



Lärminderung von technischen Anlagen

INHALT

Vorwort	3
A1 – Geräuschreduzierung der Lüftungs- anlagen von Niedrigenergie- und Passivhäusern	4
A2 – Geräuschreduktion der Kühlungs- einrichtungen von technischen Anlagen und Geräten	5
A3 – Aeroakustische Schallentstehung in Ventilatoren und deren Schallabstrahlung	6
A4 – Berechnung aerodynamischer Schallquellen gekapselter Heckrotoren	7

B1 – Klangqualitätsbezogene Über- tragungspfadanalyse und -synthese	8
B2 – Fahrgastzellenakustik – Sound Design für PKW-Innenraum	9
B3 – Lärmreduktion bei elektrischen Leistungstransformatoren	10
Standortkarte und Kontaktadressen ...	11/12
der teilnehmenden Hochschul- und Industriepartner	
Gesamtübersicht der Teilprojekte	13

**„ Die Ruhe zu lieben,
gehört zur bayerischen Natur und Kultur,
zur bayerischen Lebensart. „**

Dr. Otmar Bernhard, früherer Staatsminister

VORWORT

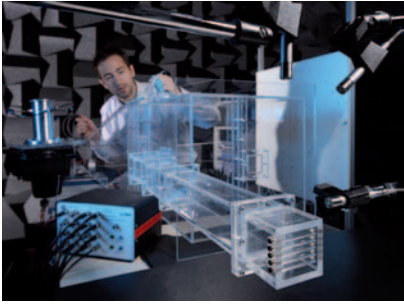
In der modernen Industriegesellschaft entwickelt sich der Lärm von Straßenverkehr, Industrieanlagen und Haushaltsgeräten zunehmend zu einer ernstzunehmenden Belastung für den Menschen. Die Folgen reichen von Konzentrations- und Schlafstörungen bis hin zu Schwerhörigkeit, Tinnitus und vielen anderen Erkrankungen. Der Bayerische Forschungsverbund FORLärm („Forschungsverbund zur Lärminderung von technischen Anlagen“) sucht daher nach effizienten Wegen, den Lärm schon an der Quelle zu bekämpfen.

FORLärm – ein Förderprojekt der Bayerischen Forschungsstiftung.

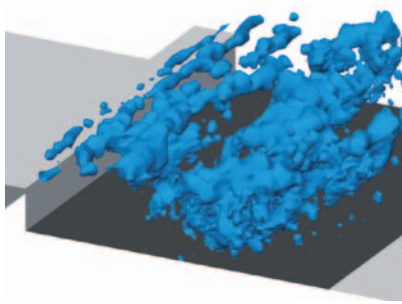


Ziel dieses Forschungsverbunds ist es, die analytischen, numerischen und experimentellen Grundlagen für eine Lärmreduktion in technischen Prozessen weiterzuentwickeln und anzuwenden. Es gilt, Werkzeuge und Methoden bereitzustellen, mit denen sich die Lärmentstehung so beeinflussen lässt, dass für das menschliche Gehör eine deutlich spürbare Lärminderung erreicht wird. Neben der messtechnischen Erfassung von Lärm wird dabei auch das subjektive Geräuschempfinden des Menschen berücksichtigt, um besonders störende Geräuschkomponenten gezielt zu reduzieren.

Eine der Kernaufgaben von FORLärm ist es, die für die Schallentstehung verantwortlichen physikalischen Effekte detailliert zu untersuchen, um sie anschließend in einem Computermodell abbilden zu können. Damit lassen sich vorhandene Anlagen effektiv weiterentwickeln und eine geräuscharme Auslegung besser in die Entwicklung neuer Produkte integrieren. Die somit möglichen Simulationen am Computer machen bisherige Versuche an aufwendig gebauten Prototypen überflüssig und sind zudem zeit- und kostensparend.



Modell eines Lüftungssystems



Simulation der Wirbelstrukturen

GERÄUSCHREDUZIERUNG DER LÜFTUNGSANLAGEN VON NIEDRIGENERGIE- UND PASSIVHÄUSERN

Die Akustik von Haus-Lüftungsanlagen ist sowohl im Bereich moderner Niedrigenergiehäuser als auch in Großraumbüros von zentraler Bedeutung. Dazu wird ein Modell-Lüftungssystem, bestehend aus Ventilator, Rohrsystem und Auslassgitter, definiert und aufgebaut.

