dass die Wiederholstandardabweichung in den Prüfstandsgeometrien übliche Werte annimmt. Biegeweich- sowie biegesteife Bauteile zeigen in den Baugeometrien gegenüber den Prüfstandsgeometrien durchweg schlechtere Schalldämm-Maße. Zwischen den Einzahlkennwerten dieser beiden Geometrien liegt eine Differenz von 1 dB. Bei tiefen Frequenzen ergab sich in allen untersuchten

Geometrien eine signifikante Erhöhung der gemessenen Standardabweichung der Luftschalldämm-Maße. Innerhalb der Spezialgeometrie konnte man beobachten, dass die Schalldämmung in diesem Fall deutlich schlechter ausfällt und unterhalb der Koinkidenzfrequenz nochmals stark einbricht.

Do. 8:55 Raum 57.03

Bauakustik II

### **Schallschutz gegen Außenlärm - Wintergärten und Schallschutzloggien**

R. Liegl

*Möhler + Partner*

Unter Anderem aufgrund innerstädtischer Verdichtung rücken Wohnnutzungen in steigendem Maß an hochbelastete Verkehrswege und Gewerbenutzungen heran. Hierbei werden häufig die seitens der WHO und Umweltbundesamts benannten Grenzen, oberhalb derer Gesundheitsgefahren durch Lärmeinwirkungen nicht mehr ausgeschlossen werden können bzw. im Falle des Gewerbe- und Anlagenlärms die rechtlich bindenden Immissionsrichtwerte der TA Lärm überschritten. Um das im Einzelfall aufgrund anderer städtebaulicher Aspekte erforderliche Heranrücken dennoch zu ermöglichen, fordern Bauleitpläne in diesen Fällen den Bau von Schallschutzvorbauten (Wintergärten, verglaste Loggien und Balkone), um vor den Fenstern der dahinterliegenden Aufenthaltsräume bestimmte Schallpegelwerte, z.B. die Orientierungswerte nach DIN 18005 oder die Immissionsrichtwerte der TA Lärm einhalten zu können. In Abhängigkeit der notwendigen Pegelreduzierung resultieren hieraus teilweise bautechnisch aufwendige Konstruktionen. Die schalltechnischen Zusammenhänge werden für verschiedene Anforderungen dargestellt und Hinweise zu bauphysikalischen Problemen im Zusammenhang mit Schallschutzvorbauten gegeben.

Do. 9:20 Raum 57.03

Bauakustik II

### **Zur Berechnung der Schalldämmung von Gebäude-Außenfassaden und der Schallpegeldifferenz "außen/innen" bei Fluglärm**

C. Maschke<sup>a</sup>, J. Feldmann<sup>b</sup> und E. Augustin<sup>c</sup>

<sup>a</sup>FBB-Maschke; <sup>b</sup>Institut für Strömungsmechanik u. Technische Akustik, TU Berlin; <sup>c</sup>Forschungsverbund 'Lärm und Gesundheit'

In Analogie zu Berechnungen der Schalldämmung von Gebäude-Außenbauelementen gegenüber einer Schalleinwirkung durch

Straßenverkehr wurden methodisch vergleichbare Berechnungen durchgeführt, um die Schalldämmung von Gebäude-Außenbauelementen bei Flugverkehr zu beschreiben. Aus den Ergebnissen lassen sich die jeweiligen Schallpegeldifferenzen "außen-innen" ermitteln. Während beim Straßenverkehr zur Bestimmung der Schallpegeldifferenz "außen/innen" ein Zuschlag von 3 dB(A) zum berechneten oder gemessenen äußeren Freifeldpegel notwendig ist, muss im Falle des Flugverkehrs in Abhängigkeit von der Sichtentfernung und dem Schall-Einfallswinkel zwischen Immissionsort und Schallquelle ein Zuschlag von bis zu 6 dB(A) vorgesehen werden, der bei vergleichbarem Einfallswinkel stets um 2 dB(A) höher anzusetzen ist, als beim Straßenverkehr. In Anwendung der Erkenntnisse auf ein gekippt geöffnetes Fenster kann mit Hilfe von Modellrechnungen gezeigt werden, dass bei Fluglärm typische Schallpegeldifferenzen "außen/innen" unterhalb von 15 dB(A), d.h. bei etwa 13 dB(A) (Medianwert) liegen.

Do. 9:45    Raum 57.03

Bauakustik II

### **Vibroakustisches Verhalten von Doppelwandstrukturen mit räumlich verteilten Resonatoren**

S. Hettler und P. Leistner

*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

Der zunehmende Einsatz von Leichtbaukonstruktionen aus ökologischen und ökonomischen Gründen erschwert einen hochwertigen Schallschutz insbesondere bei tiefen Frequenzen. Unter der Nutzung der Vorteile von mehrlagigen Leichtbauteilen verfolgt die Untersuchung eine effiziente Anwendung lokal wirksamer Resonanzsysteme zur Verbesserung der Schalldämmung von leichten Doppelwandkonstruktionen. Hierfür werden in den Zwischenraum der Doppelwandkonstruktion räumlich verteilte Schwingungstilgersysteme eingebracht. Aufbauend auf früheren Veröffentlichungen der Autoren wird für eine Konstruktion mit internen Resonatoren ein zweidimensionales Plattenmodell zur Berechnung der Plattenschwingungen vorgestellt. Um das modale Verhalten der beiden Schalen zu berücksichtigen basiert das Berechnungsmodell auf der Methode der modalen Entwicklung. Dies ermöglicht es, den Zusammenhang der Positionierung der internen Resonatoren und der Plattenmoden zu untersuchen. Rechenergebnisse werden für senkrechten und diffusen Schalleinfall vorgestellt. Die Anwendung der internen Resonatoren wird anhand der berechneten Schalldämmung der Doppelwandkonstruktion quantifiziert. Die aufgeführten Ergebnisse

zeigen, dass die Transmissionseigenschaften der untersuchten Konstruktionen durch Anzahl, Verteilung und Abstimmung der internen Resonatoren wesentlich beeinflusst werden. Gerade im Bereich der Masse-Feder-Masse Resonanz einer Doppelwandkonstruktion konnte eine erkennbare Verbesserung der Schalldämmung erreicht werden.

Do. 10:10    Raum 57.03

Bauakustik II

### **Prognosemodell für Installationsschächte mit Abwasserleitungen**

W. Bollmann und C. Väth

*Geberit International AG Schweiz, Geschäftsbereich Technologie*

Im Rahmen dieses Projekts wurden im Prüfstand nach EN 14366 im Bauphysikalischen Labor der Geberit der Einfluss von unterschiedlichen Schachtkonstruktionen auf die Schallabstrahlung einer Abwasserleitung in einen Raum ermittelt. Ziel der Arbeit ist es, Grundlagen für ein Prognosemodell zu erhalten, mit dem sich der Schalldruckpegel außerhalb des Schachts in Abhängigkeit der Schachtkonstruktion und der geplanten Belegung vorausberechnen lässt. Dies mit dem Hintergrund, dem Planer ein Instrument zu geben, mit dem er eine geeignete Schachtkonstruktion zur Einhaltung der Anforderungswerte nach den einschlägigen Normen bereits in der Planungsphase wählen kann. In den messtechnischen Untersuchungen wurden die folgenden Faktoren untersucht: Einfluss der Quelle (Abwasserleitung), zwei unterschiedliche Schachttypen in Leichtbauweise (Duofix-System, GIS), Absorption der Schächte in unterschiedlicher Weise, unterschiedliche Arten der Schachtverkleidung (1-lagig / mehrlagig) und der Beplankungen (unterschiedliche Produkte und Stärken), Geometrie des Schachts, Ummantelung der Quelle, Einflüsse der Fugen (Undichtigkeiten). Die Berechnung der Pegel wurde terzweise durchgeführt. Das Modell wurde exemplarisch an einem Beispiel anhand der durchgeführten Messungen verifiziert. Die Übereinstimmung der Prognose mit den Messwerten war zufriedenstellend, zudem waren die Prognosen konservativ, d.h. die Messwerte sind niedriger als die Voraussage. Die ermittelten Werte wurden auch dazu verwendet, für den Praktiker konstruktive Hinweise zu einer optimalen Schachtgestaltung zu geben. Auf die im Laufe des Projekts angetroffenen Probleme und entsprechende Lösungsansätze wird ebenso eingegangen, wie auf zusätzliche messtechnische Untersuchungen und noch nötige Erweiterungen und Verfeinerungen des Modells. Die Grenzen des Verfahrens werden diskutiert.

Do. 14:00 Raum 57.03

Technische Akustik

**Reduzierung der induzierten Körperschalleistung für ideale und reale Quellen durch Änderung der Empfangsstruktureigenschaften unter der Vorgabe spezifischer Designvorgaben (z.B. Massenreduzierung)**K.-R. Fehse und T. Kohrs*Bombardier Transportation*

Die eingespeiste Körperschalleistung setzt sich mehr und mehr als charakteristische Größe zur quantitativen Beschreibung des Körperschalls durch. Muss eine Körperschallquelle mit ihren dynamischen Eigenschaften und ihrer Aktivität als gegeben hingenommen werden, besteht noch die Möglichkeit die Körperschallübertragung und -Ausbreitung durch Änderung der Empfangsstruktur zu beeinflussen. Wie bei der Reduzierung des Luftschalls wird eine Erhöhung der Masse und/oder Dämpfung oft als Mittel erster Wahl betrachtet. Ist dies die richtige und einzige Lösung? Was kann getan werden, wenn beispielsweise keine Erhöhung der Masse möglich ist? Diese Fragestellungen werden mit Beispielen aus der Schienenfahrzeugpraxis diskutiert.

Do. 14:25 Raum 57.03

Technische Akustik

**Die Körperschallausbreitung in versteiften Platten**R. Tschakert und B. Petersson*Institut für Strömungsmechanik u. Technische Akustik, TU Berlin*

Im Vorjahr wurden einige Ergebnisse mittels der Methode der 'Spatial Fourier Transformation' vorgestellt. Die dabei benutzte Fourierrücktransformation in den Ortsbereich wird jedoch bei komplizierten Strukturen numerisch instabil. Der Autor stellt nun ein alternatives Modell vor, in dem der Einfluss der Balken diskretisiert wird. Ausgehend von einer unendlichen Platte werden die Versteifungen durch Zusatzkräfte und -momente modelliert. Dadurch entsteht ein Gleichungssystem, mit Hilfe dessen die Zusatzkräfte und -momente und damit auch die Schnelleverteilung auf der Platte errechnet werden. Diese Methode ist gerade für versteifte Platten geeignet, bei denen einzelne Versteifungen in beliebigen Abständen angebracht sind. Für einige ausgewählte Abstände zwischen den Balken wird die Körperschalldämmung untersucht.

Do. 14:50 Raum 57.03

Technische Akustik

**Abstrahlung und Richtcharakteristik eines elektrischen Motors**S. Fingerhuth<sup>a</sup> und K. Kasper<sup>b</sup><sup>a</sup>*Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen;* <sup>b</sup>*Institut für Stromrichtertechnik und El. Antriebe, RWTH Aachen*

Bei elektrischen Antrieben können, abhängig vom Typ, der Stator und das Gehäuse stark schwingen. Bei 'Geschalteten Reluktanzmaschinen'(GRM) ist besonders der Stator starken radialen Kräften ausgesetzt die aufgrund des Ein- und Ausschaltens der unterschiedlichen Phasen verursacht werden. So schwingt der Stator mit Frequenzen und Modenformen, die abhängig sind von Drehzahl, Zahnkonfiguration und Phasenzahl. An einer GRM mit einer Leistung von ca. 2,7 kW wurde eine Messung der Abstrahlrichtcharakteristik durchgeführt. In 10° Schritten (Azimutwinkel) bzw. 5° Schritten (Elevation) wurde die Maschine vermessen. Die Abstrahlrichtcharakteristik wird in dieser Arbeit vorgestellt und analytischen bzw. numerischen Berechnung gegenübergestellt. Dies ist ein erster Schritt, die Abstrahlung der GRM zu analysieren und daraus die Schwingungen zu rekonstruieren, um die Abstrahlung ins Freifeld und eine Ankopplung an das Gehäuse sowie weitere Schritte berechnen zu können.

Do. 15:15 Raum 57.03

Technische Akustik

**Noise radiation optimization of a Landi Renzo Gas injector based on dynamic and acoustic simulation and experimental investigations**S. Dutré<sup>a</sup>, P. Brizzi<sup>b</sup> und P. Di Carlo<sup>b</sup><sup>a</sup>*LMS International;* <sup>b</sup>*LMS Italy*

In this paper, it is explained how experimental investigations and CAE simulations are used to get better insight in the Noise sources and transfer paths of an Gas injector.

Experiments were performed in operational condition to measure piston displacement, internal forces and operational vibrations. Also FRF measurements were performed in order to identify the component resonance frequencies. These measurements were necessary to have the correct input forces to the CAE model and were used to correlate and validate the CAE model.

The CAE model consists of a multi-body model which takes the flexibility of all components into account and which is able to predict internal forces and component movement and vibration. The surface vibration of the injector housing serves as input to an



acoustic calculation which predicts sound pressure levels around the injector.

This combined Multi-body/Acoustic model was correlated with the experiments and used then to get insight in the Source and Transfer mechanism of the noise radiated by the injector, and to optimize the design so that acoustic improvement has been obtained.

The design improvements developed based on CAE have also been experimentally validated to prove their effectiveness.

Do. 15:40    Raum 57.03

Technische Akustik

### **Untersuchung der Praktikabilität von Quellentrennungsverfahren bei der Schadensdiagnose in Wälzlagern**

M. Isermann<sup>a</sup>, J.H. Guimaraes<sup>a</sup> und C. Steinhusen<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen;* <sup>b</sup>*Institut für Bergwerks- und Hüttenmaschinenkunde, RWTH Aachen*

Wälzlager sind eine der am häufigsten verbauten und zentralen Maschinenkomponenten, so dass ihre Überwachung von besonderer Wichtigkeit ist. Die Zustandsanalyse von Wälzlagern wird unter Anderem durch die Messung des abgestrahlten Körperschalls realisiert. Eine Herausforderung bei der Untersuchung einzelner Lager stellt die Überlagerung der Schallemission von unterschiedlichen bewegten Quellen dar. Hierfür wäre eine Trennung der einzelnen Signalquellen wünschenswert. Die Independent Component Analysis (ICA) ist eine Methodik zur Trennung linearer Mischungen unbekannter Quellsignale (Blind Source Separation). Die Independent Subspace Analysis (ISA) ist eine auf der ICA basierende Weiterentwicklung, die ebenfalls zur Signaltrennung verwendet werden kann. Im Rahmen dieser Arbeit wird die Anwendbarkeit dieser beiden Verfahren für Körperschallsignale untersucht. Dazu werden mit Hilfe von Beschleunigungssensoren Körperschallsignale an einem Lagerprüfstand aufgenommen und anschließend mit den obigen Verfahren analysiert. Dabei werden sowohl die Möglichkeiten der beiden Methodiken gezeigt, als auch die sich aus der praktischen Anwendung ergebenden Grenzen verdeutlicht.

Do. 16:05    Raum 57.03

Technische Akustik

**Geräuschemission von Luft/Wasser Wärmepumpen**M. Krämer und N. Rambašek*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

Aufgrund der gestiegenen Heizölpreise ist die Nachfrage nach alternativen Heizsystemen in den letzten Jahren stark angestiegen. Eine Möglichkeit sind Wärmepumpen, die sowohl für Innen- und Außenaufstellung verfügbar sind. Akustisch können Wärmepumpen jedoch problematisch sein, da sie in Form von Ventilatoren und Verdichtern auch Lärmquellen enthalten, um z.B. der Außenluft die benötigte Wärmemenge zu entziehen. Am Fraunhofer-Institut für Bauphysik wurden im Rahmen einer Schallleistungsbestimmung Luft/Wasser-Wärmepumpen schalltechnisch untersucht. Ergebnisse der Untersuchung bezüglich der Hauptlärmquellen werden aufgezeigt sowie Verbesserungsmaßnahmen dargestellt.

Donnerstag    Poster

Technische Akustik

**Resonator-Schalldämpfer für BHKW**J. Hemsing*Nießing Anlagenbau GmbH*

Der Einsatz von Blockheizkraftwerken (BHKW) hat in den letzten Jahren starke Verbreitung gefunden, nicht zuletzt durch die staatliche Förderung von Biogasanlagen. Die akustischen Anforderungen orientieren sich dabei an der TA Lärm für gewerblich genutzte Anlagen. Aufgrund der eingesetzten Verbrennungsmotoren kommt es in den Abgasleitungen, neben breitbandig hohen Pegeln, vor Allem bei der Zündfrequenz und ihren Harmonischen zu tieffrequenter Abstrahlung von Einzeltönen, die in der TA Lärm mit einem Malus belegt werden. Zur effizienten Reduzierung dieser Anteile haben sich Resonator-Schalldämpfer mit einer oder mehreren auf verschiedenen Frequenzen abgestimmte Kammern bewährt. Ihre Vorteile liegen in der gezielten Abstimmung auf die tonalen Komponenten, ihrem niedrigen Druckverlust und der robusten Ausführung. Der Vortrag beleuchtet dieses Umfeld und zeigt anhand praktischer Beispiele die Bestandsaufnahme, Auslegung, Einbau und Abnahme derartiger Anlagen.

Donnerstag Poster

Technische Akustik

**Mehrkammer-Rohrschalldämpfer mit Mikroperforation**P. Brandstät, K. Bay und N. Rambašek*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

Schalldämpfer mit Mikroperforation stellen eine interessante Alternative zu konventionellen Lösungen dar, da sie ohne Fasermaterial wartungsfrei in feuchter, staubiger oder hygienisch anspruchsvoller Umgebung eingesetzt werden können. Für Rohrschalldämpfer mit Mikroperforation als innerer Berandung der ansonsten mit Absorbermaterial gefüllten Kammer existieren bereits Erfahrungen für verschiedene Ausführungsvarianten. Der Beitrag stellt als Erweiterung Rohrschalldämpfer vor, die aus mehreren hintereinander angeordneten Kammern bestehen. Das Wirkprinzip, Berechnungsverfahren und Möglichkeiten zur Abstimmung der Schalldämpfer auf bestimmte Frequenzbereiche werden diskutiert. Vergleiche mit Messungen an Muster-Schalldämpfern zeigen beispielhaft die praktisch realisierbare Dämpfung.

Donnerstag Poster

Technische Akustik

**IBPSound - Software für die Akustik-Praxis**K. Bay, P. Brandstät und H. Drotleff*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

IBPSound, die neue Akustik-Softwarefamilie des Fraunhofer IBP, umfasst derzeit zwei Module für akustische Berechnungen. Das Modul compas (computation of absorbtive silencers) zur Berechnung von Schalldämpfern ist eine Umsetzung der seit längerem verfügbaren DOS-Version. compal (comutation of absorbtive layers) ist ein Modul zur Berechnung z.B. des Schallabsorptionsgrades von ein- und mehrlagigen Absorbern. Das Poster zeigt die Programmoberflächen und stellt die den Modulen zugrunde liegenden Rechenverfahren vor. Beispielhafte Berechnungen werden Messungen gegenübergestellt.

Do. 8:30    Raum 57.04    Aktive Schwing.- u. Lärmbekämpfung

### **Semi-active Control of Friction Dampers for Structural Vibration Control**

J. Becker und L. Gaul

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

Reduction of structural vibrations is of major interest in mechanical engineering in order to lower sound emission of vibrating structures, improving accuracy of machines and increasing durability. Besides design optimization and passive damping treatments, active structural vibration control techniques become more and more important as lightweight constructions evolve. In this contribution, two semi-active control laws for control of friction dampers are derived and investigated. Thereby, semi-active control has the conceptual advantage that it yields intrinsically stable closed-loop systems. Furthermore, they possess low power consumption compared to active vibration control because they rely on passive system properties. In the experimental implementation, the control make use of piezoelectric stack actuators to apply adjustable normal forces between structure and attached friction damper elements. For that purpose, the control uses acceleration and normal force measurements. Roughly speaking, the normal forces are controlled accordingly to the measured structural vibrations in order to achieve optimal damping effect. Experimental results of the control algorithms for a beam test structure with an attached friction damper with one adjustable normal force show the effectiveness of the algorithms. The control laws are evaluated with respect to their effectiveness, need of actuator bandwidth, applicable frequency bandwidth and energy consumption.

Do. 8:55    Raum 57.04    Aktive Schwing.- u. Lärmbekämpfung

### **Active vibration control applied to a tram HVAC unit**

J. Bös, M. Kauba und D. Mayer

*Fraunhofer-Institut Betriebsfestigkeit und 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. The structural behavior of the unit is analyzed by means of various vibration measurements.

To estimate the potential of active vibration reduction approaches, additional control forces are applied to the compressor by means of an electrodynamic shaker. This shaker is controlled by a 'modified error' algorithm as part of a digital adaptive internal model control running on an embedded industrial PC system. The adaptive control resulted in a vibration reduction in the range of 18 dB at 48 Hz. These preliminary results will be used to design active vibration reduction devices such as active compressor mounts, an active tuned vibration absorber, or an inertial mass actuator.

Do. 9:20    Raum 57.04    Aktive Schwing.- u. Lärmbekämpfung

### **Neue Sensoren für die Messung der Abstrahlmoden als Element des aktiven Lärminderungssystems**

S. Pietrzko<sup>a</sup> und W. Batko<sup>b</sup>

<sup>a</sup>EMPA (CH); <sup>b</sup>University of Science and Technology Krakow

Die aktive Regelung der Schallabstrahlung vibrierender Strukturen verlangt die Messung von frequenzabhängigen Abstrahlmoden (Eigenschwingungen), die im Wesentlichen für die abgestrahlte Schallleistung verantwortlich sind. Diese Eigenschwingungen können mit diskreten oder mit verteilten Spannungssensoren wie piezoelektrische Folien oder piezoelektrischen Fibern gemessen werden. Die Kenntnis der Abstrahlmoden erlaubt im Weiteren die Auslegung eines Regelsystems das lärmrelevante Schwingungsmoden modifizieren kann und damit eine Reduktion der abgestrahlten Schallleistung. Im Paper werden neue Entwicklungen von Sensoren für die Messung von Abstrahlmoden sowie deren Implementierung in ein Regelsystem am Beispiel eines schwingenden Balkens vorgestellt.

Do. 9:45    Raum 57.04    Aktive Schwing.- u. Lärmbekämpfung

### **Transient simulations on active reduction of sound transmission through structures**

M. Brink

EADS Deutschland GmbH

With the constant weight reduction in vehicles to save expensive fuel, noise that is transmitted by the vehicle's structure towards its passengers is an increasing problem. One way of reducing this noise without adding too much extra mass is making use of active noise control (ANC). Using the finite element (FE) matrices of structures, the transmission of sound through plates can

be simulated in the transient time-domain. This can be done for normal incidence as well as for a diffuse source field. The advantage of this approach is that ANC algorithms, which usually work in the time-domain, can be implemented directly into the FE simulations. Their time-dependent behaviour can now be investigated. As an example, a thin rectangular plate with actuators attached on it is modelled. The filtered-reference ANC algorithm is implemented and noise is introduced on the source side of the plate. The embedded algorithm controls the actuators in such a way that the sound power on the radiating side of the plate is reduced. The simulations are verified with experiments. The presentation will be given in German.

Do. 10:10    Raum 57.04    Aktive Schwing.- u. Lärmbekämpfung

### **Aktive akustische Barriere**

S. Böhme, D. Sachau und T. Kletschkowski

*HSU / Universität der Bundeswehr Hamburg*

In vielen technischen Anwendungen werden durch Maschinenlärm, Propellerlärm oder anderen Primärquellen stehende Wellenfelder im niederen Frequenzbereich ( $f < 500$  Hz) in Innenräumen induziert. Aufgrund von Lärmschutzvorschriften oder zur Erhöhung des Komforts kann es notwendig sein, Maßnahmen zur Lärmbekämpfung zu ergreifen. In der heutigen Zeit stehen eine Vielzahl von passiven und aktiven Maßnahmen zur Verfügung. Aktive Systeme bieten gerade bei der Anwendung im niederen Frequenzbereich Gewichts- und Platzersparnis. Aber gerade der Einsatz von aktiven Gegenschallsystemen in Innenräumen ist mit einem hohen Aufwand für die Positionierung der Aktuatoren und Sensoren verbunden, um eine hohe Gesamtleistung des Systems zu erreichen. Die Komponenten des eingesetzten Active Noise Control-Systems müssen für einen globalen Regelungserfolg in Innenräumen in der Regel ebenfalls global verteilt sein. Gerade in Flugzeugen und anderen Fahrzeugen ist die globale Verteilung von Systemkomponenten im Innenraum aufgrund von Designanforderungen problematisch. In vielen Anwendungen wird der meist stationäre harmonische Störschall über eine begrenzte Anzahl von Transmissionswegen in den Innenraum übertragen. Diese können zum Beispiel Öffnungen oder schwingende Strukturen beinhalten. Das globale Positionierungsproblem wird für solch eine Problemstellung mit Hilfe

der aktiven akustischen Barriere gelöst. Durch eine lokale Anordnung von Aktuatoren und Sensoren in den Schalltransmissionspfad wird mit Hilfe von destruktiver Interferenz ein globaler Regelungserfolg erzielt. Der Ansatz zeigt seine Wirksamkeit nicht nur in Innenräumen sondern auch unter Freifeldbedingungen. Die Idee und erste experimentelle Resultate bei der Anwendung in einer Transmissionsöffnung, die einen reflexionsarmen Raum und einen Hallraum verbindet, werden präsentiert.

Do. 10:35    Raum 57.04    Aktive Schwing.- u. Lärmbekämpfung

### **Aktive Lärminderung in Schlafräumen mit realen und virtuellen Fehlersensoren**

T. Kletschkowski, D. Sachau und S. Böhme

*HSU / Universität der Bundeswehr Hamburg*

Für einen gesunden und erholsamen Schlaf ist es notwendig, Schlafräume mit Frischluft zu versorgen. Dies erfolgt im Allgemeinen durch Öffnen von Fenstern. Allerdings dringt durch geöffnete Fenster auch Lärm von nahe gelegenen Straßen in den Schlafraum ein, wodurch der Schlaf erheblich beeinträchtigt wird. Eine Reduktion dieser Geräuschbelastung ist volkswirtschaftlich außerordentlich bedeutsam, da die häufigste Todesursache (Herz-Kreislauf-Erkrankungen) auch auf lärmbedingte Stressbelastung zurückgeführt wird. Folglich besteht die Notwendigkeit, insbesondere den Lärm im Bereich einer schlafenden Person zu reduzieren, ohne dabei den Schlafkomfort oder die Frischluftzufuhr zu beeinträchtigen.

Zur Lärminderung in Schlafräumen bieten sich insbesondere im Bereich niedriger Frequenzen, aktive Maßnahmen an. Der Einsatz derartiger Verfahren wird derzeit an der Professur für Mechatronik der Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg in einem durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt geförderten Projektes (24483) geprüft.

In der vorliegenden Arbeit werden, basierend auf den erzielten Arbeitsergebnissen, lokale Gegenschallkonzepte im Kopfbereich einer schlafenden Person diskutiert, da diese nicht an eine spezielle Raumgeometrie gebunden sind. Im Einzelnen wird auf den Aufbau eines vereinfachten Experimentalsystems, die Ermittlung der initialen Lärmverteilung und die Bewertung der erreichten Lärminderung Bezug genommen.

Im Unterschied zu den Voruntersuchungen wird insbesondere der durch den Einsatz virtueller Mikrophone erzielbare Regelungserfolg analysiert. Die Anwendung dieser noch in der Entwicklung befindlichen Sensortechnologie, die Fragestellungen

der Optimierung (optimale Platzierung), der Regelungstechnik und der digitalen Signalverarbeitung verbindet, verdeutlicht die Komplexität der Aufgabenstellung.

Do. 14:00    Raum 57.04    Aktive Schwing.- u. Lärmbekämpfung

### **Anpassungen und Anwendungen von Aktiv-Schalldämpfern**

K. Bay, P. Leistner, M. Krämer und N. Rambausek

*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

Seit einigen Jahren werden Aktiv-Schalldämpfer zur Bedämpfung tiefer und mittlerer Frequenzen in Lüftungs- und Heizungsanlagen eingesetzt. Die Nachfrage, mit immer weniger Platz immer mehr tieffrequent dominierte technische Lärmquellen zu beruhigen, führt zu neuen Einsatzfällen mit zum Teil angepassten Komponenten. Die Verwendung in Strömungskanälen ist sicher ein wesentliches Einsatzgebiet. In nahezu unveränderter Form können die aktiven Resonatoren z.B. auch bei Lüftungsöffnungen in Wänden zur Erhöhung der tieffrequenten Schalldämmung beitragen. Im Vortrag werden Aufbau und Wirkprinzip aktiver Resonatoren vorgestellt und Anpassungen an bestehende und neue Anwendungsgebiete anhand von Messwerten diskutiert.

Do. 14:25    Raum 57.04    Aktive Schwing.- u. Lärmbekämpfung

### **Ein 2D-ANC-System zur Anwendung im Emissionsschutz**

A. Niepenberg und D. Krahé

*Bergische Universität Wuppertal, Bereich Nachrichtentechnik*

Bereits in früheren DAGA-Beiträgen wurde von den Autoren ein Active Noise Control (ANC)-System vorgestellt, das innerhalb eines aus 12 Lautsprechern gebildeten Kreises wirkt und als Immissionsschutz eingesetzt werden soll. 12 Mikrofonpaare, die in einem größeren, zum Lautsprecherkreis konzentrischen Kreis angeordnet sind, nehmen von außen einfallenden Lärmschall auf. Ein DSP-System berechnet aus den Mikrofonsignalen die für die Erzeugung des Gegenschallfelds erforderlichen Lautsprechersignale, so dass die Superposition beider Schallfelder im Inneren des Lautsprecherkreises zu einer destruktiven Interferenz und damit zu einer Dämpfung des Lärmschalls führt.

In diesem DAGA-Beitrag wird nun der Frage nachgegangen, ob ein entsprechend modifiziertes 2D-ANC-System auch im Emissionsschutz eingesetzt werden kann, indem es auf Schallquellen, die sich im Inneren des Kreises befinden eine Dämpfung nach außen hin bewirkt. Anhand von Simulationen sowie Ergebnissen aus Messungen an einem echtzeitfähigen System sollen die Untersuchungen illustriert werden.