Das Hauptaugenmerk der Arbeiten ist auf die verschiedenen Mechanismen der Schallentstehung und deren Interaktionen im Gesamtsystem gerichtet. Der Strömungsschall wird hierbei vom turbulenten Strömungsfeld bestimmt, während der Körperschall durch die von der Ventilatorrotation hervorgerufenen Strukturbewegungen geprägt ist. Im Gesamtsystem ergibt dies ein komplexes Zusammenspiel verschiedenster akustischer Phänomene, da an jedem Bauteil Körperschall und Luftschall unterschiedlich miteinander interagieren.

Das globale Ziel der Untersuchungen besteht in der Definition von Maßnahmen zur Schallreduktion in Lüfter-Kanalleitungssystemen. Diese Maßnahmen werden in Form allgemeiner Regeln und Richtlinien auf die Auslegung von effizienten und gleichzeitig leisen Haus-Lüftungsanlagen übertragen.

Ziele

- Klärung der physikalischen Mechanismen der Schallausbreitung in Lüftungskanälen
- Richtlinien und Regeln zur Schallreduktion in Haus-Lüftungsanlagen

Forschungsschwerpunkte

- Wechselwirkung zwischen Körperschall, Luftschall und Strömung
- Modellbildung
- Transferpfadanalyse

Projektpartner

- Lehrstuhl für Sensorik (Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg)
- Lehrstuhl für Prozessmaschinen und Anlagentechnik (Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg)
- ANSYS Germany GmbH, Otterfing
- ebm-papst Landshut GmbH

Ansprechpartner

Prof. Dr.-Ing. Reinhard Lerch
reinhard.lerch@lse.eei.uni-erlangen.de

Ziele

- Geräuscharme Kühlung
- Effiziente Wärmeabführung
- Vermeidung von Struktur-schwingungen

Forschungsschwerpunkte

- Schallausbreitung unter Wärmeeinfluss
- Systemintegration von Lüftungsanlagen
- Akustische Quellanalyse

Projektpartner

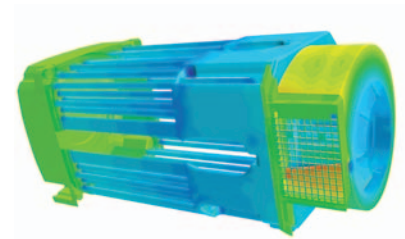
- Lehrstuhl für Prozessmaschinen und Anlagentechnik (Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg)
- Lehrstuhl für Sensorik (Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg)
- Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG, München
- Siemens AG (Industry Sector), Nürnberg

Ansprechpartner

PD Dr.-Ing. Stefan Becker
sb@ipat.uni-erlangen.de



Kühlsystem in einem Messgerät

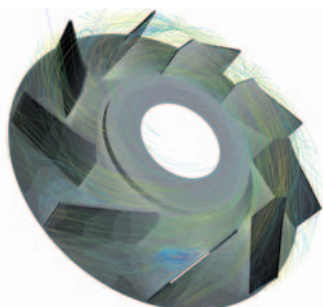


Druckverteilung in einem Motor-kühlsystem

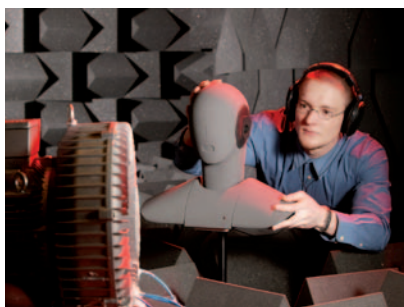
GERÄUSCHREDUKTION DER KÜHLUNGSEINRICHTUNGEN VON TECHNISCHEN ANLAGEN UND GERÄTEN

In der Realisierung einer effizienten und gleichzeitig geräuscharmen Kühlung liegt eine der großen Herausforderungen bei der Entwicklung elektrischer Geräte. Hohe Steigerungen bezüglich Leistung und Packungsdichte der Bauelemente führen zu einer stark gestiegenen Wärmeentwicklung, die wiederum direkt mit erhöhten Anforderungen an das Kühlsystem verbunden ist. Beim Einsatz von Luft als Kühlmedium bedingt dies einen deutlich größeren Volumenstrom, der sehr oft mit höheren Schallemissionen des Gerätes einhergeht. Neben der aeroakustischen Schallproduktion wird zudem Schall durch Gehäuseschwingungen erzeugt. Aufgrund des Einflusses von Temperatur- bzw. Dichtegradienten auf die Schallausbreitung ergibt sich ein gekoppelter Prozess von verschiedenen physikalischen Effekten.