Das Projekt wird aus Mitteln des BMBF und dem Europäischen Sozialfonds gefördert.

Do. 14:50    Raum 57.04    Aktive Schwing.- u. Lärmbekämpfung

### **A Wave Decomposition Method for the Active Control of Sound Absorption: Theory and First Experimental Results**

M. Norambuena, A. Jakob und M. Möser

*Institut für Strömungsmechanik u. Technische Akustik, TU Berlin*

Sound absorption is one of the biggest topics of interests in architectural acoustics due to its direct influence in the acoustic quality of a room. At low frequencies, passive methods as porous materials or resonators require huge volumes making its use unpractical. In recent years, new techniques developed from active noise control methods have been used to find more efficient solutions in this area. Well known ANC methods are based on generating a zero pressure field driving an appropriate signal through a secondary source. In a similar way, active absorption methods drive a signal through a secondary source not in order to minimize the sound field in front of it but try to change the impedance of the lining enclosure. This change in the impedance is used to increase the absorption coefficient and consequently minimize or vanish the reflected sound wave.

Using a one dimensional sound field with two superimposed plane waves, one generated by a primary source and its reflected resultant, this proposed method use a secondary source to vanish the reflected wave minimizing its magnitude adjusting the phase and gain with regard to the primary source.

A theoretical and experimental study of this method is presented. Equations for this setup are shown and developed. A setup consisting of a Kundt's tube, two loudspeakers, two microphones and a Matlab script control procedure is used. Initially pure tone signals are used to find the optimal operation point of the system and later on broad band noise is used to evaluate the efficiency of the system.

Do. 15:15    Raum 57.04    Aktive Schwing.- u. Lärmbekämpfung

### **Feedback-Feedforward aktive Lärmkompensation für den Kopfhörer**

H. Foudhaili<sup>a</sup>, B. Wolter<sup>b</sup>, E. Reithmeier<sup>a</sup> und J. Peissig<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Institut für Mess- und Regelungstechnik, Universität Hannover;*

<sup>b</sup>*Sennheiser electronic*

Die aktive Lärmkompensation (ANC: Active Noise Control) in Kopfhöreranwendungen basiert gegenwärtig hauptsächlich

auf Feedback- und Feedforward-Regelstrategien. Der Standard Feedback-Regelkreis kann als analoger Schaltkreis mit einfachen Mitteln realisiert werden. Eine Einschränkung der Kompensationsleistung von Feedback-Regelkreisen stellt jedoch die Totzeit der Sekundärstrecke dar. Diese wird durch den akustischen Schallübertragungspfad zwischen Regellautsprecher und Regelmikrofon hervorgerufen. Die mit steigender Frequenz aufgrund der Totzeit auftretende Phasenabsenkung der Regelstrecke lässt die Lärmkompensation oberhalb einer kritischen Frequenz versagen.

Feedforward-Strategien bewältigen die Totzeitproblematik durch das Nutzen eines früher einfallenden Referenzsignals der Störschallquelle. Der optimale Regler ist nicht nur von der Regelstrecke sondern auch von der Primärstrecke - also zwischen der Störschallquelle und dem Referenzmikrofon - abhängig. Besonders in Verbindung mit Kopfhöreranwendungen werden Feedforward-Regler verwendet, die durch einen Algorithmus online adaptiert werden, um den Regler z.B. den räumlichen Relativbewegungen zwischen Störschallquelle und Kopfhörer anzupassen. In der Praxis ist die Implementierung der Algorithmen mit Einschränkungen hinsichtlich Rechenleistung und Speicherkapazität der Prozessoren verbunden. Somit ist eine Schallkompensation hoher Frequenzen zwar möglich, die Bandbreite jedoch weiterhin begrenzt.

In dieser Arbeit wird eine Kombination von Feedback- und Feedforward-Reglern vorgestellt, die eine breitbandige und adaptive Lärmkompensation erzielt. Der Feedback-Regler wurde für tiefe Frequenzen ausgelegt, während der adaptive Feedforward-Regler für ein höheres Frequenzband abgestimmt wurde. Die erarbeitete Struktur zum Verbinden der Regler ermöglicht eine konstruktive Zusammenarbeit also eine Addition der Lärmkompensationseffekte über den Frequenzbereich.

Do. 15:40    Raum 57.04    Aktive Schwing.- u. Lärmbekämpfung

### **Praktische Aspekte beim Einsatz von ANC-Systemen in PKW**

R. Schirmacher, R. Lippold und F. Walter

*Müller-BBM GmbH*

Beim praktischen, seriennahen Einsatz von ANC-Systemen in PKWs gilt es, zahlreiche Aspekte zu berücksichtigen, die in der 'klassischen' Lehrbuch-Theorie nicht enthalten sind und für erste experimentelle Demonstrationen vernachlässigt werden dürfen.

Dazu zählen beispielsweise Fragen der Stabilität und Robustheit bei Änderungen der Randbedingungen (Temperatur, Besetzungszustand, Fensteröffnung, etc.), Qualität und Verfügbarkeit von Eingangsdaten, Streubandbreiten von Komponenteneigenschaften, Anforderungen an einzusetzende Komponenten oder auch Robustheit gegen Komponentenausfälle und gezielte Störungen.

Der Vortrag stellt ausgewählte Aspekte dar und zeigt, wie diese in einem ANC-System berücksichtigt werden können.

Do. 16:05    Raum 57.04    Aktive Schwing.- u. Lärmbekämpfung

### **Phasenbeziehung für die aktive Minderung des Drehklangs axialer Turbomaschinen bei Verwendung aeroakustischer Gegenschallquellen**

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

<sup>a</sup>TU Berlin, DFG-Sonderforschungsbereich 557; <sup>b</sup>Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt; <sup>c</sup>Institut für Strömungsmechanik u. Technische Akustik, TU Berlin

Im Rahmen eines DFG geförderten Forschungsvorhabens werden aeroakustische Gegenschallquellen zur aktiven Minderung des Drehklangs eines Axialventilators verwendet, die durch das Einblasen von Druckluft über zylindrische Düse zwischen Rotor und Stator angeregt, zur Ausbildung eines Sekundärschallfeldes führen. Damit unterscheidet sich der Ansatz wesentlich von konventionellen Verfahren, in denen das gegenphasige Schallfeld mit Lautsprechern erzeugt wird.

Ursache der tonalen Geräuschenstehung in axialen Turbomaschinen sind instationäre periodische Kräfte, welche als Folge der Rotor-Stator-Interaktion entstehen, wobei die modale Zusammensetzung des Schallfeldes in Umfangsrichtung durch die Anzahl von Rotor- und Statorschaufeln festgelegt ist. Durch die Verwendung der gleichen Anzahl von Einblasdüsen wie Statorschaufeln zur gezielten Strömungsstörung ist in jedem Fall sichergestellt, dass als Folge der Rotor-Störung-Interaktion das Sekundärschallfeld hinsichtlich seiner modalen Struktur dem Primärschallfeld entspricht. Die Anpassung von Amplitude und Phasenlage erfolgt durch den Einblasmassenstrom und die Umfangsposition der Düsen bezüglich des Stators.

In Hinblick auf die Entwicklung geeigneter Regelstrategien wurde in den vorangegangenen Untersuchungen ein Extremwertregler zur Kontrolle von Amplitude und Phasenlage entwickelt. Diese Art der Regelung kommt ohne Systemkenntnis aus, verhält

sich sehr robust gegenüber Störeinflüssen, ist jedoch sehr langsam. Zum Aufbau einer schnellen Regelung ist eine verbesserte Systemkenntnis von entscheidender Bedeutung. Durch eine erweiterte Datenanalyse konnte in aktuellen Untersuchungen die Phase des Sekundärschallfeldes bestimmt werden. Dabei stellte sich heraus, dass der Phasenverlauf in Abhängigkeit von der Düsenumfangsposition für die dominanten Umfangsmoden bei der Blattpassierfrequenz sowie deren Harmonischer linear ist. Diese neue Erkenntnis soll in Folgeuntersuchung zur Entwicklung von schnellen Regelalgorithmen zur Geräuschkinderung durch aeroakustische Gegenschallquellen bei axialen Turbomaschinen Anwendung finden.

Donnerstag    Poster    Aktive Schwing.- und Lärmbekämpfung

### **Hysteresis and Creep Compensation for Piezoelectric Actuators Applied to the Feedforward Control Command of Flexible Structures**

J. Becker<sup>a</sup>, T. Krämer<sup>b</sup> und L. Gaul<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Institut für Angewandte und Exp. Mechanik, Universität Stuttgart;* <sup>b</sup>*Unterensingen*

Piezoelectric materials exhibit nonlinear effects if they are operated outside the small signal regime. These hysteresis and creep effects degrade structural control, especially feedforward control approaches. This is found in experiments of a feedforward control application, where the control is applied to steer the tip of a cantilever beam with piezoelectric patch as actuator from initial to a prescribed desired final deflection. Hereby, the feedforward control design is performed based on the utilization of the notion of flatness in combination with modal analysis to the partial differential equations describing the flexible beam.

The nonlinear effects arise mostly in the electrical transfer path of the piezoelectric patch, which allows to recast the overall nonlinear system model in an Hammerstein form, i.e. as a series connection of an input nonlinearity and the linear model of the flexible structure. Hence, a nonlinear inverse filter is designed to compensate the nonlinear piezoelectric effects. This inverse filter is based on polynomial approximations of the hysteresis loops and on application of the physically motivated Madlung rules. Their parameterization is performed by an initial identification step.

Various conducted experiments verify the simulation results and show the applicability of the feedforward control approach.

Do. 8:30 Raum 57.05

Psychoakustik II

**Spektrale Lautheitssummation von pulsierenden Geräuschen**

J.L. Verhey und M. Uhlemann

*AG Neurosensorik, Institut für Physik, Universität Oldenburg*

Breitbandige Signale haben gegenüber gleich lauten schmalbandigen Signalen im Allgemeinen einen niedrigeren physikalischen Pegel. Neuere Messungen zeigen, dass dieser als spektrale Lautheitssummation bezeichnete Effekt bei kurzen Schallimpulsen (10 ms) größer als bei langen Signalen (1000 ms) ist. In diesem Beitrag wird untersucht, ob eine erhöhte spektrale Lautheitssummation auch bei Folgen von 10ms langen Rauschpulsen zu finden ist. Hierzu werden Pegel für Testsignale mit Bandbreiten von 200 bis 6400 Hz bestimmt, die als gleich laut wie ein Referenzsignal mit einer Bandbreite von 400 Hz und einem Pegel von 70 dB empfunden wurden. Referenz und Testsignal hatten immer die gleiche zeitliche Struktur, d.h. die gleiche Pulswiederholrate. Es wurden Pulsraten von 3 bis 100 Hz untersucht. Es zeigt sich, dass die spektrale Lautheitssummation bei Pulsfolgen mit Pulsraten von bis zu 50 Hz der für einen 10 ms Einzelpuls entspricht. Die Daten werden im Rahmen eines dynamischen Lautheitsmodells diskutiert.

Do. 8:55 Raum 57.05

Psychoakustik II

**Frequenzübergreifende nichtlineare Prozesse in Nach- und Simultanverdeckungsexperimenten**

S.M.A. Ernst und J.L. Verhey

*AG Neurosensorik, Institut für Physik, Universität Oldenburg*

Psychoakustische Messungen zeigen, dass Stimuli mit unterschiedlichem spektralen Gehalt zu einem Objekt zusammengefasst werden, wenn ihre zeitlichen Pegelschwankungen (Einhüllende) gleich sind. Ein Effekt, den man auf diesen Mechanismus zurückführt, ist "Comodulation Masking Release" (CMR). In CMR Experimenten stellt man fest, dass ein Sinuston durch einen schmalbandigen Maskierer an der Signalfrequenz (on-frequency masker, OFM) schlechter maskiert wird, wenn an einer anderen Frequenz ein zusätzlicher Maskierer (flanking band, FB) mit der gleichen Einhüllenden dargeboten wird. In Nachverdeckungsexperimenten kann ein verwandter Effekt beobachtet werden. Auch hier wird eine Verbesserung der Wahrnehmungsschwelle beobachtet, wenn zum Maskierer an der Signalfrequenz ein weiterer Maskiertone an einer anderen Frequenz dargeboten wird. Dies

wird in der Regel auf periphere Nichtlinearitäten wie Suppression zurückgeführt. Auf der vorletzten DAGA wurde ein Modell vorgestellt welches Teile des CMR auch mit Hilfe Suppression simuliert (Ernst und Verhey, DAGA 05, S. 567-568). In diesem Beitrag wird nun experimentell der Zusammenhang von in Nachverdeckungsexperimenten nachgewiesenen Suppressionsbereichen und CMR untersucht. Hierzu wurden zunächst die Suppressionsbereiche vermessen und dann auf Basis dieser Daten CMR Versuche durchgeführt. Es zeigt sich, dass in den Bereichen starker Suppression auch ein deutlicher CMR gefunden wird. Die Ergebnisse unterstützen die den Modellrechnungen zugrunde liegende Annahme, dass bereits nichtlineare Prozesse auf der Basilarmembran einen großen Teil frequenzübergreifender Effekte wie CMR erklären können.

Do. 9:20 Raum 57.05

Psychoakustik II

### **Einfluss von Einhüllendenstatistiken auf Signaldetektion**

J. Rennies, S.M.A. Ernst und J.L. Verhey

*AG Neurosensorik, Institut für Physik, Universität Oldenburg*

Im vorliegenden Beitrag wird die Hypothese untersucht, ob Änderungen der Rauschstatistik bei der Signalerkennung genutzt werden können. Dieses wurde unter Anderem von zwei der Autoren des Beitrages im Zusammenhang mit Across-channel masking (ACM) vorgeschlagen (Ernst und Verhey, 2005, Acta Acust./Acustica, 91:998-1006). Im vorliegenden Beitrag wurde die Schwelle eines 4 kHz Sinustones gemessen, der von einem 100 Hz breiten an der Signalfrequenz zentrierten Schmalbandrauschen maskiert wurde. Als Maskierer dienten drei Arten von Rauschen, die sich in ihrer Einhüllendenstatistik unterschieden: Gaußsches Rauschen, Multiplikationsrauschen und ein Mischrauschen aus diesen beiden Rauscharten. Für Multiplikations- und Mischrauschen wurde der Ton sowohl mit zufälliger Anfangsphase als auch in Phase zum Träger des Multiplikationsrauschens addiert. Die höchsten Schwellen wurden mit Gaußschem Rauschen gemessen, während ähnliche Schwellen mit Multiplikations- und Mischrauschen gefunden wurden. Die Schwellen für einen mit Zufallsphase addierten Ton waren niedriger als bei einer Addition des Tones in Phase zum Rauschträger. Ein auf dem Schwerpunkt der gemittelten Rauschstatistiken beruhendes Modell konnte die Messergebnisse qualitativ simulieren. Die Messergebnisse und Modellrechnungen deuten darauf hin, dass das menschliche Gehör in der Lage ist, Unterschiede in Rauschstatistiken bei der Signaldetektion zu nutzen.

Do. 9:45 Raum 57.05

Psychoakustik II

**Hintergrundsprache unterschiedlicher Sprachverständlichkeit in Büroumwelten: Objektive Leistungsdaten versus subjektive Beurteilungen**S. Schlittmeier<sup>a</sup>, A. Liebl<sup>a</sup>, J. Hellbrück<sup>a</sup>, R. Thaden<sup>b</sup> und M. Vorländer<sup>c</sup><sup>a</sup>*KU Eichstätt-Ingolstadt*; <sup>b</sup>*Philips Research Laboratories Eindhoven*; <sup>c</sup>*Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen*

Lärm ist eine der häufigsten Quellen von Beschwerden von Büroangestellten. Insbesondere Hintergrundsprache wird als störend bzw. belästigend erlebt. Dementsprechend wird bei der akustischen Gestaltung von Büroumwelten darauf fokussiert Verständlichkeit und Pegel von Hintergrundsprache zu reduzieren. Aber kann mittels solcher Maßnahmen die leistungsbeeinträchtigende Wirkung von Hintergrundsprache tatsächlich gemindert werden? Im Vortrag werden Experimente präsentiert, die diese Frage für verschiedene kognitive Basisfunktionen untersuchen, namentlich für das verbale Arbeitsgedächtnis, die Konzentration (Daueraufmerksamkeit) und das verbal-logische Schlussfolgern. Mithilfe einer bauakustischen Auralisation wurden Sprachschalle erzeugt, wie sie in einem Raum hörbar wären, wenn der Sprecher im Nebenraum säße. Die Wahl zweier unterschiedlicher Verläufe der Schalldämmung führte zu zwei Sprachsignalen, die im Pegel deutlich reduziert (35 dB(A)) waren und eine sehr gute bzw. schlechte Sprachverständlichkeit aufwiesen. Ihr Einfluss auf die genannten kognitiven Basisfunktionen wurde sowohl mit dem unbehandelten Sprache (55 dB(A), hohe Sprachverständlichkeit) sowie mit der Leistung unter Ruhe verglichen. Zusätzlich zu diesen objektiven Leistungsdaten wurden subjektive Beurteilungen erhoben.

Unsere Experimente zeigen, dass auch sehr leise aber gut verständliche Hintergrundsprache kognitive Leistung stört; eine signifikante Minderung ihrer Störwirkung ist nur durch eine zusätzliche Reduktion der Sprachverständlichkeit erreichbar. Im Gegensatz dazu wird in den subjektiven Urteilen eine Pegelabsenkung stark, eine Reduktion der Sprachverständlichkeit aber nur marginal honoriert. Auch wird die sehr leise Sprache mit schlechter Sprachverständlichkeit noch als signifikant störend erlebt, obwohl für sie keine signifikante leistungsbeeinträchtigende Wirkung auf die kognitive Leistung nachweisbar ist. Da sich objektive Leistungsdaten und subjektive Urteile ergänzen (und nicht

redundant sind), sind beide bei der Gestaltung akustischer Büroumwelten zu berücksichtigen.

Do. 10:10 Raum 57.05

Psychoakustik II

### **Psychoakustische Untersuchungen zum Einfluss der Farbe auf die Lautheit von Sportwagen**

D. Menzel

*AG Technische Akustik, MMK, TU München*

Die vom Menschen wahrgenommene Lautheit hängt nicht nur von akustischen Eingangsgrößen wie dem Schallpegel oder der Spektralverteilung ab, sondern kann auch durch nicht-akustische Faktoren beeinflusst werden. So zeigte sich, dass Zugvorbeifahrtgeräusche als lauter empfunden werden, wenn gleichzeitig das Standbild eines rot eingefärbten Zuges präsentiert wird, während die Darbietung eines hellgrün eingefärbten Zuges zu einer Reduzierung der Lautheit führen kann. Diese Effekte der audio-visuellen Interaktion spiegeln sich bei der Farbgebung typischer Sportwagenmarken wider, da hier häufig kräftige Farben ('Ferrari-Rot') gewählt werden. Eine Ausnahme bilden britische Sportwagen, die meistens in dunklem grün lackiert sind. In einer Untersuchung mit einem Standbild eines britischen Sportwagens, der elektronisch in den vier Farben rot, hellgrün, blau und dunkelgrün präsentiert wurde, zeigte sich, dass sowohl rot als auch dunkelgrün eingefärbte Fahrzeuge im Mittel eine höhere Lautheit hervorrufen als hellgrüne oder blaue Fahrzeuge. Dieses Ergebnis lässt vermuten, dass die dunkelgrüne Farbe ebenfalls als typisch für Sportwagen eingeschätzt wird.

Do. 14:00 Raum 57.05

Psychoakustik II

### **Soundscapes in der abendländischen Malerei**

M. Bockhoff

*Senlis (F)*

Viele in den Werken der Malerei dargestellte Situationen und Vorgänge suggerieren auditive Rahmen, die mit dem neueren Begriff des Soundscapes beschrieben werden können. Der Untersuchung von Soundscapes ist in den letzten Jahren wachsendes Interesse entgegengebracht worden (z.B. 12th ICSV 2005, Lissabon: 1 Plenarvortrag [Murray Schafer] und 12 Beiträge zum Thema "Acoustic Ecology and Soundscapes"). In vielen Arbeiten handelt es sich um Studien realer, messtechnisch erfassbarer Situationen, manchmal werden sozioökonomische oder andere



Parameter und der Einfluss der Erinnerung einbezogen. In zunehmendem Maße werden auch audiovisuelle Wechselwirkungen untersucht, die die subjektive Beurteilung einer realen Situation beeinflussen. Allerdings wird die visuelle Komponente i.A. nur als Korrekturfunktion für die Hörempfindung behandelt. Eine Frage, die bisher hingegen völlig vernachlässigt wurde, betrifft umgekehrt den Einfluss der auditiven Komponente auf das Seherlebnis, und zwar speziell im Bereich der (gegenständlichen) Malerei. In diesem Beitrag wird zunächst für die Bilder der klassischen Malerei eine Klassifizierung unter dem Gesichtspunkt der assoziierten Soundscapes versucht. Dann wird der Frage nachgegangen, welche Rolle Soundscapes in der Entstehungsphase der Bilder spielen, und wie sie andererseits die Wirkung auf den Betrachter beeinflussen. Eine Schlussfolgerung betrifft die Kontinuität zwischen Absicht des Malers und beim Betrachter hervorgerufenem Eindruck: Sie setzt voraus, dass Maler und Betrachter mit dem zugrunde liegenden Soundscape ähnlich vertraut sind, was für manche Soundscape-Typen mit zunehmendem geschichtlichem Abstand zwischen beiden kaum noch möglich ist. Zahlreiche Bildbeispiele aus dem Repertoire der abendländischen Malerei illustrieren diese Überlegungen.

Do. 14:25    Raum 57.05

Psychoakustik II

### **Einfluss von auditiven Wahrnehmungsereignissen auf die taktile Rauigkeitswahrnehmung**

M.E. Altinsoy

*TU Dresden, Institut für Akustik und Sprachkommunikation*

Die Berührung einer Oberfläche mit den Fingern ist ein alltägliches multisensorisches Ereignis. Während der Berührung bekommen wir gleichzeitig taktile, auditive und visuelle Informationen über eben jenes Objekt. Dabei ist die Rauigkeit eine der wichtigsten Eigenschaften der Oberfläche. Menschen sind in der Lage, nur mit den auditiven Stimulus (Kontaktgeräusch) die Rauigkeit der Oberfläche einzuschätzen. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass insbesondere zwei Wahrnehmungsgrößen bei der Bildung des Urteils der Rauigkeit ausschlaggebend sind: zum einen die Lautheit und zum anderen die Modulationsfrequenz. In diesem Beitrag wird zuerst diskutiert, was die relativen Beiträge von auditiven und taktilen Sinusmodalitäten auf die multimodalen Rauigkeitswahrnehmung sind und danach werden die Einflüsse der auditiven Wahrnehmungsgrößen (die Lautheit und die Modulationsfrequenz) auf die taktile Rauigkeitswahrnehmung vorgestellt.

Do. 14:50 Raum 57.05

Psychoakustik II

**'Cross-modality matching' zwischen Schall- und Vibrations-signalen**A. Kaufmann<sup>a</sup>, M. Bellmann<sup>b</sup> und R. Weber<sup>a</sup><sup>a</sup>*Universität Oldenburg*; <sup>b</sup>*Institut für technische und angewandte Physik - itap GmbH*

Im alltäglichen Leben ist der menschliche Körper z.B. im Straßenverkehr oder bei der Arbeit verschiedensten Ganzkörpervibrationen ausgesetzt. Oftmals geht die Vibrationsexposition mit einer zeitgleichen akustischen Belastung einher.

Es existieren in der Literatur einige Hinweise, dass Schall mit großer Lautheit die wahrgenommene Stärke von Ganzkörpervibrationen verringert. Jedoch ist dieser Effekt bislang noch nicht systematisch untersucht worden. Aus diesem Grund werden in dieser Untersuchung Kurven gleicher subjektiver Wahrnehmungsstärke zwischen Schall und vertikalen Ganzkörpervibrationen auf einem vibro-akustischen Prüfstand im Labor gemessen. In den Experimenten werden den Probanden akustisch schmalbandige Rauschsignale mit festen Pegeln und schmalbandige Vibrationssignale mit variablem Beschleunigungspegel dargeboten. Die Probanden haben die Aufgabe, zu entscheiden, welches der beiden Signale stärker ist. In verschiedenen Settings wird der Einfluss der Startbeschleunigungspegel, der Darbietungsreihenfolge des vibratorischen und des akustischen Stimulus und der Referenzpegel des akustischen Stimulus auf die beurteilte Vibrationsstärke systematisch untersucht.

Es stellt sich heraus, dass der im Vergleich zur Lautstärke als gleich stark beurteilte Vibrationspegel deutlich von der Reihenfolge der dargebotenen Schall- und Vibrationssignale abhängt. So zeigt sich u.a., dass die Wahrnehmung des Vibrationssignals stärker durch einen vorher dargebotenen akustischen Stimulus beeinflusst wird als bei einer umgekehrten Darbietungsreihenfolge.

Do. 15:15 Raum 57.05

Psychoakustik II

**Ein Verfahren zur Bewertung von Gurtwarngeräuschen für Euro NCAP**M. Bodden<sup>a</sup> und M. Heppelner<sup>b</sup><sup>a</sup>*Product Sound - Ingenieurbüro Dr. Bodden*; <sup>b</sup>*Ford Werke GmbH*

Die Bewertung der Sicherheit von Fahrzeugen durch Euro NCAP wird durch die Vergabe von maximal 5 Sternen dokumentiert.

Hierbei werden für die Erfüllung bestimmter Kriterien Punkte verteilt, wobei ein Anteil für Gurtwarngeräusche vergeben wird. Aufgrund der hohen Sicherheitsstandards moderner Fahrzeuge entscheiden häufig diese Geräusche über eine Erzielung des 5. Sterns. Die Bewertung der Gurtwarngeräusche erfolgt subjektiv durch Inspektoren von Euro NCAP - sie bewerten in einer speziellen Betriebssituation ob das Gurtwarngeräusch 'laut und deutlich' hörbar ist.

Bisher fehlte eine robuste Methode zur instrumentellen Überprüfung der Eignung der Signale, so dass sich eine gezielte Entwicklung der Geräusche problematisch darstellte. Die hier vorgestellten Arbeiten eines von ACEA, JAMA und KAMA (europäische, japanische und koreanische Vereinigungen der Fahrzeughersteller) in Auftrag gegebenen Projektes zielten darauf ab ein entsprechendes Verfahren zu entwickeln. Hierzu wurde

- eine Messprozedur definiert
- die Wahrnehmung von Gurtwarngeräuschen systematisch untersucht
- eine instrumentelle Methode zur Bewertung von Gurtwarngeräuschen entwickelt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen und die resultierende Methode werden vorgestellt.

Donnerstag Poster

Psychoakustik II

### **Overall Loudness versus Average of Instantaneous Loudness for Excerpts of Music: Effects of Musical Style**

K. Laumann<sup>a,b</sup>, H. Fastl<sup>a</sup>, S. Kuwano<sup>c</sup> und S. Namba<sup>c</sup>

<sup>a</sup>AG Technische Akustik, MMK, TU München; <sup>b</sup>now: Institut für Rundfunktechnik GmbH; <sup>c</sup>Department of Environmental Psychology, Osaka University

When subjects track the instantaneous loudness of noise immersions of e.g. 5 minutes duration and are asked at the end of the experiment to rate the overall loudness of the preceeding 5 minutes, the following result is obtained: The value of overall loudness is usually higher than the average of the instantaneous loudness ratings. Obviously loud events significantly influence overall loudness rating. Given this result, experiments with excerpts of music of 2 minutes duration were performed. A hypothesis was put forward as follows: If the subject dislikes the style of the music, i.e. interprets the presentation as 'noise', a large difference between overall loudness rating and the average of instantaneous loudness rating should show up. On the contrary, for music excerpts of preferred musical style, the difference between overall loudness

rating and the average of instantaneous loudness rating should be small. Results of corresponding experiments performed with Japanese subjects are presented in the poster. In addition, the experiment can be performed by interested parties themselves, using a laptop and headphones available in front of the poster.

Do. 8:30 Raum 57.06

Audiologie

### **Sprachverständlichkeitstests in Ruhe: Gibt es alternative Verfahren zum Freiburger Sprachtest in der Begutachtung bei (Lärm-) Schwerhörigkeit?**

H. Sukowski<sup>a</sup>, T. Brand<sup>a</sup>, K. Wagener<sup>b</sup> und B. Kollmeier<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Medizinische Physik, Universität Oldenburg; <sup>b</sup>Hörzentrum Oldenburg GmbH

Nach dem aktuellen Stand werden im Rahmen eines Begutachtungsverfahrens bei angezeigter Lärmschwerhörigkeit zur Ermittlung der Sprachverständlichkeit der Zahlentest und der Einsilbertest des Freiburger Sprachtests empfohlen. Beide Tests werden in Ruhe durchgeführt.

Da es kritische Einwände gegenüber dem Freiburger Sprachtest gibt, beispielsweise hinsichtlich ungleicher Schwierigkeit der Testlisten und der Überartikulation der Testwörter, wurde in der hier vorgestellten Studie geprüft, inwieweit sich der Göttinger Satztest und der Einsilber Reimtest nach v. Wallenberg und Kollmeier als alternative Verfahren für die Begutachtung eignen.

Auf der Basis von Ergebnissen einer Vorstudie wurden die alternativen Testverfahren mit den beiden Teilen des Freiburger Sprachtests bei einer Stichprobe von 64 bzw. 145 erwachsenen Versuchspersonen verglichen. Die Probanden waren zwischen 16 und 86 Jahren alt und hatten unterschiedlich ausgeprägte Hörverluste.

Die Ergebnisse zeigen, dass ein Austausch der Verfahren grundsätzlich möglich wäre. Da der Einsilber Reimtest bei gleichen Pegeln insgesamt zu höheren Verständlichkeiten führt als der Freiburger Einsilbertest, müsste er - wie in dieser Studie geschehen - bei einem um ca. 15 dB geringeren Pegel eingesetzt werden, wenn die bisherigen Tabellen zur Ermittlung des prozentualen Hörverlustes weiterverwendet werden sollen.