Inhalt des Projektes sind Untersuchungen der Schallentstehung speziell im Hinblick auf Lärminderung. Die Arbeiten erfolgen hierfür sowohl experimentell als auch mit Hilfe von Computersimulationen. Aus dem Verständnis der involvierten physikalischen Prozesse werden Richtlinien für geräuscharme Kühlsysteme erarbeitet.



Strömung im Radiallaufrad



Akustikmessungen

AEROAKUSTISCHE SCHALLENTSTEHUNG IN VENTILATOREN UND DEREN SCHALLABSTRAHLUNG

Der Einsatz von rotierenden Maschinen zur Luftförderung (Ventilatoren und Gebläse) umfasst ein sehr großes Einsatzspektrum. Derartige Geräte sind in ihrer verschiedenartigen Anwendung ein fester Bestandteil des Alltags. Immer wieder kommt es dabei zu Geräuschbelästigungen, die Stress verursachen und damit teilweise auch schädigenden Einfluss auf die Gesundheit der Menschen haben.

Das Projekt ist auf Radialgebläse fokussiert. Es erfolgen Untersuchungen zur Schallgenerierung im Rotor selbst, in der Interaktion von Rotor- und Diffusorströmung sowie durch die Wechselwirkung der Strömung mit dem Gehäuse. Oft bilden strömungsmechanische Optimierung und Lärmreduktion keinen direkten Zusammenhang. Durch den komplementären Einsatz experimenteller und numerischer Verfahren gilt es, Schallentstehungsmechanismen und deren Abstrahlungsverhalten zu klären, um daraus Maßnahmen zur Reduktion des abgestrahlten Geräuschs abzuleiten. Für die Bewertung des abgestrahlten Schalls werden zusätzlich psychoakustische Kriterien hinzugezogen, um gezielt besonders störende Komponenten der Lärmemission zu verringern.

Ziele

- Schallreduktion bei hohem strömungsmechanischen Wirkungsgrad
- Charakterisierung von Schallquellen
- Schallreduktion unter Beachtung psychoakustischer Bewertung

Forschungsschwerpunkte

- Wechselwirkungen zwischen Strömung, Festkörpern und Schallwellen in rotierenden Systemen
- Entwicklung numerischer Verfahren
- Strömungs- u. Schwingungsanalyse

Projektpartner

- Lehrstuhl für Prozessmaschinen und Anlagentechnik & Lehrstuhl für Sensorik (Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg)
- Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation (TU München)
- ANSYS Germany GmbH, Otterfing
- CFDnetwork Engineering, München
- ebm-papst Landshut GmbH
- Gardner Denver Deutschland GmbH, Bad Neustadt a. d. Saale

Ansprechpartner

PD Dr.-Ing. Stefan Becker
sb@ipat.uni-erlangen.de

Ziele

- Effiziente numerische Algorithmen für den industriellen Einsatz
- Analyse der Schallquellen am Heckrotor

Forschungsschwerpunkte

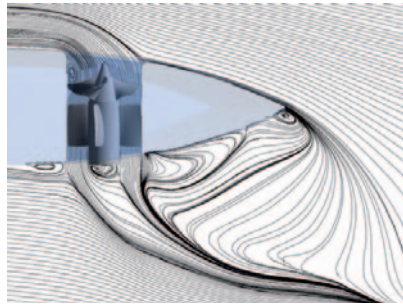
- Turbulenzmodellierung
- Strömung im gekapselten Heckrotor
- Bestimmung der relevanten akustischen Quellterme

Projektpartner

- Lehrstuhl für Aerodynamik (Technische Universität München)
- EUROCOPTER Deutschland GmbH, München