Für zukünftige Studien wird nicht nur der Vergleich bisheriger mit alternativen Verfahren in Ruhe angestrebt, sondern als ein neuer Aspekt soll auch die Sprachverständlichkeit im Störgeräusch im Hinblick auf die Begutachtung untersucht werden. Das Verstehen von Sprache unter ungünstigen akustischen Bedingungen ist für

die alltägliche Kommunikation von besonderer Bedeutung. Dieser Aspekt wird in Begutachtungsverfahren bislang jedoch nicht berücksichtigt.

Do. 8:55    Raum 57.06

Audiologie

### **Modellierung der Sprachverständlichkeit mit einem auditorischen Perzeptionsmodell**

T. Jürgens, T. Brand und B. Kollmeier

*Medizinische Physik, Universität Oldenburg*

Die meisten Modelle zur Sprachverständlichkeitvorhersage beruhen auf der Analyse des Langzeitspektrums von Sprache und Störgeräusch. (z.B. Articulation-Index (AI) und Speech-Intelligibility-Index (SII)). Das hier vorgestellte Modell basiert auf einer Arbeit von Holube und Kollmeier (JASA 100 (3), 1996) und besteht aus einer physiologisch-psychoakustisch motivierten Vorverarbeitung und einem Spracherkenner zur Erkennung einzelner Phoneme. Zum Training (Bildung des Wortschatzes) des Spracherkenners werden Aufnahmen aus dem Oldenburger-Logatom-Sprachkorpus (OLLO) (Wesker, Meyer, Interspeech 2005) mit dem auditorischen Perzeptionsmodell (Dau, JASA 99 (6), 1996) in eine "interne Repräsentationen" umgerechnet. Für die Erkennung wird eine andere OLLO-Aufnahme auf dieselbe Weise vorverarbeitet. Ein "Dynamic-Time-Warp"-Spracherkenner "erkennt" dann dasjenige Logatom, bei dem sich der geringste perzeptive Abstand zwischen der zugehörigen internen Repräsentation und denen des Wortschatzes ergibt. Vorgestellt werden die Erkennungsraten des Modells, Verwechslungsmatrizen einzelner Phoneme und Auswertungen bezüglich der phonetischen Eigenschaften bei der Erkennung. Der Vergleich mit experimentellen Daten, die von Normalhörenden mit demselben Sprachkorpus in einem Diskriminationsexperiment in Rauschen gewonnen wurden, zeigt, dass das Modell wesentliche Eigenschaften, die der Mensch in diesem Experiment zeigt, vorhersagen kann. Werden dem Spracherkenner unterschiedliche Aufnahmen zum Erkennen und als Wortschatz vorgelegt, so ist das Modell in der Lage die psychometrische Funktion bis auf eine Verschiebung um etwa 10 dB vorherzusagen. Bei identischen Aufnahmen für die Erkennung und den Wortschatz konnte diese Verschiebung drastisch reduziert werden. Als nächster Schritt soll mit diesem Modell die Sprachverständlichkeit von Schwerhörenden aufgrund von klinischen und psychoakustischen Daten vorhergesagt werden und dies in weiteren Experimenten validiert werden.

Do. 9:20 Raum 57.06

Audiologie

**Erstellung eines Testsignals mit Sprachcharakteristik**I. Holube<sup>a</sup>, S. Fredelake<sup>a</sup>, J. Bitzer<sup>a</sup> und M. Vlaming<sup>b</sup><sup>a</sup>*Institut für Hörtechnik und Audiologie, HörTech gGmbH;* <sup>b</sup>*VU University Medical Center, ENT-Audiology, Amsterdam*

Zur Analyse und Charakterisierung der Übertragung von Sprache durch ein System (z.B. ein Hörgerät oder ein Telekommunikationsgerät) wird ein Testsignal benötigt, das möglichst alle Eigenschaften von Sprache aufweist. Zu diesen Eigenschaften zählen neben dem Spektrum u.A. auch das Modulationsspektrum und der Grundfrequenzverlauf sowie dessen Harmonische. Künstlich erzeugte Signale erfüllen diese Anforderungen nur unzureichend. Aufnahmen mit realen Sprechern repräsentieren dagegen nur eine Sprache und sind deshalb u.U. nicht international einsetzbar. Deshalb wurde in Zusammenarbeit mit der European Hearing Instrument Manufacturing Association (EHIMA) ein Testsignal erstellt, das auf natürlicher Sprache beruht, aber trotzdem im Wesentlichen unverständlich ist. Das Testsignal wurde aus Aufnahmen von sechs verschiedenen Sprecherinnen mit unterschiedlicher Muttersprache (Englisch, Arabisch, Chinesisch, Deutsch, Französisch, Spanisch) gewonnen. Alle Sprecherinnen wiesen eine ähnliche Grundfrequenz auf und lasen die Geschichte "Nordwind und Sonne" in ihrer Muttersprache vor. Die Aufnahmen wurden auf das gleiche Langzeit-Sprachspektrum angepasst, in kurze Abschnitte zwischen 100 und 600 ms zerlegt und in zufälliger Reihenfolge wieder aneinander gehängt. Dadurch blieben alle relevanten Eigenschaften von Sprache erhalten. Eine mögliche Anwendung des neuen Testsignals ist die Bestimmung der Verstärkung von Sprache in Hörgeräten. Viele weitere Anwendungen, bei denen Sprache übertragen, verarbeitet oder als Störer verwendet wird, sind denkbar. [Gefördert durch EHIMA]

Do. 9:45 Raum 57.06

Audiologie

**Über vier Funktionsprinzipien des menschlichen Mittelohrs**H. Hudde*Institut für Kommunikationsakustik, Ruhr-Universität Bochum*

Das menschliche Mittelohr besitzt wie alle Säuger-Mittelohren eine aus drei Knöchelchen bestehende Ossikelkette. Eine solche Anordnung ist deutlich komplizierter als etwa eine Columella, wie sie bei Vögeln und Reptilien zu finden ist. Es ist bekannt, dass beide Mittelohrtypen niederfrequent den Schall etwa gleich gut

weiterleiten können. Bei höheren Frequenzen ist jedoch die Ossikelkette überlegen. Im Vortrag werden vier Funktionsprinzipien des menschlichen Mittelohrs erläutert, die die Übertragungseigenschaften wesentlich bestimmen und die Überlegenheit der Ossikelkette erklären. Es zeigt sich, dass die Ossikelkette nicht nur Vorteile hinsichtlich der Schallübertragung besitzt, sondern auch eine bessere Isolation gegenüber Knochenschall bzw. äußeren Krafteinwirkungen bewirkt. Die zugrunde liegenden Untersuchungen wurden mit einem 'verallgemeinerten Netzwerkmodell' des Mittelohrs durchgeführt, das die Bestimmung dreidimensionaler Schwingungsformen ermöglicht. Die Schwingungen wurden sowohl für akustische Anregung durch einen Schalldruck vor dem Trommelfell als auch für mechanische Schüttelanregung des gesamten Felsenbeins berechnet. Um zu den oben erläuterten Aussagen zu gelangen, wurden neben normalen Mittelohren auch Mittelohren mit ungünstigeren Positionen der Ossikel und teilweise versteiften elastischen Elementen untersucht. Die sich ergebenden Schwingungsformen werden im Vortrag anhand von Animationen gezeigt.

Do. 10:10    Raum 57.06

Audiologie

### **Strömungs-Fluid-Interaktion im Cortischen Organ**

J. Baumgart<sup>a</sup>, M. Fleischer<sup>b</sup> und R. Grundmann<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*TU Dresden, Institut für Luft- und Raumfahrttechnik;* <sup>b</sup>*TU Dresden, Institut für Festkörpermechanik*

Das in der Gehörschnecke von Säugern (Cochlea) sitzende Cortische Organ ist eine für den Hörprozess entscheidende Komponente. Hier werden die von aussen ankommenden Schallwellen in ein elektrisches Signal umgesetzt. Mittels numerischer Simulation ist es möglich, die mechanische wirkenden Kräfte im Cortischen Organ zu bestimmen und das Bewegungsverhalten zu beschreiben.

Um das Problem auf das Wesentliche zu reduzieren, wird ein zweidimensionales Modell erstellt. Dabei werden Daten, die aus histologischen Schnitten (radial) stammen, zugrunde gelegt. Die Struktur wird mit anisotropem, linear-elastischem Material beschrieben und mit Hilfe der finiten Elemente Methode diskretisiert. Das Fluid wird hier als inkompressibel mit konstanten Eigenschaften angenommen und als Diskretisierung wird die finite

Volumen Methode verwendet. Durch die sehr geringen Abmessungen sind die viskosen Effekte des Fluides dominant. Für jeden Zeitschritt werden zwischen der Struktur und dem Fluid Kräfte und Geschwindigkeiten ausgetauscht und damit eine schwache Kopplung realisiert. In dieser Arbeit wird der Bereich geringer Schalldruckpegel untersucht. Deshalb sind die Amplituden der Verformung gegenüber den geometrischen Abmessungen sehr gering. Somit ist es möglich zeit- und verformungsinvariante Netze zu nutzen und die Bewegung der Kopplungsränder über Randbedingungen zu formulieren.

Durch die Lösung der Feldgleichungen stehen die physikalischen Größen an allen Orten zur Verfügung. So lässt sich die auf die Stereozilien der inneren Haarsinneszellen wirkende Kraft und der Massestrom im subtekroialen Spalt bestimmen. Es zeigt sich dass bereits relativ geringe Spalthöhenänderungen zu hohen Geschwindigkeiten gegenüber den Stereozilien führen.

Do. 14:00    Raum 57.06

Audiologie

### **Ermittlung einer überoptimalen Musiksequenz für eine personalisierte akustische Biofeedbacktherapie der essentiellen Hypertonie**

P. Friedrich und B. Wolf

*Heinz Nixdorf-Lehrstuhl für Medizinische Elektronik, TU München*

Die Erhebung physiologischer Daten am Menschen ist bekanntermaßen sehr stark von Ort und Zeitpunkt abhängig. Der "Weißkittleffekt" ist nur ein Beispiel dafür. Zur Entwicklung neuer Therapien sind zuverlässige Ergebnisse aus Datenerhebungen in authentischen Umgebungen sehr wichtig. Um dies zu ermöglichen wurde ein virtuelles Labor auf Basis des am Heinz Nixdorf-Lehrstuhl für Medizinische Elektronik entwickelten Telemetric Personal Health Monitoring System aufgebaut. Damit werden zusammen mit einer Reha-Klinik relevante Daten zur Entwicklung einer personalisierten akustischen Bio-Feedbacktherapie ermittelt. Die wissenschaftliche Grundlage des Projektes besteht darin, dass in vielen Publikationen die blutdrucksenkende Wirkung von speziellen Musikstücken und iterativen Klangmustern beschrieben wird. Weiterhin hat sich gezeigt, dass es bezüglich der blutdrucksenkenden Wirkung individuelle akustische Präferenzen gibt. Ebenso ist bekannt, dass akustische Signale metabolische und zentralnervöse Funktionen modulieren können. Zur Darstellung der diese Signale bestimmenden physikalischen



Parameter werden interaktive Filtersysteme benutzt, um die bioakustisch relevanten Muster zu isolieren. Das dazu in MATLAB entwickelte Analyseverfahren wird vorgestellt und erläutert. Weiterhin werden erste Ergebnisse zur Ermittlung blutdrucksenkender akustischer Muster präsentiert. Die daraus entwickelten überoptimalen Sequenzen wurden bezüglich ihrer Wirkung an Probanden getestet. Die Resultate werden vorgestellt. Der Beitrag zeigt, dass mittels Spektralanalyse die Anteile mit einer ganz bestimmten Wirkung in der Musik, in diesem Fall die blutdrucksenkende Wirkung, skelettiert werden können und liefert neue Erkenntnisse auf dem Gebiet der Untersuchungen zur Wirkung von Musik.

Do. 14:25    Raum 57.06

Audiologie

### **Reicht eine einzelne Mikrofonsonde für die trommelfellbezogene Audiometrie aus?**

S. Schmidt und H. Hudde

*Institut für Kommunikationsakustik, Ruhr-Universität Bochum*

Um audiometrische Messungen auf den Trommelfellschalldruck beziehen zu können, muss dieser möglichst präzise bestimmt werden. Dazu ist es notwendig, eine Mikrofonsonde hinreichend nah an das Trommelfell heran zu führen (vgl. Schmidt, Hudde, DAGA 2006). Eine direkte Messung am Trommelfell ist aus praktischen Gründen nicht möglich. Da jedoch ein im Abstand gemessenes Signal erheblich von der gesuchten Größe abweichen kann, ist es erforderlich, die Übertragungsfunktion des Schalldrucks vom Messpunkt zum Trommelfell zu schätzen und einzurechnen. Es zeigt sich, dass die Anpassung eines sehr einfachen akustischen Modells des Restgehörgangs an die Messdaten bereits zu guten Ergebnissen führt, solange die durch die Sonde selbst verursachten Störungen, die besonders stark in den Schalldruckminima auftreten, vernachlässigt werden. Um die Minima darüber hinaus hinreichend sicher identifizieren zu können, muss die Übertragungsfunktion zwischen Schallquelle und Mikrofonsonde möglichst glatt sein. Dies kann durch Verwendung eines Kopfhörers erreicht werden. Die durch die genannten Ursachen auftretenden Probleme konnten mit dem BOHEAR-Außenohrmodell durch Finite-Elemente-Berechnungen analysiert werden. Im Beitrag werden Modellergebnisse mit Einzelsonden präsentiert. Während die akustische Beschaffenheit des Restgehörgangs die Transformationsgenauigkeit erstaunlich wenig beeinflusst, verursacht die Anwesenheit der Einzelsonde charakteristische Fehler, die die Genauigkeit der

Schätzung senken. Abschließend wird die Möglichkeit diskutiert, die Genauigkeit des Verfahrens durch die Nutzung einer zweiten Sonde zu steigern.

Donnerstag Poster

Audiologie

### **Audiological Examination of a Group of Music Professionals**

J. Stepanek<sup>a</sup> und I. Vackova<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Music faculty, Academy of Performing Arts in Prague;*

<sup>b</sup>*Phoniatric dept., VFN and 1. LF UK, Prague*

A permanent group of judges for listening tests of musical sounds was established, assembled of music professionals (string, wind and keyboard instrument players, composers & conductors and sound designers). An audiometric examination was provided and evaluated, the anamnesis hazard factors were also assessed. The measured hearing threshold was corrected to age according to ISO 7029. Statistical analyses revealed significant hearing loss on frequencies 125, 250 and 1000 Hz in both ears mainly in instrument interpreter subgroups. The hearing deterioration in younger generation of musicians was also confirmed.

Donnerstag Poster

Audiologie

### **Akustisches Verfahren zur Synchronisation von MRT-Geräten**

T. Frauenrath<sup>a</sup>, T. Niendorf<sup>b</sup> und M. Kob<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Klinik für Phoniatrie, Uniklinik und RWTH Aachen;* <sup>b</sup>*Experim. MR-Tomographie, Uniklinik und RWTH Aachen*

Moderne Verfahren der Magnetresonanztomographie (MRT) spielen eine zentrale Rolle für die nichtinvasive Diagnostik einer großen Bandbreite klinischer Indikationen. Die MRT schneller dynamischer, biomechanischer Vorgänge, wie z.B. die Herzbewegung, die Stimmlippenschwingung, die Bewegung der Artikulationsorgane, die zu den schnellsten Vorgängen im menschlichen Körper gehören, stellt eine Herausforderung dar. Bisherige MRT-Techniken erlauben bei Anwendung optimierter 2D und 3D Techniken lediglich Bildraten von ca. 30 Hz zur Abbildung bewegter Organe.