Ansprechpartner

PD Dr.-Ing. Christian Breitsamter
christian.breitsamter@aer.mw.tum.de



Simulation der Heckrotorströmung

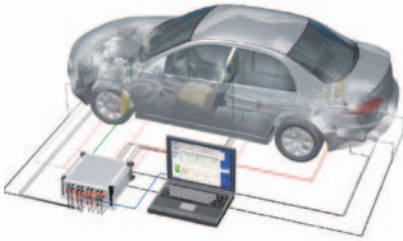


Heckrotor am Hubschrauber

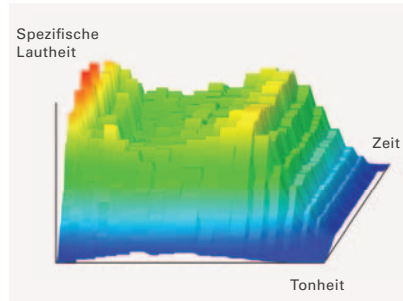
BERECHNUNG AERODYNAMISCHER SCHALLQUELLEN GEKAPSELTEN HECKROTOREN

Gekapselte Heckrotoren stellen im Hinblick auf Betriebssicherheit und gute Leistungscharakteristik eine effiziente Lösung im Vergleich zu ungekapselten Rotoren bei kleinen bis mittelgroßen Hubschraubern dar. Die wesentliche Voraussetzung für deren Berechnung ist die genaue Bestimmung des instationären und über einen weiten räumlichen Skalenbereich variierenden Strömungsfeldes. Insbesondere muss hierbei die Wechselwirkung zwischen Heckrotorstrahl und der Heckumströmung berücksichtigt werden, was gerade für die Schallabstrahlung von großer Bedeutung ist.

Inhalt dieses Projektes ist daher die Analyse verschiedener Modellierungsansätze zur Berechnung derartiger hochkomplexer Strömungsfelder. Den industriell eingesetzten Berechnungsverfahren werden Methoden mit hohem Modellierungsgrad gegenübergestellt. Die Bewertung erfolgt hinsichtlich der Vorhersagegenauigkeit und Recheneffizienz unter dem Aspekt der industriellen Anwendung. Die Quellterme aus den Strömungssimulationen bilden die Basis für die Berechnung der Schallabstrahlung in das Fernfeld.



Transferpfadanalyse an einem PKW



Psychoakustische Schallanalyse

KLANGQUALITÄTSBEZOGENE ÜBERTRAGUNGSPFADANALYSE UND -SYNTHESE

Die Transferpfadanalyse stellt ein bewährtes Verfahren dar, mit dem die Beiträge verschiedener Quellen sowie die Anteile der dazugehörigen Übertragungswege zu einem Geräusch an einem vorgegebenen Punkt auf der Basis definierter Messungen zuverlässig angegeben werden können. Sie kommt derzeit vor allem in der Automobilindustrie zur Identifizierung relevanter Geräuschquellen zum Einsatz, ist aber grundsätzlich auf alle technischen Anlagen anwendbar.

Die Anwendung des Verfahrens besteht darin, neben den Quellen die akustischen Übertragungseigenschaften eines Systems zu erfassen und Prognosen hinsichtlich der zu erwartenden Geräuschqualität am PKW zu erstellen. Während die experimentellen Verfahren sowie die Algorithmen bereits einen hohen Standard erreicht haben, ist der Übergang zur Beurteilung durch das menschliche Gehör nicht ausgereift. Ziel des Projekts ist es daher, anhand psychoakustischer Methoden Modelle für die Beurteilung der Geräuschqualität zu entwickeln. Die Transferpfadanalyse wird somit um ein Modul erweitert, welches nicht nur die physikalischen Parameter beschreibt, sondern auch die Beurteilung durch die Nutzer zuverlässig prognostiziert.

Ziele

- Modul zur Beschreibung der Psychoakustik in der Transferpfadanalyse
- Sicherstellung der industriellen Anwendbarkeit

Forschungsschwerpunkte

- Transferpfadanalyse
- Psychoakustische Methoden
- Modellentwicklungen

Projektpartner

- Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation
(Technische Universität München)
- Lehrstuhl für Sensorik
(Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg)
- Müller-BBM VibroAkustik Systeme GmbH,
Planegg b. München

Ansprechpartner

Prof. Dr.-Ing. Hugo Fastl
fastl@ei.tum.de

Ziele

- Hybrides Simulationsverfahren zur Bestimmung der Fahrzeuginnenraumakustik
- Validierung des Verfahrens anhand von Experimenten

Forschungsschwerpunkte

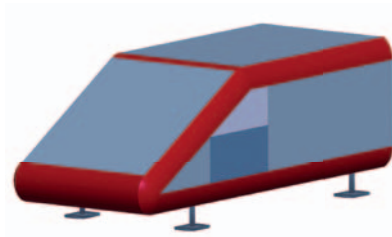
- Statistische Energieanalyse
- Finite-Elemente-Methode
- Experimentelle Modelluntersuchungen
- Anwendung psychoakustischer Methoden

Projektpartner

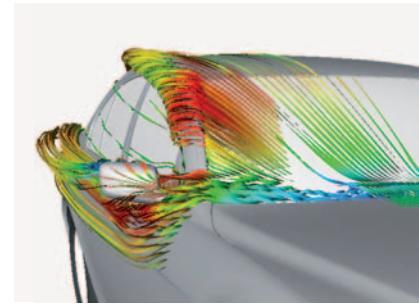
- Lehrstuhl für Sensorik (Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg)
- Lehrstuhl für Prozessmaschinen und Anlagentechnik (Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg)
- Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation (Technische Universität München)
- BMW Group, München

Ansprechpartner

Prof. Dr.-Ing. Reinhard Lerch
reinhard.lerch@lse.eei.uni-erlangen.de



vereinfachtes Modell eines PKW

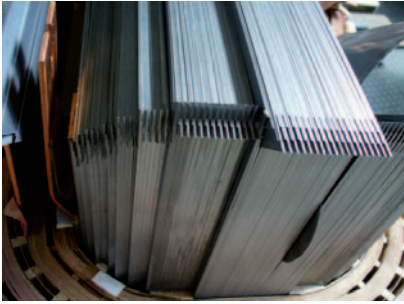


Strömungssimulation an einem Fahrzeug

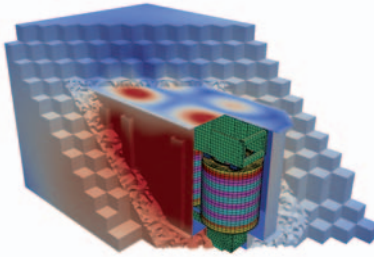
FAHRGASTZELLENAKUSTIK – SOUND DESIGN FÜR PKW-INNENRAUM

Gegenstand dieses Projekts ist die Entwicklung eines Verfahrens zur Bewertung und Gestaltung der Akustik im Innenraum eines Automobils. Es soll den Entwicklungsingenieuren bereits in einem frühen Stadium der Produktentwicklung, zu dem Designänderungen noch relativ kostengünstig möglich sind, erlauben, Maßnahmen zur Verbesserung der Innenraumakustik zu ergreifen.

Um dieses Ziel zu erreichen, werden sowohl numerische als auch messtechnische Ansätze verfolgt. Im Bereich der Simulation wird ein hybrides Verfahren aus statistischer Energie-Analyse und Finite-Elemente-Methode entwickelt, das die Vorteile der jeweiligen Ansätze hinsichtlich geringen Berechnungsaufwands bei der Modellierung von Strukturschwingungen der Karosserie und Auflösung des Schallfeldes in der Fahrgastzelle verbindet. Durch die Kombination der beiden Verfahren wird ein schnelles Werkzeug zur Bewertung des Schallpegels direkt am Ohr des Fahrgastes zur Verfügung gestellt. Zudem wird die Innenraumakustik nicht nur rein rechnerisch analysiert, sondern auch auf Basis von psychoakustischen Kriterien bewertet.



Blechpaket am Transformator



Simulation des Lastgeräusches

LÄRMREDUKTION BEI ELEKTRISCHEN LEISTUNGSTRANSFORMATOREN

Der von elektrischen Leistungstransformatoren hervorgerufene Lärmpegel spielt beim Entwurf von modernen Anlagen eine immer wichtigere Rolle. Aufgrund des hohen Stromverbrauchs in Großstädten, finden sich solche elektrischen Leistungstransformatoren immer häufiger auch in der Nähe von Wohngebieten. Dort belasten sie die Anwohner durch ihren Brummtön, weshalb die einzuhaltenden Lärmpegelvorschriften immer strikter werden. Darum ist eine gezielte Reduktion des Lärmpegels erforderlich, wobei in den letzten Jahren vor allem das Lastgeräusch – verursacht durch die auf die Spulen wirkenden Lorentzkräfte – verringert werden konnte. Nun gilt es, das durch die Magnetostriktion hervorgerufene Leerlaufgeräusch näher zu untersuchen, den Mechanismus der Interaktion zwischen dem magnetischen und dem mechanischen Feld zu verstehen und gezielte Maßnahmen für dessen Reduktion zu erarbeiten.