Synchronisierungsmaßnahmen bieten eine Möglichkeit zur Steigerung der Bildrate, indem bei wiederholten Messungen desselben, periodischen Manövers eine segmentierte Abbildung des Bewegungsvorganges vorgenommen wird (CINE-Bildgebung) oder - wie bei der Stroboskopie - durch gezielten Phasenversatz ein schneller periodischer Vorgang durch Unterabtastung abgebildet werden kann. MRT-Triggermechanismen werden bereits in

der Herzbildgebung eingesetzt. Dort wird die EKG-Methode zur Synchronisierung angewandt. Bedingt durch die hohen Magnetfeldstärken in einem MR-Tomographen werden elektrophysiologische Sensorsignale jedoch teilweise stark verzerrt, so dass Fehltriggerungen und Triggeraussetzer auftreten.

In diesem Beitrag wird ein Verfahren zur Triggerung auf akustisch generierte Signale des menschlichen Körpers vorgestellt. Durch einen aus Kunststoff bestehenden Schallaufnehmer wird das akustische Signal erfasst und die Druckwelle durch einen PVC-Schlauch zur nachgeschalteten Elektronik außerhalb des Magnetfeldes geführt. Als Ausgangssignal wird ein EKG-äquivalentes Signal generiert und dem MRT Gerät zur Verfügung gestellt. Änderungen in der MRT-Hardware sind nicht erforderlich, da die EKG-Option serienmäßig vorgesehen ist. Der Prototyp und seine Anwendung werden vorgestellt.

Do. 14:50    Raum 57.06    Unsichere Parameter in Simulation

### **Zur Simulation des Bremsenquietschens mit unsicheren Parametern**

U. Gauger, M. Hanss und L. Gaul

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

In der numerischen Simulation von Systemen werden Modellparameter häufig auf einen scharfen Wert festgelegt, obwohl sie einen möglicherweise hohen Grad an Unsicherheit aufweisen. Werden diese Parameter jedoch durch einen fuzzy-arithmetischen Ansatz modelliert, kann ihre Unsicherheit berücksichtigt werden und so direkt in die Simulation des Systems einfließen. Eine praktische Implementierung bieten die Transformationsmethode und die Interpolation auf dünnen Gittern, die einen fuzzy-arithmetischen Ansatz durch Rückführung auf die Arithmetik scharfer Zahlen erlauben. Diese Verfahren werden auf die Simulation des Bremsenquietschens für ein komplettes Bremsensystem mit unsicheren Parametern angewandt. Die berechneten Ergebnisgrößen des Systems stellen zweidimensionale Fuzzy-Zahlen dar, für deren Darstellung und Analyse neue Ansätze vorgestellt werden. Die Analyse erlaubt eine Wertung des Einflusses der Unsicherheiten der jeweiligen Modellparameter auf die Unsicherheit des Ergebnisses.

Do. 15:15    Raum 57.06    Unsichere Parameter in Simulation

### **Uncertainty Assessment in Acoustics by Using Boundary Element Simulation and Fuzzy Arithmetic**

M. Maess, J. Becker, D. Brunner und M. Junge

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

Uncertainties in radiated sound fields may result from uncertain parameters in vibrating structures as well as from uncertainties in the acoustic domain. In order to investigate the influence of uncertain parameters on acoustic fields, sound radiation from a stiffened cylindrical shell is analyzed. In the simulation, a combination of finite elements for the structural domain and boundary elements for the acoustic domain is used as the kernel for the analysis, which is embedded into a fuzzy-arithmetical scheme for the uncertainty assessment. In this approach, the uncertain parameters are modeled by fuzzy numbers. Uncertainties in the structure include the wall shell thickness and the driving frequency of a monofrequent point load. In the acoustic domain, the air density and the sound velocity are assumed to be uncertain. As output quantities, the acoustic pressure at field points and the radiated sound power are considered as fuzzy output numbers. Finally, the results are discussed in terms of accuracy, computational efficiency and applicability.

Do. 15:40    Raum 57.06    Unsichere Parameter in Simulation

### **Berechnung modaler Daten bei beliebig verteilten, stochastischen Parametern**

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

*TU Dresden, Institut für Festkörpermechanik*

Im Falle beliebig verteilter, unsicherer Parameter eignet sich die Approximation stochastischer Variablen mittels polynomialem Chaos sehr gut. Der Vortrag beschreibt eine Vorgehensweise, um modale Daten, also Eigenfrequenzen und Eigenformen zu berechnen. Dabei werden die unsicheren physikalischen Parameter als Zufallsvariablen angesehen. Auf Basis der Approximation mit polynomialem Chaos wird das Eigenwertproblem abgeleitet und gelöst. In numerische Beispielen wird schließlich exemplarisch gezeigt, welche Wirkung bestimmte Verteilungen auf die modalen Daten von einfachen Strukturen haben können.

Do. 16:05    Raum 57.06    Unsichere Parameter in Simulation

### **Unsichere Parameter in elektrohydraulischen Lenksystemen**

F. Weichert<sup>a</sup>, M. Merkel<sup>a</sup> und S. Marburg<sup>b</sup>

<sup>a</sup>HTW Aalen; <sup>b</sup>TU Dresden, Institut für Festkörpermechanik

Elektrohydraulische haben gegenüber herkömmlichen hydraulischen Lenksystemen den entscheidenden Vorteil, dass die Lenkhilfepumpe bei laufendem Motor nicht ständig mitläuft, und dadurch Kraftstoff gespart wird. Umso kritischer ist beim plötzlichen Abrufen der Leistung die Geräuschentwicklung. Neben der Pumpe ist vor Allem der Elektromotor eine Geräuschquelle, die hier eingehender untersucht wird. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die verwendeten Kunststoffe und duroplastischen Klebeverbindungen gerichtet. Die für das Schwingungsverhalten des Systems besonders wichtigen Größen werden ermittelt, und im Experiment sowie der Simulation untersucht.

Dabei stellt sich heraus, dass manche als Simulationsparameter verwendete scharfe Werte die tatsächlich auftretende Streuung nur unzureichend abbilden. Solche unsicheren Parameter werden identifiziert, und Modelle werden abgeleitet, um die Auswirkungen ihrer Variation mit Hilfe der Finiten-Elemente-Analyse sowie der Mehrkörpersimulation zu untersuchen.

## Lagepläne

### Anfahrt



#### AUTO

Autobahn A8 oder A81, am Autobahnkreuz Stuttgart auf die A 831 Richtung Stuttgart-Zentrum, nach 2 km Abfahrt Universität, dann links in die Universitätsstraße.

#### BAHN

ab Stuttgart Hbf. mit der S-Bahn in Richtung Herrenberg (S1), Filderstadt (S2) oder Flughafen (S3) bis Haltestelle und Ausgang Universität.

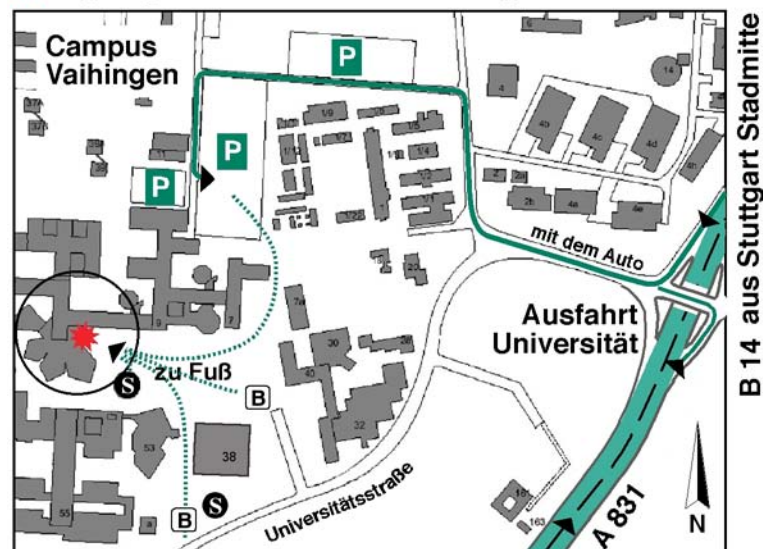
#### FLUGZEUG

ab Flughafen Stuttgart mit der S-Bahn in Richtung Schorndorf (S2) oder Backnang (S3) bis Haltestelle und Ausgang Universität, Fahrt mit dem Taxi ca. 16 km.

Alle Teilnehmer erhalten am Tagungsbüro einen kostenlosen Fahrausweis des Stuttgarter Verkehrsverbundes für das gesamte Netz; gültig für die Dauer der Tagung vom 18.03. bis 23.03.2007.

## Lage des DAGA-Tagungsortes und der Hörsäle

## ★ Tagungsbüro – Pfaffenwaldring 47



von der Autobahn A 8 – Autobahnkreuz Stuttgart

● S-Bahn Haltestelle Universität  
vom Hauptbahnhof

Linie S1

Linie S2, S3

Linie S2, S3

Linie 84, 92

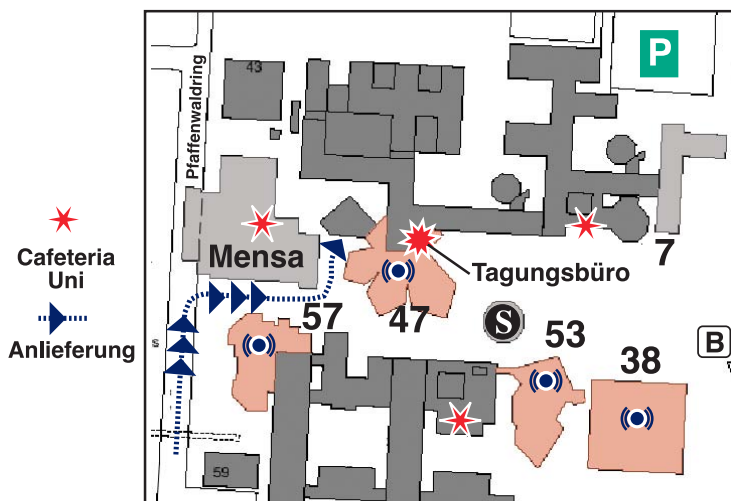
Richtung Herrenberg

Richtung Flughafen

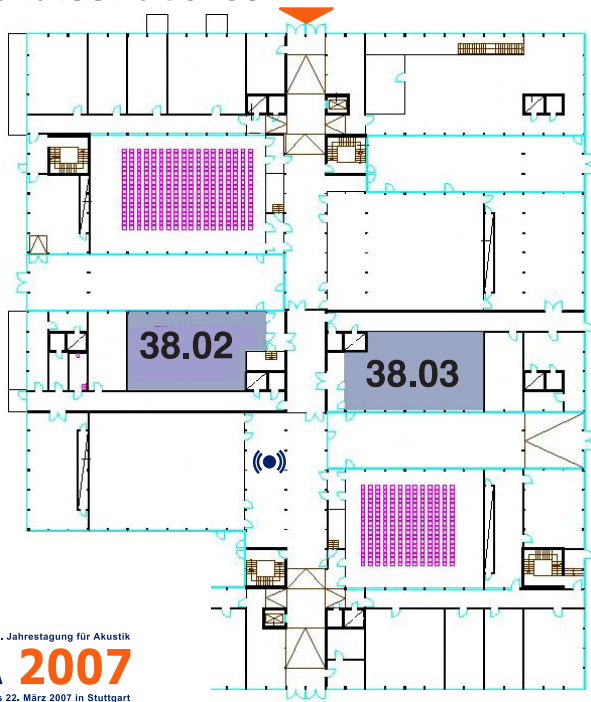
Richtung Backnang/Schorndorf

■ Bus-Haltestelle

■ Parkplatz



## Universitätsstraße 38

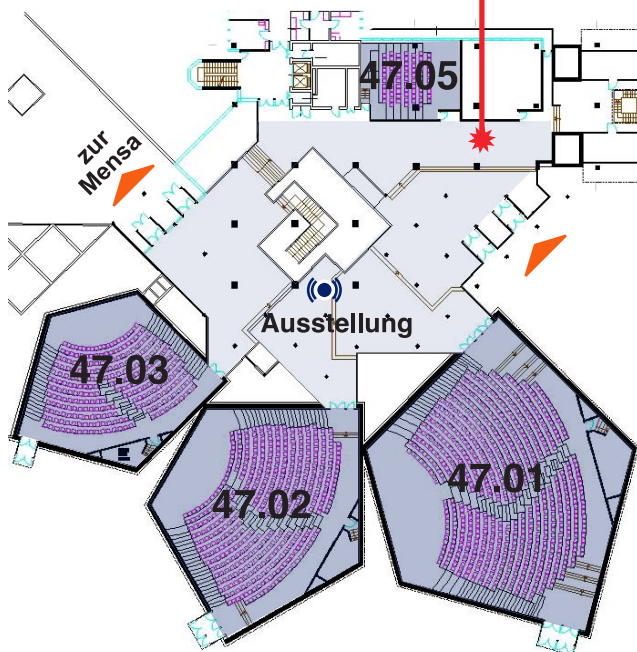




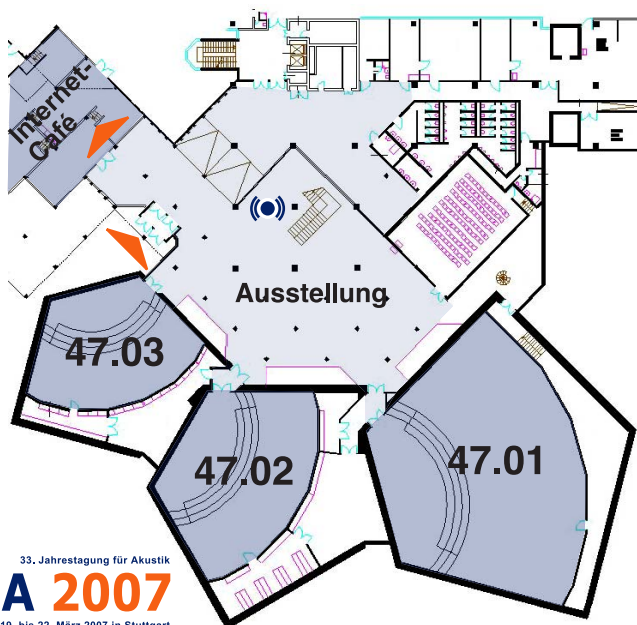
# Pfaffenwaldring 47

Tagungsbüro

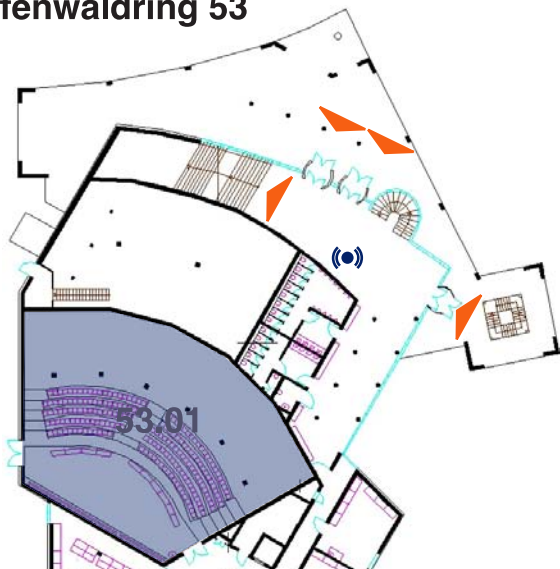
EG



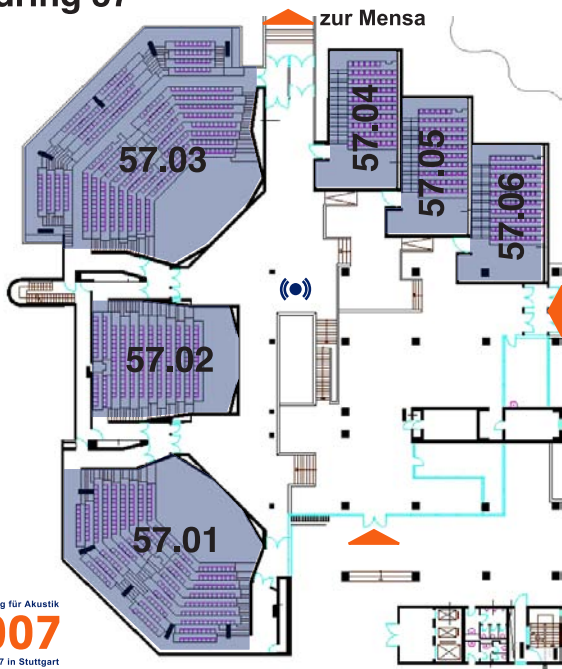
UG



## Pfaffenwaldring 53



## Pfaffenwaldring 57



## Verzeichnis der Autoren

Abbühl, F. ....	331, 338	Augustin, K. ....	357
Abel, M. ....	133, 136	Babuke, G. ....	250, 317, 323
Abshagen, J. ....	285	Bachner, B.K. ....	75
Ackermann, U. ....	266	Bahr, L. ....	366
Adachi, S. ....	129	Bake, F. ....	162
Ahlefeldt, T. ....	300	Balci, R. ....	141
Ahnert, W. ....	270, 271	Balmer, M. ....	108, 330, 331
Ahrens, J. ....	292	Bamberger, A. ....	134
Ahrens, S. ....	325	Barbisch, M. ....	122
Aisenbrey, N. ....	65	Barkmann, R. ....	229
Ajmera, J. ....	292	Barsikow, B. ....	232
Albayrak, S. ....	295	Bartel-Friedrich, S. ....	118
Alber, S. ....	103	Bartosch, T. ....	310, 314
Alber, T. ....	264	Bastian, J. ....	347
Albrecht, B. ....	320	Batko, W. ....	379
Albrecht, S. ....	337, 344	Baumann, I. ....	329, 344
Algermissen, G. ....	356	Baumgart, J. ...	251, 251, 397
Ali, I. ....	158	Baumgartner, W.-D. ....	275
Allman-Ward, M. ....	195	Baurès, L. ....	309
Alpei, H. ....	238	Bay, K. ...	250, 377, 377, 382
Altinsoy, M.E. ....	391	Bechler, D. ....	84
Altreuther, B. ....	101	Beckenbauer, T. ....	101, 102
Andelic, E. ....	226, 237	Becker, B. ....	316
Anderssohn, R. ....	57	Becker, J. ....	378, 386, 402
Andre, E. ....	294	Becker, S. ....	158, 299
Anemüller, J. ....	236	Becker, T. ....	120
Angelmahr, M. ....	248, 248	Becker-Schweitzer, J. ....	111
Angster, J. ....	129, 130, 131, 131, 133, 248	Behler, G. ....	213, 321
Anstatt, A. ....	178	Behrens, T. ....	271
Appell, J.-E. ....	290	Bejčková, E. ....	135
Aretz, M. ....	77	Bellmann, M. ....	392, 329
Arndt, R. ....	326	Bergk, B. ....	103
Arps, H. ....	341	Bergweiler, S. ....	133, 136
Ashokkumar, M. ....	151	Bethke, C. ....	125
Astrov, S. ....	89	Beutelmann, R. ....	144
Astudillo, R.F. ....	86	Biermann, J. ....	106
Attia, F. ....	197	Bietz, H. ....	140
Augustin, E. ....	370	Birkholz, P. ....	122
		Bitzer, J. ....	234, 235, 396

Blau, M. ....	218	Busse, A. ....	58
Blauert, J. ....	112	Busse, S. ....	165
Blumrich, R. ....	360	Büssow, R. ....	233, 312
Blutner, F. ....	255	Cabos, C. ....	55, 287
Bockhoff, M. ....	390	Callsen, S. ....	312
Bodden, M. ....	392	Carolus, T. ....	302
Bögli, H. ....	108, 338	Cassereau, D. ....	273
Böhme, S. ....	272, 380, 381	Castano-Perez, P. ....	204
Bollmann, W. ....	372	Caulkins, T. ....	215
Boonen, R. ....	167	Chen, Z. ....	169, 170
Borgmann, R. ....	349	Christensen, C.L. ....	190
Borsch-Galetke, E. ....	345	Chu, S. ....	145
Bort, B. ....	245	Clasen, D. ....	79
Bös, J. ....	378	Clausen, M. ....	304
Bouaoua, N. ....	368	Claussen, J.O. ....	155
Boucher, D. ....	95	Comte, P. ....	73
Brand, T. .	117, 144, 394, 395	Corinth, G. ....	217
Brandl, F. ....	326	Corteel, E. ....	215
Brandl, S. ....	311	Crouse, B. ....	360
Brandstätt, P. .	317, 377, 377	Csonka, I. ....	187
Brandstetter, D. ....	205	Czolbe, C. ....	93, 100, 179
Brandt, M. ....	368	Czychi, S. ....	138
Braun, J. ....	107	Dau, T. ....	109, 275
Breebaart, J. ....	148	De Langhe, K. ....	82, 82, 313
Brenner, G. ....	353	Decker, F. ....	73
Bretz, N. ....	152	Del Galdo, G. ....	320
Brick, H. ....	67	Dencks, S. ....	229
Brink, M. ....	379	Deutsch, W. ....	343
Brizzi, P. ....	374	Di Carlo, P. ....	374
Brodbeck, M. ....	249	Dietrich, P. ....	319
Broszat, D. ....	84	Dietz, M. ....	147
Brotz, F. ....	357	Dimopoulos, T. ....	295
Brunner, D. ....	170, 287, 402	Disselhorst-Klug, C. ....	115
Buchehe, A. ....	262	Döbler, D. ....	364
Buchholz, J.M. ....	145	Dobler, S. ....	186
Büchler, J. ....	212	Dobrzynski, W. ....	74
Buchta, E. ....	203, 335	Domke, M. ....	246
Buck, M. ....	231	Donner, U. ....	240, 315, 350
Bugge, H. ....	199	Drechsler, A. ....	263
Burg, N. ....	327	Dross, P. ....	267
Burgschweiger, R. ....	286	Drotleff, H. ....	321, 323, 377
Burkhart, C. ....	237	Dubovski, Z. ....	132
Buss, S. ....	328	Dutrè, S. ....	374

Ebbitt, G. ....	191	Fischer, H. ....	352
Ebert, F. ....	192, 193	Fischer, M. ..	54, 55, 170, 287
Efinger, S. ....	263	Fischer, M. ....	337, 344
Eggenschwiler, K. ....	114	Fischer-Stabel, P. ....	211
Eggert, U. ....	296	Fleischer, H. ....	135
Eggner, T. ....	310, 311, 314	Fleischer, M. ....	397
Eichler, M. ....	271	Flemisch, B. ....	78
Eichner, M. ....	305	Flores Santiago, O. .	159, 325
Eilers, R. ....	282	Foken, W. ....	196
Eisenbach, C.D. ....	103	Foudhaili, H. ....	383
Engel, B. ....	91	Franck, A. ....	81, 324
Engelbrecht, K.-P. ....	295	Frauenrath, T. ..	115, 121, 400
Enghardt, L. ...	164, 165, 166	Fredelake, S. ....	396
Engleder, S. ....	55	Freed, D. ....	360
Epp, B. ....	277	Freese, N. ....	329, 344
Ernst, S.M.A. ..	284, 387, 388	Fremerey, C. ....	302
Ertl, M. ....	176	Friedrich, M. ....	244
Eschricht, D. ....	71	Friedrich, P. ....	398
Escobar, M. ....	158	Fröhlich, S. ....	74
Ewert, R. ....	72	Frommann, L. ....	65
Ewert, S. ....	147	Fuchs, H. ....	350
Extra, D. ....	234	Fürst, P. ....	98
Fallen, M. ....	192, 193	Fürtjes, T. ....	121
Faller, C. ....	146, 146	Gabbert, U. ....	80
Fastl, H. ..	135, 267, 281, 393	Gabi, M. ....	157
Fedtke, T. ....	368	Gassner, G. ....	70
Fehndrich, M. ....	91	Gauger, U. ....	401
Fehse, K.-R. ....	373	Gaul, L. ...	54, 170, 171, 200, 287, 288, 378, 386, 401
Feickert, L. ....	149	Gauterin, F. ....	105
Feistel, S. ....	270	Geißler, P. ....	192
Feldmann, J. ....	92, 350, 370	Genuit, K. ....	348
Feldmann, U. ....	305	Gerlach, A. ....	49, 52
Fellner, M. ....	233	Gerretsen, E. ....	124
Fels, J. ....	143, 149	Geyer, T. ....	301
Felscher-Suhr, U. ....	332	Gibbs, B. ....	138, 140, 264
Fend, C. ....	335	Giering, K. ....	211
Fichtel, C. ....	138	Gierlich, H.W. ....	184, 186
Filz, M. ....	199	Ginn, K.B. ....	195
Fingerhuth, S. ....	281, 374	Gitt-Gehrke, A. ....	73
Fingscheidt, T. ....	85	Glüer, C.C. ....	229
Fischer, F. ....	108	Gnauck, M. ....	365
Fischer, H.-M. .	137, 138, 140, 258, 259, 263, 264	Goertz, A. ....	270, 270, 280

Goldschmidt, O. ....	115	Hauser, A. ....	338
Goupell, M. ....	275	Haverkamp, M. ....	257
Graf, F. ....	227, 233	He, Y. ....	177
Grahs, T. ....	73	Hecht, M. ....	93, 100, 179
Grimm, M. ....	88, 90	Heck, P. ....	324
Groß, L. ....	52	Hein, A. ....	290
Gröschel, E. ....	73	Heinz, G. ....	243, 255
Gross, V. ....	245	Heisel, U. ....	52
Grothe, T. ....	251	Helfer, M. ....	356
Gruhler, G. ....	247	Hellbrück, J. ....	41, 389
Grundmann, R. .	69, 251, 251, 397	Hempel, T. ....	86
Guérin, S. ....	74, 232	Hemsing, J. ....	376
Guggenberger, J. ....	80	Henning, B. ....	354
Guicking, D. ....	220	Henze, W. ....	362
Guidati, S. ....	207	Heppelter, M. ....	392
Guigou-Carter, C. ....	66	Herrenkind, M. ....	180
Guimaraes, J.H. ....	375	Hess, P. ....	248
Guitarte Perez, J.F. ....	273	Hessinger, J. ....	126
Gündel, A. ....	174	Hettig, C. ....	204
Gutenbrunner, G. ....	233	Hettler, S. ....	371
Güttes, J. ....	208	Heute, U. ....	119
Guzsvany, N. ....	281	Heuwinkel, C. ....	165, 166
Haag, K. ....	74	Hille, S. ....	251
Haardt, M. ....	320	Hillenbrand, J. ....	244
Häb-Umbach, R. ....	87, 291	Hils, T. ....	238, 238
Haeusler, S. ....	174	Hiltbrunner, D. ....	331
Haferburg, B. ....	180	Hilz, G. ....	240, 258
Hafter, E. ....	277	Hintzsche, M. ....	206, 210
Hahn, C. ....	299	Hirsch, K.-W. .	201, 202, 203
Haider, G. ....	175	Hodann, R. ....	60
Haigis, M. ....	175	Hoffmann, R. ....	216
Haltenorth, I. .	63, 65, 99, 336	Hofmann, D. ....	300
Hanselka, H. ....	42	Hofmann, M. ....	182
Hansen, H. ....	283	Hoge, K. ....	131
Hansen, M. ....	191	Hohenner, S. ....	181
Hansen, U.J. ....	113, 134	Hohmann, V. ...	147, 274, 290
Hanss, M. ....	401	Höldrich, R. ....	83, 256
Hardtke, H.J. ....	173, 402	Holstein, P. ....	246
Haselbauer, M. ....	102	Holtz, F. ....	126
Hauck, A. ....	76	Holube, I. ....	396
Hauer, I. ....	311	Homm, A. ....	288
Haulick, T. ....	89	Huber, T. ....	353
		Hübner, G. ....	45, 50

Hudde, H. ....	396, 399	Kettler, F. ....	184, 186
Hundeck, C. ....	363	Kiefner, B. ....	74
Hupfeld, J. ....	47	King, D. ....	151
Husung, S. ....	320	Kirchner, M. ....	73
Ihlefeld, A. ....	145	Klasmeyer, G. ....	180
Ing, R.K. ....	273	Klatte, M. ....	347
Ingold, K. ....	108	Kleemann, S. ....	245
Isermann, M. ....	375	Kletschkowski, T. ....	74, 367, 380, 381
Jachmann, H. ....	242	Kling, C. ....	260
Jaeglé, J. ....	74	Knauß, D. ....	108
Jakob, A. ....	160, 383	Kob, M. ....	115, 121, 400
Jans, W. ....	74	Koch, C. ....	150
Janssens, K. ....	194, 325	Koch, P. ....	156
Jantzen, A. ....	158	Koch, R. ....	245
Jekosch, U. ....	110	Kochan, K. ....	272
Jenderka, K.-V. ....	150	Köhler, I. ....	74
Jess, M. ....	199	Köhler, U. ....	245
Job, R. ....	348	Kohlrausch, A. ....	148, 219
Joest, R. ....	362	Kohrs, T. ....	373
Jordan, P. ....	73	Kollmeier, B. ..	117, 185, 274, 394, 395
Juber, F. ....	191	Kolossa, D. ....	86
Jung, C. ....	150, 153	Költzsch, P. ....	222
Junge, M. .	55, 170, 171, 200, 402	Kong, X. ....	273
Jürgens, T. ....	395	König, C. ....	190
Jüschke, M. ....	167	König, F.M. ....	279
Jütz, B. ....	344	Konle, H.J. ....	168
Kalivoda, M.T. ....	96	Koreck, J. ....	288
Kaltenbacher, M.	76, 78, 158, 299	Korl, S. ....	223
Kannampuzha, J. ....	122	Krahé, D. ....	210, 349, 382
Kaprykowsky, H. ....	303	Krämer, M. ....	376, 382
Kasper, K. ....	374	Krämer, T. ....	386
Katter, M. ....	326	Kranz, B. ....	307, 365
Katz, B.F. ....	293	Kraus, M. ....	49
Katz, M. ....	226, 237	Krebber, J. ....	296
Kauba, M. ....	378	Krebs, W. ....	330, 331
Kaufmann, A. ....	392	Kreuzer, W. ....	169, 170
Kellermann, W. ....	40	Kröger, B.J. ....	118, 122
Kelm, M. ....	210	Kronast, M. ....	177
Kemp, T. ....	227	Kropp, W. ....	67
Kerber, S. ....	195, 267, 281	Kroschel, K. ....	84, 88, 90
Kern, M. ....	365	Krüger, J. ....	199