Ziel des Projektes ist es daher, eine computerunterstützte Entwurfsumgebung zu entwickeln, welche die präzise Berechnung des durch die Magnetostriktion verursachten Schalls ermöglicht. Diese wird, aufbauend auf einem Finite-Elemente-Verfahren, um ein erweitertes Materialmodell ergänzt, welches auf Hystereseoperatoren basiert. Mit Hilfe eines Materialprüfstandes werden die für die Identifikation der Operatoren benötigten Materialparameter bestimmt. Die Einsetzbarkeit des Simulationsverfahrens erfolgt schließlich an realen Transformatoren.

Ziele

- Berechnung der Magnetostriktion an Transformatoren
- Maßnahmenkatalog zur Schallreduktion
- Umsetzbarkeit an realen Transformatoren

Forschungsschwerpunkte

- Finite-Elemente-Methode
- Magnetostriktion
- Magnetische und mechanische Feldinteraktion
- Materialmodell
- Materialprüfstand

Projektpartner

- Lehrstuhl für Sensorik
(Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg)
- Siemens AG (Energy Sector),
Nürnberg

Ansprechpartner

Prof. Dr. techn. Manfred Kaltenbacher
manfred.kaltenbacher@lse.eei.uni-erlangen.de



Hochschulpartner

Prof. Dr.-Ing. Reinhard Lerch
Prof. Dr. techn. Manfred Kaltenbacher
Lehrstuhl für Sensorik
Universität Erlangen-Nürnberg
Paul-Gordan-Str. 3/5
91052 Erlangen

Prof. Dr.-Ing. Nikolaus A. Adams
PD Dr.-Ing. Christian Breitsamter
Lehrstuhl für Aerodynamik
Technische Universität München
Boltzmannstr. 15
85748 Garching

Prof. Dr.-Ing. Hugo Fastl
Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation
AG Technische Akustik
Technische Universität München
Arcisstraße 21
90333 München

PD Dr.-Ing. Stefan Becker
Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schlücker
Lehrstuhl für Prozessmaschinen und Anlagentechnik
Bereich Fluidsystemtechnik und Strömungsakustik
Universität Erlangen-Nürnberg
Cauerstraße 4
91058 Erlangen

Industriepartner

ANSYS Germany GmbH
Staudenfeldweg 12
83624 Otterfing

BMW AG
Center of Innovation and R & D
Knorrstraße 147
80788 München

CFDnetwork Engineering
Bismarckstraße 2
80803 München

ebm-papst Landshut GmbH
Hofmark-Aich-Str. 25
84030 Landshut

EUROCOPTER Deutschland GmbH
Willy-Messerschmitt-Straße
85521 Ottobrunn

Gardner Denver Deutschland GmbH
Industriestraße 26
97616 Bad Neustadt

Müller-BBM VibroAkustik Systeme GmbH
Robert-Koch-Str. 13
82152 Planegg bei München

Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG
Muehldorfstr. 15
81671 München

Siemens AG
Energy Sector
Power Transmission Division
Transformers
Katzwanger Str. 150
90461 Nürnberg

Siemens AG
Industry Sector
Drive Technologies Division
Large Drives
Vogelweiherstr. 1 – 15
90411 Nürnberg

FORLärm – ein Förder-
projekt der Bayerischen
Forschungstiftung.



Sprecher

Prof. Dr.-Ing. Reinhard Lerch
Lehrstuhl für Sensorik
Universität Erlangen-Nürnberg
Paul-Gordan-Str. 3/5
91052 Erlangen

Stellvertretender Sprecher

Dipl.-Ing. Albert Kaltenhauser
BMW AG
Center of Innovation and R & D
Knorrstraße 147
80788 München

FORLärm LÄRMMINDERUNG VON TECHNISCHEN ANLAGEN

Schwerpunkt A STRÖMUNGSSCHALL

Teilprojekt A1

Geräuschreduzierung der Lüftungs-
anlagen von Niedrigenergie- und
Passivhäusern

Teilprojekt A2

Geräuschreduktion der Kühlungsein-
richtungen von technischen Anlagen
und Geräten

Teilprojekt A3

Aeroakustische Schallentstehung
in Ventilatoren und deren Schallab-
strahlung

Teilprojekt A4

Berechnung aerodynamischer
Schallquellen gekapselter Heckkro-
ten

Schwerpunkt B KÖRPERSCHALL

Teilprojekt B1

Klangqualitätsbezogene Übertra-
gungspfadanalyse und -synthese

Teilprojekt B2

Fahrgastzellenakustik –
Sound Design für PKW-Innenraum

Teilprojekt B3

Lärmreduktion bei elektrischen
Leistungstransformatoren