Krüger, S. ....	226, 237	Liepert, M. ....	97, 202
Kruse, R. ....	246	Liesegang, M. ....	362
Kühner, D. ....	242	Lievens, M. ....	137
Kunadt, A. ....	368	Lindau, A. ....	292
Künstner, N. ....	183	Linhart, K. ....	355
Künzel, K. ....	219, 342	Lippold, R. ....	384
Kurth, F. ....	302, 304	Lips, W. ....	114
Kurtz, P. ....	50, 53	Lobsiger, E. ....	330
Kurz, R. ..	138, 204, 239, 239, 265, 316	Lörcher, F. ....	70
Kurz, T. ....	154	Lorenz-Kierakiewitz, K.-H. ....	188
Kutner, M. ....	74	Löschke, H. ....	282
Kuwano, S. ....	393	Lotze, J. ....	320
Laback, B. ....	148, 275	Lugger, M. ....	225
Lacroix, A. ....	120, 271	Lukas, K. ....	181, 273
Lang, H. ....	175	Maempel, H.-J. ....	292
Langer, S. ....	79, 353	Maess, M. .	55, 171, 288, 402
Langner, S. ....	336	Maier, R. ....	84
Laschczok, S. ....	129	Majdak, P. ....	148, 275
Laugier, P. ....	229	Makarski, M. ..	172, 270, 270, 280
Lauk, C. ....	223	Maly, T. ....	202
Laumann, K. ....	393	Manhart, M. ....	102
Lauterborn, S. ....	153	Männel, M. ....	101, 102
Lauterborn, W. ....	151, 153, 154, 154, 155, 156	Manners, A. ....	160
Le Goff, N. ....	148	Manschitz, M. ....	198
Lechner, C. ....	241, 242	Marburg, S. ....	57, 173, 174, 402, 403
Leckschat, D. ....	214	Martin, H. ....	124
Lefèvre, J. ....	80	Martinez, P. ....	159
Lehmann, G. ....	295	Martinez, S. ....	348
Lehmann, L. ....	79	Mas, P. ....	194
Lehnert, S. ....	60	Maschke, C. ....	349, 370
Leistner, M. ....	250, 321	Mauer, G. ....	327
Leistner, P. ....	63, 143, 204, 336, 371, 382	Mayer, D. ....	378
Lemke, O. ....	385	Mayr, A. ....	140
Lentz, T. ....	143, 268	Maysenhölder, W. ....	64, 65
Lerch, R. ..	76, 152, 158, 299, 366	Mckinney, M. ....	305
Letens, U. ....	199	Mehnert, D. ....	216
Liebing, R. ....	196	Mehra, S.-R. ...	63, 110, 223, 249, 336
Liebl, A. ....	389	Meier, A. ....	258
Liegl, R. ....	370	Meis, M. ....	332, 347
		Meistring, P. ....	123, 128



Mellert, V.	221, 246, 283, 329	Nejedl, V.	285
Meloni, T.	108	Nentwich, F.	125
Mengistu, K.T.	289	Nestorovic, T.	80
Menk, J.	338	Nettelbeck, C.	186
Menzel, D.	390	Neuschaefer-Rube, C.	122
Menzer, F.	146	Nickel, J.	316
Merimaa, J.	146	Nielsen, T.G.	195
Merkel, M.	403	Niendorf, T.	400
Merkel, T.	189	Niepenberg, A.	382
Mettin, R.	151, 153, 154, 155, 156	Nijman, E.	99
Metze, F.	290	Nissen, I.	285
Metzen, H.A.	124	Nitschmann, M.	276
Meyer, A.	364	Noack, B.	347
Meyer, B.	117	Noack, B.R.	73
Meyer, O.	183	Nolte, B.	57, 286
Michel, U.	74, 162	Norambuena, M.	383
Miehling, H.	359	Notbohm, G.	346
Miklós, A.	129, 130, 131, 132, 248, 248	Nowak, T.	153
Mleczko, M.	230	Nsabimana, F.X.	306
Möhler, U.	97, 202	Nusser, B.	123, 128
Mohr, C.	178	Ochmann, M.	161, 286
Mohr, J.	142	Ochs, S.	178
Moldrzyk, C.	270, 270, 271	Ocker, J.	357
Molkenstruck, W.	351	Oehler, M.	253
Möller, S.	116, 295, 295	Oel, P.	182
Moosmayr, T.	88, 90	Oertli, J.	95
Mores, R.	136, 254	Oliveira, L.C.	294
Möser, M.	383, 385	Olzewski, D.	352, 355
Mueller, M.	302, 304	Opfer, H.	187, 365
Mühlhaus, J.	118	Orglmeister, R.	86, 183
Müller, D.H.	190	Orrenius, U.	309
Müller, G.	310, 314	Oswald, M.	360
Müller, M.	228	Otcenasek, Z.	253
Munz, C.-D.	70	Otto, A.	154
Murawa, F.	91	Padilla, F.	229
Myck, T.	211, 333	Paiva, A.	294
N'guyen, K.-V.	215	Pantle, I.	48, 157
Namba, S.	393	Paprotny, J.	149
Naßhan, K.	61, 139	Paschereit, C.O.	164, 168
Naumann, K.	262	Pastillé, H.	187
Neise, W.	385	Patsouras, D.	362
		Pätzold, P.	150
		Paul, M.	357

Paulsen, R. ....	342	Rennies, J. ....	388
Pauwels, S. ....	178	Ressel, W. ....	103
Pazos, D.F.P. ....	204	Rettenbacher, B. ....	227, 233
Peiffer, A. . 307, 308, 309, 312		Reuter, C. ....	253
Peissig, J. ....	383	Richter, A. ....	69
Pellegrini, R. ....	215	Richter, B. ....	143
Perez, G. ....	293	Richter, C. ....	163
Petersen, S. ....	106	Riegel, M. ....	358
Petersson, B. ... 67, 312, 373		Rigoll, G. ....	88, 90
Peuker, U. ....	353	Rindel, J.H. ....	190
Pflieger, J. ....	344	Ringwelski, S. ....	80
Pies, K. .... 192, 193		Ripke, O. ....	104
Pietrzko, S. ....	379	Röder, A. ....	329
Piscoya, R. ....	161	Rodet, X. ....	303
Pitsch, S. .... 130, 132, 133		Roeske, P. ....	235
Plundrich, J. ....	202	Rohdenburg, T. ....	274
Pongratz, R. ....	84	Röhle, I. .. 162, 165, 166, 168	
Popp, M. ....	327	Rong, P. ....	246, 344
Pörschmann, C. .... 278, 318		Ronneberger, D. ....	167
Poschen, S. ....	184	Roßberg, S. ....	207
Postema, M. ....	230	Röseler, H. ....	110
Pott-Pollenske, M. ....	74	Rottiers, W. ....	189
Prasetyo, F. ....	340	Ruff, A. ....	259
Price, G. ....	151	Rumberg, M. ....	208
Priebsch, H.-H. ....	311	Ruske, G. ....	88
Probst, W. ....	206	Sachau, D. 74, 272, 367, 380,	
Ptok, M. ....	363		381
Quickert, M. .... 307, 365		Saemann, E.-U. ....	105, 363
Raake, A. .... 116, 292, 293		Sakamoto, Y. ....	131
Rabold, A. .... 126, 127		Salz, D. ....	93
Rainer, H. ....	233	Santurette, S. ....	275
Rambausek, N. 382, 376, 377		Sarradj, E. ....	301, 307
Ranjbar, M. ....	173	Saß, B. ....	128
Rank, E. ....	127	Sas, P. ....	167
Rathsam, J. ....	190	Sattler, M. ....	135
Rautenberg, J. ....	354	Säuberlich, B. ....	122
Redmann, D. ....	309	Saueressig, G. ....	74
Reichl, C. ....	175	Schade, H.-P. ....	320
Reifinger, S. ....	267	Schafföner, M. ....	226, 237
Reimes, J. ....	184	Schaffrath, W. ....	111
Reinke, C. ....	245	Schanda, U. ... 123, 128, 314	
Reithmeier, E. ....	383	Schanz, D. ....	154
Remmers, H. ....	329	Schanz, M. ....	58

Schätzer, C. ....	94	Schuster, M. ....	88
Scheck, J. ....	138, 138, 263	Schwarz, J. ....	119
Scheuing, J. ....	231	Schweitzer, A. ....	122
Schiema, H. ....	216	Sedlbauer, K. ...	59, 133, 204
Schilling, R. ....	158	Seeber, B. ....	277
Schirmacher, R. ....	384	Seidel, J. ....	61, 139
Schlaffke, M. ....	342	Seidler, H. ....	297
Schlegel, M. ....	73	Seitz, G. ....	183, 187
Schlesinger, A. ....	320	Sentpali, S. ....	192, 193
Schlittmeier, S. ....	389	Sepahvand, K. ....	402
Schmalenströer, J. ...	87, 291	Sessler, G.M. ....	244
Schmelzer, M. ....	125	Shinn-Cunningham, B. ...	145
Schmidt, D. ....	236	Siegmann, S. ....	345
Schmidt, G. ....	89	Siegmund, K. ....	345
Schmidt, H. ....	105	Siller, H. ....	74, 232
Schmidt, M. ....	111	Simmer, U. ....	112, 235
Schmidt, S. ....	399	Skowronek, J. ....	305
Schmidtke, E. ....	285	Smit, T. ....	254
Schmitz, A. ....	214	Sobotta, R. ....	150, 153
Schmitz, G. ....	229, 230	Sokoll, J. ....	281
Schmitz, J. ....	195, 361	Sommerfeld, M. ....	369
Schneider, M. ....	258, 259	Sontacchi, A. ....	83, 256
Schneider, W. ....	250, 317	Sottek, R. ....	207, 324
Schnell, K. ....	120	Späh, M. ....	357
Schnelle, F. ...	239, 239, 265, 316	Spehr, C. ....	300, 300
Schock, J. ....	62	Spellerberg, G. ....	210
Schoenwald, S. ....	124	Spors, S. ....	269, 292
Schreckenber, D. ....	332	Staudacher, M. ....	152
Schreiber, A. ....	246	Stegemann, B. ....	94, 95
Schröder, D. ....	143, 267	Steiger, C. ....	219
Schröder, E. ....	192, 314	Steinbach, O. ....	55
Schröder, W. ....	73	Steinhusen, C. ....	375
Schrumpf, M. ....	357	Stepanek, J. ....	400
Schube, F. ....	200	Stephenson, U.M. ....	56
Schuller, B. ....	88, 90	Stichler, I. ....	322
Schulte-Fortkamp, B. ...	208, 209	Stiller, J. ....	69
Schulz, A. ....	290	Störig, C. ....	278
Schulz, D. ....	219, 342	Strasser, H. ....	334
Schulz, S. ....	182	Strauch, O. ....	172
Schulze, A. ....	158	Strelcyk, O. ....	275
Schulze, C. ....	301	Strobel, J. ....	152
Schumacher, R. ....	128	Suhadi, S. ....	85
		Sukowski, H. ....	394

Svensson, P. ....	56	Vogelsang, B. . .	211, 242, 333
Swerdlow, A. ....	84	Völk, F. ....	267
Talasch, W. ....	241, 242	Völker, E.-J. ....	213, 266, 317
Tapken, U. ....	164	Volz, R. ....	92
Täsch, C. ....	187	Von Estorff, O. ....	106, 158, 173, 312
Tcherniak, D. ....	195	Von Gablenz, P. ....	218
Teller, P. ....	141	Von Heesen, W. ....	339
Teuber, W. ....	213, 266, 317	Von Karstedt, W.-C. ....	173
Tewes, S. ....	307, 308	Von Sivers, R. ....	43
Thaden, R. ....	389	Vorländer, M. . .	143, 267, 389
Thiele, F. ....	163	Vorwerk, W. ....	118
Thoß, E. ....	94	Vössing, T. ....	354
Treiber, A.S. ....	247	Wack, R. ....	323, 323
Treichler, U. ....	94	Wagener, K. ....	394
Triebenbacher, S. ....	158	Wagner, M. ....	153
Tronchin, L. ....	250	Walter, F. ....	384
Tschakert, R. ....	373	Wältermann, M. ....	116
Tutsch, R. ....	352	Wang, L. ....	190
Uhl, A. ....	74	Warsitz, E. ....	87, 291
Uhlemann, M. ....	387	Warusfel, O. ....	215
Uppenkamp, S. ....	284	Waubke, H. ....	169, 170
Urban, W. ....	153	Weber, L. ....	63, 66, 99, 129, 139, 141, 142, 143, 204, 205, 262, 263, 336
Utzmann, J. ....	70	Weber, R. ....	196, 282, 283, 392, 328
Vackova, I. ....	400	Weber, S. ....	298
Van De Par, S. ....	305	Wegner, A. ....	120
Van De Ponselee, P. ....	194, 325	Weichert, F. ....	403
Van Der Auweraer, H. ....	194, 325	Weinzierl, S. ....	270, 270, 292
Vasel, T. ....	178, 194	Weißenberger, W. ....	101
Väth, C. ....	372	Weiss, C. ....	294
Vecchio, A. ....	194	Wellhöfer, A. ....	335
Veit, G. ....	92	Wendemuth, A. ....	224, 226, 237, 289
Veit, J. ....	326	Wenzel, H. ....	233
Venghaus, H. ....	92	Wiedau, J. ....	74
Verhey, J.L. ....	276, 277, 387, 387, 388	Wiedemann, J. ....	177
Vicinus, P. ....	183	Wilde, A. ....	160
Vilimek, R. ....	86	Wilken, M. ....	55
Villot, M. ....	66	Wilkens, V. ....	351
Vlahopoulos, N. ....	82, 82	Witew, I. ....	212, 319
Vlaming, M. ....	396		
Vlasenko, B. ....	224		
Voehringer, T. ....	327		

---

Wittstock, B. ....	337, 344	Zangers, J. ....	202
Wittstock, V. 46, 51, 140, 242,		Zenetti, E. ....	221
261, 369		Zha, X. ....	350
Wohlmuth, B. ....	78	Zhang, G. ....	82, 82
Wokurek, W. ....	226	Zhang, T. ....	321, 323
Wolf, B. ....	398	Zhang, X. ....	244
Wolfram, D. ....	302	Zhou, X. ....	317, 321, 323
Wolter, B. ....	383	Ziegenhals, G. ....	252
Wurst, F. ....	103	Zöller, T. ....	197
Yang, B. ....	225, 231	Zölzer, U. ....	306
Yoshikawa, S. ....	131	Zotter, F. ....	83, 256
Zander, J. ....	316	Zscherpel, D. ....	133

**DAGA 2007 – 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 37 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 2007 zu Lasten meines Kontos

Konto-Nummer: \_\_\_\_\_

bei: \_\_\_\_\_ Bankleitzahl: \_\_\_\_\_

mittels Lastschrift einzuziehen.

- ☐ Ich überweise den Beitrag auf das Konto der DEGA e.V.

Nr.: 108 372 01 07

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-Nummer: \_\_\_\_\_

Verfallsdatum: \_\_\_\_\_

Karteninhaber: \_\_\_\_\_

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